

- 28 LINDENBERG, R.C. Usina de tratamento de lixo: observações práticas na operação da primeira usina de tratamento, processo Dano, com lixo recolhido em São Paulo. Apresentado en el CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMPEZA PÚBLICA, 1., 1974.
- 29 LINDENBERG, R.C. Valor do compost curado a partir de nutrientes minerais. Limpeza Pública, ABLP, n.40, p.8, 1993.
- 30 MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Secretaria Nacional de Referência Vegetal. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. Análise de corretivos fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. S.I., 1983. 140 p.
- 31 SECRETARIA DE SERVIÇOS E OBRAS. Diretrizes para a destinação final dos resíduos no município de São Paulo. São Paulo, 1992, 64 p.
- 32 VAN RAIJ, B. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Insitituto Agronômico, 1992. 107 p.
- 33 VEGA SOPAVE. Informaciones personales. 1994.
- 34 VIOLANTE NETTO, V.A., et al. Recomendações de adubação e calagem para citros no Estado de São Paulo. Laranja, Cordeirópolis, v.11, n.3, p. 14, 1990.
- 35 MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA, Dirección de Suelos. Informaciones personales.
- 36 INTENDENCIA MUNICIPAL DE MALDONADO. Informaciones personales.
- 37 INTENDENCIA MUNICIPAL DE MONTEVIDEO. Informaciones en el marco del curso sobre Residuos Sólidos Urbanos. Ing. J.A.Fuzaro (CETESB, Brasil). Cursos de Actualización Profesional. Facultad de Ingeniería. Montevideo, 14 al 18 de octubre de 1996.
- 38 LEVIS, R. Y FRANCO, H. Gerencia Ambiental, N° 37, páginas 492 a 496.

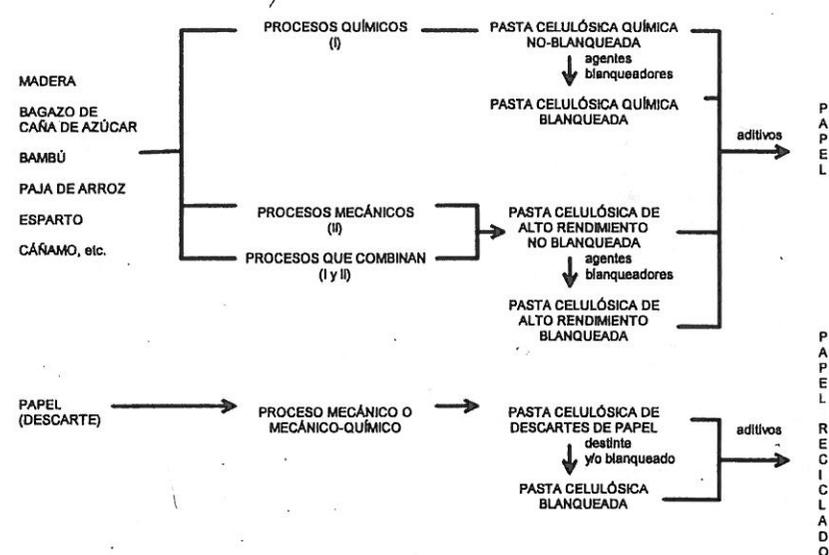
## Parte 3 Reciclaje de otros componentes

### 3.1 Papel

#### 1 ¿Qué es el papel?

El papel es una hoja delgada hecha con pasta celulósica. Esta pasta está compuesta básicamente de fibras de celulosa. Estas fibras en general proceden de la madera, pero se pueden utilizar otras materias primas fibrosas, como se indica en la Figura 1.

FIGURA 1  
Papel, a partir de sus materias primas



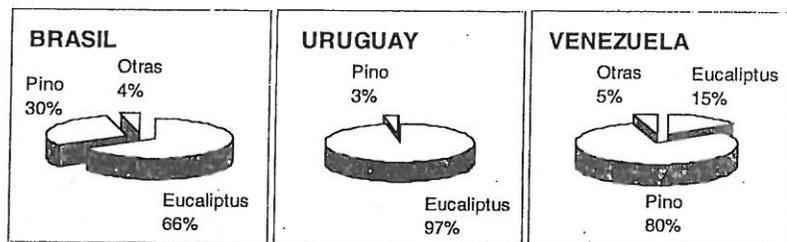
El cartón es un material compuesto de varias hojas superpuestas de papel, que se adhieren unas a otras por compresión y se secan luego por evaporación.

La cartulina es un cartón delgado, generalmente terso.

En Brasil, alrededor del 80% de la pasta celulósica producida proviene de la madera, siendo el restante 20% obtenido de otras materias primas fibrosas, inclusive de las fibras secundarias. En Venezuela, 47% de la pulpa producida proviene de la madera, y 53% se obtiene del bagazo de caña. En Uruguay para la producción de pasta se usa principalmente madera, interviniendo también papel descartado local e importado. Las fibras de madera se obtienen de las áreas reforestadas, que se mantienen productivas y cultivadas específicamente para la producción de pulpa. Las selvas y los montes naturales, por la diversidad de su composición, no son adecuadas para la producción de papel y pulpa.

Anualmente la industria venezolana de papel y pulpa planta aproximadamente 33 millones de árboles de Eucalipto y de Pino, mientras que la brasileña, por ejemplo en 1993, plantó 135 millones de los mismos árboles. Uruguay está forestando 50 mil hectáreas por año (40 mil ha de bosque real), de las cuales el 64% tendrán como destino la producción de celulosa, unos 36 millones 550 mil árboles de Eucalipto de diversas especies<sup>12</sup>.

FIGURA 2  
Maderas usadas en la fabricación de pasta celulósica<sup>1,10,12</sup>



CONSUMO DE PAPEL <sup>5,6,10,11</sup> (miles de toneladas)	BRASIL 1993)	URUGUAY	VENEZUELA
Consumo de papel	4.200	107.5	1.780
Papel no reciclable	1.200	*	260
Disponibilidad de fibras secundarias	3.000	*	525
Papel recuperado para reciclaje	1.500	35.5	245
Papel no recuperado	1.500	*	280

\* : no hay datos.

