



CONVENIO DE BASILEA

Distr.: General  
11 de noviembre de 2011

Español  
Original: Inglés

---

**Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea  
sobre el control de los movimientos transfronterizos de los  
desechos peligrosos y su eliminación**

**Décima reunión**

Cartagena (Colombia), 17 a 21 de octubre de 2011

Tema 3 b) i) del programa provisional

**Cuestiones relacionadas con la aplicación del Convenio:**

**asuntos científicos y técnicos: directrices técnicas**

**Directrices técnicas**

**Nota de la Secretaría**

**Adición**

**Directrices técnicas para el manejo ambientalmente  
racional de neumáticos usados y de desecho**

En su décima reunión, la Conferencia de las Partes aprobó, en su forma enmendada, las directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho sobre la base del proyecto que figuraba en el documento UNEP/CHW.10/6/Add.1 que elaboró un pequeño grupo de trabajo entre períodos de sesiones dirigido por el Gobierno del Brasil. El texto de la versión definitiva de las directrices técnicas figura en el anexo del presente documento.

---

\* Publicado nuevamente por razones técnicas.

## **Anexo**

### **Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho**

Versión revisada definitiva (31 de octubre de 2011)

# Índice

Índice .....	3
Definiciones.....	4
I. Introducción.....	6
A. Antecedentes y alcance .....	6
B. Propiedades generales de los neumáticos.....	6
1. Estructura: componentes de un neumático y definiciones de términos técnicos ...	6
2. Composición de un neumático .....	7
3. Propiedades físicas de los neumáticos .....	9
C. Etapas de la vida de un neumático.....	10
1. Neumáticos usados .....	10
2. Neumáticos recauchutados.....	11
3. Neumáticos de desecho .....	11
D. Posibles riesgos para la salud y el medio ambiente.....	11
1. Riesgos para la salud pública .....	12
2. Riesgos para el medio ambiente.....	13
II. Disposiciones pertinentes del Convenio de Basilea.....	18
A. Disposiciones generales .....	18
B. Disposiciones que atañen a los neumáticos .....	19
III. Orientación sobre el manejo ambientalmente racional.....	20
A. Consideraciones generales .....	20
1. Convenio de Basilea .....	21
2. Elementos básicos de la calidad del manejo ambientalmente racional de los desechos .....	22
B. Marco legislativo y reglamentario .....	23
1. Requisitos relativos a los movimientos transfronterizos .....	23
C. Criterios para el manejo de neumáticos usados y de desecho.....	24
1. Consideraciones generales.....	24
2. Sistemas de manejo ambiental .....	25
3. Sistemas nacionales de manejo de neumáticos usados y de desecho.....	25
D. Prevención y minimización de los desechos .....	26
E. Recolección, transporte y almacenamiento .....	26
F. Eliminación ambientalmente racional .....	30
1. Recauchutado.....	37
2. Reciclado ambiente/criogénico .....	38
3. Desvulcanización y regeneración.....	41
4. Productos industriales y de consumo .....	42
5. Ingeniería civil .....	44
6. Pirólisis .....	46
7. Coprocesamiento .....	47
8. Coincineración en plantas de generación de energía eléctrica .....	50
Bibliografía .....	52
Apéndice I Publicaciones sobre salud pública .....	56
Apéndice II. Publicaciones sobre lixiviación .....	58
Parte A: Resumen de los ensayos sobre el terreno examinados relativos al lixiviado de neumáticos .....	58
Parte B: Determinantes de la lixivabilidad para el uso de materiales destinados a fines técnicos .....	61
Notas .....	62
Apéndice III Incidentes de incendios de neumáticos documentados en publicaciones .....	63

## Definiciones

<b><i>Aplicaciones de neumáticos enteros</i></b>	Utilización de neumáticos enteros de desecho sin tratamiento físico o químico para fines como la construcción de barreras acústicas, caminos provisionales o para la estabilización.
<b><i>Aplicaciones en ingeniería civil</i></b>	Utilización de neumáticos, ya sea enteros, embalados, cortados, triturados y/o fragmentados, como relleno en proyectos de construcción.
<b><i>Caucho regenerado</i></b>	Caucho producido mediante vulcanización para restaurar algunas de sus características originales. El caucho regenerado es inferior en calidad al original.
<b><i>Césped artificial</i></b>	Los gránulos de neumáticos se utilizan como relleno en terrenos sintéticos, que constituyen el área de juegos principal.
<b><i>Chips</i></b>	El resultado de procesos mecánicos mediante los cuales los neumáticos que han llegado al final de su vida útil son fragmentados, despedazados o desmenuzados en partes irregulares que suelen tener un tamaño de 10 a 50 mm.
<b><i>Desvulcanización</i></b>	Tratamiento del caucho que da por resultado la reducción de las cuerdas cruzadas.
<b><i>Desvulcanizado</i></b>	Producto de la desvulcanización que se obtiene con la reducción de las cuerdas cruzadas. La regeneración del caucho puede ser una forma de desvulcanizar.
<b><i>Finos (productos de carbono)</i></b>	Aglomerados, comprimidos o fragmentos de caucho comprimido que pasan a través de diferentes tamices normalizados.
<b><i>Granulado</i></b>	Resultado del procesamiento del caucho para reducirlo hasta obtener partículas finamente dispersas con un tamaño, por lo regular, de entre 0,8 mm y 20 mm.
<b><i>Modificadores del betún</i></b>	Los betunes modificados se suelen utilizar en un medio de impermeabilización tradicional, el asfalto, modificado con polipropileno atáctico (APP), estireno butadieno estireno (SBS), caucho sintético u otros agentes que crean una matriz uniforme para acentuar las propiedades físicas del asfalto.
<b><i>Neumático al final de la vida útil</i></b>	Otra denominación de neumático de desecho.
<b><i>Neumático chatarra</i></b>	Otra denominación de neumático de desecho.
<b><i>Neumático de desecho</i></b>	Neumático a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional.
<b><i>Neumático usado</i></b>	Neumático que ha sido sometido a cualquier tipo de uso o desgaste.
<b><i>Otros neumáticos</i></b>	Término genérico que incluye los neumáticos usados, por ejemplo, en vehículos todoterreno de uso agrícola y aviones.
<b><i>Pirólisis</i></b>	Descomposición térmica del caucho en ausencia de oxígeno, que lo descompone químicamente en gasóleo, gas y negro de humo. La gasificación es un tipo de pirólisis con la presencia de una cantidad limitada de oxígeno.
<b><i>Polvo</i></b>	Resultado del procesamiento del caucho y su reducción para obtener partículas finamente dispersas, por lo regular, de menos de 0,8 mm.
<b><i>Polvos finos</i></b>	Resultado del procesamiento del caucho para obtener partículas finamente dispersas de <500 µm, incluidos los polvos de superficie modificada.
<b><i>Procedimiento de lixiviación de la característica de toxicidad (TCLP)</i></b>	Ensayo utilizado en los Estados Unidos para determinar los niveles de lixiviación de determinados metales y materias orgánicas.

<b><i>Recauchutado</i></b>	Término genérico aplicable al reacondicionamiento de un neumático usado mediante la sustitución de la banda de rodamiento desgastada con material nuevo. También puede referirse a la renovación de la superficie exterior de los flancos y la sustitución de las capas correa o del calzo protector.
<b><i>Reciclado criogénico de neumáticos</i></b>	Reciclado de neumáticos a baja temperatura utilizando nitrógeno líquido o refrigerantes comerciales para quebrar el caucho.
<b><i>Reciclado de neumáticos</i></b>	Todo proceso por el cual los neumáticos de desecho vuelven a ser procesados como productos, materiales o sustancial para cualquier fin. No incluye la recuperación de energía o el reprocesamiento en materiales que serán utilizados como combustible o en operaciones de rellenado.
<b><i>Recortes</i></b>	Resultado de procesos mecánicos mediante los cuales los neumáticos que han llegado al final de su vida útil son fragmentados, despedazados o desmenuzados en partes irregulares que suelen tener un tamaño mayor de 300 mm.
<b><i>Reducción a temperatura ambiente</i></b>	Reducción mecánica del tamaño realizada a temperatura ambiente o superior.
<b><i>Rellenado</i></b>	Operación en la que se utilizan desechos para rellenar espacios excavados con el fin de recuperar cuestas, para seguridad o como relleno en arquitectura del paisaje o en vertederos.
<b><i>Sistema de emisión de aire</i></b>	Todo sistema destinado a captar el flujo físico de gases o partículas dimanantes de procesos de producción o consumo a fin de eliminar contaminantes antes de la descarga a la atmósfera.
<b><i>Trituración</i></b>	Cualquier proceso mecánico (incluidas las opciones criogénicas) mediante el cual los neumáticos son fragmentados, desmenuzados o cortados en partes irregulares de cualquier dimensión de entre 20 a 400 mm. Por regla general, se entiende por "trituración primaria" el procesamiento de los neumáticos al final de su vida útil mediante trituración, compresión o fragmentación, mientras que paralelamente se mantiene en el material resultante una composición media general parecida a la de los neumáticos al final de su vida útil.
<b><i>Triturado</i></b>	Resultado de procesos mecánicos en los que los neumáticos al final de su vida útil son fragmentados, desmenuzados o destrozados en piezas irregulares que suelen tener un tamaño de entre 20 y 400 mm.

## I. Introducción

### A. Antecedentes y alcance

1. Las Partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación han analizado las dificultades que entrañan la selección y el manejo de neumáticos usados y de desecho, habida cuenta de sus posibles efectos perniciosos para la salud humana y el medio ambiente. En consecuencia, se prepararon directrices técnicas relativas a la selección y el manejo de neumáticos usados, que fueron aprobadas por la Conferencia de las Partes en el Convenio en su decisión V/26, cuya primera versión fue publicada en octubre de 2000 y reimpressa en noviembre de 2002.

2. En los siete años transcurridos desde la publicación de esas directrices, en muchos países se adquirieron conocimientos y experiencia complementarios en relación con el manejo de los neumáticos usados y de desecho, que hicieron que se prestara atención a aspectos tecnológicos, económicos y ambientales más amplios que los examinados en la versión original de las directrices. En consecuencia, la Conferencia de las Partes adoptó la decisión VIII/17 con el objeto de que se emprendiera una revisión y actualización de las directrices, de manera de ayudar a las autoridades nacionales encargadas del manejo ambientalmente racional de los neumáticos usados y de desecho en el territorio de sus países.

3. En las directrices técnicas revisadas se imparten orientaciones sobre el manejo ambientalmente racional de los neumáticos usados y de desecho de conformidad con las decisiones VIII/17, IX/14 y BC-10/6 de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea y VI/3 y VII/6 del Grupo de Trabajo de composición abierta del Convenio de Basilea.

### B. Propiedades generales de los neumáticos

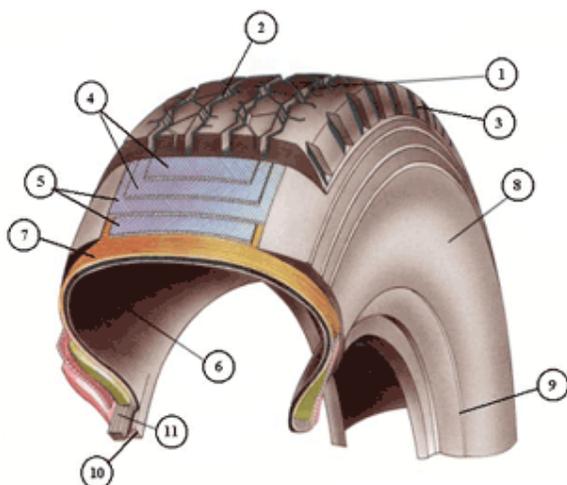
#### 1. Estructura: componentes de un neumático y definiciones de términos técnicos

4. Los componentes de los neumáticos son distintas partes, tipos de acero y compuestos de caucho. Las definiciones de esos componentes que figuran en las presentes directrices tienen por finalidad ofrecer información general a quienes participan en operaciones de manejo de neumáticos usados y de desecho. En las normas y reglamentos internacionales, incluidos los emitidos por la Comisión Económica para Europa, de las Naciones Unidas, relativos a los neumáticos nuevos figuran definiciones más pormenorizadas.

5. Además de los términos técnicos utilizados para facilitar a los consumidores la determinación de las características del neumático, en la figura I se señalan las distintas partes que componen un neumático.

Figura I

#### Componentes de un neumático



Notas:

1. Los tipos de estructura más comunes de un neumático son de banda diagonal (de trama cruzada), de capa sesgada y radial.
2. Casi el 80% de todos los neumáticos vendidos son radiales.

3. En el flanco del neumático se consigna información, distinta según la legislación nacional y el fabricante, que los compradores precisan para asegurarse de que los neumáticos que han adquirido son los que necesitan.

- a) La “**banda de rodamiento**” (1) es la parte del neumático que entra en contacto con el pavimento;
- b) La “**ranura de la banda de rodamiento**” (2) es el espacio que existe entre las bandas o bloques adyacentes del dibujo de la banda de rodamiento;
- c) El “**flanco**” (3) designa la parte del neumático situada entre la banda de rodamiento y la zona que queda cubierta por el borde de la llanta;
- d) La “**capa correa**” (4, 5) designa la capa de alambres paralelos recubiertos de caucho. En los neumáticos de estructura radial, su finalidad es la estabilidad del neumático;
- e) Los “**cables**” (6) son las cuerdas que forman el tejido de las capas en un neumático;
- f) La “**carcasa**” (7) designa la parte estructural de un neumático, no la banda de rodamiento, y el caucho exterior de las paredes, que cuando se infla soporta la carga;
- g) La “**anchura de sección**” (8) es la distancia lineal entre el exterior de los flancos de un neumático inflado, cuando se acopla a una llanta de un tamaño especificado, con exclusión de las elevaciones causadas por el etiquetado (marcado), los adornos o las bandas protectoras;
- h) El “**cinturón**” (9), en el caso de un neumático radial o cinturado, designa la capa o las capas de material o materiales que se encuentran debajo de la banda de rodamiento, que se montan fundamentalmente en la dirección de la línea central de la banda de rodamiento para restringir la dirección circunferencial de la carcasa;
- i) El “**talón**” (10) designa la parte del neumático que tiene una forma y estructura tal que se acopla a la llanta y mantiene al neumático sujeto a ella;
- j) La “**chapa anti rozamiento**” (11) designa el material que se coloca en el borde reforzado para evitar que la carcasa se recaliente o sufra abrasión de la llanta de la rueda.

## 2. Composición de un neumático

6. En el cuadro 1 se indica la composición de un neumático nuevo y en el cuadro 2 se señalan los materiales utilizados en su fabricación.

Cuadro 1

### Composición fundamental de los neumáticos de automóviles y camiones (en %)

Materiales	Automóviles (%)	Camiones (%)
<b>Caucho/elastómeros</b>	45	42
<b>Negro de humo y sílice</b>	23	24
<b>Metal</b>	16	25
<b>Material textil</b>	6	
<b>Óxido de zinc</b>	1	2
<b>Azufre</b>	1	1
<b>Aditivos</b>	8	

Fuente: *Automobile tyres: ETRMA- LCA<sup>1</sup> e información suministrada por fabricantes de neumáticos para camiones*

7. La diversidad de condiciones de servicio explica por qué los neumáticos de camiones contienen más caucho natural en proporción al caucho sintético que los neumáticos de automóviles.

1 “Lifecycle assessment of an average European car tyre”. Préconsult for ETRMA, 2001.

Cuadro 2  
Materiales utilizados en la fabricación de neumáticos

Material	Fuente	Aplicación
<b>Caucho natural</b>	El caucho natural se obtiene principalmente de la savia del árbol <i>Hevea brasiliensis</i> .	En sentido general, el caucho natural representa actualmente cerca del 30 al 40% de la parte elastomérica total del neumático de un automóvil y del 60 al 80% del de un camión.
<b>Caucho sintético</b>	Todos los cauchos sintéticos se fabrican a partir de petroquímicos.	En sentido general, el caucho sintético representa actualmente cerca del 60 al 70% de la parte elastomérica total del neumático de un automóvil y del 20 al 40% del de un camión.
<b>Cables de acero y talones, incluidos el material de revestimiento y los activadores, bronce/estaño/zinc.</b>	El acero es de primera calidad y se fabrica solo en determinadas plantas del mundo debido a sus elevados requisitos de alta calidad.	El acero se utiliza para aportar rigidez y resistencia a los neumáticos.
<b>Tejidos de refuerzo</b>	Poliéster, rayón o nylon	Se utilizan para aportar resistencia estructural a las carcasas de los neumáticos de automóvil.
<b>Negro de humo, sílice amorfa</b>	El negro de humo se obtiene de la fracción del petróleo. La sílice amorfa se obtiene del silicio y el carbonato de sodio y puede ser lo mismo natural que sintético.	El negro de humo y la sílice aportan durabilidad y resistencia al desgaste.
<b>Óxido de zinc</b>	El zinc es un mineral que se extrae de las minas. También se puede obtener del zinc reciclado que es sometido a un proceso de producción para obtener óxido de zinc.	El óxido de zinc se añade esencialmente como activador de la vulcanización. Tras la vulcanización se encuentra presente en los neumáticos en la forma de zinc combinado.
<b>Azufre (incluidos sus compuestos)</b>	Este mineral se extrae de minas, aunque también se obtiene a partir del gas o del petróleo.	Principal agente en la vulcanización
<b>Resorcinol Formaldehído</b>		Componentes de los sistemas adhesivos empleados para unir el caucho a las fibras textiles y mejorar la adhesión entre el caucho y el cinturón de acero bronceado.
<b>Aceites:</b> Aceite aromático, solvato de extracción suave (aceite aromático purificado, especial) aceite nafténico, extracto aromático destilado y tratado (aceite aromático purificado, especial), aceites parafínicos		
<b>Otros aditivos y disolventes:</b> Compuestos heterocíclicos, derivados de la fenilendiamina, estabilizadores fenólicos, sulfenamidas, derivados de la guanidina, tiazoles, Ditiofosfatos, tiuramas, ditiocarbamatos tioureas, otros	Fuentes sintéticas o naturales.	En los diversos compuestos del caucho se utilizan otros aditivos para modificar la manipulación, la fabricación y las propiedades del producto final. Polímeros estabilizadores, adyuvantes del tratamiento, aceleradores, agentes vulcanizadores, suavizantes y cargas.

Material	Fuente	Aplicación
<b>Caucho reciclado</b>	Recuperado de los neumáticos de desecho u otros productos de caucho.	Utilizado en algunos compuestos de caucho en la fabricación de nuevos productos de caucho y de materiales para recauchutado.

Fuente: *Adaptado de “A National Approach to Waste Tyres”, 2001, ETRMA, 2001, y “State of knowledge report for tire materials and tire wear particles”, ChemRisk Inc, 30 de julio de 2008.*

### 3. Propiedades físicas de los neumáticos

8. El peso de los neumáticos varía según su composición y uso. En el cuadro 3 se ofrece información sobre las tres categorías más comunes.

Cuadro 3

#### Peso medio de los neumáticos por tipo

Tipo de neumático	Peso medio (kg)	Unidades/tonelada
<b>Automóvil de pasajeros</b>	6,5–10	154
<b>Utilitarios (incluidos 4 x 4)</b>	11	91
<b>Camión</b>	52,5	19

Fuente: *Hylands y Shulman, 2003*

9. Según la industria del cemento alemana, el valor calorífico de los neumáticos usados durante la incineración conjunta con otros materiales es de 26 MJ/kg (VDZ 2008)<sup>2</sup>. Este valor se confirma en UBA (2006)<sup>3</sup>, donde el valor calorífico medio de los neumáticos usados como combustible secundario es de 25,83 MJ/kg.

10. En el cuadro 4 se ofrece información sobre el contenido energético y las emisiones de dióxido de carbono de diversos combustibles.

Cuadro 4

#### Contenido energético y emisiones de dióxido de carbono de los combustibles

Combustible	Energía (GJ/t)	Emisiones (kgCO <sub>2</sub> /t)	Emisiones (kgCO <sub>2</sub> /GJ)
<b>Neumáticos</b>	25–35	2,72	85
<b>Carbón</b>	27	2,43	90
<b>Coque de petróleo</b>	32,4	3,24	100
<b>Gasóleo</b>	46	3,22	70
<b>Gas natural</b>	39	1,989	51
<b>Madera</b>	10,2	1,122	110

Fuente: *Consejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible (WBCSD), 2005 – CO<sub>2</sub> Emission Factors of Fuels.*

11. El valor calorífico y otros parámetros dependen del origen de los neumáticos (automóvil/camión), el coeficiente de utilización (caucho remanente), el aspecto físico (triturado o no), y varía según el país y el fabricante.

12. Los neumáticos no se incendian espontáneamente y, por eso, no se clasifican como material inflamable de conformidad con las características H4.1 a 4.3 del anexo III del Convenio de Basilea. La labor llevada a cabo por el Building Research Establishment en el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte<sup>4</sup> utilizando balas de neumáticos arrojó los siguientes resultados:

a) La temperatura mínima de ignición fue de 182°C, cuando la temperatura se mantuvo en 182°C durante 65,4 días;

b) Se producirá la ignición espontánea casi inmediata solamente tras su exposición a una temperatura de 350°C durante cinco minutos o a una temperatura de 480°C durante un minuto.

2 VDZ (2008).

3 UBA (2006).

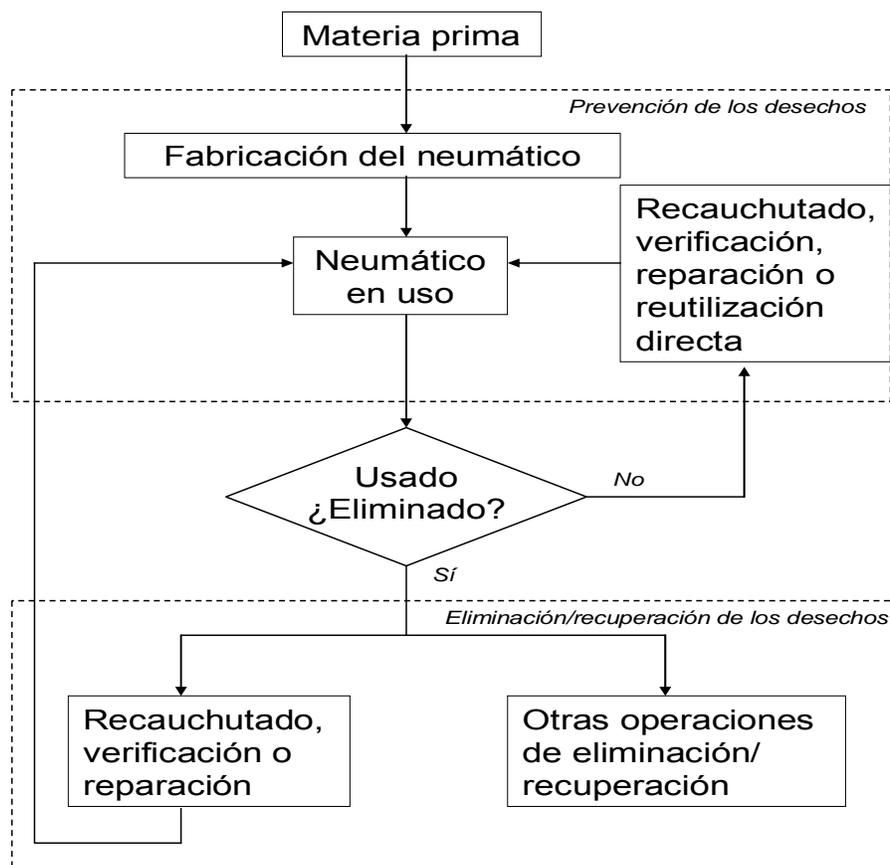
4 HR Wallingford (2005).

13. Sin embargo, no está de más señalar que los fenómenos naturales (como los relámpagos, si los neumáticos no han sido almacenados como es debido) y los actos humanos premeditados (por ejemplo, incendio provocado y globos térmicos) pueden producir condiciones que provoquen la combustión de los neumáticos. Tan pronto comienzan, esos incendios son difíciles de controlar debido al calor que se genera. En el apéndice III de las presentes directrices figura una lista de los incendios que se han registrado en las pilas de neumáticos de desecho.

### C. Etapas de la vida de un neumático

14. En la figura II se muestran las diversas etapas de la vida de un neumático, desde la adquisición de la materia prima hasta la fabricación, utilización y eliminación final. En particular, en la figura se muestra que el recauchutado puede tener lugar en la etapa de prevención, como medida de reutilización, o en la etapa de recuperación de desechos/eliminación final en la que los neumáticos eliminados podrían someterse al recauchutado u otro tipo de operaciones de eliminación ambientalmente racional, con lo que el proceso de recauchutado extendería la vida útil de los neumáticos en ambas etapas.

Figura II  
Etapas de la vida de un neumático



#### 1. Neumáticos usados

15. Algunos países permiten la reventa de neumáticos usados o parcialmente gastados para sus fines originales. Sin embargo, vale la pena señalar que, debido a los riesgos que entrañan, se debería poner sumo cuidado al adquirir neumáticos usados. Esos neumáticos podrían proceder de vehículos

que han sufrido un accidente, han tropezado con baches u otros obstáculos, han sido utilizados sin la calibración apropiada de la presión o han sido reparados incorrectamente.

16. Los neumáticos usados y parcialmente desgastados podrán ser reutilizados sin más tratamiento. Estos tipos de neumáticos son los siguientes:

- a) Los neumáticos adaptados para vehículos de segunda mano que se venden o se obtienen de vehículos desguazados;
- b) Los neumáticos viejos (anticuados) que se utilizan para aplicaciones de menos rigor;
- c) Los neumáticos que se intercambian por razones que no tienen que ver con el final de su vida útil, como el hecho de que el propietario del vehículo ha hecho colocar neumáticos de máxima calidad o ruedas nuevas.