## 2 Diferentes tipos de papel

De acuerdo con su finalidad, las diferentes clases de papel se clasifican en:

- para impresión;
- para escribir;
- para embalaje;
- para fines sanitarios;
- cartones y cartulinas;
- especiales.

## 3 ¿Qué diferencia los papeles entre sí?

Los papeles son fabricados de acuerdo con fórmulas específicas, tal que presenten las características necesarias para la finalidad a la cual se destinan. Así, además de su materia prima básica, la pasta celulósica, puede:

- contener aditivos (colas, pigmentos minerales, películas metálicas o plásticas, parafina, silicona, etc.);
- estar impregnados;

- estar recubiertos (con pigmentos minerales, películas metálicas o plásticas, parafina, silicona, etc.)

Una propiedad muy importante del papel es su gramaje, es decir el peso en gramos de un área de un metro cuadrado de papel ( $g/m^2$ ). Esta característica es la que determina que el material pueda llamarse cartón o cartulina.

### Tipos de papel/gramaje del cartón

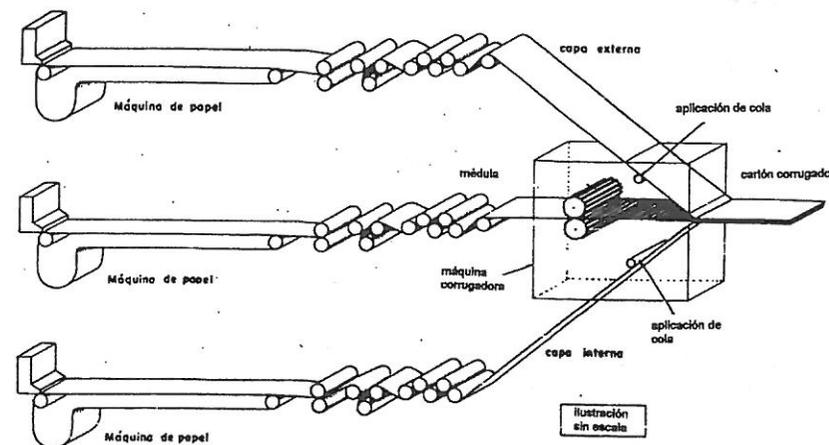
Normalmente las cartulinas tienen gramaje encima de  $150 g/m^2$ .

El cartón es de gramaje y rigidez elevados, fabricado esencialmente con pasta celulósica de alto rendimiento o con fibras recicladas.

Cartón corrugado, según muestra el esquema que sigue, consiste de una o más hojas de papel ondulado, pegada entre dos hojas lisas, compuesto entonces por:

- capa de primera o externa (o kraftliner);
- medio (puede ser un papel de baja calidad);
- capa de segunda o interna (o liner).

FIGURA 3  
Fabricación de cartón corrugado



## 4 ¿En qué consiste el reciclaje del papel?

Es hacer papel utilizando como materia prima papeles, usados o no, tales como:

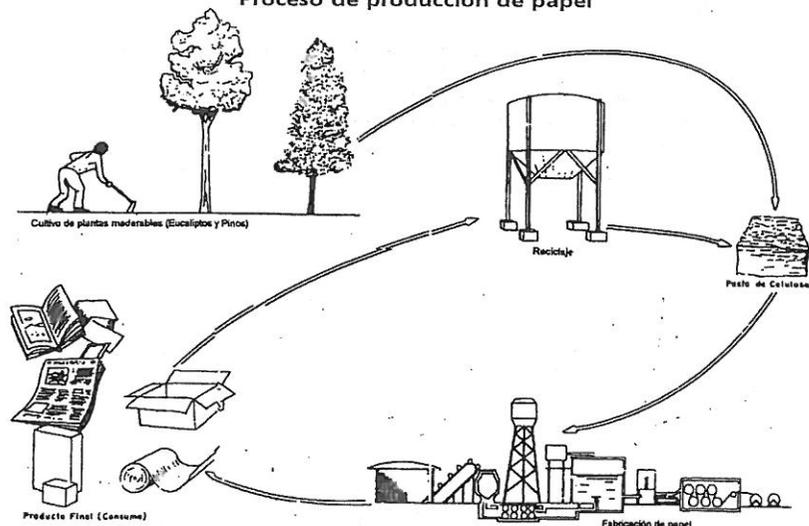
- recortes de papel, cartones y cartulinas, generados durante los procesos de fabricación de estos materiales, o de su transformación en otros artículos, o también generados en imprentas;
- papeles, cartulinas y cartones, y sus correspondientes artículos, usados o no, que hayan sido descartados.

**Fibras reciclables, fibras secundarias o papel descarte** es la denominación para estas materias primas.

### Fibras vírgenes vs. Fibras secundarias

Fibras celulósicas vírgenes son aquellas que aún no fueron utilizadas para hacer papel.  
Fibras celulósicas secundarias son aquellas que ya pasaron, por lo menos una vez, por una máquina de papel.  
Un papel reciclado contiene fibras secundarias.

FIGURA 4  
Proceso de producción de papel



## 5 ¿Son todos los papeles reciclables?

La mayoría del papel es reciclable, pero existen excepciones, como:

- papel vegetal (papel cebolla);
- papel impregnado con sustancias impermeables a la humedad (resinas sintéticas, alquitrán, etc.);
- papel carbónico;
- papel sanitario usado: papel higiénico, papel toalla, servilletas y pañuelos de papel;
- papel y cartón recubiertos con sustancias impermeables a la humedad (parafina, láminas plásticas o metálicas, sílicona, etc.). Sin embargo, existen tecnologías disponibles, en algunos países, para reciclar estas clases de papel;
- papel sucio, engrasado o contaminado con productos químicos nocivos a la salud.

Hay que recordar también que hay papel no disponible para el reciclaje, como el de los libros y documentos.