17. El Reino Unido tiene una legislación que rige la venta y distribución de los neumáticos usados que forma parte del reglamento de seguridad de los neumáticos de vehículos de motor de 1994. Los requisitos para la venta y distribución de estos neumáticos son los siguientes:

- a) El neumático no deberá tener ningún corte mayor de 25 mm o del 10% del ancho de la sección medida en cualquier dirección en la parte externa del neumático ni suficientemente profunda como para que se vean las capas o los cables;
- b) El neumático no debe tener ningún abultamiento, protuberancia o rotura en el exterior resultante de una separación o defecto de su estructura;
- c) Ninguna parte de las capas o los cables del neumático debe estar expuesta por dentro o por fuera;
- d) Al ser inflado el neumático a la presión máxima en que deberá funcionar no deberá observarse ninguno de los defectos antes descritos;
- e) Debe ser claramente visible la base de todas las ranuras que se muestran en la banda de rodamiento original;
- f) Las ranuras de la banda de rodamiento original deben tener una profundidad de 2 mm por lo menos a todo lo ancho y alrededor de toda la circunferencia exterior del neumático.

18. Se están llevando a cabo estudios para dotar a los neumáticos con pastillas electrónicas denominadas dispositivos de identificación de radiofrecuencia que registran información acerca de las condiciones en que son utilizados. Si se puede demostrar su eficacia, esos dispositivos pueden resultar eficaces para determinar los parámetros correctos de reutilización de los neumáticos usados.

## **2. Neumáticos recauchutados**

19. Por “recauchutado” se entiende el remplazo de la superficie de desgaste del neumático. Se considera que el proceso de recauchutado es una forma de extender la vida útil de los neumáticos; también puede considerársele una medida de reutilización dentro de la jerarquía de gestión de desechos. En la sección E del capítulo III de las presentes directrices se incluye más información sobre tecnologías de recauchutado.

20. En los casos de recauchutado de neumáticos que han sido eliminados previamente, el recauchutado es una operación de recuperación de desechos. En los casos de recauchutado de neumáticos que no han sido eliminados, el recauchutado es una forma de prevención de desechos. En ambos casos, el recauchutado permite la reutilización de los neumáticos y prolonga su vida útil.

## **3. Neumáticos de desecho**

21. Los neumáticos de desecho pueden ser recauchutados para seguir usándose o recuperados en la forma de recortes, tiras o triturados para ser utilizados en diversas aplicaciones, como calzado, superficies de campos deportivos y alfombras. También se pueden utilizar en la forma de combustible derivado de neumáticos para recuperar energía.

## **D. Posibles riesgos para la salud y el medio ambiente**

22. Los componentes de un neumático no tienen propiedades peligrosas y por eso no son intrínsecamente peligrosos. No obstante, si se les manipula y elimina indebidamente, pueden entrañar riesgos para la salud pública y el medio ambiente.

23. Los neumáticos no son biodegradables porque no se ha podido determinar el tiempo que demoran en descomponerse. Los neumáticos usados son desechos que ocupan mucho espacio y son difíciles de compactar, acopiar y eliminar. Además del impacto visual, la eliminación inadecuada

puede bloquear los cauces de agua, los arroyos y los canales de descarga del agua de lluvia, con los consiguientes cambios en la configuración del flujo. Esos cambios pueden causar erosión y entarquinamiento de los cursos de agua, lo que contribuye al aumento de las inundaciones.

24. Dado que tienden a retener calor y tienen una estructura abierta, los neumáticos apilados aumentan el riesgo de que se produzcan incendios, ya sea intencionales o accidentales, como en el caso de la descarga de un relámpago puesto que, una vez que se incendian, es muy difícil controlarlos y extinguirlos. Los incendios de neumáticos pueden durar meses y generar humo, aceite y contaminantes tóxicos lixiviados que afectan el suelo, los cursos de agua y la atmósfera<sup>5</sup>. En los vertederos, los neumáticos ocupan un espacio valioso, constituyen un riesgo de incendios, no son biodegradables y suelen salir a la superficie, lo que crea una nueva serie de problemas de gestión de los vertederos<sup>6</sup>. Por este motivo, en la Unión Europea se ha prohibido la eliminación de neumáticos en vertederos<sup>7</sup>.

25. En el apéndice I figura información más detallada sobre los aspectos relacionados con la salud pública.

## 1. Riesgos para la salud pública

26. Si no se manejan en la debida forma, los neumáticos de desecho son el albergue ideal para roedores y criaderos de mosquitos que transmiten el dengue y la fiebre amarilla. Tal es el caso en particular en las regiones tropicales y subtropicales. La forma redonda de los neumáticos, junto con su impermeabilidad, les permite almacenar agua y otros residuos (por ejemplo, hojas en descomposición) durante período prolongados, lo que los hace el lugar ideal para criaderos de mosquitos. Se desconoce todavía su importancia relativa en comparación con otros criaderos, lo que puede depender de las condiciones del lugar. Cabe señalar que las larvas también se crían en otros contenedores creados por el hombre, como envases plásticos de alimentos, tinajas de barro, cilindros metálicos y cisternas de hormigón utilizadas para almacenar agua en los hogares.

27. Es probable que los neumáticos de desecho faciliten especialmente la propagación de las especies de mosquitos *Aedes aegypti* y *Aedes ablopietus*, los principales vectores del dengue y la fiebre amarilla, enfermedades que afligen a millones de personas en las regiones tropicales. En las regiones templadas predominan especies como el *Aedes triseriatus* y el *Aedes atropalpus*.

28. Al ser transportados, los neumáticos usados no solo propagan los mosquitos que de otra manera no llegarían tan lejos, sino que contribuyen también a la introducción de especies no autóctonas, que a menudo son más difíciles de controlar, lo que aumenta el riesgo de enfermedades. Se ha atribuido la rápida propagación de *Aedes ablopietus*, en particular, fundamentalmente al comercio internacional de neumáticos usados.

29. El *Aedes ablopietus* (mosquito tigre de Asia o mosquito de día de los bosques) fue introducido por primera vez en el sureste de los Estados Unidos de América a finales de los años ochenta mediante la importación de neumáticos usados de Asia. Se propagó rápidamente por rutas de transportación de norte a sur, ayudado por la circulación de mercancías y personas, y en algunas zonas ha desplazado a las especies autóctonas de mosquitos. El mosquito se ha detectado tan al norte como Chicago, pero no sobrevive a los inviernos del norte de los Estados Unidos. Nunca ha sido detectado en el Canadá<sup>8</sup>.

30. Estas pruebas demuestran de manera concluyente que la acumulación, el control y el transporte inapropiado de neumáticos usados y de desecho plantean un verdadero riesgo de que los mosquitos transmitan enfermedades. Las empresas que se dedican al transporte y el manejo deberán ser conscientes de esto y manipular los neumáticos de manera que se reduzca la propagación de enfermedades. En el apéndice I figura más información acerca de las enfermedades de que se trata y de las medidas que pueden adoptar las empresas.

31. En el capítulo 5 de la publicación de la Organización Mundial de la Salud: Dengue: guías para el diagnóstico, el tratamiento, la prevención y el control<sup>9</sup>, sobre vigilancia y lucha contra los vectores, se afirma que el medio más eficaz de luchar contra los vectores es el manejo ambientalmente racional, que incluye la planificación, organización, realización y supervisión de actividades para la modificación o manipulación de los factores ambientales con miras a prevenir o reducir la propagación

5 Health Protection Agency (Reino Unido), Chemical Hazard and Poisons Report 8 (2003) ("UK - Chemical Hazard Report").

6 Directiva 1999/31/CE.

7 La Directiva 1999/31/CE hace referencia al depósito de neumáticos en vertederos y respalda este párrafo.

8 Health Canada.

9 OMS, segunda edición. (1997).

de vectores y el contacto entre personas-vectores y patógenos. Un factor importante que contribuye a ese contacto es el hecho de que en las zonas urbanas no se suelen recoger los desechos y, en cambio, se les abandona cerca de lugares habitados. Además, la población suele utilizar los neumáticos usados para plantar flores, reforzar los techos y fabricar juguetes para los niños. Estos neumáticos se pueden convertir posteriormente en criaderos de mosquitos. En estos casos se propone rellenar, cubrir o acopiar los neumáticos para su reciclado o eliminación como medio de vigilancia y lucha contra los vectores. De esta manera se demuestra la importancia de sensibilizar y de contar con un sistema estable y funcional de acopiar y manipular los neumáticos.

## 2. Riesgos para el medio ambiente

32. El impacto ambiental de diversas tecnologías y métodos para tratar los neumáticos y para su eliminación ambientalmente racional se examina en la sección E del capítulo III de las presentes directrices. En esta sección general sobre los posibles riesgos para el medio ambiente relacionados con los neumáticos se analizan cuestiones más interrelacionadas sobre ecotoxicidad, lixiviación y posible impacto de los incendios no controlados. Las tecnologías de que se trata, los principales problemas ambientales relacionados con ellas y las maneras propuestas para evitarlos se examinan en el anexo de las presentes directrices.

### a) Ecotoxicidad

33. Resulta difícil evaluar la ecotoxicidad de los neumáticos usados y de desecho. La ecotoxicidad asociada a los neumáticos se relaciona con las partículas que produce el uso de los neumáticos, el vertimiento no controlado y las operaciones de eliminación. Las conclusiones de los diversos estudios con respecto a la toxicidad y los riesgos para la salud humana son muy variadas. Puesto que se ha detectado una amplia gama de sustancias en los neumáticos, son muchos los parámetros que inciden en los resultados de los estudios, por ejemplo, los tipos de neumático evaluados, las sustancias químicas analizadas y la metodología de evaluación. Persisten las lagunas en el conocimiento científico respecto de la ecotoxicidad de los neumáticos. Se presentan algunas conclusiones en los estudios que figuran a continuación.

34. En 1995, el Instituto Pasteur de Lille (Francia) llevó a cabo estudios sobre el uso de polvo de caucho extraído de carcasas de neumáticos (con algas *S. Capricornutum*, crustáceos *Daphnia magna* y peces *Brachydanio rerio*), de conformidad con las normas ISO 8692, 6341 y 7346 A de la Organización Internacional de Normalización. Asimismo, el Instituto Pasteur llevó a cabo un estudio complementario, esta vez en Lyon (Francia). Este estudio se denominó “*Determination of Acute Toxicity as per ISO11268/1 – Observing the effect of tyre powder rubber on a population of earthworm placed in a definite substratum*”. En ninguna de las pruebas se encontró toxicidad.

35. En 2003, los ensayos realizados por Birkholz en California<sup>10</sup> utilizando fragmentos de caucho obtenido de un vertedero de neumáticos indicaron toxicidad por bacterias, invertebrados, peces y algas verdes. Tres meses después se analizaron nuevas muestras que indicaron una reducción del 59% de los niveles de toxicidad detectados en los ensayos anteriores.

36. Además de la toxicidad aguda o a corto plazo, se deberán tener en cuenta los estudios a largo plazo. Las investigaciones a largo plazo indican que algunos tipos de neumáticos, por ejemplo los de alto contenido de aceites aromáticos, en condiciones específicas, pueden lixiviar importantes cantidades de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en el medio acuático<sup>11</sup>, lo que influirá, por ejemplo, en la dinámica de la población de ranas de los bosques<sup>12</sup>.

37. En 2005, Wik y Dave llevaron a cabo un estudio para investigar si podían emplearse las pruebas de toxicidad con *Daphnia magna* de conformidad con la norma ISO 6341 como prueba de selección para el etiquetado ambiental de los neumáticos de automóvil. La cuestión de fondo que se estaba examinando eran los posibles efectos tóxicos de las partículas producidas por el desgaste de los neumáticos en los organismos acuáticos (a diferencia de los estudios mencionados en el párrafo 33 sobre la lixiviación de sustancias químicas de los sistemas de césped artificial). En este estudio se midió la toxicidad para *Daphnia magna* de 12 neumáticos de automóvil elegidos al azar, en particular en relación con los aceites intensamente aromáticos. Se ralló el caucho de la banda de rodamiento de los neumáticos y se emplearon los pequeños fragmentos obtenidos para simular el material de desgaste de los neumáticos. Los resultados muestran que todos los neumáticos analizados en este estudio eran tóxicos para *Daphnia magna* al cabo de exposiciones de 24 y 48 horas y que la toxicidad puede variar en 2 órdenes de magnitud en función de la exposición a distintos neumáticos. Como esta variación se

10 California Integrated Waste Management Board (CIWMB), 2007.

11 Stephensen, Eiríkur y otros (2003).

12 Camponelli, Kimberly M. y otros (2009).

observó en 12 neumáticos seleccionados al azar, se prevé que la variación total entre todos los neumáticos del mercado sea considerablemente mayor. Se detectó una diferencia considerable en la toxicidad entre los neumáticos de verano y los de invierno<sup>13</sup>.

38. En estudios previos se ha señalado que las partículas de las bandas de rodamiento de los neumáticos son tóxicas para las especies acuáticas, pero son pocos los estudios en los que se ha evaluado la toxicidad de esas partículas usando sedimentos, que son el depósito más probable de partículas de desgaste de los neumáticos en el medio ambiente. En este estudio, se evaluó la toxicidad aguda de las partículas de desgaste de los neumáticos y las carreteras para *Pseudokirchneriella subcapita*, *Daphnia magna* y *Pimephales promelas* usando un elutriado de sedimentos (100, 500, 1.000 o 10.000 mg/l de partículas de desgaste de los neumáticos y las carreteras). En un ensayo efectuado en condiciones normalizadas de temperatura, no se observó respuesta a la concentración y los valores de EC/LC<sub>50</sub> fueron superiores a 10.000 mg/l. Se llevaron a cabo otros ensayos con *Daphnia magna* con y sin sedimento en elutriados recolectados en condiciones de alta temperatura para estimular la liberación de productos químicos de la matriz de caucho con el fin de conocer los factores ambientales que pueden influir en la toxicidad de las partículas de desgaste de los neumáticos y las carreteras. Solo se observó toxicidad para elutriados generados a partir de partículas de desgaste de los neumáticos y las carreteras lixiviadas en condiciones de altas temperaturas; el menor valor de EC/LC<sub>50</sub> fue de 5.000 mg/l. A fin de identificar posibles sustancias químicas tóxicas entre los componentes de los materiales lixiviados sometidos a altas temperaturas, se llevaron a cabo estudios de evaluación de la determinación de la toxicidad y análisis químicos del material lixiviado. Tanto en la evaluación de la determinación de la toxicidad como en los análisis químicos (cromatografía líquida/espectrometría de masas en tándem y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente) del material lixiviado se identificaron el zinc y la anilina como posibles sustancias tóxicas. Sin embargo, sobre la base de los valores de EC/LC<sub>50</sub> elevados y las condiciones limitadas en las cuales se observó la toxicidad, debería considerarse que las partículas de desgaste de los neumáticos y las carreteras son de bajo de riesgo para los ecosistemas acuáticos en condiciones de exposición aguda.

#### b) Lixiviación

39. El agua generada por el lixiviado de neumáticos puede contaminar el suelo, las aguas superficiales y las subterráneas en el lugar y las zonas aledañas. A partir de las publicaciones especializadas y su propia experiencia, el Ministerio de Medio Ambiente de Nueva Zelandia<sup>14</sup> estableció varios factores que pueden afectar la tasa de lixiviación o la concentración de compuestos del lixiviado de neumáticos en el suelo, las aguas superficiales y las subterráneas.

40. Otros estudios indican que la lixiviación de metales pesados y productos químicos orgánicos, como ftalatos e hidrocarburos aromáticos policíclicos a partir de los neumáticos reciclados que se utilizan como relleno en los terrenos de césped artificial se mantiene dentro de los límites establecidos en los Países Bajos para la calidad del suelo y de las aguas superficiales. La lixiviación de zinc es una excepción. El carbono y el nitrógeno orgánicos disueltos parecen disminuir con suma rapidez al principio y luego se minimizan de una manera que depende del tiempo y de la sustancia específica. Durante los ensayos, se hallaron concentraciones muy bajas de hidrocarburos aromáticos policíclicos de los gránulos a un nivel idéntico al de la muestra testigo (una capa de grava sin superficie), que corresponden a niveles de contaminación (en todas partes) a temperatura ambiente. En el apéndice II figura información sobre los trabajos de campo realizados para estudiar los lixiviados de neumáticos.

41. En tres estudios recientes se examinaron los aspectos ambientales del uso de gránulos de neumáticos como relleno de campos deportivos sintéticos<sup>15</sup>. En esos estudios se investigaron los elementos y sustancias químicas hallados en la composición de los materiales de relleno, y sobre todo, los materiales fabricados a partir de neumáticos usados. En la lista completa se incluyen 42 parámetros fisicoquímicos: cianuros totales, índice de fenol, hidrocarburos totales, 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos, carbono orgánico total, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Zn, fluoruros, nitratos, amonio, cloruros y sulfatos, pH y conductividad. En estos estudios se llegó a la conclusión de que los resultados fisicoquímicos de las infiltraciones mostraban un patrón cinético para sustancias potencialmente contaminantes, con independencia del tipo de gránulos utilizados en los ensayos in situ o en el laboratorio. Las trazas de sustancias o compuestos detectables en el análisis se disuelven desde la superficie y a partir de la matriz de polímeros de los gránulos en una concentración que disminuye con el tiempo. Las concentraciones de las distintas sustancias medidas, el carbono orgánico disuelto y el nitrógeno orgánico disminuyen al principio con gran rapidez, después se

13 Wik A, Dave G. (2005)

14 MWH (julio de 2004).

15 Aliapur et al. (2007).

minimizan lentamente de una manera que depende del tiempo y de la sustancia específica tanto en las pruebas con lisímetro como en los ensayos con fracciones eluidas. Según las investigaciones en curso, al cabo de un año de experimentos, los resultados de los 42 parámetros fisicoquímicos y los ensayos ecotoxicológicos demuestran que el agua que pasa por el césped artificial cuyo relleno consiste en elastómeros vírgenes granulados o gránulos de neumáticos usados probablemente no afecte los recursos hídricos en el corto y mediano plazos.

42. En el estudio llevado a cabo por Wik en 2007, se empleó un enfoque novedoso para identificar los componentes tóxicos lixiviados del caucho de neumáticos cuando entran en contacto con el agua. Se prepararon formulaciones de caucho que contenían distintos aditivos para neumáticos y se generaron lixiviados acuosos de esas muestras de caucho, que se ensayaron en *Daphnia magna* mediante una prueba de toxicidad normalizada. En las conclusiones de este estudio se demostró que la selección de aditivos químicos del caucho de neumáticos afecta en gran medida la toxicidad del material lixiviado y que eso debería tenerse en cuenta en futuras formulaciones de caucho para neumáticos a fin de reducir su posible impacto ambiental.

43. En cuanto a las evaluaciones del impacto a largo plazo del lixiviado de zinc del césped artificial, se dispone de información útil en tres estudios de INTRON efectuados en 2008 y 2009<sup>16</sup>. Uno de los estudios tenía por objeto determinar si el zinc lixiviado de los rellenos de caucho representaba un riesgo a largo plazo para el medio ambiente y también suponía un aumento de las liberaciones de zinc a causa del envejecimiento del caucho. El estudio fue realizado por SGS INTRON y examinado por Verschoor y Cleven del Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente (RIVM) de los Países Bajos. Los resultados del estudio indican que los sistemas deportivos que consisten en césped artificial con relleno de caucho, una subcapa de lava y una capa base de arena alcanzarán los valores límite del actual Decreto de los Países Bajos relativo a la calidad del suelo al cabo de más de 60 años y los sistemas deportivos que consisten solo en césped artificial con relleno de caucho y subcapa de lava, en 7 a 70 años. Los resultados de la vigilancia llevada a cabo en 2008 señalan que las concentraciones de zinc son reducidas, tanto en el agua de drenaje como en el agua de lluvia. No existe una diferencia sistemática entre la concentración de zinc en el agua de lluvia y la concentración de esa sustancia en el agua de drenaje. Sobre la base de las nuevas observaciones, INTRON llega a la conclusión de que, tras 7 años de uso, el zinc no penetra en las capas inferiores. Esa conclusión concuerda con los ensayos de laboratorio efectuados en el estudio de adsorción del zinc de 2009, en el que se actualizaron los cálculos sobre la base de la capacidad real de adsorción de la capa de arena, en lugar de emplearse el valor teórico usado en el estudio anterior. Al cabo de 7 años, tampoco hay pruebas de que el uso de rellenos de caucho plantee un riesgo en cuanto a la lixiviación del zinc y los resultados indican que durante el período de vida técnico (quince años) del césped sintético, con un manejo ambientalmente racional, el riesgo que representa la lixiviación del zinc para el medio ambiente es limitado.

44. Según las investigaciones en curso, al cabo de un año de experimentos, los resultados de los 42 parámetros fisicoquímicos señalados y de los ensayos ecotoxicológicos demostraron que el agua que pasaba por el césped artificial en la que el relleno era ya sea elastómeros vírgenes granulados o gránulos de neumáticos usados probablemente no afectasen los recursos hídricos a corto y mediano plazos<sup>17</sup>.

45. En algunas publicaciones sobre la posibilidad de que se lixivien sustancias químicas de los neumáticos usados se llegó a la conclusión de que el efecto de los neumáticos usados en el subsuelo de las carreteras o en las aguas superficiales en condiciones ambientales neutrales era insignificante respecto de la calidad de las aguas subterráneas y las aguas superficiales y el medio acuático<sup>18</sup>.

**c) Combustión al aire libre no controlada**

46. Los neumáticos no se incendian espontáneamente. Sin embargo, si se produce un incendio, ya sea provocado o accidental, la composición de la pila de neumáticos determinará la intensidad del incendio y su dirección. Los incendios que se producen en pilas de neumáticos enteros tienden a quemar hacia el centro de la pila, donde las bolsas de aire alimentan la combustión continua. Los incendios que se producen en pilas de neumáticos fragmentados o triturados tienden a extenderse por toda la superficie de la pila.

16 Informe de INTRON A845090/R20090029, "Adsorption of zinc to synthetic turf underlays", (2009)

17 Aliapur et al. (2007).

18 Literature Study on substances leached from shredded and whole tyres (publicado en junio de 2005 por la European Association of the Rubber Industry (BLIC)).

47. Durante el proceso de combustión se generan diversos productos de la descomposición, entre otros:

- a) Cenizas (que suelen contener carbono, óxido de zinc, dióxido de titanio, dióxido de silicio, cadmio, plomo y otros metales pesados);
- b) Compuestos de azufre;
- c) Hidrocarburos aromáticos policíclicos;
- d) Aceites aromáticos;
- e) Carbono y óxidos de nitrógeno;
- f) Partículas;
- g) Distintos hidrocarburos aromáticos de fracción ligera (como tolueno, xileno y benceno).

48. Son muchos los productos de la descomposición en los incendios y varían como función de los factores, como son:

- a) El tipo de neumático;
- b) La intensidad de la combustión;
- c) El tamaño de las pilas de neumáticos;
- d) La temperatura ambiente;
- e) La humedad.

49. Algunos productos de la descomposición en los incendios, en particular los resultantes de la combustión incompleta, son contaminantes orgánicos persistentes. Las normas de reducción o eliminación de las emisiones no intencionales de esas sustancias figuran en el artículo 5 y en el anexo C del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes.

50. En Francia, la asociación de fabricantes de caucho llevó a cabo algunos experimentos sobre el terreno para determinar la composición del humo de la combustión de neumáticos en los almacenes donde se encontraban tanto con rociadores como sin ellos.<sup>19</sup> En el cuadro 5 se describe la composición del humo.

---

<sup>19</sup> Incendie dans un entrepôt de stockage de pneumatiques équipé d'une installation sprinkler. Impact environnemental sur l'air et sur l'eau. SNCP 2007.

Cuadro 5

**Composición del humo de combustión de los neumáticos**

Componente	Producción en una instalación sin rociador (g/kg de neumático quemado)	Producción en una instalación con rociador (g/kg de neumático quemado)
<b>Dióxido de carbono</b>	1450	626
<b>Monóxido de carbono</b>	35	42
<b>Óxido nitroso</b>	0,9	0,75
<b>Óxido nítrico</b>	3,2	1,6
<b>Dióxido de azufre</b>	15	4
<b>Ácido cianhídrico</b>	4	0,6
<b>Ácido clorhídrico</b>	No detectado	2
<b>Total de materia orgánica sin quemar (incluidos el benceno y el tolueno, en equivalentes de tolueno)</b>	23	61
<b>Polvo</b>	285	20
<b>Metales (total), incluidos el aluminio y el zinc &gt;99%</b>	31,9	22,74
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (total)</b>	0,0633	0,093
<b>Bifenilos policlorados (total)</b>	$2,66 \times 10^{-4}$	$2,16 \times 10^{-5}$
<b>Dioxinas/furanos (total)</b>	$6,44 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-7}$
<b>Componentes buscados pero no detectados (por debajo del límite de detección en los análisis)</b>	Formaldehído, ácido clorhídrico, ácido hidrobromico, acroleína, amonio, estaño	Formaldehído, ácido hidrobromico, acroleína, amonio, estaño

51. Debido a la temperatura más baja, los fuegos controlados por rociadores emiten cantidades más elevadas de monóxido de carbono y de materia orgánica sin quemar. Las emisiones de otras sustancias son más bajas, especialmente de polvo, que es arrastrado del humo. Las concentraciones observadas de bifenilos policlorados y dioxinas y furanos por regla general son comparables con las observadas en el aire ambiente. Esto tal vez difiera para las grandes acumulaciones de neumáticos o los vertederos donde solo hay neumáticos.

52. Los incendios de neumáticos no controlados surten un importante efecto ambiental en el aire, el agua y el suelo.

**i) Contaminación atmosférica**

53. Los incendios de neumáticos al aire libre emiten humo negro, dióxido de carbono (que contribuye al efecto invernadero), compuestos orgánicos volátiles y contaminantes peligrosos, como hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, furanos, ácido clorhídrico, benceno, bifenilos policlorados, arsénico, cadmio, níquel, zinc, mercurio, cromo y vanadio<sup>20</sup>.

54. El lixiviado de esos contaminantes con agua de lluvia puede causar también la contaminación del suelo y el agua. Esto puede producirse mediante dos procesos atmosféricos conocidos como lavado (pequeñas partículas que se agrupan y son traídas por la lluvia) y arrastre producido por la lluvia (partículas más grande directamente afectadas por la lluvia).