## 6 ¿Cuál es el origen de las fibras secundarias?

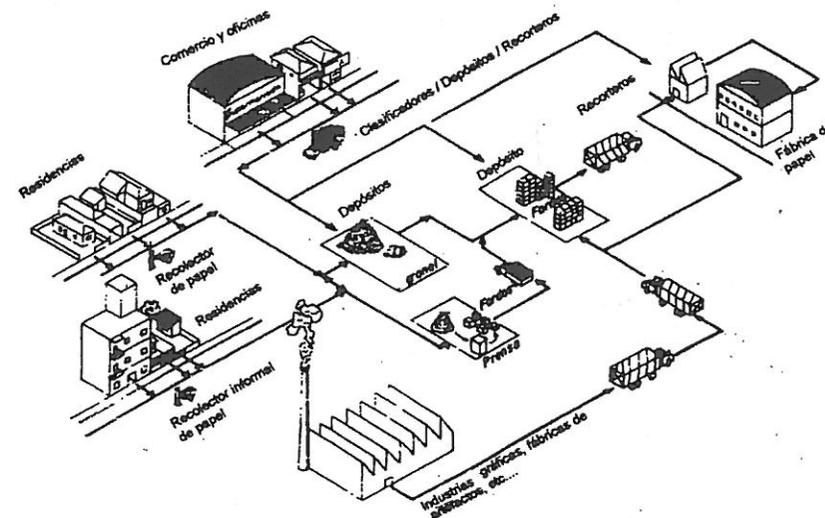
Las fibras secundarias de papel provienen:

- de la industria;
- de actividades comerciales (escritorios, tiendas, supermercados);

- de residencias;
- de otras fuentes (como instituciones y escuelas).

Las fibras secundarias de papel pueden ser recogidas a través de un sistema de recolección selectiva, o a través del sistema comercial, utilizado desde hace años, y que implica al recolector informal de papel, al depósito de materiales y al depósito especializado, de los cuales algunos clasifican.

FIGURA 5  
Del ciudadano a la planta recicladora



En Uruguay<sup>11</sup> los recorteros, los grandes depósitos de papel, empresas de larga data en el mercado, muy consolidadas, son los que controlan el papel descarte casi en su totalidad para la venta posterior a las fábricas de papel o eventualmente para su exportación. Una pequeña parte del papel recuperado para reciclaje es vendida por otros actores directamente a las fábricas.

Los recorteros compran el papel a los depósitos chicos y también a los clasificadores. A su vez, recogen casi todo el papel de oficinas del sector público, bancos, grandes empresas, especialmente las periodísticas, imprentas grandes y medianas, y también edificios en acuerdos con los porteros.

Las pequeñas y medianas imprentas, en general, entregan el papel de desecho a instituciones benéficas o a clasificadores.

Otros actores que han adquirido relevancia en los últimos tiempos son las empresas de limpieza. Acuerdan con las instituciones que las contratan para recoger los residuos de papel y lo venden a los depósitos.

Cabe mencionar como generadores voluminosos de papel usado, especialmente cartón, a los importadores. Del mismo modo, empresas como shoppings, supermercados, almacenes, ventas de electrodomésticos, etc., son proveedoras importantes de la cadena del papel, los que en general, contribuyen al ciclo de recolección informal.

Finalmente, se ubican las fábricas de papel que son el destino final normal de la cadena del papel recuperado para reciclaje. Compran en plaza 35 mil toneladas de papel a los

depósitos especializados, principalmente, y a la vez importan papel descarte por un volumen de 6 mil toneladas, mayoritariamente de origen norteamericano. No todas las fábricas de papel intervienen en esta cadena, algunas de ellas para evitar la contaminación de sus productos sólo recuperan el descarte interno. Otras tienen una activa participación en este mercado del papel descarte, por ejemplo se estima que una sola de ellas absorbe el 40% de este mercado.

Es muy particular el rol de las cartonerías, las que se estima participan en un 20% del mercado del papel descarte. Compran fundamentalmente papel sin clasificar y de menor calidad. Son las de mayor vinculación con los depósitos chicos y clasificadores.

El llamado cartón gris ya prácticamente no se produce y con ello ha desaparecido la compra del llamado papel de tacho y de tercera, o sea el papel sucio que venía del ciclo de recolección informal. Existían 6 ó 7 cartonerías que procesaban el papel de tacho, estas alimentaban unas 50 pequeñas fábricas de cartón gris. Actualmente ha desaparecido este círculo, debido fundamentalmente a que el cartón gris viene importado junto a los artículos que contiene. Esto hizo que el papel proveniente de los residuos sólidos domiciliarios no se recupera más.

#### MOVIMIENTO DEL PAPEL DESCARTE EN URUGUAY (1996)<sup>11</sup> toneladas

	IMPORTACIÓN	EXPORTACIÓN	CONSUMO
Impreso	2400		4073
Sin imprimir	25		167
Empaque	97		3049
Impresión y escritura	1345		5124
Sin clasificar	2656	2141	23041
Total	6523	2141	35454

#### Origen de las fibras secundarias en Brasil<sup>5</sup>

Actividades Industriales y comerciales	86 %
Residencias	10 %
Otras fuentes	4 %

### 7 Clasificación de las fibras secundarias de papel

En el Uruguay<sup>11,13</sup>, las variedades de fibras secundarias que se usan son fundamentalmente tres:

- primera (blanco sin imprimir);
- mixto (color, blanco impreso, cartón limpio);
- tercera (papel y cartón sucios, cartón gris).

Para la comercialización de las fibras secundarias de papel en Brasil existe una clasificación, que fue elaborada en 1976 por las siguientes entidades:

- ANFPC - Asociación Nacional de los Fabricantes de Papel y Celulosa;
- ANAP - Asociación Nacional de los Aparistas de Papel;
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas del Estado de San Pablo.

Esta clasificación necesita una revisión, puesto que actualmente, sólo el 56% de los fabricantes de papel que consumen fibras secundarias la utiliza<sup>3</sup>.