**ii) Contaminación del agua**

55. Un millón de neumáticos consumidos por el fuego generarán unos 200.000 litros de aceite derramado, ya que la combustión de los neumáticos causa la pirólisis del caucho, lo que da por resultado desechos oleosos de la descomposición que son tanto sumamente contaminantes como inflamables. Además de los problemas causados por el aceite derramado, el agua puede arrastrar los desechos, si se la utiliza para extinguir el incendio o infiltrarlos en el suelo, y de esta manera llegan a las aguas subterráneas o las corrientes cercanas. Otros residuos de la combustión, como zinc, cadmio y plomo, también pueden ser arrastrados por el agua. También pueden estar presentes contaminantes

20 Reisman, Joel I. (1997).

como arsénico, benceno, mercurio, cobre, dioxinas, bifenilos policlorados e hidrocarburos aromáticos policíclicos.

iii) **Contaminación del suelo**

56. Los residuos que quedan en el suelo después de un incendio pueden causar la contaminación inmediata como resultado de los productos líquidos de la descomposición que penetran en el suelo o de la contaminación gradual resultante del lixiviado de cenizas y otros residuos sin quemar. Ambas son causadas fundamentalmente por las lluvias y la penetración del agua en el lugar.

## II. Disposiciones pertinentes del Convenio de Basilea

### A. Disposiciones generales

57. El Convenio de Basilea, que entró en vigor el 5 de mayo de 1992, estipula que solo se permitirán los movimientos transfronterizos de desechos (exportación, importación o tránsito) cuando el propio movimiento y la eliminación de los desechos peligrosos u otros desechos se lleve a cabo de forma ambientalmente racional.

58. En el párrafo 1 de su artículo 2 (“Definiciones”), el Convenio de Basilea dispone que se entenderá por desechos “las sustancias u objetos a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional”. En el párrafo 4, se entiende por eliminación “cualquiera de las operaciones especificadas en el anexo IV” del Convenio. En el párrafo 8, se entiende por manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos o de otros desechos “la adopción de todas las medidas posibles para garantizar que los desechos peligrosos y otros desechos se manejen de manera que queden protegidos el medio ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos que pueden derivarse de tales desechos”.

59. En el párrafo 1 del artículo 4 (“Obligaciones generales”), se establece el procedimiento de eliminación, con arreglo al cual las partes que ejercen su derecho a prohibir la importación de desechos peligrosos u otros desechos informarán a las demás partes acerca de su decisión. En el apartado a) del párrafo 1 se dispone que: “Las Partes que ejerzan su derecho a prohibir la importación de desechos peligrosos y otros desechos para su eliminación, comunicarán a las demás Partes su decisión de conformidad con el artículo 13”. En el apartado b) del párrafo 1 se estipula lo siguiente: “Las Partes prohibirán o no permitirán la exportación de desechos peligrosos y otros desechos a las Partes que hayan prohibido la importación de esos desechos, cuando dicha prohibición se les haya comunicado de conformidad con el apartado a) del presente artículo”.

60. En los apartados a) a e) y g) del párrafo 2 del artículo 4 figuran las principales disposiciones del Convenio de Basilea relativas al manejo ambientalmente racional, la minimización de los desechos y las prácticas de eliminación de los desechos que mitigan los efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente. Esas disposiciones estipulan que:

Cada Parte tomará las medidas apropiadas para:

- a) Reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos en ella, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos;
- b) Establecer instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, cualquiera que sea el lugar donde se efectúa su eliminación que, en la medida de lo posible, estará situado dentro de ella;
- c) Velar por que las personas que participen en el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos dentro de ella adopten las medidas necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a una contaminación y, en caso de que se produzca ésta, para reducir al mínimo sus consecuencias sobre la salud humana y el medio ambiente;
- d) Velar por que el movimiento transfronterizo de los desechos peligrosos y otros desechos se reduzca al mínimo compatible con un manejo ambientalmente racional y eficiente de esos desechos, y que se lleve a cabo de forma que se protejan la salud humana y el medio ambiente de los efectos nocivos que puedan derivarse de ese movimiento.
- e) No permitir la exportación de desechos peligrosos y otros desechos a un Estado o grupo de Estados pertenecientes a una organización de integración económica y/o política que sean Partes, particularmente a países en desarrollo, que hayan prohibido en su legislación todas las importaciones, o si tiene razones para creer que tales desechos no serán sometidos a un manejo ambientalmente racional, de conformidad con los criterios que adopten las Partes en su primera reunión;

- g) Impedir la importación de desechos peligrosos y otros desechos si tiene razones para creer que tales desechos no serán sometidos a un manejo ambientalmente racional.

## B. Disposiciones que atañen a los neumáticos

61. En el artículo 1 (Alcance del Convenio) se definen los tipos de desechos que son objeto del Convenio. En el apartado a) de ese párrafo se establece un proceso en dos etapas para determinar si se trata de desechos peligrosos a los efectos del Convenio: primero, los desechos deben pertenecer a cualquiera de las categorías del anexo I del Convenio (Categorías de desechos que hay que controlar), y segundo, los desechos deben poseer por lo menos una de las características descritas en el anexo III del Convenio (Lista de características peligrosas).

62. Un elemento importante es que la definición de desechos peligrosos (y otros residuos) establecida en el Convenio no reviste carácter vinculante para las partes. Cada parte tiene libertad para decidir si considera que determinados desechos son “peligrosos” a los efectos del Convenio, de conformidad con su legislación nacional. En ese caso, el país tiene que comunicar a la Secretaría las disposiciones de su legislación nacional, para que ésta a su vez notifique a las demás partes en el Convenio que el movimiento transfronterizo de esos desechos está prohibido.

63. Los neumáticos propiamente dichos no se pueden clasificar en ninguna categoría de corrientes de desechos incluidas en la primera parte del anexo I del Convenio (categorías Y1 a Y18), aunque contengan elementos o compuestos incluidos en ese anexo. Estos están incorporados en el compuesto de caucho o pueden estar presentes como elemento de una aleación; se indican en el cuadro 6.

Cuadro 6

### Elementos del anexo I contenidos en los neumáticos

Categoría del Convenio	Nombre del producto químico	Observaciones	Contenido (% del peso)	Contenido* (kg)	Aplicabilidad del anexo III
Y22	Compuestos de cobre	Aleación constitutiva del material metálico de refuerzo (cable de acero)	Aprox. 0,02	Aprox. 0,14 g	Parte de acero: en forma metálica no dispersable como se indica en la entrada B1010 del anexo IX. Que no tenga ninguna de las características señaladas en el anexo III
Y23	Compuestos de zinc	Óxido de zinc retenido en la matriz del caucho	Aprox. 1	Aprox. 70 g	Ningún neumático presenta ninguna de las características H1 a H12 del anexo III. La H13 solo se evalúa en cuanto a una lixiviación de zinc que no exceda los límites (véase el capítulo III)
Y26	Cadmio	En trazas, como compuestos del cadmio presentes en el óxido de zinc	Máx. 0,001	Máx. 0,07 g	En cantidad que no aporte al desecho ninguna de las características señaladas en el anexo III

Categoría del Convenio	Nombre del producto químico	Observaciones	Contenido (% del peso)	Contenido* (kg)	Aplicabilidad del anexo III
Y31	Compuestos de plomo	En trazas, como sustancia presente en el óxido de zinc	Máx. 0,005	Máx. 0,35 g	En cantidad que no aporte al desecho ninguna de las características señaladas en el anexo III
Y34	Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida	Ácido esteárico en forma sólida	Aprox. 0,3	Aprox. 21 g	Su acidez es sumamente baja por ser grasa natural y no es clasificable como ácido peligroso según la categoría Y34 del anexo I
Y45	Compuestos organohalogenados, que no sean las sustancias mencionadas en el anexo del Convenio de Basilea	Caucho de butilo halogenado	Contenido de halógenos Máx. 0,10	Contenido de halógenos Máx. 7 g	Que no tenga ninguna de las características señaladas en el anexo III

64. Se supone que los desechos incluidos en el anexo I del Convenio exhiben una o varias de las características peligrosas del anexo III, que pueden incluir H11 “Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos)”, H12 “Ecotóxicos” y H6.1 “Tóxicos (venenos) agudos”, a menos que, por medio de ensayos nacionales, se pueda demostrar que no tienen esas características. Los ensayos nacionales pueden ser útiles para detectar una característica peligrosa en particular incluida en el anexo III hasta el momento en que se defina plenamente la característica peligrosa. En estos momentos se están redactando los documentos de orientación para cada característica peligrosa del anexo III conforme al Convenio.

65. La lista A del anexo VIII del Convenio describe los desechos que se “caracterizan como peligrosos en el apartado a) del párrafo 1 del artículo 1 del Convenio” aunque la “inclusión de un desecho en el anexo VIII no obsta para que se use el anexo III (características peligrosas) para demostrar que un desecho no es peligroso” (anexo I, párrafo b)). En la lista B del anexo IX se incluyen desechos que “no estarán sujetos a lo dispuesto en el apartado a) del párrafo 1 del artículo 1 del Convenio, a menos que contengan materiales incluidos en el anexo I en cantidad tal que les confiera una de las características del anexo III”.

66. Como se establece en el apartado b) del párrafo 1 del artículo 1, también están sujetos al Convenio los “desechos no incluidos en el apartado a), pero definidos o considerados peligrosos por la legislación interna de la Parte que sea Estado de exportación, de importación o de tránsito”.

67. El asiento B3140 del anexo IX se refiere a los neumáticos de desecho, con exclusión de los destinados a operaciones enumeradas en el anexo IVA. Algunos países han prohibido la importación de neumáticos usados y de desecho.

### III. Orientación sobre el manejo ambientalmente racional

#### A. Consideraciones generales

68. Actualmente, el manejo ambientalmente racional es un concepto amplio de políticas que no tiene una definición clara y universal. Sin embargo, las disposiciones relativas al manejo ambientalmente racional de los neumáticos usados y de desecho en el marco del Convenio de Basilea y los elementos básicos de la calidad de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) (que se analizan en los tres apartados siguientes) brindan una orientación a nivel internacional que respalda las medidas en materia de manejo ambientalmente racional que se están aplicando en diversos países y sectores industriales.

## 1. Convenio de Basilea

69. En el párrafo 8 del artículo 2 (“Definiciones) del Convenio de Basilea, se define el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos o de otros desechos como “la adopción de todas las medidas posibles para garantizar que los desechos peligrosos y otros desechos se manejen de manera que queden protegidos el medio ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos que pueden derivarse de tales desechos”.

70. En el párrafo 2 b) del artículo 4 (“Obligaciones generales”), se exige que cada Parte adopte las medidas adecuadas para “Establecer instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, cualquiera que sea el lugar donde se efectúa su eliminación que, en la medida de lo posible, estará situado dentro de ella”, mientras que en el párrafo 2 c) se pide a cada Parte que vele “por que las personas que participen en el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos dentro de ella adopten las medidas necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a una contaminación y, en caso de que se produzca ésta, para reducir al mínimo sus consecuencias sobre la salud humana y el medio ambiente”.

71. En el párrafo 8 del artículo 4, el Convenio dispone que “se exigirá que los desechos peligrosos y otros desechos, que se vayan a exportar, sean manejados de manera ambientalmente racional en el Estado de importación y en los demás lugares”. La finalidad de las presentes directrices es proporcionar una definición más precisa del manejo ambientalmente racional en el contexto de los neumáticos usados y de desecho, incluido el tratamiento y los métodos de eliminación apropiados.

72. El Documento marco de 1994 sobre la preparación de directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de los desechos sujetos al Convenio de Basilea establece los principios utilizados en los países en sus estrategias de gestión de desechos, entre los que cabe señalar los siguientes:

a) *Principio de reducción de la fuente*: la generación de desechos se minimizaría tanto en cantidad como en su potencial de causar contaminación. Esto se puede lograr mediante los procesos y las instalaciones pertinentes;

b) *Principio del ciclo de vida integrado*: las sustancias y los productos deberían manejarse de manera tal que durante su producción, utilización, reutilización y eliminación causen un efecto ambiental mínimo;

c) *Principio de precaución*: se deberían adoptar medidas preventivas, considerando los costos y los beneficios, de la acción y la inacción, cuando haya fundamento científico, aunque sea limitado, para considerar que la emisión de sustancias, desechos y energía al entorno podría causar daños a la salud humana y al medio ambiente;

d) *Principio de proximidad*: la eliminación de desechos peligrosos se debería llevar a cabo lo más cerca posible de las fuentes de origen, y se debería reconocer que la gestión ambiental y económicamente racional de algunos de esos desechos podrían llevarse a cabo en instalaciones de eliminación situadas lejos de sus fuentes de origen;

e) *Principio de movimientos transfronterizos mínimos*: el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos debería reducirse a un mínimo que esté acorde con el manejo ambientalmente racional y eficaz;

f) *Principio del que contamina paga*: los posibles contaminadores deberían adoptar medidas para evitar la contaminación y los que contaminen deberían pagar para resolver los problemas creados por la contaminación;

g) *Principio de soberanía*: cada país debería tomar en consideración sus propias condiciones políticas, sociales y económicas al establecer una política nacional de manejo de los desechos. Por ejemplo, los países podrán prohibir la importación de desechos peligrosos conforme a su legislación sobre el medio ambiente;

73. En las presentes directrices, se considera “eliminación” cualquiera de las operaciones especificadas en el anexo IV del Convenio de Basilea, que se incluye también en su texto en el artículo (“Definiciones”), que incluye las secciones A y B. Cabe señalar que en algunos países se utilizan otras definiciones, como la de “eliminación” para las operaciones propiamente dichas y “recuperación” para operaciones de recuperación, reciclado, regeneración, reutilización directa o uso alternativo.

74. En las presentes directrices no figura el término “ciclo completo de reciclado” como posible operación de eliminación, debido a que, en el caso de los neumáticos, es imposible transformar los materiales de un neumático usado en uno nuevo, ya que a diferencia del papel, los metales, el plástico y el vidrio, de los neumáticos no se pueden obtener materiales que tengan propiedades análogas a las

de los materiales originales utilizados en la producción. Los materiales de caucho utilizados en los neumáticos poseen cualidades específicas que son bastante complejas, con el fin de optimizar la tracción en pavimentos secos y húmedos y asegurar una vida prolongada y útil, poca resistencia a la rodadura, fácil manipulación y gran calidad a un costo relativamente bajo. Es lamentable que los productos reciclados de que se dispone actualmente no son de mejor calidad y resultan más costosos. Con los neumáticos de automóviles hay efectos que van en detrimento de la durabilidad y la resistencia a la rodadura en particular (relacionados con el consumo de combustible). Por esa razón, es inevitable que la cantidad de estos materiales reciclados después del consumo sea muy poca<sup>21</sup>.

75. En el Documento marco de 1994 antes mencionado se establecen varios principios fundamentales relativos al manejo ambientalmente racional de los desechos. Para lograr el manejo ambientalmente racional de desechos, en el documento marco se recomienda que se cumplan algunas condiciones jurídicas, institucionales y técnicas (criterios del manejo ambientalmente racional), en particular, que:

- a) Una infraestructura de reglamentación y aplicación obligatoria asegure el cumplimiento de las normas correspondientes;
- b) Los emplazamientos o las instalaciones cuenten con una autorización y aplican la norma adecuada de tecnología y control de la contaminación para manipular los desechos peligrosos en la forma prevista, en particular teniendo en cuenta el nivel tecnológico y de control de la contaminación en el país exportador;
- c) Los operadores de los emplazamientos o las instalaciones en las que se manejan desechos peligrosos, según proceda, vigilen los efectos de esas actividades;
- d) Se adopten las medidas apropiadas en casos en que la vigilancia indica que debido al manejo de desechos peligrosos se han producido descargas inadmisibles;
- e) Las personas encargadas del manejo de los desechos peligrosos estén capacitadas para ello y hayan recibido la debida formación para hacerlo.

76. El manejo ambientalmente racional es también el tema de la Declaración de Basilea sobre el manejo ambientalmente racional de 1999, que fue aprobada por la Conferencia de las Partes en el Convenio en su quinta reunión. En la declaración se pide a las partes que incrementen e intensifiquen sus esfuerzos y su cooperación para lograr el manejo ambientalmente racional, incluida la prevención, minimización, reciclado, recuperación y eliminación de desechos peligrosos y otros desechos con sujeción a lo dispuesto a la Convención, teniendo en cuenta consideraciones sociales, tecnológicas y económicas; y mediante la constante reducción de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos sujetos al Convenio.

77. La declaración establece que algunas actividades deberían llevarse a cabo en este contexto, en particular:

- a) La determinación y cuantificación de los tipos de desechos que se producen a nivel nacional;
- b) El enfoque de mejores prácticas para evitar o minimizar la generación de desechos peligrosos y reducir su toxicidad, como el uso de métodos o procedimientos de producción menos contaminantes;
- c) La asignación de sitios o instalaciones autorizadas como ambientalmente racionales para el manejo de los desechos, en particular, los peligrosos.

## 2. Elementos básicos de la calidad del manejo ambientalmente racional de los desechos

78. En mayo de 2004, el Consejo de la OCDE aprobó la recomendación C (2004)100<sup>22</sup> sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos. Según esta recomendación, las instalaciones para el manejo de los desechos, que incluyen las plantas de recuperación, en el marco de las leyes, los reglamentos y las prácticas administrativas de los países en las que funcionan y tomando en consideración los acuerdos, principios, objetivos y normas internacionales aplicables, deberían tener debidamente en cuenta la necesidad de proteger el medio ambiente, la salud pública y la seguridad y, en general, llevar adelante sus actividades de manera que contribuya a los objetivos más amplios del desarrollo sostenible. Teniendo en cuenta, en particular, el tamaño de las empresas, especialmente la

21 California Environmental Protection Agency (Estados Unidos), "Integrated Waste Management Board, Increasing the Recycled Content in New Tyres 21" (2004).

22 OCDE (2004).

situación de las empresas pequeñas y medianas, el tipo y la cantidad de desechos, la naturaleza de la operación y la legislación interna, como parte de los requisitos básicos de calidad, las plantas de tratamiento de desechos deberían:

- a) Contar con un sistema de manejo ambientalmente racional aplicable;
- b) Adoptar medidas suficientes que permitan salvaguardar la salud y la seguridad ocupacional y ambiental;
- c) Contar con un programa adecuado de vigilancia, registro y presentación de informes;
- d) Contar con un programa acertado y adecuado de formación del personal;
- e) Tener un plan adecuado para situaciones de emergencia;
- f) Tener un plan adecuado para el cierre y las actividades posteriores al cierre.

Si necesita más información, puede encontrarla en el manual de orientación para la aplicación de la recomendación<sup>23</sup>, que incluye los elementos básicos de calidad.

## **B. Marco legislativo y reglamentario**

79. Las Partes en el Convenio deberían examinar los controles, las normas y los procedimientos nacionales para asegurarse de cumplir íntegramente con las obligaciones que han contraído en virtud del Convenio, incluidas las relativas al movimiento transfronterizo y al manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho.

80. La aplicación de la legislación debería otorgar a los gobiernos la facultad de promulgar normas y reglamentos específicos, de inspeccionar y de aplicarlas, y de establecer sanciones en caso de violación. En la legislación se podría definir el manejo ambientalmente racional y exigir la adhesión a esos principios, lo que aseguraría que los países cumplieran las disposiciones del manejo ambientalmente racional de neumáticos usados, lo que incluye su eliminación ambientalmente racional, como se explica en las presentes directrices.

### **1. Requisitos relativos a los movimientos transfronterizos**

81. En la medida en que sea compatible con el manejo ambientalmente racional, los desechos peligrosos y otros desechos deberían ser eliminados en el país en el que fueron generados. Solo se permitirán los movimientos transfronterizos de esos desechos cuando:

- a) Se realicen en condiciones que no pongan en peligro la salud humana y el medio ambiente;
- b) Las exportaciones se manejan de manera ambientalmente racional en el país de importación u otro país;
- c) El país de exportación no cuenta con la capacidad técnica ni las instalaciones necesarias para la eliminación de los desechos de que se trate de una manera ambientalmente racional y con eficacia;
- d) Los desechos de que se trata se requieren como materia prima para las industrias de reciclado o recuperación en el país de importación; o
- e) Esos movimientos transfronterizos se ajustan a los demás criterios que hayan decidido las partes.

82. De conformidad con el artículo 6 del Convenio, todo movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y otros desechos están sujetos a la notificación previa por escrito del país exportador y al consentimiento previo por escrito del país importador y, procede, de los países de tránsito. Las partes prohibirán la exportación de desechos peligrosos y otros desechos si el país importador prohíbe su importación. En el Convenio se estipula también que la información relativa a cualquier movimiento transfronterizo propuesto se proporcionará utilizando el formulario de notificación aprobado y que el embarque aprobado vaya acompañado de un documento relativo a ese movimiento desde el lugar donde comience el movimiento transfronterizo hasta su destino final. Además, los desechos peligrosos

y otros desechos objeto de movimientos transfronterizos deberán ser empacados, etiquetados y transportados de conformidad con las normas y reglamentos internacionales<sup>24</sup>.

83. Cuando no se pueda completar el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos u otros desechos para el cual los países interesados han dado su consentimiento, el país de exportación velará por que los desechos de que se trate sean admitidos nuevamente en el país para ser eliminados si no se pueden lograr otros arreglos. En el caso de tráfico ilícito (según la definición que figura en el párrafo 1 del artículo 9), el país de exportación velará por que los desechos de que se trate sean admitidos nuevamente en el país para ser eliminados o se eliminen según lo dispuesto en el Convenio.

84. No se permitirán movimientos transfronterizos de desechos peligrosos u otros desechos entre una parte en el Convenio y un país que no sea parte a menos que exista un acuerdo bilateral, multilateral o regional, como se exige en el artículo 11 del Convenio.

### C. Criterios para el manejo de neumáticos usados y de desecho

85. Si bien los neumáticos son artículos de consumo que en la actualidad son esenciales para la economía de cualquier país, su eliminación inapropiada puede afectar al medio ambiente y a la salud humana. Dado que la generación de desechos es inevitable, es fundamental que se establezcan sistemas de manejo racional para minimizar la generación de desechos al tiempo que se maximiza su reutilización y reciclado, así como la recuperación de energía y de materiales de los neumáticos de desecho.

#### 1. Consideraciones generales

86. El Convenio de Basilea obliga a las partes a velar por el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos. En este sentido, el principio rector generalmente aceptado para garantizar un sistema de manejo de los desechos más sostenible es la jerarquía de prácticas de manejo de los desechos, que atribuye prioridad a la prevención y reutilización de los desechos y luego al reciclado y otras operaciones de recuperación, en lugar de a la eliminación. La jerarquía de manejo de desechos, que se ilustra a continuación en la Figura III, debería aplicarse como prioridad en la legislación y las políticas relativas a la prevención y el manejo de los desechos para evitar efectos no deseados en el medio ambiente y la salud humana.

Figura III

**Jerarquía de manejo de neumáticos usados y de desecho**



87. Las medidas de prevención y minimización se presentan en la sección D del capítulo III. La reutilización se trata en la sección C del capítulo I y en esta misma sección, entre otras. La eliminación ambientalmente racional se presenta en la sección E del mismo capítulo y se puede agrupar en las siguientes categorías:

- a) Recauchutado;

<sup>24</sup> En este sentido, se deberán utilizar las Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el transporte de mercancías peligrosas (Reglamento Modelo) (CEPE, 2003a – véase el anexo V, Bibliografía) o versiones posteriores.

- b) Reciclado ambiente/criogénico;
- c) Regeneración/desvulcanización (proceso químico);
- d) Productos industriales y para el consumo;
- e) Ingeniería civil;
- f) Pirólisis;
- g) Coprocesamiento;
- h) Coincineración.

88. Todos los demás procesos que existen para la eliminación de neumáticos usados y de desecho deben ser evaluados, debido a que podrían generar efectos ambientales negativos y, por consiguiente, no puede considerarse que sean ambientalmente racionales.

## 2. Sistemas de manejo ambiental

89. Un sistema de manejo ambiental consiste en una serie de procesos y prácticas que permiten a las organizaciones reducir su impacto ambiental e incrementar su eficiencia operativa. Es una herramienta para mejorar el comportamiento ambiental y comprende el organigrama, la planificación y los recursos para formular, aplicar y mantener una política de protección ambiental. Estos sistemas permiten que las organizaciones respondan de forma coherente a los problemas ambientales a través de la asignación de recursos y responsabilidades y la evaluación permanente de las prácticas, procedimientos y procesos. En muchos casos, la introducción de estos sistemas permite reducir costos y disminuir la responsabilidad ambiental.

## 3. Sistemas nacionales de manejo de neumáticos usados y de desecho

90. Los sistemas que se utilizan para el manejo de neumáticos usados y de desecho se describen a continuación. En el cuadro 7 se indican los sistemas de gestión que utilizan algunos países para el manejo de neumáticos usados y de desecho.

### a) Sistema basado en la responsabilidad del productor

91. La “responsabilidad ampliada de los productores” se define como un enfoque de la política ambiental según el cual la responsabilidad del productor se amplía hasta la etapa posterior al consumo del ciclo de vida de un producto. Se considera “productor” al propietario de la marca o importador, salvo en casos tales como el empaque y en situaciones en las que no está claramente identificado el propietario de la marca; por ejemplo, en los productos electrónicos, se considera productor al fabricante (e importador) (OCDE, 2001a). Los programas de responsabilidad ampliada de los productores hacen recaer en el productor que coloca el producto en el mercado por primera vez la responsabilidad de la gestión de los productos al final de su vida útil y no en los gobiernos municipales, y prevén incentivos para que los productores incorporen consideraciones ambientales en el diseño de sus productos de manera que los costos ambientales del tratamiento y la eliminación se incorporen en el costo del producto. La responsabilidad ampliada de los productores se puede imponer mediante procedimientos obligatorios, negociados o voluntarios. Los programas de recogida y devolución pueden formar parte de los programas de responsabilidad ampliada de los productores (véase sección b)).

92. Según su diseño, los programas de responsabilidad ampliada de los productores pueden lograr algunos objetivos: 1) aliviar al gobierno local de la carga financiera y, en algunos casos, operacional de la eliminación de los desechos, productos o materiales; 2) alentar a las empresas a diseñar productos con miras a su posible reutilización, reciclado y a la reducción de los materiales (tanto en cuanto a la cantidad como a la peligrosidad); 3) incorporar los gastos de manejo de los desechos en el precio del producto; 4) promover la innovación en la tecnología de reciclado. Esto promueve un mercado que refleja los efectos ambientales de los productos (OCDE 2001a). En varias publicaciones de la OCDE se pueden consultar descripciones pormenorizadas de planes de responsabilidad ampliada de los productores.

93. Las autoridades ambientales deberían elaborar marcos reglamentarios donde se establezcan las responsabilidades de los interesados directos, las normas sobre el contenido de mercurio y el manejo de productos y los componentes de los programas de responsabilidad ampliada de los productores a fin de alentar la participación de las Partes pertinentes y el público en general. Asimismo, deberían asumir la responsabilidad de vigilar los resultados prácticos de los programas de responsabilidad ampliada de los productores (por ejemplo, cantidad de desechos recogidos, cantidad de mercurio recuperado y costos acumulados de la recogida, el reciclado y el almacenamiento) y de recomendar los cambios que sean necesarios. La responsabilidad debería recaer en todos los productores de los productos

examinados. No se deberá permitir que existan beneficiarios parásitos (productores que no asumen la responsabilidad que les corresponde), ya que eso obliga a otros productores a asumir costos que son desproporcionados respecto de la parte que corresponde a sus productos en el mercado.

**b) Sistema basado en la recaudación de impuestos**

94. Con este sistema, los productores o consumidores pagan impuestos al gobierno. El Estado tiene entonces la responsabilidad de organizar un sistema encargado de recoger y eliminar los neumáticos de desecho, que se pone en funcionamiento, por ejemplo, contratando a empresas que se sufragan con cargo a los fondos recaudados en concepto de impuestos.

95. A modo de ejemplo, en los Estados Unidos, los organismos de los distintos estados y no el gobierno federal, son los encargados de reglamentar el manejo de los neumáticos. La mayoría de los estados cobrar un impuesto al consumidor por la venta de neumáticos que apoya la gestión estatal de los neumáticos de desecho. Algunos estados gastan sumas considerables en ejecutar programas sobre neumáticos de desecho, mientras que son contados los Estados que dejan que el libre mercado se encargue de recoger y, finalmente, eliminar los neumáticos de desecho.

**c) Sistema basado en el libre mercado**

96. En un sistema basado en el libre mercado, el último propietario del neumático es el responsable de su eliminación o recuperación. Además, la legislación puede definir los objetivos que se han de alcanzar y no especificar quién es el encargado del proceso. De esta manera, todos los que participan en la cadena tienen libertad para contratar según las condiciones de mercado, al tiempo que procuran cumplir la legislación.

Cuadro 7

**Sistemas de gestión de la recolección y clasificación de los neumáticos adoptados por distintos países**

Sistema basado en la responsabilidad del productor	Sistema basado en la recaudación de impuestos	Sistema basado en el libre mercado
Europa (Bélgica, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Italia, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, República Checa, Rumania, Suecia), Turquía	Europa (Dinamarca, Eslovaquia, Letonia)	Europa (Alemania, Austria, Irlanda, Reino Unido, Suiza)
Brasil, Colombia	Canadá (en las provincias), Estados Unidos (la mayoría de los estados)	Estados Unidos (algunos estados)
Canadá (algunas provincias), Israel, Sudáfrica		Australia

**D. Prevención y minimización de los desechos**

97. Deberá asignarse prioridad a la prevención y reducción de la generación de desechos para prolongar la vida útil de los neumáticos, con lo que se reduciría el volumen de desechos generados.

98. Con ese fin se deberían aplicar las directrices y los procedimientos de calibración y mantenimiento que recomiendan los fabricantes de neumáticos, y las autoridades competentes podrían lanzar campañas de sensibilización. El objetivo de esas campañas es concienciar a la población en general acerca de cuestiones relacionadas con la seguridad vial y el consumo de combustible y además de mantener los neumáticos en buen estado (como mantener la presión óptima de inflación de los neumáticos), lo que prolongará la vida de los neumáticos. Es posible que el uso de modos de transporte alternativos, como el ferrocarril y la navegación fluvial, sobre todo en países donde esas redes están desarrolladas, contribuya a la minimización de la cantidad de neumáticos de desecho.

99. La problemática diversa que siguen enfrentando tanto los países desarrollados como los países en desarrollo en relación con los neumáticos usados y de desecho deja en claro que cuanto menor sea la cantidad de neumáticos de que tenga que ocuparse un país, tanto mejor.

**E. Recolección, transporte y almacenamiento**

100. La recolección, el transporte y el almacenamiento de los neumáticos son etapas importantes en el proceso de manejo. La recolección de neumáticos requiere logística y planificación, que tengan en cuenta la diversidad de lugares en donde se generan esos neumáticos. También es menester educar a los ciudadanos acerca de los beneficios que se obtendrán de la entrega de los neumáticos para que sean eliminados de manera ambientalmente racional.

101. Para el manejo ambientalmente racional, el neumático usado debería ser recogido en el lugar donde se generó y transportado a otro lugar para su almacenamiento.
102. Cuando sea posible, debería efectuarse un recorte previo durante la recolección para mejorar la relación entre peso y volumen y reducir los costos de transporte.
103. El transporte de neumáticos usados desde las distintas fuentes de generación hasta las instalaciones de clasificación representa un costo adicional oneroso, sobre todo cuando es grande la distancia entre el punto de recogida y el de clasificación, debido a que los neumáticos ocupan mucho espacio en los camiones en los que son transportados. La seguridad durante el transporte es otro factor que se ha de tener en cuenta, porque es obligatorio aplicar normas estrictas de apilamiento y empacado.
104. Dado que la recolección es un proceso logístico, la optimización tendrá que analizarse sobre la base del costo o de los beneficios ambientales. Se pueden utilizar diversos tipos de optimización, según el modelo económico y jurídico que se utilice. Los dos tipos principales son:
- a) Recolección de la cantidad máxima de neumáticos en un solo viaje (que incluya tal vez varias paradas);
  - b) Recolección de manera tal que se minimice la manipulación manual.
105. Siempre que sea posible, el uso de contenedores especiales para la recolección de neumáticos suele ser la mejor manera de lograr tanto una cantidad máxima de neumáticos por cada viaje como una drástica reducción de los recursos humanos necesarios.
106. La clasificación es necesaria para separar los neumáticos usados que se pueden recauchutar de los que se pueden utilizar con otros fines, y de los neumáticos de desecho. El proceso de clasificación requiere instalaciones bajo techo y una fuerza de trabajo especializada. El almacenamiento es también una cuestión crítica en el proceso de recolección. Si la circulación general se maneja con buenos controles, el almacenamiento se puede considerar una etapa de tránsito antes de la etapa siguiente de la cadena de procesamiento de neumáticos y no una característica permanente.
107. Para almacenar los neumáticos sin poner en peligro la salud humana o el medio ambiente, el almacén tiene que cumplir requisitos específicos que, en la mayoría de los casos, forman parte del reglamento nacional sobre el tema. Existen recomendaciones relativas a la prevención de riesgos importantes mediante la reducción de la cantidad almacenada por unidad y la instalación del equipo apropiado (véanse algunos ejemplos en el cuadro 9).
108. A manera de ejemplo, en una publicación conjunta de la Asociación Internacional de Jefes de Bomberos, la Asociación de Fabricantes de Caucho y la Asociación Nacional de Protección contra Incendios, de 2000, figuran algunas directrices establecidas con ese fin.
109. Al elegir y poner en funcionamiento la instalación donde se almacenarán los neumáticos, se deben tener en cuenta los requisitos que se enuncian a continuación<sup>25</sup>.
- a) Selección del emplazamiento apropiado;
  - b) Prevención y minimización del riesgo de incendio mediante la aplicación de los requisitos y las medidas de protección para reducir la propagación de incendios (por ejemplo, fijando una distancia mínima entre dos almacenes de neumáticos);
  - c) Minimización de la producción de materiales lixiviados (por ejemplo, cubriendo las pilas de neumáticos);
  - d) Minimización de la contaminación del suelo y las aguas subterráneas con materiales lixiviados (por ejemplo, con una superficie de arcilla compactada);
  - e) En algunos países es posible que sea pertinente evitar y controlar la cría de mosquitos y otros vectores de enfermedades para los fines de minimizar los efectos en la salud pública (véanse también la sección D y el apéndice I de las presentes directrices).
110. En los cuadros 9 y 10 y en la figura IV se presenta información sobre las mejores prácticas para el diseño de emplazamientos de almacenamiento provisional recomendados en las presentes directrices. El cuadro 10 incluye también una sinopsis comparada de la información proporcionada por

las asociaciones privadas y por especialistas con más de 20 años de experiencia en la industria de procesamiento de neumáticos<sup>26</sup>.

111. Aunque el estudio no es concluyente en lo que respecta al tiempo de almacenamiento, se recomienda que se almacenen los neumáticos solo cuando sea necesario y durante el período más breve posible.

Cuadro 9

**Mejores prácticas para el almacenamiento provisional de neumáticos**

Crterios	Directrices del IAFC, la RMA y la NFPA	Especialista <sup>*27</sup>
<b>Tiempo de almacenamiento</b>	NR	NR
<b>Dimensiones máximas de las pilas de neumáticos</b>	6 m de alto / 76 m de largo / 15 m de ancho	4,5 m de alto / 60 m de largo / 15 m de ancho
<b>Inclinación de la pila</b>	NR	Pendiente de 30° si se apilan en forma natural Pendiente de 90° si se entrelazan (véase la figura III)
<b>Espacio libre en el lugar de almacenamiento</b>	El borde de la pila a 15 m de la cerca perimetral de un radio de 60 m desde la pila debe estar libre de vegetación, residuos y edificios	Borde de la pila a 15 m de la cerca perimetral
<b>Franjas cortafuegos</b>	18 m entre pilas	15 m entre pilas, en la base
<b>Selección del lugar</b>	Evitar humedales, llanuras inundables, hondonadas, cañones, terrenos inclinados, superficies niveladas y líneas de alto voltaje	NP
<b>Superficie del terreno/ revestimiento</b>	Lo ideal es un lugar plano; superficie de hormigón o arcilla dura compactada; sin asfalto ni pasto	Superficie compactada
<b>Portada</b>	N/R	No es eficaz
<b>Escurrimiento</b>	Recolección y retención	Aglutinar tierra alrededor de la pila para minimizar el escurrimiento del agua utilizada para apagar incendios
<b>Fuentes de ignición</b>	No deben iniciarse quemas a cielo abierto en un radio de 300 m. No deben instalarse equipos de soldadura o que generen calor en un radio de 60 m	NP
<b>Abastecimiento de agua</b>	63 L/s durante 6 horas, si hay >1400m <sup>3</sup> 126 L/s si el espacio de almacenamiento es >1400m <sup>3</sup>	NP
<b>Otros recursos para combatir los incendios</b>	Espumas, productos químicos, rellenar el sitio con tierra, acceso a equipo pesado/ materiales	NP

26 *Ibíd.*

27 Especialista: Michael Playdon, Columbus McKinnon, febrero de 2004. Si necesita más información, remítase a la bibliografía.

Criterios	Directrices del IAFC, la RMA y la NFPA	Especialista <sup>*27</sup>
<b>Vehículos piroeléctricos</b>	Extintidor de incendios a bordo	NP
<b>Perímetro de la instalación</b>	Cercas, > 3 m de alto con dispositivos de control de merodeadores	NP
<b>Señales</b>	Visibles con normas y horarios	NP
<b>Seguridad</b>	Personal calificado	NP
<b>Rutas de acceso de los vehículos de emergencia</b>	Bien mantenidas y accesibles en todo momento. Ancho neto >18 m y altura 4 m	NP
<b>Portones de acceso</b>	6 m de ancho en todo momento. Bajo llave cuando la instalación está cerrada	NP

N/R, no se formularon recomendaciones; NP, no se preguntó

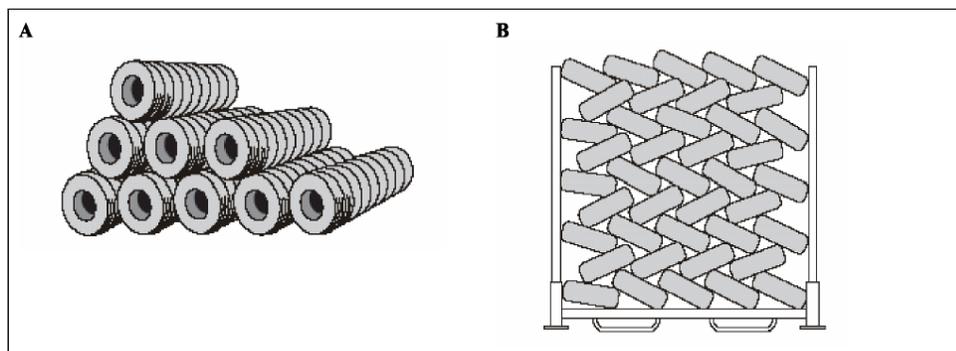
Fuente: “The Prevention and Management of Scrap Tire Fires” IAFC, STMC, NFTA, 2000

En la figura IV se muestran las dos maneras más comunes de almacenar neumáticos.

Figura IV

**Maneras más comunes de almacenar neumáticos**

A: intercalados / B: entrelazados



Fuente: Asociación Nacional de Protección contra Incendios, 2003 – Norma núm. 230: Norma relativa a la protección contra incendios en lugares de almacenamiento

Cuadro 10

**Separación mínima entre pilas**

Dimensión de la cara expuesta (m)	Altura de las pilas de neumáticos (m)						
	2,4	3	3,7	4,3	4,9	5,5	6,1
7,6	17,1	18,9	20,4	22,3	23,5	25,0	25,9
15,2	22,9	25,6	28,3	30,5	32,6	34,4	36,0
30,5	30,5	35,4	39,0	41,8	44,5	47,2	50,0
45,7	30,5	35,4	39,0	41,8	44,5	47,2	50,0
61,0	30,5	35,4	39,0	41,8	44,5	47,2	50,0
76,2	30,5	35,4	39,0	41,8	44,5	47,2	50,0

Fuente: Asociación Nacional de Protección contra Incendios, 2003 – Norma núm. 230: Norma relativa a la protección contra incendios en lugares de almacenamiento

## **F. Eliminación ambientalmente racional**

112. Los métodos descritos en las presentes directrices ilustran las opciones más importantes para la eliminación ambientalmente racional y las aplicaciones que se están utilizando o se están experimentando y que respetan la jerarquía de reducción, reutilización, reciclado y recuperación de energía en el manejo de los desechos. En el cuadro 11 figuran algunas ventajas y desventajas de las tecnologías de eliminación ambientalmente racional, mientras que en el cuadro 12 se presentan los problemas relativos a los medios de eliminación ambientalmente racional y las formas de prevenir y controlar esos problemas.

Cuadro 11

**Ventajas y desventajas de los medios de eliminación ambientalmente racional**

Medios de eliminación	Aplicación / Producto	Ventajas	Desventajas
Recauchutado	Neumáticos recauchutados	Como el recauchutado alarga la vida del neumático y utiliza muchos de los materiales originales y gran parte de la estructura original, el resultado neto es una disminución de los materiales y la energía utilizados en comparación con la fabricación de nuevos neumáticos. La energía utilizada para recauchutar un neumático es de 400 MJ frente a los 970 MJ que requiere la fabricación de un neumático nuevo.	Las principales causas de preocupación son los compuestos orgánicos volátiles dimanantes de los disolventes, los agentes adhesivos y los compuestos de caucho durante la vulcanización. El olor también puede ser un problema en algunos lugares. El proceso genera una gran cantidad de desechos. El caucho extraído de los neumáticos usados antes del recauchutado se suele vender como caucho desmenuzado para otros fines.
Ingeniería civil	Ingeniería de vertederos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Material de relleno liviano y de poca densidad;</li> <li>➤ Buena capacidad de carga;</li> <li>➤ Menor costo en comparación con la grava;</li> <li>➤ No requiere personal muy calificado;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Posible lixiviación de metales e hidrocarburos;</li> <li>➤ Los cables de acero del neumático pueden perforar el revestimiento;</li> <li>➤ Compresibilidad del neumático;</li> <li>➤ Aumenta el riesgo de incendios;</li> </ul>
	Relleno liviano o de drenaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Peso por unidad reducido en comparación con otras alternativas;</li> <li>➤ Flexible, con buena capacidad de carga;</li> <li>➤ Buen drenaje;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Posible lixiviación de metales e hidrocarburos;</li> <li>➤ Deformación bajo carga vertical cuando no se mantiene el grosor suficiente de la superficie del suelo;</li> <li>➤ Difícil de compactar (necesita usar un rodillo de más de 10 toneladas, seis pases y una altura de 300mm);</li> </ul>
	Control de la erosión	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Poca densidad, que permite el libre desplazamiento de las estructuras que actúan como barreras de las olas;</li> <li>➤ Los neumáticos embalados son livianos y fáciles de manipular;</li> <li>➤ Durabilidad;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Los neumáticos deberán quedar firmemente sujetos para prevenir la movilidad en casos de inundación;</li> <li>➤ Los neumáticos pueden atrapar residuos, (necesitan mantenimiento);</li> <li>➤ Los tirantes de sujeción pueden desplazarse con el tiempo debido a la acción de las olas, lo que hace que las estructuras a base de neumáticos lleguen a ser inseguras;</li> <li>➤ La acción del agua y la flotabilidad de los neumáticos hacen muy difícil colocar un sistema de protección permanente debajo de la superficie;</li> <li>➤ A la larga, los propios neumáticos se convierten en desecho.</li> </ul>
	Aislamiento térmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Poca conductividad térmica;</li> <li>➤ Costo general más bajo que los materiales tradicionales;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Compresible;</li> <li>➤ Producto relativamente nuevo, los productores tendrán que persuadir a la industria de construcción de su idoneidad;</li> </ul>

Medios de eliminación	Aplicación / Producto	Ventajas	Desventajas
	Barreras acústicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Livianos, por lo que pueden utilizarse en zonas geológicas débiles donde los materiales tradicionales resultan muy pesados;</li> <li>➤ Drenaje libre y duradero;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Requiere vigilancia para evitar que se acumulen residuos;</li> <li>➤ Impacto visual;</li> </ul>
Productos industriales y de consumo	Hormigón modificado con caucho	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Módulo de elasticidad más bajo que reduce las fallas por fractura;</li> <li>➤ Mayor absorción de energía, que lo hace idóneo para ser utilizado en barreras reforzadas, etc.;</li> <li>➤ Apto para estructuras que soportan poco peso;</li> <li>➤ Se puede volver a procesar moliéndolo y mezclándolo nuevamente con cemento;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producto relativamente nuevo, los productores tendrán que persuadir a la industria de construcción de su idoneidad;</li> </ul>
	Durmientes de ferrocarriles y tranvías	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vida útil más larga en comparación con la madera (20 años para los durmientes de caucho y 3 a 4 para la madera o el asfalto);</li> <li>➤ Ambientalmente seguro;</li> <li>➤ Empareja mejor con la carretera;</li> <li>➤ Uso de fragmentos o trozos como capa de atenuación de las vibraciones debajo del subbalasto;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Más costoso que los materiales tradicionales;</li> <li>➤ Producto relativamente nuevo, los productores tendrán que persuadir a la industria acerca de su idoneidad;</li> </ul>
	Superficies exteriores para uso deportivo (hipismo, hockey y fútbol) o césped artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Antirresbalantes;</li> <li>➤ Elevada resistencia a los impactos;</li> <li>➤ Durabilidad;</li> <li>➤ Muy resistentes;</li> <li>➤ Fácil mantenimiento;</li> <li>➤ No requiere irrigación;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Riesgo de que se produzca una mayor lixiviación de zinc</li> </ul>
	Pacios de recreo y campos deportivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lisas y de consistencia estable;</li> <li>➤ Elevada resistencia a los impactos;</li> <li>➤ Duraderas;</li> <li>➤ No se agrietan fácilmente;</li> <li>➤ Disponibles en varios colores;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Riesgo de que se produzca una mayor lixiviación de zinc</li> </ul>
	Modificación del asfalto y el betún para aplicaciones viales	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mayor durabilidad;</li> <li>➤ Resistencia de la superficie;</li> <li>➤ Menos mantenimiento;</li> <li>➤ Más resistencia a la deformación y el agrietamiento;</li> <li>➤ Menos posibilidades de agrietarse a más bajas temperaturas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Muy sensible a los cambios en las condiciones durante la mezcla, es decir requiere conocimientos especializados;</li> <li>➤ Difícil de aplicar en clima húmedo;</li> <li>➤ No puede aplicarse si la temperatura ambiente o de superficie es inferior a 13 °C;</li> <li>➤ Posibles problemas de higiene del trabajo debido a las emisiones;</li> <li>➤ No se puede volver a procesar, a diferencia del asfalto tradicional.</li> </ul>

Medios de eliminación	Aplicación / Producto	Ventajas	Desventajas
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ayuda a reducir el ruido en las carreteras;</li> <li>➤ Sustituye materiales vírgenes como el estireno-butadieno-estireno</li> <li>➤ Importantes beneficios ambientales documentados con respecto al potencial de calentamiento del planeta, la acidificación y la demanda acumulada de energía;</li> </ul>	
	Pisos de protección para interiores	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Antirresbalantes;</li> <li>➤ Elevada resistencia a los impactos;</li> <li>➤ Durabilidad;</li> <li>➤ Disponibles en varios colores;</li> <li>➤ Fácil mantenimiento;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Más costoso que las alternativas convencionales;</li> <li>➤ Posible limitación de colores;</li> <li>➤ Mercados limitados;</li> </ul>
	Revestimientos de contenedores transportables	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Posible uso con otros problemas de empaque;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Más costoso que las alternativas convencionales;</li> </ul>
	Correas transportadoras	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Posible uso como correa transportadora en las cajas registradoras de supermercados;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Más costoso que las alternativas convencionales;</li> <li>➤ No se puede utilizar cuando la correa está sujeta a grandes tensiones, debido a su tendencia a romperse;</li> </ul>
	Calzado	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Impermeable;</li> <li>➤ Larga duración;</li> <li>➤ Posibilidad de cambiar el uso del calzado variando el grosor de la suela;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Podría ser más costoso de fabricar que un producto convencional;</li> </ul>
	Refuerzo de alfombras	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fácil de usar;</li> <li>➤ Reciclable;</li> <li>➤ Conserva los recursos naturales;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producción industrial limitada;</li> </ul>
	Tejas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se parecen a las tradicionales;</li> <li>➤ Durabilidad (las de los EE.UU. y el Canadá tienen 40 a 50 años de garantía);</li> <li>➤ Más livianas;</li> <li>➤ Costo más bajo a largo plazo;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producción industrial limitada;</li> </ul>
	Baldosas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistentes;</li> <li>➤ Antirresbalantes;</li> <li>➤ Elevada resistencia a los impactos;</li> <li>➤ Fácil mantenimiento;</li> <li>➤ Reciclables;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producción industrial limitada;</li> </ul>
	Carbón activado (negro de humo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Preserva el material virgen;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Proceso muy costoso porque requiere pirólisis;</li> <li>➤ Alto consumo de energía;</li> <li>➤ Carbón activado de baja calidad;</li> <li>➤ Todavía en etapa de investigación;</li> </ul>
	Colchones para el ganado	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Duraderos;</li> <li>➤ Fáciles de desinfectar;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Podría ser más costoso de fabricar que los colchones convencionales;</li> <li>➤ Se desconocen las</li> </ul>

Medios de eliminación	Aplicación / Producto	Ventajas	Desventajas
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reutilizables;</li> <li>➤ A la larga son más baratos que las alternativas;</li> </ul>	posibilidades de mercado;
	Elastómeros termoplásticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Propiedades análogas a los materiales elastoméricos típicos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sitios actualmente muy limitados;</li> </ul>
Pirólisis	Pirólisis	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reutiliza los subproductos de la pirólisis (aceite y gas);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Capacidad limitada debido a problemas operacionales causados por los neumáticos;</li> <li>➤ Sitios actualmente muy limitados;</li> <li>➤ Los sedimentos que se originan durante el proceso contienen metales y otros desechos, que se depositan por el momento en minas abandonadas, y plantean un problema ambiental;</li> </ul>
Coprocesamiento	Materia prima y/o combustible alternativo (por ejemplo, hornos de cemento o producción de acero)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alto valor calorífico;</li> <li>➤ Gran potencial de volumen;</li> <li>➤ Recuperación de energía y acero;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Requiere equipo especial de vigilancia para el control de las emisiones;</li> <li>➤ Necesita un sistema que suministre fracciones de desecho y de neumáticos por separado;</li> <li>➤ Aumento de la carga de zinc en el polvo acumulado en los filtros y/o el clínker;</li> </ul>
Coincineración	Combustible alternativo para plantas de energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Recuperación de energía;</li> <li>➤ Posibilidad de recuperar metales de las cenizas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Requiere equipo de medición para el control de las emisiones;</li> <li>Aumento de la carga de zinc en el polvo acumulado en los filtros y/o las cenizas depositadas;</li> </ul>

Referencia: Adaptado de Questor Centre (2005), Hylands & Shulman (2003) y Aliapur (2007).