A los efectos de contar con mayor información respecto a la mejora que es posible hacerle al papel descarte mediante la selección, se muestra en la Tabla 1 esta clasificación.

TABLA 1  
Clasificación de las fibras secundarias en Brasil<sup>1</sup>

Tipos	Fibras secundarias	Nivel	Nivel	Nivel
		máximo de humedad (%)	máximo de impurezas (%) (A)	máximo de materiales Prohibidos (%) (B)
Papeles perforados (fanfold)	Papeles de alta calidad, usados en computación.	10	1	0
Blanco I	Papeles blancos, sin impresión alguna, y sin revestimiento.	10	0	0
Blanco II	Formularios continuos de papel blanco, sin papel carbónico entre hojas y sin revestimiento de carbonato.	10	2	0
Blanco III	Papel imprenta y periódico, sin impresión.	10	0	0
Blanco IV	Papeles blancos de escritorio, manuscrito, impresos o dactilografiados, cuadernos usados sin tapas, libros sin tapas e impresos en negro.	10	5	0
Blanco V	Papeles blancos, con porcentaje mínimo de impresión o con revestimiento.	12	25	0
Kraft I	Papel kraft, usado en la fabricación de bolsas multicapa, bolsas de papel kraft rechazados por defectos de fabricación o no utilizados.	10	1	0
Kraft II	Bolsas multicapa usadas, tipo kraft, con fibras y colores diversos, sin selección.	15	5	0
Kraft III	Alguno tipos de bolsas de papel kraft natural, principalmente de cemento, mezcladas, sin selección.	15	17	3
Cartones de pasta mecánica	Artefacto de papel producidos integralmente de pasta mecánica.	12	0	0
Periódicos	Periódicos viejos, limpios y de paradas de redacción.	12	1	0
Cartulina I	Cartones y cartulinas, con o sin revestimiento, sin impresión, provenientes de cartones y cartulinas fabricadas exclusivamente con celulosa.	10	0	0
Cartulina II	Cartones y cartulinas, con o sin revestimiento, con impresión o colores variados.	12	10	0
Cartulina III	Cartones y cartulinas blancos y plastificados, con o sin impresión.	12	3	7
Corrugado I	Cajas de cartón corrugado, fabricadas con capas de alta resistencia.	15	3	0
Corrugado II	Cajas, chapas o descartes de cartón corrugado, fabricado con capas de resistencia menor que el Corrugado I.	12	5	0
Corrugado III	Cajas, chapas o descartes de cartón corrugado, fabricados con capas de baja resistencia y los extremos de las bobinas, pudiendo contar con hasta 20% de otros tipos de papel que no sean cartón corrugado.	20	5	3
Revista	Revistas viejas, de paradas de máquinas o con defectos de impresión, impresos en papeles con o sin revestimiento.	12	2	1
Mixto I	Papeles usados mixtos, provenientes de escritorios, comercios y casas residenciales.	12	5	1
Mixto II	Papeles usados mixtos, provenientes de escritorios, comercios y casas residenciales.	15	10	3
Mixto III	Papeles usados de todas las procedencias	20	15	5
Tipografía	Recortes coloreados provenientes de industrias gráficas.	10	1	0

(A) Impurezas: todos los papeles, cartones y cartulinas inadecuados para la utilización en una determinada finalidad, además de los siguientes materiales: metales, cuerdas, vidrio, madera, textiles, piedra, arena, clips metálicos, plásticos, etc.

(B) Materiales prohibidos: cualquier material, cuya presencia en cantidad mayor que la especificada, convierte al fardo en inutilizable para un tipo específico de papel. Por ejemplo: papeles vegetales, papel o cartón encerados, parafinados o alquitranados, papel carbónico, pegamentos y cintas adhesivas.

### 8 ¿Qué tipos de papel se hacen con las fibras reciclables?

Son muchos los tipos de papel que se hacen total o parcialmente con fibras provenientes de descartes de papel. Por ejemplo:

- papel para imprenta;
- papel para embalajes ligeros, para envolver, y bolsas de papel, (como los llamados estiva, maculatura, manilina, manila, HD, hamburgués, havana, LD, macarrón);
- papel para cajas y embalajes pesados (como cartón corrugado y otros tipos de cartón);
- papel para fines sanitarios (como papel higiénico, tanto popular como de alta calidad, y eventualmente ciertos tipos de toallines, servilletas, pañuelos y telas de papel).

Están también hechos con descartes de papel los artículos de pulpa moldeada, denominados maples, como: cartones para huevos, ciertas bandejas para frutas y legumbres, soportes para acondicionamiento de frutas, platos y vasos de cartón, etc.

**Destino del papel recuperado en Uruguay<sup>11</sup>**

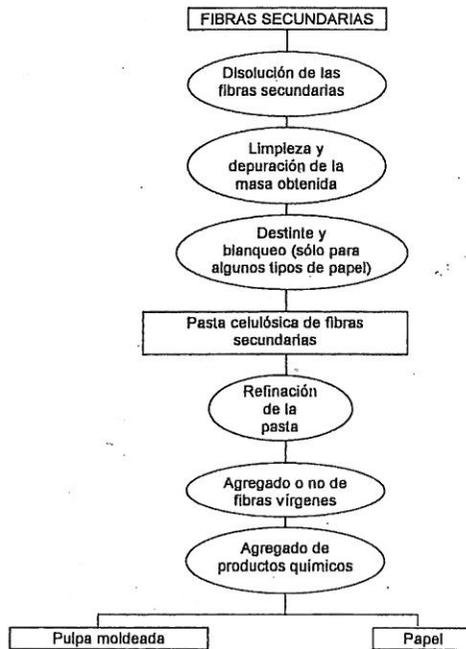
- Papel higiénico
- Cartón corrugado
- Papeles de baja calidad
- Cartón gris
- Maples

La fabricación de maples está siendo afectada por la competencia importada y la sustitución de maples por productos de plástico, lo cual también se refleja en la disminución de la demanda de papel tacho.