Cuadro 12

**Problemas relativos a los medios de eliminación ambientalmente racional y formas de prevenir y controlar esos problemas**

Medios de eliminación	Problemas	Métodos de prevención y control
Recauchutado	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Generación de residuos de caucho;</li> </ul>	
Molido criogénico y a temperatura ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ruido, polvo;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sistemas de escape;</li> <li>➤ Combinación del reciclado criogénico y a temperatura ambiente de materiales de alta calidad;</li> <li>➤ Diseño de las zonas de trabajo con barreras acústicas,</li> </ul>
Desvulcanización/ regeneración	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Efluentes líquidos;</li> <li>➤ Emisiones a la atmósfera;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sistemas de recirculación del agua;</li> <li>➤ Sistemas de escape y tratamiento del aire;</li> </ul>
Uso en productos industriales y de consumo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Generación de residuos de caucho;</li> </ul>	
Uso en Ingeniería civil	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lixiviación;</li> <li>➤ Emisiones a la atmósfera;</li> <li>➤ Problemas ocupacionales;</li> <li>➤ Incendios;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Materiales alternativos no lixiviados o impermeables utilizados para contacto directo con el suelo;</li> <li>➤ Equipo de protección personal;</li> <li>➤ Cantidad de uso limitada;</li> </ul>

Pirólisis	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Emisiones a la atmósfera;</li> <li>➤ Residuos peligrosos;</li> <li>➤ Efluentes líquidos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sistemas de tratamiento del aire y el agua;</li> <li>➤ Tecnologías de manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos;</li> </ul>
Coprocesamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Riesgo de emisiones a la atmósfera por encima de los límites legales;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Supervisión y estabilización de parámetros de procesos críticos, por ejemplo, mezcla homogénea de materias primas y combustible;</li> <li>➤ Dosificación regular y oxígeno en exceso;</li> <li>➤ Temperatura de funcionamiento del dispositivo de control de las emisiones inferior a 200 °C</li> <li>➤ Optimización del control de los procesos, incluidos los sistemas de control automático computadorizados;</li> <li>➤ Modernos sistemas de alimentación del combustible.</li> <li>➤ Minimización de la energía del combustible mediante el precalentamiento y la precalcificación, de ser posible;</li> <li>➤ Medidas de prevención de paradas imprevistas.</li> </ul>

#### Notas de los cuadros 11 y 12

- 1. Estas listas no son exhaustivas, pero ilustran las opciones de tratamiento y las aplicaciones más importantes que se utilizan o se están elaborando.
- 2. Todas las aplicaciones mencionadas supra necesitan materias primas obtenidas de neumáticos al final de su vida útil, ya sea como fragmentos, trozos o gránulos. Los procesos de reducción del tamaño y de eliminación empleados requieren instalaciones adecuadas para hacer frente a los problemas ambientales y de higiene del trabajo que de lo contrario podrían ocurrir. De ser necesario, se debería instalar un equipo adecuado de seguridad y control.
- 3. Como recomendación general sobre seguridad, el uso de máscaras individuales, cascos protectores, botas reforzadas con acero, guantes y protectores de los ojos y los oídos debería ser obligatorio para garantizar la salud y la protección de los trabajadores.
- 4. A continuación figuran normas que contienen información detallada sobre las aplicaciones y los procedimientos operacionales. Es muy recomendable consultarlas antes de adoptar decisiones en materia de medios de eliminación ambientalmente racional:
  - a) “Práctica estándar para el uso de los neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil – Designación D- 6270 – 98”, (Aprobada nuevamente, 2004), American Society for Testing Materials (ASTM International);
  - b) “Materiales producidos a partir de neumáticos al final de su vida útil – Especificaciones de categorías basadas en su(s) dimensión(es) e impurezas”, abril de 2010, CEN/TS 14243:2010.

113. Las técnicas de recuperación más generalizadas son el reciclado y la recuperación de energía. También existen técnicas para la eliminación de los neumáticos que llevan a la recuperación.

114. Es importante tener presente que el reglamento para el manejo de los neumáticos de desecho o al final de su vida útil y el contexto económico determinarán en la mayoría de los casos los diversos medios utilizados para manejar la corriente de neumáticos que se reciben.

115. Dada la situación energética mundial en estos momentos, los neumáticos de desecho pueden ser considerados combustibles alternativos. Podrían utilizarse con ese fin ya sea enteros o cortados en pedazos o triturados. El uso de neumáticos triturados es apropiado en la mayoría de las aplicaciones debido a que mejora la manipulación y se reduce el volumen. Los neumáticos triturados pueden ser transportados con facilidad, de manera que el método de transporte puede optimizarse (indicadores de peso: 0,5t/m<sup>3</sup>); con esa misma capacidad se transportaría una cantidad mucho menor de neumáticos enteros (el indicador de peso es tres veces inferior a 0,15t/m<sup>3</sup>). Esto surte un efecto directo en las

necesidades de transporte y, por consiguiente, en los costos. La producción de neumáticos triturados minimiza también el riesgo de que se formen criaderos de mosquitos.

116. La capacidad de recuperación de los hornos de cemento se puede aprovechar para recuperar energía de los neumáticos al final de su vida útil, lo cual es importante porque la industria está buscando combustibles alternativos en el mercado de los desechos. Los hornos de cemento están siendo modificados cada vez más para que utilicen los fragmentos de neumáticos al final de su vida útil como energía alternativa.

117. En el mismo contexto de la recuperación de neumáticos en los hornos de cemento, las plantas eléctricas están cada vez más dispuestas a utilizar fragmentos de neumáticos de desecho como combustible alternativo. Los neumáticos de desecho deberían utilizarse para general energía solo en instalaciones que cuentan con un equipo adecuado para reducir las emisiones.

118. Se está incrementando el uso de materiales producidos a partir de los neumáticos, como los gránulos o el polvo de caucho, y representa un gran porcentaje del manejo de los neumáticos al final de su vida útil. Son amplias y crecientes las posibilidades de mercado para el uso de esas materias primas secundarias. Lo normal es que los procesos de producción de esos materiales comiencen con la trituración, seguida de la pulverización para obtener partículas más pequeñas. Otros componentes de los neumáticos son separados también y recuperados durante el proceso de producción, especialmente los metales.

119. Los gránulos y el polvo de caucho tienen diversas aplicaciones posibles: como relleno de campos deportivos artificiales (césped artificial), cilindros lisos; protección acústica; alfombras de caucho para el ganado vacuno; patios de recreo blandos para niños; y asfalto mezclado con caucho. El asfalto mezclado con caucho para pavimentar carreteras necesita consumir grandes cantidades de caucho en polvo y aporta al pavimento características y propiedades convenientes.

120. El contenido de carbono de los neumáticos hace que sean idóneos para utilizarlos en hornos de fundición por arco eléctrico o en acerías en sustitución de la antracita. La mayoría de estas instalaciones pueden usar neumáticos triturados. No es necesaria la granulación. Actualmente se están aplicando muchos niveles de tecnología al reciclado de materiales a base de neumáticos que van desde la trituración básica en trozos y fragmentos desiguales destinados a la recuperación de energía o como relleno hasta plantas totalmente automatizadas y muy novedosas.

121. Mientras que las instalaciones de reciclado de primera generación han sido a menudo objeto de críticas porque producen polvo y ruido y una gran proporción de material de desecho, las plantas automatizadas más modernas, totalmente automatizadas, que requieren una mayor inversión de capital y utilizan la mejor tecnología disponible, son capaces de cumplir las normas de salud y emisiones más estrictas y recuperar gránulos de caucho, polvo de caucho y acero. Estos productos tienen una uniformidad y limpieza tales que pueden sustituir el caucho virgen y el acero en la fabricación de neumáticos nuevos.

122. En el cuadro 11 se indican las cantidades de caucho molido, acero, fibra y residuos obtenidos de los neumáticos de camiones y automóviles.

Cuadro 11

**Productos reutilizables a partir de neumáticos de desecho**

Producto	Neumáticos de camiones	Neumáticos de automóviles
Caucho molido	70%	70%
Acero	27%	15%
Fibras y chatarra	3%	15%

Fuente: Adaptado de *Reschner (2006)*

**1. Recauchutado**

123. Son tres los tipos de procedimientos de recauchutado que se utilizan, a saber, recubrimiento, recapado y de talón a talón, como se describe a continuación:

- a) En los neumáticos recubiertos se quita la banda de rodamiento y se la sustituye por una nueva;
- b) En los neumáticos recapados se quita también la banda de rodamiento, sin embargo en este caso la nueva es mayor que el neumático recapado, ya que recubre parte de los flancos del neumático;
- c) En los neumáticos recauchutados de talón a talón se quita la banda de rodamiento y se coloca una nueva de lado a lado, cubriendo toda la parte inferior del neumático y los flancos con una capa de caucho.

124. El recauchutado debe ser efectuado conforme a las condiciones estrictas establecidas en reglamentaciones técnicas por empresas certificadas que cumplan las leyes y reglamentaciones.

125. En algunos casos, un criterio para el recauchutado del neumático es controlar el número de veces que un neumático puede ser sometido a este procedimiento. Según el reglamento núm. 108 de las Naciones Unidas (disposiciones uniformes relativas a la aprobación de la producción de neumáticos recauchutados para los vehículos de motor y sus remolques) y la núm. 109 (normas uniformes relativas a la aprobación de la producción de neumáticos recauchutados para vehículos comerciales y sus remolques), solo una vez se pueden recauchutar los neumáticos de automóviles de pasajeros, mientras que los de camiones y aviones, gracias a su estructura más fuerte, pueden ser recauchutados con más frecuencia (en el caso de los de camiones de ordinario hasta cuatro veces y en los aviones fácilmente hasta 10 veces) siempre y cuando se cumplan las normas de calidad. Además, se deberá tener en cuenta la vida útil de la armazón del neumático original, que no deberá ser mayor de siete años.

126. En algunos países está prohibido recauchutar neumáticos de motocicletas por motivos de seguridad. Para cumplir las normas de seguridad, el recauchutado de neumáticos solo deberá ser realizado por empresas calificadas que expedirán un certificado de garantía de que se cumplen las normas de seguridad y calidad. Por esa razón, es importante que los consumidores adquieran neumáticos recauchutados en empresas que cumplan las normas establecidas para el sistema de recauchutado y que certifiquen sus neumáticos.

127. El impacto ambiental del recauchutado de neumáticos, por regla general, es positivo. El recauchutado de un neumático consume considerablemente menos material y energía que los necesarios para la fabricación de uno nuevo, con la correspondiente disminución de otros efectos. Varios autores han publicado datos que demuestran en términos generales los ahorros de energía y material obtenidos del recauchutado. Este método utiliza una proporción importante del caucho y todo el material textil y el acero del neumático. Según informes, en este procedimiento se utiliza menos energía que en la fabricación de un neumático nuevo, aunque la reducción real varía según el tipo de recauchutado (en caliente, en frío o moldeado). Las estimaciones de que se dispone para los neumáticos indican que, cuando se utiliza la tecnología apropiada, el recauchutado puede reducir significativamente la cantidad de energía utilizada en general y las emisiones de gases de efecto invernadero, así como la cantidad de neumáticos de desecho que se producen<sup>28</sup>.

128. El recauchutado de neumáticos beneficia al medio ambiente porque reduce al mínimo la generación de desechos y aumenta la vida útil de los neumáticos, de manera que se aplaza su eliminación. Desde el punto de vista de la generación de neumáticos de desecho, es importante señalar que los neumáticos se pueden recauchutar un número limitado de veces solamente. Por eso, a la larga, el uso de cascos de mala calidad puede dar lugar a un incremento del volumen general de neumáticos de desecho en el país.

129. Mediante el recauchutado, se evita el uso de materias primas para la producción de neumáticos nuevos, con lo que aumenta la vida útil de los neumáticos y se aplaza su eliminación final como desecho. Entre los ejemplos de minimización de los desechos, cabe mencionar el uso de neumáticos recauchutados en los vehículos oficiales y las inspecciones técnicas periódicas que promueven el recauchutado de neumáticos usados.

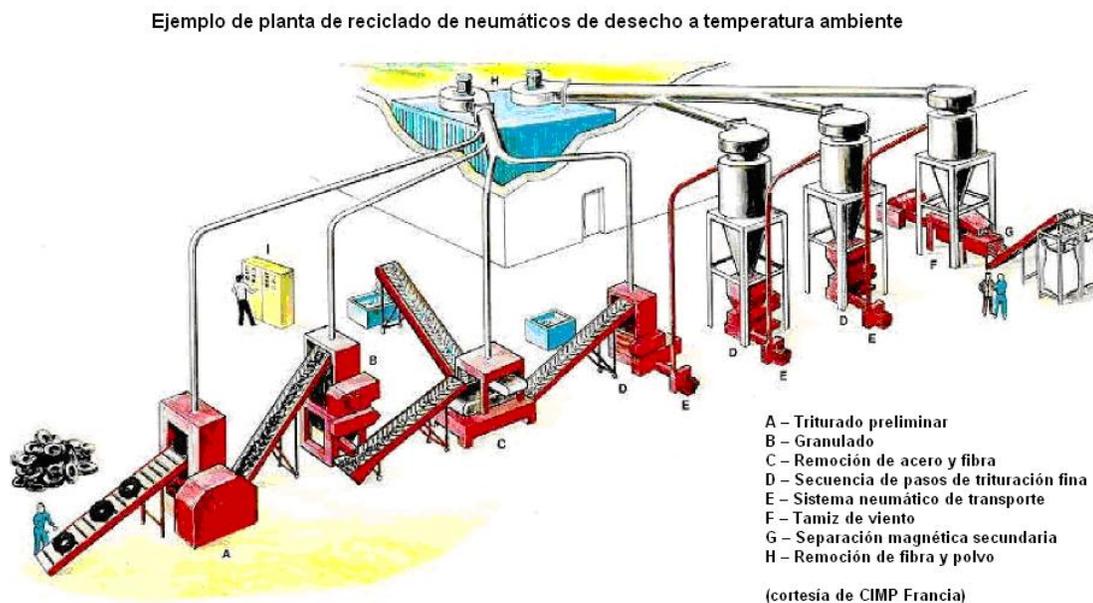
## 2. Reciclado ambiente/crionónico

130. Los neumáticos enteros usados se puede reutilizar de otra manera, pero la mayoría de los procedimientos de reciclado aprovechan los neumáticos molidos porque entonces el caucho se puede utilizar en diversas aplicaciones. Un neumático puede ser triturado o molido en diferentes grados, según el uso final que se le quiera dar.

131. En la figura V se muestra un ejemplo de planta típica de reciclado de neumáticos de desecho a temperatura ambiente, con sus diversas etapas y sistemas de control. Este proceso se denomina “a temperatura ambiente” porque todas las etapas de reducción del tamaño tienen lugar a temperatura ambiente o cercana, es decir no se enfría el caucho para que se vuelva frágil.

Figura V

### Esquema de una planta de reciclado de neumáticos de desecho a temperatura ambiente



Fuente: Reschner (2006)

132. En el croquis de montaje de esta planta, los neumáticos son objeto de varias operaciones:

- Los neumáticos son procesados para obtener fragmentos de 2” (50 mm) de tamaño en una trituradora preliminar;
- Los fragmentos entran en un granulador donde se reducen de tamaño a menos de 3/8 de pulgada (10 mm);
- El acero se extrae con imanes y la fracción de fibra se elimina mediante una combinación de cedazos sacudidores y separadores por aire;
- Tras varias sesiones de pulverización se obtiene el tamaño apropiado, que suele ser de 10 y 30 mallas (0,6 a 2 mm).

133. El reciclado a temperatura ambiente puede llevarse a cabo en plantas de procesamiento grandes y totalmente automatizadas con capacidades que ascienden actualmente hasta 65.000 toneladas de insumo anuales y que admiten todo tipo de neumáticos (ya sea de automóviles, camiones o excavadoras). Las plantas producen gránulos y polvo de caucho de gran uniformidad y pureza además de una fracción de acero lista para ser refundida en las acerías. Se puede obtener toda la producción de gránulos de caucho de tamaños inferiores a 10 mallas (2,0 mm).

134. El reciclado a temperatura ambiente genera ruidos y polvo, y el consumo de energía es intenso (120 a 125 kwh/tonelada). Para garantizar la seguridad e higiene de los trabajadores, la maquinaria debe estar equipada con sistemas de ventilación apropiados, sistemas de protección contra incendios e interruptores de emergencia en todos los equipos. Deberá ser obligatorio el uso de botas de acero reforzado, guantes, protectores de la vista y el oído, además de cascos. Deberá acondicionarse también un sitio apropiado para almacenar el caucho pulverizado. El sitio deberá estar protegido de la luz solar.

135. Estas medidas afectarán los costos relacionados con el funcionamiento y mantenimiento del sistema. En lo que respecta a la seguridad e higiene del trabajador, primeramente se deberán adoptar medidas de protección colectiva, seguidas de medidas de protección individual.

136. El proceso de reciclado de los neumáticos se denomina “criogénico” porque los neumáticos enteros o fragmentados se enfrían a una temperatura inferior a  $-80^{\circ}\text{C}$ , usando nitrógeno líquido. Por debajo de esta temperatura, el caucho se vuelve casi tan frágil como el vidrio y la reducción de su tamaño se puede lograr aplastándolo o moléndolo. Este tipo de reducción del tamaño facilita su pulverización y la extracción del acero y las fibras, con lo que se obtiene un producto final más limpio.

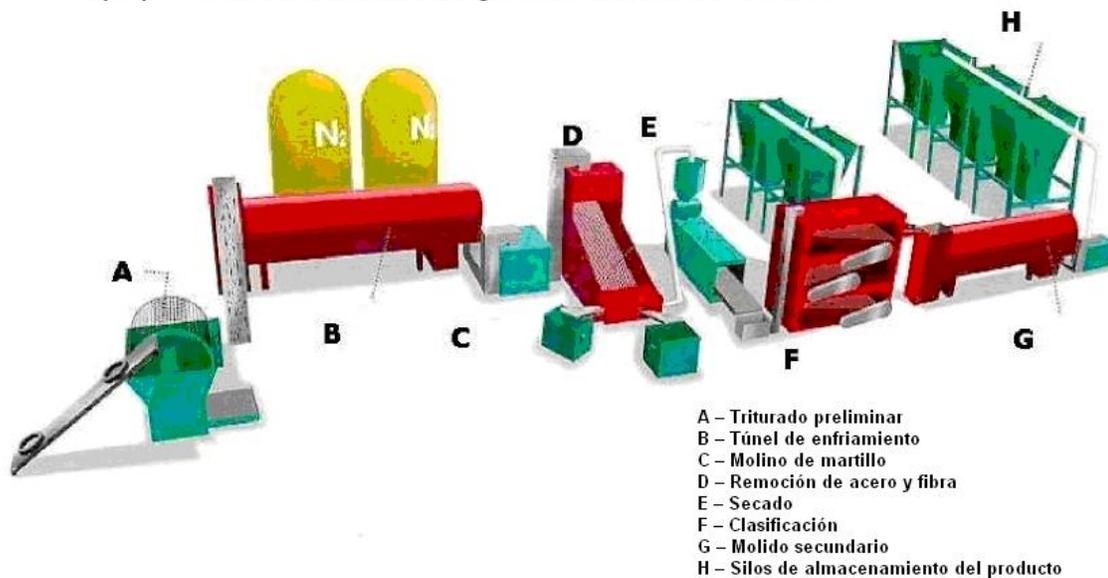
137. El principal inconveniente es el costo, porque el proceso comienza con fragmentos de neumáticos. Dicho de otro modo, al costo de la molienda inicial, hay que añadir los costos del elevado precio del nitrógeno líquido. El proceso también requiere la aplicación de procedimientos de seguridad del funcionamiento para prevenir accidentes laborales.

138. El proceso criogénico se ilustra en la figura VI.

Figura VI

### Reciclado criogénico de neumáticos de desecho

Ejemplo de sistema de reciclado criogénico de neumáticos de desecho



Fuente: Reschner (2006)

Fuente: Reschner (2006)

139. El proceso criogénico consiste en lo siguiente:

- a) Primeramente los neumáticos se fragmentan en tamaños de 2 pulgadas (50 mm) en una trituradora preliminar;
- b) Los fragmentos de 2" (50 mm) se enfrían en un túnel de enfriamiento que funciona ininterrumpidamente a menos de  $-120^{\circ}\text{C}$ ;
- c) En un molino de martillo, los fragmentos son reducidos a partículas de distinto tamaño;
- d) Se extraen el acero y la fibra;
- e) El material se seca;

- f) El material se clasifica en partículas de tamaños definidos;
- g) Se obtiene polvo de caucho de tamaño más pequeño.

140. En el cuadro 12 se muestra una comparación entre los parámetros del sistema de reciclado a temperatura ambiente y el proceso criogénico.

Cuadro 12

**Comparación del reciclado a temperatura ambiente y el reciclado criogénico**

Parámetro	Temperatura ambiente	Criogénico
Temperatura de funcionamiento	Ambiente, Máx. 120°C	Por debajo de -80°C
Principio de reducción del tamaño	Corte, rasgado, fragmentación	Ruptura criogénica de piezas de caucho frágiles
Morfología de las partículas	Superficie alta esponjosa y áspera específica	Superficie baja pareja y lisa específica
Distribución del tamaño de las partículas	Distribución relativamente limitada del tamaño de las partículas, reducción del tamaño limitada solo por etapa de trituración	Distribución amplia del tamaño de las partículas (de 10 mm a 0,2 mm) en un solo paso del proceso
Consumo de nitrógeno líquido	N/A	0,5 a 1 kg de nitrógeno líquido por kg de neumático

Fuente: Reschner (2006)

141. El reciclado a temperatura ambiente y el reciclado criogénico se pueden combinar de manera que el gránulo de caucho producido a temperatura ambiente se vuelve a procesar para convertirse en polvo fino menor de 80 mallas (0,2 mm) utilizando una tecnología criogénica específica que asegura una gran pureza y permite que el polvo sea utilizado en aplicaciones complejas, como compuestos de caucho para los neumáticos nuevos.

142. En el cuadro 13 figura la nomenclatura utilizada para clasificar los productos de neumáticos en función de su tamaño.

Cuadro 13

**Tratamiento del neumático después del consumo: tamaño de los materiales**

Tamaño del material	Mínimo (mm)	Composición (mm)
Polvo	0	1
Granulado	1	10
Astillas	0	40
Chips	10	50
Trozos (pequeños)	40	75
Trozos (grandes)	75	300
Recortes	300	½ neumático

Fuente: Report SR 669 HR Wallingford 2005

**3. Desvulcanización y regeneración**

143. La regeneración es un procedimiento de conversión del caucho de los neumáticos, mediante procesos mecánicos, energía térmica y productos químicos, en un estado en el que se puede mezclar, procesar y vulcanizar nuevamente. El principio del proceso es la desvulcanización, que consiste en la división de los enlaces intermoleculares de la red química, como los enlaces carbono-azufre (C-S) y/o azufre-azufre (S-S), que confieren durabilidad, elasticidad y resistencia a los disolventes. El caucho regenerado se utiliza para fabricar productos que tienen una demanda y aplicaciones muy limitadas, debido a que sus propiedades mecánicas son inferiores a las del material original.

144. La desvulcanización comprende la reducción del tamaño y la separación de los enlaces químicos, que se pueden lograr mediante cuatro procesos, en los que los costos y las tecnologías difieren muchísimo: químico, por ultrasonido y microondas<sup>29</sup>.

145. El proceso de desvulcanización química es un proceso discontinuo, en el que las partículas reducidas (de entre 10 y 30 mallas) se mezclan con reactivos en un reactor a temperatura de aproximadamente 180°C y a una presión de 15 bares. Tan pronto termina la reacción, el producto se filtra y seca para eliminar componentes químicos no deseados, y se empaqueta posteriormente para su comercialización.

146. En el proceso por ultrasonido, las partículas de caucho reducidas (de entre 10 y 30 mallas) son cargadas en una tolva por la que pasan a una máquina de moldeo por extrusión. Esta máquina comprime y estira mecánicamente el caucho. Esta acción mecánica sirve para calentar las partículas de caucho y ablandarlo. Mientras el caucho ablandado pasa por la cavidad de la máquina de extrusión, el caucho queda expuesto a energía ultrasónica. La combinación de calor, presión y masticación mecánica es suficiente para lograr diversos grados de vulcanización.

147. El proceso por microondas aplica energía térmica rápida y uniformemente al caucho de desecho. Sin embargo, todo el caucho vulcanizado utilizado en el proceso por microondas debe tener una estructura suficientemente polar para que la energía de microondas sea absorbida en la proporción adecuada de manera que la vulcanización sea viable. El único uso razonable de la desvulcanización por microondas es con compuestos que contengan caucho principalmente polar, lo que limita su aplicación. Por ejemplo, la Global Resource Corporation de los Estados Unidos ha creado una tecnología con la que los materiales a base de petróleo, como los neumáticos de desecho, están sujetos a radiación por microondas a frecuencias específicas determinadas por un tiempo suficiente para descomponer parcialmente los materiales en una combinación de aceites y gas consumible<sup>30</sup>.

148. La información de que se dispone sobre el efecto ambiental de la desvulcanización se limita a los procesos químico y ultrasónico. En ambos casos se producen emisiones de contaminantes a la atmósfera y de efluentes líquidos.

149. Un informe publicado por Calrecovery Inc. en 2004 contiene una lista de aproximadamente 50 compuestos orgánicos, que incluyen el benceno, el tolueno y los heptanos como tipos de emisiones durante el funcionamiento de la zona de vulcanización de un neumático recauchutado y de la extrusión de un neumático recauchutado. También existe la posibilidad de que se libere sulfuro de hidrógeno y dióxido de azufre mediante la oxidación del sulfuro de hidrógeno. En consecuencia, el proceso obligará a instalar filtros para controlar las emisiones y depuradores de gases para eliminar el dióxido de azufre. Los efluentes líquidos procedentes del depurador deberán ser tratados de forma apropiada antes de ser vertidos en masas de agua.

150. En el cuadro 14 figura información acerca de los costos y las capacidades de producción de caucho desvulcanizado.

Cuadro 14

**Costos estimados de la producción de caucho vulcanizado**

Artículo	Proceso químico	Proceso ultrasónico
Capacidad (kg/h )	34	34
Costo de capital (103 dólares)	166	163
Gastos de funcionamiento y mantenimiento (103 dólares)	172	136

Fuente: Calrecovery Inc. "California Integrated Waste Management Board" – 2004

**4. Productos industriales y de consumo**

151. Los mercados industriales y de consumo del caucho pulverizado y granulado han crecido extraordinariamente en los últimos años. Se están utilizando en una amplia y creciente diversidad de aplicaciones, entre ellas el césped artificial, superficies de patios de recreo y campos deportivos, modificación del asfalto y el betún, pisos de interiores antirresbaladizos, revestimiento de contenedores para el transporte, correas transportadoras, alfombrillas de automóviles, calzado, material de fijación de alfombras, tejas, pisos, carbón activado, colchones para el ganado y elastómeros termoplásticos. A continuación figura una breve descripción de las aplicaciones más importantes.