### 9 Proceso de reciclaje de las fibras secundarias de papel

Los procesos para obtener pasta celulósica de fibras secundarias a partir de los descartes de papel dependen del tipo de descarte a procesar y del producto que se debe fabricar. Sin embargo, todos los tipos de papel son sometidos, a grandes rasgos, a las operaciones indicadas en la Figura 6.

**FIGURA 6**  
Principales operaciones para transformar las fibras reciclables del papel en pasta celulósica<sup>8</sup>.

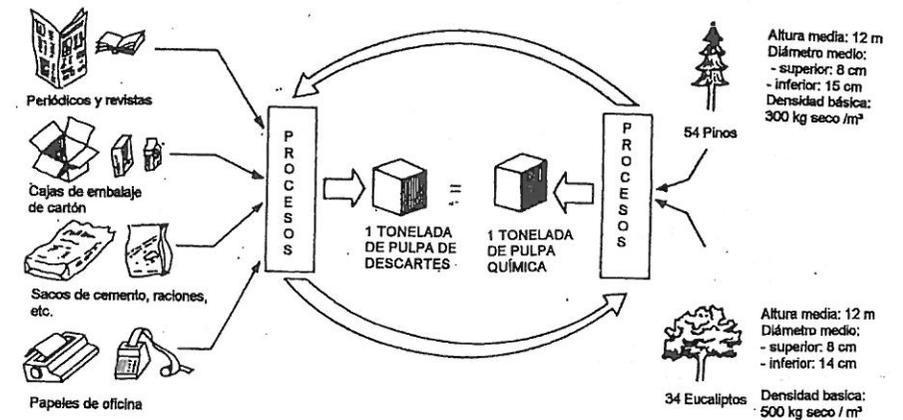


### 10 ¿Cuáles son las ventajas del reciclaje del papel?

Las dos grandes ventajas del reciclaje del papel son:

- reducción de la basura generada;
- economía de recursos naturales, como:
  - materia prima;
  - energía;
  - agua.

**FIGURA 7**  
Interacción entre los procesos



### 11 Factores que dificultan el reciclaje del papel

**Factores relativos al proceso:**

- falta de homogeneidad de los descartes;
- necesidad de eliminar las impurezas presentes en la masa provenientes de la desintegración del papel;
- descarte y tratamiento de los desechos generados.

**Factores externos al proceso:**

- fluctuación del mercado;

La dependencia del mercado de las fibras secundarias con el de la pasta celulósica de fibras vírgenes (celulosa), hace que el primero presente fluctuaciones. Cuando hay oferta de celulosa a precios atractivos, el mercado de descartes se contrae; su estructura se tambalea, y se recupera sólo lentamente. Cuando hay escasez de pulpa, el precio de los descartes tiende a subir. En el caso de los descartes de papel, las fluctuaciones de mercado no se pueden resolver con su almacenamiento, debido a que este queda limitado

en el espacio (costo de instalación) y en el tiempo (el papel "envejece" rápidamente y se degrada).

- costo elevado para la instalación de plantas que fabriquen papel reciclado;
- productos de papel cada vez más sofisticados, de difícil reciclaje;
- la demanda de papel o productos de papel reciclado, es todavía baja;
- distancias: el costo de transporte puede desalentar el aprovisionamiento de descartes.

#### Importante

Antes de incentivar la recolección de descartes de papel, o inclusive antes de efectuarla, es necesario verificar si hay, en la región, demanda por esa materia prima y capacidad de generarla continuamente. También deben ser considerados los costos involucrados en el almacenamiento y principalmente en el transporte, en el caso se elija recolectar y enviar descartes de papel para sitios consumidores.

## 12 ¿Cuál es el futuro del reciclaje de papel?

El reciclaje de papel es una función de factores económicos. En los últimos años el factor ambiental ha ido adquiriendo una importancia avasallante. Eso puede provocar, en ciertos países, que los gobiernos dicten leyes que obliguen a reciclar. Por ejemplo, en los Estados Unidos, ya existe una ley, que obliga a que en el papel periódico exista cierta cantidad de fibras reciclables ó secundarias.

El mercado de papel reciclable actualmente en el Uruguay se ubica en 44 mil toneladas año por un valor de US\$ 6.6 millones, o sea a un precio medio de US\$ 150 por tonelada, puesto en fábrica o en el puerto para la importación<sup>11</sup>.

Se ha observado una tendencia creciente de la demanda de fibras secundarias en los últimos años por la sustitución a nivel fabril de celulosa virgen (propia o importada) por estas fibras, a fin de reducir costos y mejorar la competitividad de la industria papera.

La existencia simultánea de exportaciones e importaciones de papel descarte muestra una particularidad de la clasificación y calidad del papel recuperado en plaza, que lleva a exportar sin clasificar y a importar papel clasificado de mayor calidad.

Se debe recordar también que la fibra secundaria no sustituye completamente a la fibra virgen. Para determinados tipos de papel, sólo pueden usarse fibras vírgenes, debido a que las secundarias no ofrecen productos de las características deseadas.

Además, una fibra celulósica puede ser reciclada, en promedio, 5 ó 6 veces, pero luego pierde sus características de resistencia.