**a) Césped artificial**

152. Los gránulos de caucho en el césped artificial se utilizan de dos maneras: como relleno en los campos deportivos y en la fabricación de soportes elásticos, ya sea que se construyan en el lugar o sean prefabricados. Un terreno estándar de césped artificial contiene 100 a 130 toneladas de gránulos de caucho como material de relleno. Si se añade un soporte elástico, se consumen otras 60 a 80 toneladas de gránulos de caucho.

153. Cuando se utilizan como material de relleno, los gránulos de caucho sustituyen a materiales no utilizados como el monómero diénico de propileno etileno y los elastómeros termoplásticos. Se utiliza

30 Gert-Jan van der Have (2008).

en el césped para deportes de contacto como fútbol europeo, fútbol americano y hockey. Desde 2001 se han registrado tasas mundiales de crecimiento anual por encima del 25% y se espera que esas cifras sigan aumentando a un ritmo de dos dígitos.

154. La Federación Internacional de Asociaciones de Fútbol recomienda muy especialmente el césped artificial para el fútbol europeo debido a sus excelentes resultados en materia de rendimiento de la pelota, costos de mantenimiento, necesidad de agua y aceptación social (porque se puede producir a un precio módico).

**b) Patios de recreo y campos deportivos**

155. Las propiedades elásticas y atenuadoras del ruido de los gránulos de caucho se evidencian cuando se construyen patios de recreo para niños, pistas de atletismo y otras superficies deportivas. Los gránulos de caucho se mezclan con poliuretano y la capa superior se cubre con colorante. La Unión Europea ha emitido normas de cumplimiento obligatorio (EN 1177) relativas a la elasticidad de la superficie de los patios de recreo públicos.

**c) Aplicaciones en hormigón modificado con caucho**

156. El hormigón modificado con caucho aumenta la absorción de la energía de impacto y reduce las grietas. Los trabajos llevados a cabo en el Brasil se han centrado en el uso del hormigón modificado con caucho en la construcción de muros en las carreteras y otros productos, utilizando una mezcla de hormigón ordinario, grava y arena mezcladas con caucho y fibra de vidrio.

157. Otras aplicaciones para la fabricación de productos industriales y de consumo se examinan en las obras de Hylands y Shulman (véase la nota 29) y del Questor Centre (2005), como son:

- a) Superficies para la práctica de deportes;
- b) Pisos de interiores antirresbaladizos;
- c) Superficies de patios de recreo;
- d) Revestimientos de contenedores para el transporte;
- e) Correas transportadoras;
- f) Alfombrillas de automóviles;
- g) Calzado;
- h) Material de fijación de alfombras;
- i) Tejas;
- j) Pisos;
- k) Carbón activado (negro de carbón);
- l) Colchones para el ganado;
- m) Elastómeros termoplásticos.

**d) Aplicaciones viales**

158. Los materiales granulados que se obtienen de los neumáticos de desecho se han utilizado en la mejora del asfalto modificado con caucho en los Estados Unidos, Europa occidental y el Brasil. Son dos los procesos principales para producir asfalto mezclado con caucho: húmedo y seco<sup>31</sup>.

159. En el proceso seco, se añade polvo de caucho directamente al asfalto, lo que provoca una reacción entre el caucho y el betún. Este proceso es apto para proyectos de pavimentación con mezcla en caliente y tratamientos superficiales.

160. En el proceso húmedo tradicional, el polvo de caucho se utiliza como modificador del betún. El polvo de caucho se mezcla con el betún antes de que se añada el aglutinante al material agregado. El tamaño ideal de la partícula para el proceso húmedo fluctúa entre 0,6 mm y 0,15 mm. El material debe ser calentado a una temperatura entre 149°C y 190°C antes de la compactación. Por esa razón, este proceso es más costoso que el uso de asfalto convencional, y es probable que se emitan sustancias tóxicas tanto durante la producción como durante la aplicación. Se ha demostrado que el proceso húmedo posee mejores propiedades físicas que el seco.

161. El asfalto mezclado con caucho no goza aún de aceptación general, y sus efectos ambientales no se han analizado del todo. También requiere una inversión inicial más cuantiosa. En Europa, solo el 1% de los gránulos de caucho se utiliza para pavimentar carreteras, lo que contribuye al reciclado de un poco más del 0,025 % de los neumáticos de desecho generados en ese continente. El Congreso de los Estados Unidos comenzó a exigir el uso de asfalto mezclado con caucho en proyectos financiados con fondos federales en 1991, pero consideraciones ambientales y de salud pública obligaron a derogar esa disposición cinco años más tarde<sup>32</sup>. Pese a que algunos estados de los Estados Unidos usan asfalto mezclado con caucho en sus proyectos de construcción de carreteras, se siguen investigando sus efectos en el medio ambiente y en la salud de los trabajadores<sup>33</sup>. Hoy día, las aplicaciones de asfalto mezclado con caucho representan el 2% de los neumáticos de desecho que se eliminan<sup>34</sup>.

162. En los últimos años ha entrado en el mercado una nueva generación de modificadores del betún basados en caucho pulverizado reciclado en combinación con material virgen (un polioctenámico semicristalino) en sustitución de los modificadores tradicionales del betún virgen, como el estireno-butadieno-estireno que se vende más o menos al mismo precio. La ventaja de estos nuevos modificadores es que se pueden evitar problemas, como las emisiones de sustancias tóxicas durante la producción y aplicación y otros efectos ambientales, la falta de idoneidad para utilizarlos en los actuales equipos de construcción de carreteras, la alta temperatura de compactación, la resbalabilidad y los problemas de emisiones durante el reciclado del asfalto<sup>35</sup>.

163. En los Estados Unidos, en las conclusiones del informe del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo mencionado en otros párrafos se afirma que el asfalto mezclado con caucho no produce vapores por encima de los límites de exposición establecidos por los organismos de control de la seguridad y la salud<sup>36</sup>. Aunque la composición de las emisiones y los vapores puede variar, estos dimanan del asfalto de base, no del caucho. En todos los casos, las emisiones y los vapores se encuentran dentro de los límites establecidos por cada uno de los organismos de autorización y control de los Estados Unidos.

164. En un estudio reciente revisado por especialistas, en el que se evaluó el ciclo de vida, se demostró también que, cuando los neumáticos se reciclan y utilizan para modificar el betún con materiales de nueva generación, a diferencia del caso en que los neumáticos son incinerados con otros materiales en hornos de cemento, se obtienen considerables beneficios ambientales en categorías de impacto como el posible calentamiento del planeta, la acidificación y la demanda acumulada de energía (DTC & IFEU 2008)<sup>37</sup>.

165. El uso de caucho en el asfalto resulta sumamente costoso y no siempre cumple las normas establecidas por cada uno de los estados de los Estados Unidos. Algunos estados todavía no han elaborado normas para el uso del caucho de los neumáticos en el asfalto. En los estados en los que se utiliza de rutina asfalto modificado con caucho, el porcentaje de neumáticos usados en esta aplicación fluctúa entre 10% y 85%. El uso de neumáticos de desecho en la pavimentación de las carreteras es eficaz en función de los costos y ventajoso; el mercado para ese uso promete. El caucho de los neumáticos es un magnífico aditivo para el asfalto y sirve para reducir el agrietamiento y el endurecimiento que se producen con el envejecimiento del material asfáltico, lo que prolonga la vida útil de los pavimentos.

## 5. Ingeniería civil

166. Las aplicaciones de los neumáticos de desecho en ingeniería civil se examinan en la norma 6270/1998B de la American Society for Testing and Materials (ASTM) y también en la especificación técnica del Comité Europeo de Normalización (CEN/TS) 14243:2010.

167. Las aplicaciones de los neumáticos de desecho en ingeniería civil abarcan una amplia gama de usos, por lo general, de sustitución de materiales de construcción tales como los suelos y la arena. Los neumáticos de desecho también pueden utilizarse como material agregado en proyectos de construcción, por ejemplo, en bases de carreteras, terraplenes, medios de drenaje de sistemas sépticos, material de relleno y vertederos.

32 Intermodal Surface Transportation Efficiency (1995).

33 Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Administración Federal de Carreteras, Crumb Rubber Modifier.

34 Sheerin, John (2004).

35 FABES (2006).

36 Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo (2001).

37 DTC e IFEU (2008).

168. Se han elaborado directrices normativas, prácticas normalizadas y determinantes de la lixiviabilidad para las aplicaciones en ingeniería civil, que ya se están utilizando en algunos países. En las directrices normativas elaboradas por el gobierno del estado de Tennessee, en los Estados Unidos, se describen aplicaciones en ingeniería civil aptas para los neumáticos usados.

169. La ASTM elaboró una norma para el uso de los neumáticos de desecho en aplicaciones de ingeniería civil (norma ASTM 6270/1998B), que brinda orientación para hacer ensayos de las propiedades físicas, cuestiones relativas al diseño, prácticas de construcción y potencial de generación de materiales lixiviados de los neumáticos de desecho procesados o enteros, en reemplazo de materiales convencionales de ingeniería civil, tales como piedra, grava, suelo, arena, agregados livianos y otros materiales de relleno.

170. El Organismo para el Medio Ambiente de Inglaterra y Gales elaboró determinantes de la lixiviabilidad para materiales destinados a aplicaciones en ingeniería, como las barreras acústicas, el reforzamiento de vertederos, etc. (véase apéndice II, parte B de las presentes directrices), y estableció valores límites para las propiedades químicas de los materiales empleados.

**a) Ingeniería de vertederos**

171. Las aplicaciones de los neumáticos de desecho en ingeniería de vertederos deberían ser provisionales y no formar parte de unidades funcionales permanentes, que representarían un riesgo elevado por constituir vertederos ocultos y entrañarían riesgos inaceptables en caso de incendio en los vertederos. Las aplicaciones provisionales pueden incluir:

- a) Recolección de lixiviados;
- b) Capa protectora para geotextiles;
- c) Capa de drenaje en la placa de recubrimiento del vertedero;
- d) Relleno para sistemas de drenaje de gases de vertederos;
- e) Cubierta diurna para vertederos;
- f) Carreteras provisionales;
- g) Neumáticos embalados en caminos provisionales de transporte hasta el vertedero.

172. Estas aplicaciones usan neumáticos enteros, recortes de neumáticos (de hasta 300 mm), neumáticos triturados (50 mm a 300 mm), y trozos de neumáticos (10 mm a 50 mm). La determinación del tamaño dependerá del costo del procesamiento y transporte del caucho, su disponibilidad y los requisitos ambientales de la instalación. También depende del tipo de proyecto de vertedero y de sus requisitos legales.

**b) Relleno liviano y reforzamiento del suelo**

173. Los neumáticos se utilizan como relleno liviano en diversos proyectos de ingeniería, como estructuras de retención y en terraplenes, como relleno para estribos integrales de puentes y para la reparación y estabilización de pendientes, la sustitución parcial de agregados extraídos de canteras o grava y gaviones rellenos de arena y grava, según el proyecto. Estas aplicaciones utilizan neumáticos enteros, recortes (de hasta 300 mm), trozos (50 mm a 300 mm), y fragmentos (10 mm a 50 mm) de neumáticos.

**c) Control de la erosión**

174. La durabilidad y estabilidad de los neumáticos son ideales cuando se utilizan en proyectos de control de la erosión. Los neumáticos se han utilizados en proyectos de control de la erosión costera y fluvial para absorber la energía creada por el agua en movimiento, tanto en marea como en corrientes fluviales, además del agua de lluvia. Los neumáticos de desecho se han utilizado también como relleno en la regeneración ambiental de sumideros erosionados y de pequeños cañones, así como en la construcción de barreras contra la erosión, con lo que se convierten en parte del paisaje erosionado, que posteriormente se resiembra.

**d) Barreras acústicas**

175. Las barreras acústicas construidas con neumáticos se utilizan para mitigar los niveles de ruido en las carreteras. Las barreras acústicas se construyen utilizando neumáticos enteros, neumáticos triturados o alfombrillas y alfombrillas especiales hechas de gránulos de caucho. Actualmente se están diseñando diversos tipos de barrera con este fin.

e) **Aislamiento térmico**

176. Los recortes, los trozos y los fragmentos se utilizan como material para aislamiento térmico. La resistividad térmica de los neumáticos supera en alrededor de siete u ocho veces la de la grava. En los países de clima templado y muy bajas temperaturas, los neumáticos se pueden utilizar como aislamiento para las estructuras de caminos y carreteras, en particular debajo del asfalto para reducir las grietas producidas por las heladas y como relleno en el tendido de tuberías, especialmente de agua. Los desagües al borde de las carreteras construidos con neumáticos han demostrado ser resistentes al congelamiento en inviernos muy fríos.

177. El uso de trozos de neumáticos de desecho como material de relleno liviano para la construcción de carreteras ha demostrado ser otro uso beneficioso de los neumáticos al final de su vida útil, por ejemplo en caminos de saca construidos en zonas con suelos poco resistentes {§31}<sup>38</sup>. Su poco peso permite colocarlos en terrenos blandos, porque imponen mucha menos carga al suelo subyacente que la arena y grava naturales<sup>39</sup>.

6. **Pirólisis**

178. La pirólisis es un proceso de degradación térmica que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y en condiciones en las que la concentración de oxígeno es suficientemente baja como para no causar combustión.

179. Algunas tecnologías de pirólisis han producido petróleo con un bajo contenido energético (si se compara con el gasóleo), un gas sintético conocido como “syngás” (de pocas propiedades caloríficas), negro de humo, escoria de hulla y acero. Sin embargo, las técnicas modernas que realizan la degradación térmica del plástico en los neumáticos en una atmósfera rarificada producirán óleos que son directamente comparables en viscosidad y valores caloríficos con combustibles del tipo diesel y gasolina.

180. El syngás obtenido a partir de estas técnicas puede tener un valor calorífico equivalente al propano y posee magníficas propiedades caloríficas. El acero producido puede ser un acero resistente de alta calidad, que se puede utilizar para volver a fabricar nuevos cables para neumáticos.

181. El carbón pirolítico producido por algunas técnicas de este proceso ha tenido poco valor comercial, ya que consiste en una mezcla de negros de carbón utilizados en la fabricación de neumáticos. Por consiguiente, el producto resultante no tiene la misma calidad que los obtenidos con los negros de carbón originales utilizados en la fabricación de neumáticos. Sin embargo, las técnicas modernas tal vez produzcan un carbón pirolítico comparable al negro de carbón virgen.

182. En algunos casos es necesario mejorar el carbón pirolítico mediante la reducción del tamaño de las partículas con el fin de crear nuevos productos. La desintegración por resonancia produce productos de carbono ultrafinos a partir del carbón pirolítico. Durante la desintegración por resonancia, los gránulos de carbón experimentan múltiples ondas de choque de alta energía, que dan por resultado la producción inmediata de carbono con un diámetro promedio de la partícula primaria de 38 nanómetros en agregados, y aglomerados con un tamaño que fluctúa entre 100 nanómetros y 10 micrones<sup>40</sup>.

183. Otra posibilidad es utilizar el carbón pirolítico como carbón activado. Por lo general el carbón se activa mediante la aplicación de vapor, subproducto normal del proceso.

184. Al igual que en todo otro proceso, podría haber riesgos asociados a la realización de un proceso de pirólisis deficiente. Es posible que ciertos materiales tales como el acero recuperado a partir de la pirólisis se contaminen con carbono, y no existen mercados de reprocesadores de metal para ellos. Por lo general, el acero recuperado forma también una masa enredada de gran volumen, que dificulta y encarece su manipulación y transporte.

185. En los Estados Unidos, la pirólisis no ha demostrado ser todavía una operación económicamente viable. Se ha intentado en más de 30 oportunidades y siempre ha fracasado como operación a escala industrial; los inversionistas han perdido millones y los estados han tenido que incurrir en actividades de limpieza costosas. El proceso de pirólisis es capaz de crear aceites pirolíticos, que son desechos peligrosos que requieren un manejo adecuado.

38 Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos – Wastes – Resources Conservation – Common wastes & Materials – Scrap Tires.

39 Reid, J.M. y M. G. Winter (2004).

40 Karpetsky, Timothy (2001).

186. El proceso de pirólisis normalmente tiene lugar mediante descomposición térmica y puede recuperar materiales como combustibles equivalentes al diesel y la gasolina, gas equivalente al propano, acero y negro de humo refinado que pueden reutilizarse para fabricar productos nuevos.

## 7. Coprocesamiento

187. Se entiende por “coprocesamiento” el uso de materiales de desecho en procesos industriales, como la producción de cemento y cal o acero. Puede abarcar tanto la recuperación de energía como la recuperación de materiales a partir de los desechos.<sup>41</sup> En esta sección solo se trata el coprocesamiento en hornos de cemento. Se brinda más información detallada sobre coprocesamiento en hornos de cemento en las directrices técnicas sobre el coprocesamiento ambientalmente racional en hornos de cemento.

188. Los estudios sobre el uso de neumáticos en los hornos de cemento no han arrojado resultados uniformes en relación con los efectos del coprocesamiento en niveles detectables de sustancias peligrosas. En consecuencia, habrá que examinar caso por caso la conveniencia de autorizar el coprocesamiento de neumáticos en los hornos de cemento, ya que su seguridad depende de buenas prácticas de funcionamiento y de las características específicas de los neumáticos y del horno que se han utilizado.

189. En Europa, la industria del cemento recupera una cantidad sustancial de desechos para sustituir los combustibles fósiles y/o las materias primas comunes. Aplicando el tratamiento apropiado, las distintas fracciones de los desechos pueden cumplir los requisitos de reutilización ambientalmente compatible en las plantas de cemento.

190. Los neumáticos se han convertido ya en un combustible complementario reconocido para los hornos de cemento, y su uso en esta aplicación permite recuperar energía de los neumáticos de desecho y sustituye a los combustibles fósiles. Las autoridades nacionales pertinentes regulan este proceso y consideran que es una opción aceptable, siempre y cuando se apliquen los criterios de control del proceso y de admisión y se cumplan los requisitos establecidos en la legislación pertinente (en la Unión Europea, estos requisitos se establecen en la Directiva 2000/76/EC sobre incineración de desechos).

191. El coprocesamiento es un medio de recuperar energía y material de desechos y se puede utilizar parcialmente para sustituir combustible y materia prima en la producción de clínker de cemento hidráulico. Básicamente, las características del propio proceso de combustión del clínker permiten aplicaciones ambientalmente beneficiosas de desecho a energía y reciclado de materiales. Las características esenciales del proceso para la utilización de los desechos se pueden resumir de la manera siguiente:

- a) Temperaturas máximas de aproximadamente 2.000°C (sistema de encendido principal, temperatura de la llama) en hornos rotatorios;
- b) Tiempos de retención de los gases de unos ocho segundos a temperaturas por encima de los 1.200°C en hornos rotatorios;
- c) Temperaturas de los materiales de unos 1.450°C en la zona de sinterización del horno rotatorio;
- d) Oxidación de la atmósfera gaseosa en el horno rotatorio;
- e) Tiempo de retención de los gases en el sistema de encendido secundario de más de dos segundos a temperaturas por encima de los 850°C; en correspondencia, en el precalcinador, los períodos de retención de los gases son más prolongados y las temperaturas más altas;
- f) Temperaturas de los sólidos de 850°C en el sistema de encendido secundario o el calcinador;
- g) Condiciones uniformes de extinción de la llama para las fluctuaciones de la carga debido a las altas temperaturas con períodos de retención suficientemente prolongados;
- h) Destrucción de los contaminantes orgánicos debido a las altas temperaturas con períodos de retención suficientemente prolongados;
- i) Adsorción de los componentes gaseosos, como ácido fluorhídrico, ácido clorhídrico y dióxido de azufre en reactivos alcalinos;
- j) Gran capacidad de retención de partículas combinadas de metales pesados;

---

41 Holcim, GTZ (2006).

k) Períodos de retención breves del chorro de gases en la gama de temperaturas que inhibe la síntesis de moléculas complejas de dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados;

l) Uso completo de partes minerales del combustible y los desechos como componentes del clínker y, por consiguiente, reciclado simultáneo de materiales (por ejemplo, también como componente de la materia prima) y recuperación de energía, sea cual sea el valor calorífico;

m) No se generan desechos específicos de los productos como resultado del uso completo del material en la matriz del clínker; sin embargo, algunas plantas de cemento de Europa eliminan el polvo derivado mediante la incorporación químico-mineralógica de metales pesados no volátiles en la matriz del clínker.

**a) Requisitos de calidad**

192. Es esencial que la calidad de los desechos sea uniforme. Para garantizar las características del combustible a base de desechos, es necesario un sistema de control de la calidad. Por regla general, los desechos admitidos como combustibles o materias primas deben aportar un valor calorífico o material añadido al horno de cemento. Por eso, el alto valor calorífico (25~35 MJ/kg) de los neumáticos frente al carbón (18,6 a 27,9 MJ/kg) es sumamente atractivo.

193. Los materiales de desecho utilizados como materias primas o combustible en hornos de cemento tienen que alcanzar diferentes normas de calidad debido a que las cenizas del combustible quedan totalmente aprisionadas en el clínker, y para minimizar los efectos negativos en las composiciones del clínker y las emisiones a la atmósfera.

**b) Emisiones**

194. En la parte II del anexo C del Convenio de Estocolmo figura una lista de los hornos de cemento que queman desechos peligrosos como fuente industrial con posibilidades de formar y liberar a la atmósfera cantidades relativamente elevadas de dibenzo-p-dioxinas policloradas, dibenzofuranos, hexaclorobenceno y bifenilos policlorados.

195. El proyecto de directrices revisadas sobre mejores técnicas disponibles y la orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales conforme al artículo 5 y al anexo C del Convenio de Estocolmo, aprobado en la Conferencia de las Partes en el Convenio en 2007, atañe a esta cuestión y proporciona información valiosa. En las Directrices se estipula lo siguiente:

El proceso de combustión en el horno posiblemente dé lugar a la formación y consiguiente liberación de productos químicos incluidos en el anexo C del Convenio de Estocolmo. Además, se pueden producir liberaciones de los lugares de almacenamiento. Las condiciones de proceso bien diseñadas y la implementación de las medidas primarias apropiadas deberían permitir que los hornos de cemento donde se queman desechos peligrosos funcionasen de manera tal que se pueda minimizar la formación y liberación de productos químicos incluidos en el anexo C para lograr concentraciones de PCDD y PCDF en los gases de salida de  $< 0,1$  ng I-EQT/Nm<sup>3</sup> (con un contenido de oxígeno de 10%), que dependen de factores como el uso de combustibles limpios, la alimentación de desechos, la temperatura y la extracción del polvo. De ser necesario, se deberán aplicar medidas adicionales secundarias para reducir esas emisiones.

196. Las conclusiones de la Fundación para la Investigación Científica e Industrial, basadas en 1.700 mediciones de dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados realizadas entre 1990 y 2004 demuestran, no obstante, que la mayoría de los hornos de cemento pueden cumplir el nivel de emisiones de 0,1 ng EQT/Nm<sup>3</sup>. Los datos representan emisiones de los hornos de cemento en países desarrollados y países en desarrollo mediante el uso de una amplia gama de fuentes de combustibles, incluidos los desechos peligrosos y el combustible derivado de los neumáticos.<sup>42</sup> El Consejo de Ministros del Medio Ambiente del Canadá llegó a una conclusión parecida, al plantear que “los datos disponibles sobre ensayos realizados por el sector del cemento indican que las liberaciones de dioxinas y furanos de los hornos de cemento están por debajo de 80 pg/m<sup>3</sup>, con una sola excepción. Hasta la fecha, 80 pg/m<sup>3</sup> es el límite de emisión más bajo establecido en una Norma nacional del Canadá basada en la tecnología disponible y en la viabilidad”<sup>43</sup>.

197. En el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio se dispone de un conjunto de datos sobre diferentes niveles de emisión cuando se utilizan desechos como materia prima o combustible (incluido el uso de neumáticos

42 Fundación para la Investigación Científica e Industrial (2006).

43 Consejo de Ministros del Medio Ambiente del Canadá (2004).

de desecho como combustible), junto con las mejores técnicas disponibles para la reducción de las emisiones<sup>44</sup>.

198. Con todo, los datos obtenidos de algunas investigaciones sobre emisiones durante el coprocesamiento de neumáticos en hornos de cemento son polémicos. En lo que se refiere a la formación de emisiones, los que proponen el uso de neumáticos como combustible alegan que, si se utilizan medidas de optimización del proceso, junto con sistemas mejorados y optimizados de hornos y un procedimiento ininterrumpido y estable en el horno, el coprocesamiento de los neumáticos y otros desechos peligrosos no difiere de la combustión de carbón convencional. También es esencial aplicar técnicas modernas de reducción de las emisiones bien diseñadas y mantenidas.

**c) Técnicas de vigilancia y medición de la reducción de las emisiones**

199. El control y la vigilancia de los procesos es esencial para mantener bajas las emisiones. Para controlar las emisiones, se podrá instalar algún equipo ambiental adicional. Es menester aplicar medidas especiales de control y vigilancia de los procesos para mantener las normas ambientales, de seguridad y calidad. Según los tipos de desechos utilizados y sus características, habrá que tomar en consideración los puntos de alimentación del horno, ya que la manera en que se alimentan los combustibles en el horno puede afectar las emisiones.

200. Las principales cuestiones ambientales relacionadas con la producción de cemento son las emisiones a la atmósfera y el uso de la energía. Durante la fabricación de cemento se producen emisiones a la atmósfera, por ejemplo, las emisiones de polvo, dióxido de nitrógeno, óxido de azufre, monóxido de carbono, carbono orgánico total, dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados, y metales.

201. Si la vigilancia indica que durante la quema se producen emisiones que rebasan las normas, hay que interrumpir la quema hasta que se haya establecido y rectificado la causa de esa inestabilidad. La quema de neumáticos debería permitirse con carácter permanente solo si los datos de la quema de prueba indican que el coprocesamiento no planteará riesgo adicional alguno para el medio ambiente. En investigaciones llevadas a cabo en el sector europeo del cemento, se concluyó que rara vez representa una fuente significativa de emisiones de PCDD/PCDF debido a que:

- a) La mayoría de los hornos de cemento de la Unión Europea pueden cumplir un nivel de emisión de 0,1 ng I-EQT/Nm<sup>3</sup> si se aplican medidas primarias;
- b) Aparentemente, el uso de desechos como combustible y materia prima con los que se alimenta el quemador principal, la entrada del horno o el precalcinador no influyen en las emisiones de contaminantes orgánicos persistentes (COP) ni las modifican (88, SINTEF, 2006).