## Referencias

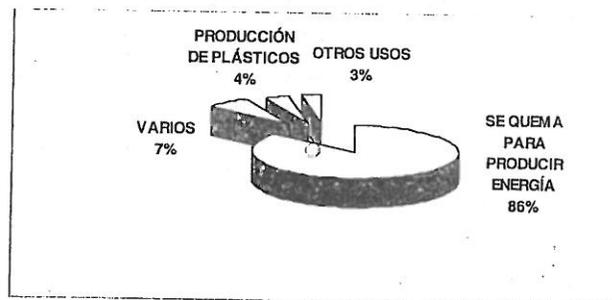
- 1 ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE PAPEL E CELULOSE. 1993 relatório estatístico. São Paulo, 1993. 1 v.
- 2 BUGAJER, S. Utilização de aparas e papéis velhos. En: D'ALMEIDA, M.L.O. Celulose e papel. 4. ed. São Paulo: SENAI / IPT, 1988. v.2, cap.6, p.797-817.
- 3 D'ALMEIDA, M.L.O., CAHEN, R. Considerações sobre o problema de stickies. En: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 1991. p.785-806.
- 4 D'ALMEIDA, M.L.O., CAHEN, R. Reciclagem de papel. O papel, São Paulo, v.52, n.11, p. 131-135, 1991.
- 5 FAO. Waste paper data, 1988-1990. Rome, 1993. 47 p. (FO: PAP / 93 / 5).
- 6 KNIGHT, P. Latin America. PPI, Brussels, v.35, n.7, p.78, July 1993.
- 7 NEVES, J.M. Perspectivas para o uso de fibras secundárias no Brasil. O Papel, São Paulo, v.55, n.2, p.40-46, 1994.
- 8 NEVES, J.M., D'ALMEIDA, M.L. Reciclagem de papel. São Paulo: IPT, 1994. (Comunicação Técnica, 2153).
- 9 PAPEL reciclado: alternativa viável. Silvicultura, São Paulo, v.13, n.49, p.6-11, mayo/jun.1993.
- 10 ASOCIACION VENEZOLANA DE PRODUCTORES DE PULPA, PAPEL Y CARTON (APROPACA), Informe Anual, Caracas, 1994.
- 11 CLASIFICACIÓN Y RECÍCLO DE RESIDUOS SÓLIDOS, Proyecto, PNUD/URU/91/008, Asistencia Preparatoria / Segunda Etapa, Intendencia Municipal de Montevideo, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Setiembre 1996.
- 12 FANAPEL. Informaciones personales.
- 13 DEPÓSITO PEDERNAL. Informaciones personales.

## 3.2 Plásticos

### 1 ¿Qué son los plásticos?

Los plásticos son materiales realizados con resinas (polímeros) sintéticas que proceden de recursos naturales, principalmente petróleo. Del total del petróleo usado, un 7% se destina para la industria petroquímica: de esta cantidad el 4% se utiliza para la producción de plásticos y el 3% para otros usos<sup>28</sup>. (Figura 1)

FIGURA 1  
Consumo de petróleo



Los monómeros, como el etileno, son las piezas fundamentales de la estructura de los plásticos.

Están formadas fundamentalmente por carbono e hidrógeno.

La unión de muchos monómeros constituyen un **polímero**, por ejemplo el polietileno. Los polímeros son cadenas de longitud variada, unidas entre sí por enlaces químicos. La reacción química que les da origen se conoce como polimerización.

Los dos grandes tipos de plásticos, los termoplásticos y los termofijos, se diferencian en sus características pues los primeros no presentan uniones químicas entre cadenas, mientras que los segundos sí<sup>30</sup>.

En Uruguay, como en Brasil y Venezuela, el consumo de plástico a pesar de ser significativo, está todavía lejos del nivel de consumo de los países desarrollados.

CUADRO 1  
Consumo per cápita de plástico en algunos países<sup>3</sup>

País	Consumo (kg./hab.año)
EUA	70
Japón	54
Europa Occidental	40
Venezuela	14
Brasil	11
Uruguay	16 <sup>(a)</sup> - 25 <sup>(b)</sup>

(a): Consumo por habitante de materias primas plásticas promedio de 1994 y 1995, según Relevamiento Informativo sobre la Industria Plástica Latinoamericana, ALIPLAST.(26)

(b): Consumo por habitante del total de materias primas plásticas y artículos plásticos importados. Datos de setiembre de 1996, según relevamiento hecho por el proyecto PNUD/URU/91/008, "Clasificación y Reciclo de Residuos Sólidos", IMM - PNUD.(27)

El Cuadro 1 muestra que el consumo per cápita de los países latinoamericanos aún es muy bajo comparado con el de los países desarrollados, por lo tanto, existe un espacio muy grande de demanda a ser satisfecha.

Por tal motivo, de inmediato se deben tomar medidas preventivas, para evitar que el problema de los residuos plásticos se agrave, ya que la no degradabilidad de los plásticos, si por un lado los acredita como materiales muy útiles, por el otro, luego de su uso, son vistos como residuos indeseables que se deben eliminar.

Como se apreciará más adelante, después de ser utilizados en la aplicación para la cual fueron diseñados, los plásticos pueden todavía ser muy útiles como material reciclado, o reutilizados para recuperación de componentes iniciales o como fuente energética.

### 2 Los plásticos como residuos

Dentro del gran desafío actual, al que se enfrentan las intendencias con respecto a la disposición final de los residuos sólidos, se encuentran los plásticos, que por su naturaleza química se caracterizan por presentar una gran resistencia a la biodegradación. Envases abandonados en el campo o la playa son las huellas habituales que los ciudadanos descuidados van dejando en el entorno.

El reaprovechar el plástico desechado en los residuos sólidos urbanos, vía cualquiera de las alternativas posibles, es una consideración que ha ganado un gran apoyo desde las diferentes entidades relacionadas. Este desecho que consiste en gran parte en envases desechables -bolsas, vasos, botellas, juguetes, etc.- representa un volumen significativo. La separación de los plásticos del resto de los residuos produce una serie de beneficios a la sociedad, como por ejemplo, aumento de la vida útil de los rellenos, mejora de la estética de la ciudad, generación de empleos, economía de energía, etc.

Aunque representen alrededor de un 11 % del peso total<sup>29</sup>, los plásticos ocupan un porcentaje mucho mayor en el volumen de los residuos sólidos, lo cual contribuye a aumentar los costos de la recolección, el transporte y la disposición final. Como ilustración, basta decir que un camión, con capacidad de transportar 12 toneladas de residuos sólidos común, transportará apenas 6 a 7 toneladas de plástico compactado, o 2 toneladas de plástico sin compactar.

Cuando los residuos sólidos se depositan en vertederos, los problemas principales relacionados con el plástico provienen de la quema indebida y sin control. Cuando la disposición se hace en rellenos, los plásticos dificultan la compactación de los residuos, y perjudican la descomposición de los materiales biológicamente degradables, ya que forman capas impenetrables que afectan el movimiento de gases y líquidos generados en el proceso de biodegradación de la materia orgánica.

La quema indiscriminada de plásticos puede traer serios daños a las personas y al medio ambiente, debido a que ciertos plásticos al ser quemados generan gases tóxicos. Un caso extremo es el del cloruro de polivinilo (PVC), el cual al ser quemado libera cloro y puede originar la formación de ácido clorhídrico (muy corrosivo) y de dioxinas (sustancias altamente tóxicas y cancerígenas). (Ver este mismo capítulo, Parte 4, Incineración.)

Siendo así, su reducción y separación de los residuos sólidos son metas que se deben procurar con todo empeño. Los municipios que hoy sienten los problemas derivados de la dificultad en administrar adecuadamente los residuos urbanos, deben iniciar el trabajo hacia la resolución del problema para evitar que se vuelva más grave aún en los próximos años.

### 3 ¿Cuáles son los tipos de plásticos?

Dijimos que los plásticos se dividen en dos categorías: termoplásticos y termofijos.

Los **termofijos** o termoestables, son plásticos que una vez moldeados por uno de los procesos usuales de transformación, no pueden ya modificar su forma, lo cual impide un

nuevo procesamiento. El ejemplo más clásico es la baquelita (resinas fenólicas) en los enchufes u asas de recipientes. También se pueden citar: las resinas epoxídicas utilizadas en adhesivos y componentes del automóvil; y los poliuretanos (PU), empleados en colchones, rellenos de tapicería, recubrimientos y acabados<sup>30</sup>.

Estos materiales, aún cuando no puedan ser moldeados más de una vez, se pueden todavía utilizar para otras aplicaciones, como cargas inertes luego de ser molidos, o pueden incorporarse en composición con otros elementos como acondicionadores de asfalto, etc.

Los **termoplásticos**, más ampliamente utilizados, son materiales que pueden ser procesados varias veces según el mismo o un diferente proceso de transformación. Cuando se someten a temperatura y presión adecuadas se funden y pueden moldearse otra vez. Como ejemplo, pueden citarse: el polietileno de baja densidad (PEBD); el polietileno de alta densidad (PEAD); el cloruro de polivinilo (PVC); el poliestireno (PS); el poliestireno expandido (EPS); el polipropileno (PP); el polietileno tereftalato (PET); las poliamidas (PA); y muchos otros.

#### 4 ¿Cuáles son los plásticos de mayor consumo?

Dentro de la gran variedad de resinas termoplásticas, apenas seis representan cerca del 90% del consumo: PEBD, PEAD, PP, PS, PVC y PET. En el Cuadro 2 se muestra la progresión en el consumo de materiales plásticos en Uruguay.

Plástico	1994 <sup>(a)</sup>	1995 <sup>(a)</sup>	1996 <sup>(b)</sup>
PEAD	10.2	8.1	
PEBD	21.5	16.0	28.2 <sup>(c)</sup>
PP	5.6	4.9	18.5
PS	1.7	1.3	
EPS	0.7	0.7	4.1 <sup>(c)</sup>
PVC	8.3	10.7	13.0
PET	-	-	4.1

(a): según Relevamiento Informativo sobre la Industria Plástica Latinoamericana, ALIPLAST.

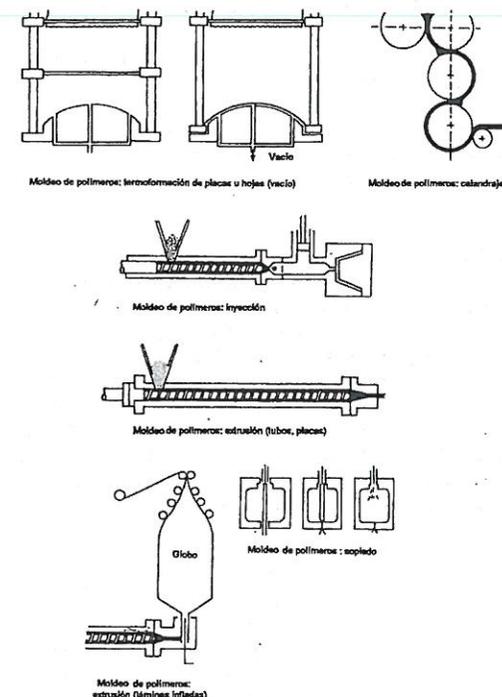
(b): según relevamiento hecho por el proyecto PNUD/URU/91/008, "Clasificación y Reciclo de Residuos Sólidos", IMM - PNUD, setiembre de 1996.

(c): los datos disponibles no separan entre polietileno de alta y de baja, ni entre poliestireno y poliestireno expandido.

#### 5 ¿Cuáles son los procesos para fabricar artículos plásticos?

Los plásticos pueden ser fabricados o transformados mediante diversas tecnologías o procesos (Figura 2). Los más importantes son: inyección, moldeo por soplado, termoformaje, extrusión, rotomoldaje y calandraje. Algunos procesos, como la extrusión y el calandraje, se aplican a la fabricación de productos semielaborados (laminados, perfiles, tubos, hojas plásticas, etc.), mientras otros se aplican en la fabricación de productos acabados, como piezas de máquinas (inyección) o de recipientes, frascos y botellas (soplado, termoformaje, inyección, etc.).

FIGURA 2  
Procesos de transformación de los plásticos



#### 6 ¿Dónde se generan los desechos plásticos?

**A nivel industrial:** cualquiera que sea la tecnología utilizada en la formación de los plásticos, siempre existe una cierta cantidad de material residual, generado en las varias operaciones que componen el proceso. Ese material se puede casi siempre recuperar y reciclar mediante tecnologías tradicionales, que es lo que normalmente se hace.