202. Se pueden adoptar medidas para minimizar las emisiones de dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados y ajustarse a un nivel de emisión de 0,1 ng de dibenzo-p-dioxinas policloradas y de I-EQT/Nm<sup>3</sup> de dibenzofuranos policlorados. Esas medidas incluyen un proceso ininterrumpido y estable en el horno que funciona cerca de los puntos del conjunto de parámetros del proceso, que resulta beneficioso para todas las emisiones de los hornos y para el uso de la energía, lo que se puede obtener aplicando lo siguiente:

- a) Optimización del control del proceso, lo que incluye un sistema de control automático computadorizado;
- b) Uso de modernos sistemas de alimentación del combustible;
- c) Minimización del uso de la energía del combustible mediante el precalentamiento y la precalcificación, teniendo en cuenta la configuración existente del sistema de hornos;
- d) Selección y control cuidadosos de las sustancias que entran en el horno: selección y uso de materias primas homogéneas y combustibles con un bajo contenido de azufre, nitrógeno, cloro, metales y compuestos orgánicos volátiles, de ser viable.

203. Para minimizar la posibilidad de que se vuelvan a formar dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados, se considera que las medidas primarias que se indican a continuación son las más importantes:

- a) Rápido enfriamiento de los gases que salen del horno a menos de 200°C en los hornos húmedos y los hornos secos sin precalentamiento. En los modernos hornos de precalentamiento y precalcificación, esta característica es ya inherente;

---

44 Comisión Europea, mayo de 2010.

- b) Limitación del tiempo de residencia de los gases de salida y del contenido de oxígeno en zonas donde las temperaturas fluctúan entre 300°C y 450°C;
- c) Limitación o no utilización de los desechos usados como materia prima que se alimenta como parte de la mezcla de materia prima, si incluye materias orgánicas;
- d) No utilización del combustible de desecho para encender y apagar el horno;
- e) Vigilancia y estabilización de los parámetros críticos del proceso, es decir, alimentación homogénea de la mezcla de materias primas y el combustible, dosificación periódica y oxígeno en exceso<sup>45</sup>.

204. En el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria del cemento figura información más detallada sobre las mejores técnicas disponibles para la reducción de las emisiones, por ejemplo, de óxido de nitrógeno, óxido de azufre, monóxido de carbono, carbono orgánico total, dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados y metales<sup>46</sup>. Sin embargo, se ha cuestionado esta solución por dos razones fundamentales:

- a) El uso de neumáticos para la generación de energía reduce la posibilidad de que se los utilice como producto de más alto valor añadido en otras aplicaciones. Este aspecto se debe evaluar en el contexto de la jerarquía de tratamiento de los desechos. Es obvio que, cuando se pueden reutilizar los neumáticos o cuando se pueden reciclar sus materiales, estas opciones son preferibles pero siempre deberán evaluarse utilizando una metodología basada en el ciclo de vida, teniendo en cuenta rutas alternativas de tratamiento de desechos y la sustitución de los recursos naturales;
- b) Hay preocupación por las emisiones que pudiera generar el proceso de combustión.

205. En lo que respecta a la Unión Europea, la directiva sobre incineración de desechos (2000/76/EC) estableció límites de emisión más bajos a partir de 2008, lo que llevó a la desactivación de hornos de cemento que no lograban cumplir esos límites de emisión bajos. Los hornos de cemento que utilizan el proceso húmedo se vieron afectados especialmente por estos límites más rigurosos. Estos hornos procesan alrededor del 20% de los neumáticos de desecho usados en la industria del cemento.

206. Un factor que está comenzando a influir en contra del uso de los combustibles fósiles tradicionales, como el coque de petróleo como combustible, tiene que ver con las emisiones de dióxido de carbono. En la actualidad, la quema de combustibles fósiles representa alrededor el 40% de las emisiones de la industria del cemento. Para 2020, las proyecciones indican que la demanda en el caso del cemento aumentará en 180% respecto de los niveles de los años noventa. La industria del cemento, como parte de la Iniciativa de sostenibilidad del cemento, se propone mantener las emisiones en los niveles de 1990, a pesar de ese aumento de la demanda, lo que significa una reducción de alrededor del 40% en las emisiones de dióxido de carbono<sup>47</sup>.

## 8. Coincineración en plantas de generación de energía eléctrica

207. Según Menezes<sup>48</sup>, la incineración es un proceso de oxidación térmica a altas temperaturas, que fluctúan entre 800°C y 1.300°C, utilizado para eliminar desechos orgánicos y reducir el volumen y la toxicidad. Sean cuales sean los objetivos para los cuales se lleva a cabo la incineración, se deberán aplicar controles estrictos de las emisiones, como se establece en la legislación.

208. Es esencial que durante el proceso de incineración se apliquen controles estrictos sobre variables como la temperatura de combustión, el tiempo de residencia, la turbulencia (que indica el grado de la mezcla entre el oxígeno y los desechos que debe ser la máxima para aumentar la destrucción de las moléculas), la concentración de oxígeno y el diámetro de las partículas.

209. Las plantas que incineran elastómeros, como neumáticos u otros materiales, deberían utilizar una tecnología avanzada para evitar muy diversas emisiones dimanantes de la amplia diversidad y concentración de aditivos utilizados en esos polímeros. Los gases dimanantes de la incineración de elastómeros producen elementos que presentan un alto grado de toxicidad y, por consiguiente, requieren tratamiento. Las dioxinas, los furanos y los hidrocarburos aromáticos policíclicos son todos subproductos del proceso de combustión y requieren controles especiales debido a los graves daños

45 Consejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible/Fundación para la Investigación Científica e Industrial, "Formation and Release of POP's in the Cement Industry". Enero de 2006.

46 Comisión Europea, mayo de 2010.

47 Climate Change /Final Report 8 / 2002 /Pág 24 - Battelle Institute / Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible.

48 Menezes (2006).

para la salud humana y el medio ambiente que pueden causar. Durante la combustión de materias primas como el carbón y el petróleo, así como de los neumáticos, se pueden producir numerosas materiales potencialmente peligrosas, lo que significa que el proceso de combustión debe tener lugar con sujeción a condiciones de combustión apropiadas y al control de las emisiones a fin de cumplir todas las normas aplicables.

210. Por ejemplo, la incineración es una tecnología que exige una importante inversión de capital y tropieza con una fuerte oposición de la opinión pública. Varias plantas han experimentado problemas de funcionamiento que han dificultado el suministro fiable de electricidad. La combustión exige una gran inversión de capital. La sustitución de una parte de otros combustibles sólidos por un combustible derivado de los neumáticos en las actuales plantas de combustión requiere, por regla general, una inversión limitada en el equipo medidor apropiado para controlar la cantidad de combustible derivado de los neumáticos que se va añadiendo. Son muy pocos los sistemas dedicados exclusivamente a la combustión de neumáticos de desecho, y cuando se trata de generación de energía la inversión de capital es grande debido fundamentalmente a que sus economías de escala son relativamente pequeñas. Algunas de estas plantas han tropezado con problemas de viabilidad económica, porque sus sistemas funcionan a base de leña y otras fuentes de energía renovables.

211. Algunos de los incineradores, incluidas las plantas de Gummi-Mayer (Alemania), Sita-Elm Energy (Reino Unido) y Modesto Tyres (California) han sido cerradas debido a estos problemas. Entre las que siguen funcionando están las de Exeter (Estados Unidos), Marangoni (Italia) y Ebara (Japón).

## Bibliografía

- ALIAPUR y otros (2007). Environmental and health assessment of the use of elastomer granulates (virgin and from used tyres) as filling in third-generation artificial turf. ALIAPUR, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), Fieldturf Tarkett, EDEMS.
- BORGES, Sonia Marta dos Anjos Alves, "Importância Epidemiológica do Aedes albopictus nas Américas", Master's Thesis, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2001.
- California Environmental Protection Agency (Estados Unidos), "Integrated Waste Management Board, Increasing the Recycled Content in New Tyres 21" (2004).
- California Integrated Waste Management Board – CIWMB, 2007. "Evaluation of Health Effects of Recycled Waste Tires in Playground and Track Products". Informe del contratista a la Junta, enero de 2007.
- Calrecovery Inc. – "Evaluation of Waste Tyre Devulcanization Technologies", diciembre de 2004 <http://www.ciwmb.ca.gov/Publications/Tires/62204008.pdf>.
- Caltrans. Asphalt Rubber Usage Guide. "Materials Engineering and Testing Services-MS #5." Office of Flexible Pavement Materials; enero de 2003. [http://www.dot.ca.gov/hq/esc/Translab/pubs/Caltrans\\_Aspphalt\\_Rubber\\_Usage\\_Guide.pdf](http://www.dot.ca.gov/hq/esc/Translab/pubs/Caltrans_Aspphalt_Rubber_Usage_Guide.pdf)
- CAMPONELLI, Kimberly M. y otros - Impacts of weathered tire debris on the development of *Rana sylvatica* larvae. *Chemosphere* 74 (2009) 717-722 .
- Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente. (2004). Status of Activities Related to Dioxins and Furans Canada-wide Standards. [www.ccme.ca/assets/pdf/d\\_f\\_2004\\_sector\\_status\\_rpt\\_e.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/d_f_2004_sector_status_rpt_e.pdf).
- CHESTER, G. Moore y Carl J. Mitchell, "Aedes albopictus in the United States: Ten-Year Presence and Public Health Implications", *Emerging Infectious Diseases*, Volumen 3, núm. 1 (1997). <ftp://ftp.cdc.gov/pub/EID/vol3no3/adobe/moore.pdf>.
- Climate Change /Final Report 8 / 2002 /Pág. 24 - Battelle Institute / Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible.
- Directiva 1999/31/CE.
- DTC & IFEU 2008: Comparative life cycle assessment of two options for waste tyre treatment: recycling in asphalt and incineration in cement kilns. Sinopsis.
- Environmental Health Practitioner, "Biting Back", quoting Jolyon Medlock, Health Protection Agency, UK, when referring to the dissemination of *Aedes albopictus* in the United States. Diciembre de 2004, en 368 a 371. [http://shop.cieh.org/ehp/public\\_health/articles/biting\\_back.htm](http://shop.cieh.org/ehp/public_health/articles/biting_back.htm).
- ETRMA – "Lifecycle assessment of an average European car tyre". Préconsult for ETRMA, 2001.
- Comisión Europea – Prevención y control integrados de la contaminación – Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en las industrias del cemento, la cal y el óxido de magnesio. Mayo de 2010. [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/brefdownload/download\\_CLM.cfm](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/brefdownload/download_CLM.cfm)
- FABES 2006: Emission study on asphalt with 'Road+'. Investigation Report. FABES 2005: Migration Study on Asphalt Modified with Rubber. Heiden Labor 2007: Untersuchgsbefund. (Emisiones del asfalto modificado con caucho reciclado).
- FIGUEIREDO, Luiz Tadeu Moraes, "Dengue in Brazil: Past, Present and Future Perspective", *Dengue Bulletin*, Organización Mundial de la Salud, Volumen 27, pág. 25, en 29 (2003); Organización Mundial de la Salud, Case Fatality Rate (%) of DF/DHF in the South-East Asia Region (1985–2004) (2004).
- Fundación para la Investigación Científica e Industrial (SINTEF). (2006). Formation and Release of POPs in the Cement Industry: segunda edición. Preparada para la Iniciativa de Sostenibilidad del Cemento del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. [http://www.wbcsd.org/DocRoot/piF5rKj2ulwpFpYRMI8K/formation\\_release\\_pops\\_second\\_edition.pdf](http://www.wbcsd.org/DocRoot/piF5rKj2ulwpFpYRMI8K/formation_release_pops_second_edition.pdf).
- Gert-Jan van der Have, Recycling International, abril de 2008, págs. 40 a 43.
- Health Canada, en [http://www.hc-sc.gc.ca/ahc-asc/media/advisories-avis/\\_2001/2001\\_75-eng.php](http://www.hc-sc.gc.ca/ahc-asc/media/advisories-avis/_2001/2001_75-eng.php).
- Health Protection Agency (Reino Unido), Chemical Hazard and Poisons Report 8 (2003) ("UK – Chemical Hazard Report").
- Holcim, GTZ - 2006.

- HR Wallingford. "Sustainable Re-use of Tyres in Port, Coastal and River Engineering - Guidance for planning, implementation and maintenance". Marzo de 2005.  
<http://www.aircrafttyres.com/images/Hergebruik%20banden.pdf>.
- HYLANDS, K.N. Shulman, V. "Civil Engineering Applications of Tyres". Reporting VR 5. Viridis. 2003.  
 Copyright@ <http://www.viridis.co.uk/>.
- Impact environnemental sur l'air et sur l'eau. SNCP 2007. "Incendie dans un entrepôt de stockage de pneumatiques équipé d'une installation sprinkler". El estudio se puede descargar en [http://www.lecaoutchouc.com/fr/doc/Bat\\_sprinkle.pdf](http://www.lecaoutchouc.com/fr/doc/Bat_sprinkle.pdf). La publicación sobre el mismo tema relativa a las instalaciones sin aspersores puede descargarse en [http://www.lecaoutchouc.com/fr/doc/Bat\\_non\\_sprinkle.pdf](http://www.lecaoutchouc.com/fr/doc/Bat_non_sprinkle.pdf).
- Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991, § 1038(d), Pub. L. 102-240, 105 Stat. 1914 (1991); NHS Designation Act of 1995, § 205(b), Pub. L. 104-59, 109 Stat. 588 (1995).  
<http://owr.ehnr.state.nc.us/ref/35/34652.pdf>.
- INTRON 2008: Follow-up study of the environmental aspects of rubber infill. A laboratory study (perform weathering tests) and a field study. Rubber crumb from car tyres as infill on artificial turf.  
<http://www.syntheticturfcouncil.org/associations/7632/files/Environmental%20Study%20Report-FieldTurf-2007.pdf>.
- INTRON y otros (2007) - "Environmental and Health Risks of Rubber Infill: rubber crumb from car tyres as infill on artificial turf."
- KARPETSKY, Timothy. "Resonance disintegration produces ultrafine carbon products from pyrolysis char for use in printing inks", *Paint India* vol. 51, núm 12, págs. 73 a 80, 2001.
- KENNEDY, Donald & Marjorie Lucks, "Rubber, Blight, and Mosquitoes: Biogeography Meets the Global Economy", *Environmental History*, Volumen 4 en 369 (1999)  
[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_qa3854/is\\_199907/ai\\_n8871885/print](http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3854/is_199907/ai_n8871885/print).
- KOBAYASHI, M. y otros, "Analysis of Northern Distribution of *Aedes albopictus* (Diptera culidae) in Japan by Geographical Information System", *Journal of Medical Entomology*, Volumen 39, núm. 1, en 9 (2002).  
<http://docserv.ingentaconnect.com/deliver/connect/esa/00222585/v39n1/s2.pdf?expires=1213041982&id=0000&titleid=10266&checksum=478931A74C1B3266EC5E097FF28C6C3E>.
- Literature Study on substances leached from shredded and whole tyres (publicado en junio de 2005 por BLIC – European Association of the Rubber Industry).
- Marwood, C., Kreider, M., Ogle, S., Finley, B., Sweet, L., Panko, J. "Acute aquatic toxicity of tire and road wear particles to alga, daphnid, and fish". *Ecotoxicity*. 2011.
- MENEZES, "Evaluation of the Emissions from the Thermal Degradation of Tires". 2006 – Río de Janeiro.  
[http://fenix2.ufrj.br:8991/F/NKH1811JC51JABCEP5X6DQ59UMF15M1EE11KIIEAMK2XN71AQE-01259?func=short-0&set\\_number=851764](http://fenix2.ufrj.br:8991/F/NKH1811JC51JABCEP5X6DQ59UMF15M1EE11KIIEAMK2XN71AQE-01259?func=short-0&set_number=851764).
- Müller, E. (2007). Investigations into the behaviour of synthetic surfaces exposed to natural weather conditions. Swiss Federal Office of Sport BASPO, BASF, Qualifloor, Gezolan AG, Institut für Sportbodentechnik, Swiss Federal Office for Environment BAFU, Lörrach, Office of Water Conservation and Waste Management, WALO.
- MWH. Julio de 2004. Ministerio del Medio Ambiente. "End-of-Life Tyre Management: Storage Options Final Report for the Ministry for the Environment". <http://www.mfe.govt.nz/publications/waste/end-of-life-tyre-management-jul04/end-of-life-tyre-management.pdf>.
- Wik A, Dave G (2005) Environmental labeling of car tires—toxicity to *Daphnia magna* can be used as a screening method. *Chemosphere* 58:645–651
- Wik A (2007) Toxic components leaching from tire rubber. *Bull. Environ Contam Toxicol* 79:114–119.
- National Approach to Waste Tyres, 2001  
<http://www.environment.gov.au/settlements/publications/waste/tyres/national-approach/pubs/national-approach.pdf>.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo (NIOSH), Departamento de Salud y Servicios Humanos, "Crumb-Rubber Modified Asphalt Paving: Occupational Exposures and Acute Health Effects" vi (2001).  
[http://www.asphaltrubber.org/ari/Emissions/NIOSH\\_2001.pdf](http://www.asphaltrubber.org/ari/Emissions/NIOSH_2001.pdf).
- O'SHAUGHNESSY VO, Garga VK. (2000) "Tire-Reinforced Earthfill". Part 3: Environmental Assessment. *Canadian Geotechnical Journal* 37: 117-131. [https://article.pubs.nrc-cnrc.gc.ca/RPAS/RPViewDoc?\\_handler\\_=HandleInitialGet&journal=cgj&volume=37&calyLang=fra&articleFile=t99-086.pdf&secure=true](https://article.pubs.nrc-cnrc.gc.ca/RPAS/RPViewDoc?_handler_=HandleInitialGet&journal=cgj&volume=37&calyLang=fra&articleFile=t99-086.pdf&secure=true) (<http://ieg.or.kr:8080/abstractII/M0203701008.html>).

OCDE (2004): Proyecto de recomendación del Consejo sobre el Manejo Ambientalmente Racional de los Desechos. C(2004)100. [http://webdomino1.oecd.org/horizontal/oecdacts.nsf/linkto/C\(2004\)100](http://webdomino1.oecd.org/horizontal/oecdacts.nsf/linkto/C(2004)100).

OCDE (2007); Manual de orientación para la aplicación de la recomendación C92004)100 de la OCDE sobre manejo ambientalmente racional de los desechos. <http://www.oecd.org/dataoecd/23/31/39559085.pdf>.

Ohio Department of Natural Resources, “Recycling Tyres: Problems with wasting scrap tyres: Disease” Center for Disease Control and Prevention, Aedes albopictus Infestation – United States, Brazil, Morbidity and Mortality Weekly Report, 8 de agosto de 1986.

Questor Centre – “New Products Incorporating Tyre Materials”, Investment Belfast, 2005. <http://www.investmentbelfast.com/downloads/Full%20Circle%20Final%20Report.pdf>.

Recyc-Quebec. 2001-2008 “Program for the Emptying of Scrap Tire Storage Sites in Québec - Normative Framework” ([http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/zzzzzzzcn\\_pro182.pdf](http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/zzzzzzzcn_pro182.pdf)).

REID, J M y M G Winter (2004). “The Use of Post-Consumer Tyres in Civil Engineering”. Used/Post Consumer Tyres, Editors MC Limbachiya y JJ Roberts, 195 a 202. Londres, Thomas Telford. <http://www.northerntyre.com/01%20The%20Use%20of%20Post-Consumer%20Tyres%20in%20Civil%20Engineering.PDF>.

REISMAN, Joel. I. “Air Emissions from Scrap tyre Combustion”. United States National Risk Management Environmental Protection Research Laboratory. Agency Cincinnati, OH 45268. Noviembre de 1997.

RIAZ AK, Ahmed S. (2001) “Recycling of Shredded Rubber Tires as Road Base in Manitoba: A Case Study”. 2001 An Earth Odyssey. Universidad de Manitoba (Canadá).

Scrap Tire Recycling in Canada: From Scrap to Value/Recyclage des pneus hors d’usage au Canada : La transformation des pneus hors d’usage en produits à valeur ajoutée [http://www.catraonline.ca/pdf/Recyc\\_2006\\_Pneus.pdf](http://www.catraonline.ca/pdf/Recyc_2006_Pneus.pdf).

SHEEHAN, P.J. y colaboradores (2006) - “Evaluating The Risk To Aquatic Ecosystems Posed By Leachate From Tire Shred Fill In Roads Using Toxicity Tests, Toxicity Identification Evaluations, And Groundwater Modeling”.

SHEERIN, John, Chair of Scrap tyre Committee of Rubber Manufacturers Association, “Markets & Trends in the US Scrap tyre Industry”, presentation at a meeting of the Canadian Rubber Association, 20 de octubre de 2004, en las diapositivas 13 y 23

SINTEF – “Formation and Release of POPs in the Cement Industry: segunda edición”. Consejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible - Fundación para la Investigación Científica e Industrial (SINTEF). Enero de 2006.

SIQUEIRA, João Bosco y otros, “Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever, Brazil, 1981-2002”, Emerging Infectious Diseases, Center for Disease Control and Prevention (US), Volumen 11, núm. 1 (2005).

Solari, Alfredo. BID America, <http://www.iadb.org/idbamerica/index.cfm?thisid=1403>.

Especialista: Michael Playdon, Columbus McKinnon, febrero de 2004. <http://www.mfe.govt.nz/publications/waste/end-of-life-tyre-management-jul04/html/table8-1.html>.

STEPHENSEN, Eiríkur y otros, Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 22, núm. 12, págs. 2926 a 2931, 2003.

TEXEIRA, Maria da Glória. “Dengue and dengue hemorrhagic fever epidemics in Brazil: What research is needed based on trends, surveillance and control experiences,” Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 15, Pg 1307 - 1315, 2005.

Tyres in the Environment, en el párrafo 4.4 (“Las propiedades del caucho reciclado no son tan buenas como las del material virgen, debido a que ya ha sido vulcanizado. El uso de caucho reciclado limita las propiedades del producto final .. [y causa] una reducción del 1% de las propiedades del producto final por cada 1% de sustitución...”).

Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos – Wastes – Resources Conservation – Common wastes & Materials – Scrap Tires [http://www.epa.gov/osw/conserves/materials/tires/civil\\_eng.htm#roads](http://www.epa.gov/osw/conserves/materials/tires/civil_eng.htm#roads).

UBA (2006) Einsatz von Sekundärbrennstoffen (UBA texte 07-06) <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3011.pdf>.

Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el transporte de mercancías peligrosas (Reglamento Modelo) (CEPE, 2003a – véase el anexo V, Bibliografía) o versiones posteriores.

Universidad de Rhode Island, Office of Mosquito Abatement Coordination, Mosquitoes, “Disease and Scrap Tyres”.

Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Administración Federal de Carreteras, Crumb Rubber Modifier.

VDZ (2008) Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2007. [http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/UmweltundRessourcen/Umweltdaten/Umweltdaten2007\\_d\\_Final\\_WEB.pdf](http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/UmweltundRessourcen/Umweltdaten/Umweltdaten2007_d_Final_WEB.pdf).

Nota descriptiva de la OMS sobre el dengue.

OMS, Segunda edición, 1997; descargable en <http://www.who.int/topics/dengue/en/>.

Consejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible/SINTEF “Formation and Release of POP’s in the Cement Industry”. Enero de 2006.

[http://www.wbcd.org/DocRoot/piF5rKj2ulwpFpYRMI8K/formation\\_release\\_pops\\_second\\_edition.pdf](http://www.wbcd.org/DocRoot/piF5rKj2ulwpFpYRMI8K/formation_release_pops_second_edition.pdf).

Organización Mundial de la Salud, “Dengue y Dengue Hemorrágico (2002)” (“Nota descriptiva de la OMS sobre el dengue”) <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/>.

Organización Mundial de la Salud, “Guidelines for Treatment of Dengue Haemorrhagic Fever in Small Hospitals” ix (1999) [http://www.searo.who.int/LinkFiles/Dengue\\_Guideline-dengue.pdf](http://www.searo.who.int/LinkFiles/Dengue_Guideline-dengue.pdf)

YAMAGUCHI, E. “Waste Tyre Recycling”, Master of Engineering Project, Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, octubre de 2000, <http://www.p2pays.org/ref/11/10504/>.

Källqvist, T. (2005). Environmental risk assessment of artificial turf systems. Instituto Noruego de Investigaciones de Agua: Oslo.

Verschoor, A. J. (2007). *Leaching of zinc from rubber infill on artificial turf (football pitches)-RIVM report 601774001/2007. Ministerio de Vivienda, Planificación Espacial y Medio Ambiente, Países Bajos.*

Zhang, J. J., Han, I. K., Zhang, L., y Crain, W. (2008). Hazardous chemicals in synthetic turf materials and their bioaccessibility in digestive fluids. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 18(6), 600-7.

## Apéndice I

### Publicaciones sobre salud pública

La fiebre del dengue es transmitida por mosquitos que se crían en contenedores donde se deposita el agua de lluvia, en particular los neumáticos usados<sup>49</sup>. Un solo neumático puede servir de criadero para miles de mosquitos en un solo verano<sup>50</sup>. Los centros para el control y la prevención de enfermedades de los Estados Unidos reconocen que “la infestación se puede contener mediante programas de vigilancia, la eliminación de los criaderos (especialmente los neumáticos), la interrupción de la dispersión interestatal de los neumáticos y el uso sensato de los insecticidas en los criaderos”. Los programas de erradicación de mosquitos son costosos y minimizan el problema en lugar de resolverlo.

Uno de los ejemplos de ellos es la especie *Aedes albopictus* (conocida también como mosquito tigre asiático o mosquito de día de los bosques). Esta especie fue transportada accidentalmente desde el Japón al hemisferio occidental a mediados de los años ochenta en embarques de neumáticos usados<sup>51</sup>. Desde entonces, la especie se ha establecido en diversos estados de los Estados Unidos y en otros países de América, como la Argentina, el Brasil, Cuba, Guatemala, México y la República Dominicana<sup>52</sup>. Por esa razón, parece evidente que la propagación de la especie se produjo como consecuencia del movimiento de neumáticos usados entre estados y países.

Los riesgos relacionados con el transporte de neumáticos usados y de desecho son bien conocidos y los especialistas y las autoridades ambientales del Canadá, el Reino Unido y los Estados Unidos se han referido a esta situación. Un funcionario de salud pública del Reino Unido, al referirse a la propagación del *Aedes albopictus* en los Estados Unidos, caracterizó el problema de transporte de la siguiente manera:

“Mediante el movimiento interno de esos neumáticos, se puede vigilar el movimiento de esos mosquitos a través del sistema de carreteras interestatales, lo cual resulta en realidad muy ingenioso”<sup>53</sup>.

Un estudio realizado en el Japón en 2002 demostró que los neumáticos transportados para operaciones de eliminación definitiva (en este caso, en hornos de cemento) podían estar infestados de mosquitos:

“En el confín más norteño donde habita el mosquito, Higashiyama, situado en el extremo oriental del distrito de Tohoku, hay una planta de cemento en la que se utilizan neumáticos usados como combustible y materia prima. Estos neumáticos, que podrían estar infestados de mosquitos, son transportados con frecuencia desde las grandes ciudades cercanas. Se ha demostrado que este tipo de actividad económica está muy vinculada a la propagación del *Ae. Albopictus*”<sup>54</sup>.

En un estudio de los centros de control y prevención de enfermedades de los Estados Unidos se informaba lo siguiente:

“*Ae. Albopictus*, una gran plaga de insectos que pican en gran parte de su área de distribución, es un vector de laboratorio apto para al menos 22 arbovirus, entre ellos muchos virus de importancia para la salud pública. Cabría postular que existe una relación entre la dispersión y las principales rutas de transporte en el caso de una especie transportada en gran medida por actividades humanas como el movimiento comercial de neumáticos de desecho para recauchutado, reciclado u otros fines. Varios de los 28 lugares infestados con mosquitos no localizados en el sistema interestatal eran importantes empresas de recauchutado de neumáticos, otras empresas que manejan grandes cantidades de neumáticos usados o de desecho o vertederos ilícitos de neumáticos”<sup>55</sup>.

49 Organización Mundial de la Salud, “Dengue y Dengue Hemorrágico (2002)” (“Nota descriptiva de la OMS sobre el dengue”).

50 Ohio Department of Natural Resources (1986).

51 Yamaguchi, E. (2000).

52 Borges, Sonia Marta dos Anjos Alves (2001).

53 “Biting Back”, Environmental Health Practitioner (2004).

54 Kobayashi, M., y otros (2002).

55 Chester, G. Moore y Carl J. Mitchell (1997).

Las cifras relacionadas con la epidemia del dengue son importantes: más de 50 millones de personas en todo el mundo son infectadas anualmente con esta enfermedad, y se registran 500.000 hospitalizaciones y 12.000 defunciones<sup>56</sup>. La Organización Mundial de la Salud reconoció que el dengue era “la enfermedad vírica tropical más importante que haya surgido” y “un gran problema internacional de salud pública”<sup>57</sup>. Sus síntomas van desde fiebre alta, dolores de cabeza agudos y dolores musculares hasta hemorragias, seguidas casi siempre de inflamación del hígado y mala circulación sanguínea<sup>58</sup>. El dengue hemorrágico presenta una tasa de mortalidad del 5% al 15% si no se trata<sup>59</sup>. El dengue hemorrágico es una de las principales causas de mortalidad infantil en varios países asiáticos, que son su lugar de origen.

El caso del Brasil es un ejemplo en este sentido. El dengue, que alguna vez se consideró erradicado, resurgió durante el decenio de 1990 y, según la Organización Mundial de la Salud, ha llegado ahora a alcanzar niveles de epidemia explosiva<sup>60</sup>. La actual epidemia del dengue en el Brasil se agudizó entre 1994 y 2002, y en 2002 se registró un máximo de 794.000 casos. A diferencia de los brotes de la enfermedad localizados anteriormente, la actual epidemia se propagó por todo el país<sup>61</sup>. El número de casos de dengue hemorrágico se incrementó en 45 veces desde 2000 hasta 2002<sup>62</sup>, y alcanzó una tasa de mortalidad pico de 4,3%, casi ocho veces la de Asia sudoriental<sup>63</sup>. El Brasil representaba el 70% de los casos notificados en América entre 1998 y 2002<sup>64</sup>. Hoy día, tres de los cuatro serotipos del dengue están circulando en 22 de los 27 estados del Brasil<sup>65</sup>, algo preocupante, porque la combinación de serotipos aumenta la probabilidad de complicaciones y de muerte. La introducción de un cuarto serotipo (DEN-4) es inminente, como resultado del transporte aéreo y marítimo entre el Brasil y otros países. Tras una intensa campaña de sensibilización del público llevada a cabo en el Brasil, de enero a octubre de 2006 se notificaron 280.511 casos de dengue y 61 defunciones.

Ni siquiera la fumigación resulta totalmente eficaz en la eliminación de los huevos y larvas de las pilas de neumáticos. Para reprimir a los mosquitos adultos hay que utilizar adulticidas, productos químicos tóxicos que no son nada benignos para el medio ambiente. Además, por regla general, es difícil que penetren lo suficiente en la pila para afectar a los mosquitos<sup>66</sup>, debido a que tienden a concentrarse en el fondo de la pila, donde la fumigación no llega a niveles de concentración suficientemente elevados para alcanzarlos. Por consiguiente, lo común es que se vuelvan resistentes a los insecticidas. Según Solari (2002)<sup>67</sup>, el uso de la fumigación es costoso y poco eficaz para combatir el dengue: “La fumigación tiene que ver con la capacidad de respuesta de los gobiernos, aunque solo mata a los mosquitos adultos y, al cabo de una semana, las larvas han madurado y volvemos al punto de partida”.

La eliminación de neumáticos usados constituye, por esa razón, un factor de riesgo para la propagación de mosquitos vectores y se considera un problema desde el punto de vista de la salud pública, especialmente en los países tropicales, a lo que se viene a sumar el hecho de que los neumáticos albergan a roedores.

Otro riesgo para la salud pública es la quema de neumáticos a cielo abierto sin control, que genera emisiones de compuestos químicos que dañan la salud humana, como el monóxido de carbono, los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos aromáticos polinucleares y los contaminantes orgánicos persistentes, por ejemplo, las dibenzo-p-dioxinas policloradas y los dibenzofuranos policlorados, el hexaclorobenceno y los bifenilos policlorados. La reducción o eliminación de las emisiones no intencionales de esas sustancias se rige por el artículo 5 y el anexo C del Convenio de Estocolmo, aunque no es este el caso si la incineración tiene lugar en condiciones bien controladas, como la co-incineración en hornos de cemento.

56 Teixeira, Maria da Glória (2005).

57 Organización Mundial de la Salud (1999).

58 Nota descriptiva de la OMS sobre el dengue.

59 Kennedy, Donald y Lucks, Marjorie (1999).

60 Nota descriptiva de la OMS sobre el dengue.

61 Siqueira, João Bosco, y otros (2005).

62 *Ibíd.*

63 Figueiredo, Luiz Tadeu Moraes (1985–2004) (2004).

64 Siqueira, João Bosco, y otros (2005).

65 *Ibíd.*

66 Universidad de Rhode Island, Office of Mosquito Abatement Coordination, Mosquitoes, “Disease and Scrap Tyres”.

67 Solari, Alfredo. BID América.

## Apéndice II

### Publicaciones sobre lixiviación

#### Parte A: Resumen de los ensayos sobre el terreno examinados relativos al lixiviado de neumáticos

En el cuadro 1, que figura a continuación, se resumen los ensayos sobre el terreno examinados relativos al lixiviado de neumáticos.

Cuadro 1: Resumen de los ensayos sobre el terreno examinados relativos al lixiviado de neumáticos

Estudio	Fecha	Lugar	Método	Características del lixiviado
Humphrey	1997	EE.UU.	Trozos de neumáticos por encima del NF en Maine, se recogieron muestras de las AS o el material lixiviado durante dos años y medio, pozo de control.	Sustancias < NPCA. Sustancias < NSCA con excepción de Fe y Mn. No se detectó materia orgánica.
Horner	1996	Reino Unido	Se tomaron muestras del suelo de un vertedero de neumáticos que llevaba 10 años al oeste de Londres	Elevados niveles de Cd, Pb y Zn en el suelo en la base del vertedero; los niveles disminuían exponencialmente con la distancia.
O'Shaughnessy	2000	CA	Relleno de terrenos reforzado con neumáticos, material lixiviado recogido durante dos años, sin pozo de control.	La vigilancia sobre el terreno de un prototipo de terraplén de ensayo construido con neumáticos por encima del nivel freático indica que durante un período de dos años se habían producido efectos adversos insignificantes en la calidad de las aguas subterráneas <sup>68</sup> .
Humphrey	2001	EE.UU.	Fragmentos de neumáticos por debajo del NF en Maine, durante dos años y medio, se recogió material lixiviado aguas abajo y en las AS, pozo de control.	El más alto grado de contaminación observado en el lugar, y disminución de la contaminación hasta cerca de 3 m corriente abajo. Sustancias < NPCA en el lugar. Sustancias < NSCA en el lugar, con excepción de Fe, Mn, Zn y algunas materias orgánicas.
Humphrey	2000	EE.UU.	Fragmentos de neumáticos por encima del NF en Maine, se acopió material lixiviado durante cinco años, pozo de control.	Sustancias con NPCA no alteradas. Sin incremento de Al, Zn, Cl y SO <sub>4</sub> en el lugar. Aumento del Fe y el Mn en el lugar. Nivel insignificante de materia orgánica en el lugar.
Riaz <sup>69</sup>	2001	CA	Neumáticos triturados en el firme de una carretera en Manitoba, se recogieron AS, sin pozo de control.	Sustancias < NPCA debajo del lugar. Sustancias < NSCA debajo del lugar, con excepción de Al, Fe y Mn. No se detectó materia orgánica.

Referencia: *End-of-life tyre Management – MWH, Nueva Zelandia, 2004*

Notas:

1. Abreviaturas de países utilizadas en el cuadro: CA: Canadá; EE.UU.: Estados Unidos de América; y RU: Reino Unido.
2. Abreviaturas generales utilizadas en el cuadro: NPCA: norma primaria (de salud) de la calidad del agua potable de los Estados Unidos; NSCA: normas secundarias (estéticas) de la calidad del agua potable de los Estados Unidos; NF, nivel freático; AS, aguas subterráneas.

68 O'Shaughnessy VO, Garga VK (2000).

69 Riaz AK, Ahmed S. (2001).

Como se presenta en la Sección I/ C.2/b), a continuación se describen los diversos factores que pueden afectar la tasa de lixiviación o la concentración de los compuestos de neumático lixiviados en el suelo, el agua superficial y las aguas subterráneas<sup>70</sup>.

- a) **Tamaño del neumático:** probablemente la lixiviación de neumáticos enteros sea más lenta que la de los fragmentos o trozos de neumáticos, debido a las diferencias en la relación del área superficial al volumen;
- b) **Cantidad de acero expuesto:** si el acero queda expuesto (en el caso de fragmentos y trozos de neumáticos), es probable que la lixiviación de manganeso y hierro sea más rápida que en los neumáticos enteros en los que el acero no está expuesto;
- c) **Entorno químico:** probablemente la lixiviación de metales sea más rápida en condiciones ácidas, mientras que la lixiviación de compuestos orgánicos probablemente sea más rápida en condiciones básicas;
- d) **Permeabilidad del suelo:** mientras más permeables sean los suelos, más rápida será probablemente la lixiviación;
- e) **Distancia de la capa freática:** mientras mayor sea la distancia vertical de la capa freática, menos probabilidades habrá de que se contaminen las aguas subterráneas;
- f) **Distancia del sitio de almacenamiento de los neumáticos:** mientras más lejos esté el lugar donde se almacenan los neumáticos del curso de un río, menor será la concentración de contaminantes en el suelo y las aguas subterráneas;
- g) **Tiempo de contacto con el agua:** mientras más tiempo estén los neumáticos en contacto con el agua, mayor será el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas;
- h) **Flujo vertical de agua a través del suelo:** mientras más agua penetre en el suelo (por ejemplo, agua de lluvia), más se diluirán los contaminantes;
- i) **Flujo horizontal de las aguas subterráneas:** mientras más aguas subterráneas fluyan, más se esparcirá la estela de contaminantes;
- j) **Compuestos lixiviados en el lugar:** los niveles de manganeso y hierro son más elevados en las aguas subterráneas cuando el acero queda expuesto. Los niveles de aluminio, zinc y compuestos orgánicos pueden ser altos en las aguas subterráneas, y los niveles de zinc, cadmio y plomo pueden ser elevados en el suelo.

En un estudio de Sheehan, P.J. y otros (2006)<sup>71</sup>, se utilizaron pruebas de toxicidad, evaluación de la determinación de la toxicidad y elaboración de modelos de las aguas subterráneas para determinar las circunstancias en las que los neumáticos triturados podrían utilizarse como relleno de la infraestructura con un riesgo insignificante para los organismos acuáticos en las masas de agua adyacentes. Se hallaron niveles elevados de hierro, manganeso y otros productos químicos diversos en los materiales lixiviados de neumáticos triturados. Sin embargo, los resultados fueron diferentes en el caso de los materiales lixiviados recogidos de los trozos de neumáticos instalados por encima de la capa freática y por debajo de ella. En el estudio se llega a la conclusión de que, en entornos con concentraciones de oxígeno disuelto más bajas o con un pH más bajo, los resultados de la elaboración de modelos de las aguas subterráneas indican que era necesaria una mayor distancia de separación (>11 m) para diluir el material lixiviado a niveles no tóxicos en diversas condiciones del suelo y las aguas subterráneas exclusivamente mediante procesos de advección y dispersión.

En el cuadro 2 se indican los estudios sobre el uso de gránulos de neumáticos en superficies artificiales para la práctica de deportes, en los que se examinaron los efectos en el medio ambiente de la lixiviación de esos gránulos.

Cuadro 2

**Estudios del uso de gránulos de neumáticos en terrenos deportivos artificiales**

Autor	Conclusión
Källqvist (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la determinación de riesgos se observa que la concentración de zinc plantea un riesgo local significativo de que se produzcan efectos ambientales en las aguas superficiales que reciben escorrentías de los terrenos de césped artificial. Además, se indica que las concentraciones de alquilfenoles, en especial el octilfenol, exceden los límites para los efectos ambientales en el escenario utilizado (dilución de la</li> </ul>

70 MWH. Julio de 2004.

71 Sheehan, P.J. et al. (2006).

Autor	Conclusión
	<p>escorrentía en un recipiente por un factor de 10). Se prevé que la lixiviación de productos químicos de los materiales del sistema de césped artificial disminuya lentamente, por lo que los efectos ambientales podrían durar muchos años. No obstante, la cantidad total de elementos contaminantes de un terreno normal de césped artificial que se lixivian en el agua es relativamente pequeña, por lo tanto se espera que solo se produzcan efectos a nivel local.</p>
Aliapur y otros (2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los resultados fisicoquímicos de las aguas de lixiviación indican, en el caso de sustancias que pudieran contaminar, una independencia cinética respecto del tipo de gránulos utilizados tanto en los ensayos in situ como en el laboratorio. Las trazas de sustancias o compuestos detectables en el análisis se disuelven de la superficie y de la matriz del polímero de los gránulos en una concentración que disminuye con el tiempo;</li> <li>• Según investigaciones en marcha, tras un año de experimentación, los resultados de los 42 parámetros fisicoquímicos seleccionados y de los ensayos ecotoxicológicos demuestran que es improbable que el agua que pasa a través del césped artificial en que se utilizan como relleno elastómeros vírgenes granulados o gránulos obtenidos de neumáticos usados afecte los recursos hídricos en el corto y mediano plazos.</li> </ul>
Intron y otros (2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La lixiviación de metales pesados y productos químicos orgánicos como ftalatos e hidrocarburos aromáticos policíclicos a partir de neumáticos reciclados de automóviles utilizados como relleno de sistemas de césped artificial se ajusta a los valores límite de los Países Bajos para la calidad del suelo y de las aguas superficiales. La lixiviación de zinc es una excepción, pero no se espera que rebase los valores límites en 10 años.</li> </ul>
Müller, E. (2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El carbono orgánico y el nitrógeno orgánico disueltos disminuyen al principio con gran rapidez, después más lentamente hasta un mínimo que depende del tiempo, de una manera específica de la sustancia tanto en las pruebas con lisímetro como en los ensayos con fracciones eluidas. Hacia el final del período de pruebas, al cabo de un año, los valores ya se encontraban por debajo del límite de determinación para la mayoría de las distintas sustancias;</li> <li>• Se hallaron muy bajas concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos de los gránulos en un nivel idéntico al de la muestra testigo (capa de grava sin superficie); estas concentraciones corresponden a niveles de contaminación (en todas partes) a temperatura ambiente.</li> </ul>
Verschoor (2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La carga de zinc estimada, de 800 mg/m<sup>2</sup>/año, superará la carga crítica especificada en la Orden relativa a los materiales de construcción (2100 mg/m<sup>2</sup>/100 año) en un plazo de 3 años. Un relleno con un tiempo de vida de 10 años superará la carga crítica por un factor de 4. La superación de las cargas críticas entraña posibles riesgos para el suelo, las aguas superficiales y las subterráneas, y la evaluación de la exposición que analiza los diversos compartimientos "receptores" lo confirma.</li> </ul>
Zhang (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por lo general, los gránulos de caucho, en particular en los campos de césped sintético más nuevos, contenían niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos que excedían las normas sanitarias para suelos. Aparentemente, los niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos, en líneas generales, disminuyen con el transcurso del tiempo. Sin embargo, la tendencia de la descomposición puede ser más compleja si se agregan gránulos de caucho para compensar la pérdida de material.</li> <li>• Los hidrocarburos aromáticos policíclicos que contienen los gránulos de caucho tienen poca bioaccesibilidad (es decir, prácticamente no se disuelven) en fluidos digestivos sintéticos, incluidos la saliva, el jugo gástrico y el intestinal.</li> <li>• Se determinó que los contenidos de zinc excedían en gran medida el límite para suelos.</li> <li>• Los contenidos de plomo en todas las muestras eran reducidos (53 ppm) con respecto a las normas para suelos. No obstante, el plomo de los gránulos de caucho presentaba gran bioaccesibilidad en el jugo gástrico sintético. En el análisis de una muestra de fibra de césped artificial se observó un contenido de cromo levemente preocupante (3,93 ppm) y fracciones de plomo de gran bioaccesibilidad tanto en el jugo gástrico sintético como en el intestinal.</li> </ul>

Autor	Conclusión
Intron 2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los efectos de la descomposición a la intemperie de los neumáticos desmenuzados durante el período de vida técnico de un césped artificial (10 a 15 años) no causa la lixiviación del zinc a partir de los neumáticos de automóviles reciclados y desmenuzados, de manera tal que no rebase los valores máximos para el zinc disuelto en las aguas superficiales o el valor máximo derivado establecido en el Decreto sobre la calidad del suelo para la emisión de zinc en el suelo.</li> </ul>

## Parte B: Determinantes de la lixiviabilidad para el uso de materiales destinados a fines técnicos

En el cuadro 2, que figura a continuación, se presentan determinantes de la lixiviabilidad para el uso de materiales destinados a fines técnicos (aplicables en el Reino Unido)

Cuadro 2: Determinantes de la lixiviabilidad para el uso de materiales destinados a fines técnicos (aplicables en el Reino Unido)

Aplicación	Propiedad química	Valores limitantes (µg / l, a menos que se indique otra cosa)*
	pH	5,5–9,5
- Ingeniería de vertederos	Conductividad	1000 µs/cm
- Relleno liviano y suelos	Carbono orgánico disuelto	30 mg/l
	Amoníaco	0,5 mg/l
- Reforzamiento	Arsénico	10
	Cadmio	1
- Estribos de puentes	Cromo (total)	50
	Plomo (total)	50
- Aplicaciones en drenajes	Mercurio	1
- Muros de contención	Selenio	10
	Boro	2000
- Barreras acústicas	Cobre	20
	Níquel	50
- Aislamiento térmico	Zinc	500
- Material de superficie y productos obtenidos de neumáticos	Cianuro (libre)	50
	Sulfato (SO <sub>4</sub> )	150 mg/l
	Sulfuro	150
	Azufre (libre)	150
	Fenol	0,5
	Hierro	100
	Cloruro	200 mg/l
	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	0,2
- Control de la erosión (fluvial)	Como se indica supra (de ser necesario)	Como se indica supra (de ser necesario)
- Arrecifes artificiales		

\* Los valores limitantes guardan relación con las concentraciones de materiales admisibles en los vertederos sin revestimiento y se basan en la propia orientación interna del Organismo para el Medio Ambiente de Inglaterra y Gales.

(Organismo para el Medio Ambiente – [www.environment-agency.gov.uk](http://www.environment-agency.gov.uk))

## Notas

Los valores limitantes de las propiedades químicas de los materiales utilizados en las aplicaciones técnicas dependen de factores relacionados con cada lugar y del tipo de sistema de contención utilizado en el lugar.

Los reguladores adoptarán un enfoque basado en el riesgo. En general, las concentraciones de contaminantes deberán cumplir los requisitos de la orientación reglamentaria local. Los valores limitantes indicados se basan en los establecidos por el Organismo para el Medio Ambiente para determinar si se pueden admitir materiales contaminados para rellenar vertederos sin revestimiento.

Las concentraciones de material lixiviado ayudarán a determinar si los neumáticos se pueden utilizar en aplicaciones técnicas en el futuro. Además, cuando el análisis químico de los materiales quede por debajo de estos límites, habrá razones fundadas para suponer que el material se puede utilizar con el fin previsto y no causar riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Sin embargo, esta decisión debe contar con la aprobación del regulador antes de que se realice labor alguna, y está sujeta al plan actual de concesión de licencias para la gestión de los desechos.

La contaminación de las aguas controladas se clasifica dentro del control de los reguladores ambientales del Reino Unido. No obstante, es posible que haya que solicitar otras licencias del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales para verter materiales de desecho en el mar. Es posible que los reguladores exijan que se lleven a cabo pruebas de lixiviabilidad de los compuestos enumerados supra en relación con cualquier material propuesto para ser utilizado en aplicaciones acuáticas, primordialmente para asegurarse de que el material no perjudique las aguas subterráneas, las aguas superficiales o el agua de mar. Hay preocupación acerca de los posibles efectos en el suministro de agua potable.

## Apéndice III

### Incidentes de incendios de neumáticos documentados en publicaciones

En el cuadro se detallan incidentes de incendios de neumáticos y efectos negativos relacionados.

Lugar	Año	Duración	Número Aprox. de neumáticos	Reacción ante el incidente	Efectos adversos en el medio ambiente	Causa
Rochdale (Reino Unido)	1972 abril de 1975 julio de 1975	1 día 30 días 10 días	9.000	Ninguna notificada	El embalse de abastecimiento de agua sigue cerrado	Presunto incendio provocado
Rhinehart, Winchester, Virginia (Estados Unidos)	1983	Ardió durante 9 meses y estuvo latente durante 18 meses	6 a 9 millones	Ninguna notificada	800.000 galones de aceite recuperados mediante pirólisis. Contaminación del suelo a una profundidad comprobada de 100 pies. La columna de humo se elevó a 3.000 pies y se observaron partículas suspendidas en el aire en tres estados.	Presunto incendio provocado
Selby (Reino Unido)	1987	80 días	>1.000	Ninguna notificada	21 galones de aceite de lixiviación eliminados de la toma de agua potable local, cerrada durante dos días por precaución.	Presunto incendio provocado
Powys (Reino Unido)	1989	14 años	10 millones	Ninguna notificada	Vigilancia de los niveles de zinc, hierro y fenoles en un río cercano. Los niveles aumentan cuando llueve. Humo negro espeso que libera benceno, dioxinas y partículas.	Presunto incendio provocado
Hagersville, Ontario, (Canadá) 7	Febrero de 1990	17 días	12,6 millones <sup>71</sup>	1700 personas evacuadas <sup>72</sup> , se mantiene la vigilancia a largo plazo	700.000 litros de aceite penetraron en el suelo. Contaminadas las aguas de un arroyo (hidrocarburos aromáticos policíclicos)	Presunto incendio provocado
Saint Amable, Quebec, (Canadá) 7	Mayo de 1990	6 días <sup>72</sup>	3,5 millones <sup>73</sup>	150 personas evacuadas, 12 millones de dólares canadienses en gastos de descontaminación y rehabilitación <sup>74</sup>	Posible contaminación del suelo y el agua con el aceite liberado por los neumáticos al quemarse.	Posible causa: incendio provocado

Lugar	Año	Duración	Número Aprox. de neumáticos	Reacción ante el incidente	Efectos adversos en el medio ambiente	Causa
York (Reino Unido)	1991	No se dispone de datos	> 1,000	Ninguna notificada	Entran bajos niveles de fenoles en los cursos de agua locales.	No se dispone de datos
Cornwall (Reino Unido)	1992	1 día	No se dispone de datos	Ninguna notificada	Se detecta fenol e hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas derramadas.	Presunto incendio provocado
Washington, Pensilvania, (Estados Unidos)	Febrero de 1997	14 días	1,7 millones	Evacuación de 500 residentes y cierre de dos escuelas	Ninguna notificada	Presunto incendio provocado
Gila River Reservation, Arizona, Estados Unidos	Agosto de 1997	7 días	3 millones triturados	Vigilancia de la contaminación del suelo	Ninguna notificada	Presunto incendio provocado
Cheshire (Reino Unido)	1999	No está claro	500	Ninguna notificada	Penetración de aceite que contamina el sitio	Presunto incendio provocado

Fuente: Chemical Hazards and Poisons Report de la Chemical Hazards and Poisons Division, diciembre de 2003

71 Fuente (\*\*) Scrap Tire Recycling in Canada: From Scrap to Value/Recyclage des pneus hors d'usage au Canada : La transformation des pneus hors d'usage en produits à valeur ajoutée.

72 *Ibid.*

73 Recyc-Quebec. 2001-2008 "Program for the Emptying of Scrap Tire Storage Sites in Québec - Normative Framework"

74 *Ibid.*

75 *Ibid.*