**A nivel urbano:** Los residuos sólidos plásticos, en la verdadera acepción de la palabra, se generan principalmente en las residencias y en los establecimientos comerciales. Están constituidos, en su mayor parte, por envases desechables (bolsas, recipientes, hojas, frascos, botellas, protectores, etc.). En la ciudad de Montevideo se recogen unas 145 ton/día, lo que hace aproximadamente 100 g de residuos plásticos generados por habitante por día<sup>27</sup>.

#### 7 ¿Qué hacer con los residuos plásticos?

Para cualquier residuo la primera alternativa que se debe considerar es la de **minimizarlos en origen**, la primera de las 3R: Reducir, Reusar, Reciclar (ver Parte 1 de este mismo Capítulo V). En el caso de los plásticos además de las alternativas que tiene toda industria de minimizar su desperdicio mejorando tecnología y procesos, en particular la industria plástica puede plantearse la reducción de la cantidad de plástico que forma

el artículo, con la ventaja de reducir el consumo de recursos no renovables. La industria plástica está trabajando en este sentido: en los últimos veinte años, los espesores de los envases de igual contenido se han ido reduciendo hasta en un 50%<sup>24</sup>.

La siguiente alternativa es la de dar nuevo uso a los plásticos. En ese sentido existen para ellos tres caminos posibles:

El **reciclado mecánico**, la alternativa más conocida. Consiste en triturar los objetos de plástico desechados, limpios, para elaborar gránulos de plástico reciclado, que luego son usados en la fabricación de nuevos objetos. Los Puntos 8 y 10 de esta Parte se extienden sobre este tema.

La **recuperación de los componentes iniciales**. Se somete el material residual polimérico a procesos fisicoquímicos para descomponerlo en componentes más sencillos. Mediante esos procesos los materiales plásticos son transformados en materias primas, que pueden nuevamente originar resinas vírgenes u otras sustancias de interés para la industria, tales como gases y aceites combustibles. Los procesos pueden ser: descomposición térmica en ausencia de oxígeno (pirólisis); tratamiento con hidrógeno a altas temperaturas; gasificación; tratamiento con disolventes. Esta alternativa es también vista como un reciclaje terciario (respecto al primario y secundario ver Punto 8), o reciclaje químico (diferenciando con el reciclado mecánico anterior). Este tipo de recuperación no se realiza todavía a gran escala, debido a las altas inversiones que requiere la tecnología necesaria y a su costo más elevado que el reciclaje mecánico.

La **valorización energética**. El plástico es un excelente combustible, posee un poder calorífico similar al del gas natural o al del fuel-oil, o dicho de otro modo, el valor energético de los plásticos es equivalente al de un aceite combustible (37,7 MJ/kg). Por esta razón, se pueden volver una valiosa fuente de energía. La incineración se realiza en muchos países para transformar residuos plásticos en energía. En este proceso, los plásticos son quemados, pura y simplemente con el propósito de generar energía térmica. Este proceso es especialmente adecuado para plásticos degradados o sucios, pero requiere de particulares cuidados técnicos para evitar la emisión de contaminantes atmosféricos, por lo mismo que se explicó de la inconveniencia de la quema indiscriminada de plásticos en los residuos sólidos. La dificultad relacionada con esta tecnología es el elevado costo de las instalaciones, que obliga a encarar escalas mínimas de operación; necesariamente son emprendimientos de tipo municipal o regional.

Estas dos últimas posibilidades no están siendo utilizadas actualmente en Uruguay<sup>27</sup>.

## 8 El reciclaje del plástico

El reciclaje del plástico se puede clasificar en:

- **Reciclaje primario o pre-consumo:** Es la recuperación de estos residuos efectuada en la propia industria generadora o por otras empresas transformadoras. Consiste en la transformación de los materiales termoplásticos provenientes de residuos industriales limpios y de fácil identificación, no contaminados por partículas extrañas, mediante tecnologías convencionales de procesamiento, en productos con características equivalentes a las de productos fabricados a partir de resinas vírgenes. Esos residuos están constituidos por artículos defectuosos, descartes provenientes de moldes o de sectores de corte y procesamiento. Se puede afirmar que en la práctica, el 100% de estos residuos se recupera, y la calidad de los artículos producidos con este material es en esencia la misma que la obtenida utilizando resinas vírgenes.

En Uruguay<sup>27</sup> este tipo de reciclado de plástico abarca prácticamente todos los scraps industriales. Se realiza en las propias empresas fabricantes o empresas únicamente procesadoras de desechos industriales, las que en algunos casos existen por acuerdos de varias empresas fabricantes. El proceso de los scraps industriales para fabricación de otros productos existe para el polietileno y para el PVC. Hay empresas que fabrican, entre otros, films de polietileno y caños de PVC únicamente con descartes industriales. Siempre teniendo en cuenta que el material reciclado no es apto para alimentos ni agua potable. En el caso del PET, para el que no hay quien lo reprocese, se da el caso de una empresa líder embotelladora de refrescos, la que mediante un acuerdo entre un depósito, una empresa procesadora y compradores en Estados Unidos, procesa su descarte de PET, exportándolo en forma de escamas. Este descarte incluye los envases retornables ya no aptos para el uso<sup>32</sup>.

- **Reciclaje secundario o post-consumo:** es la transformación de residuos plásticos de productos descartados en los residuos sólidos urbanos. Los materiales que entran en este grupo provienen de plantas de clasificación, sistemas de recolección selectiva, depósitos, clasificación informal. Están constituidos por los más diferentes tipos de material y de resinas, lo cual exige una buena separación para que puedan ser reaprovechados.

Cuando se habla en general de *reciclado de plásticos de residuos sólidos urbanos*, se entiende este reciclaje post-consumo. Debido a la mezcla con otros materiales, como restos de alimentos, tierra, trapos, metales, vidrios, papel, etc., se hace necesario realizar la separación de esos materiales en la mejor forma posible. Este problema se reduce cuando se aplica un sistema de recolección selectiva de residuos sólidos en origen, mediante el cual las personas mismas separan los diversos tipos de materiales en las propias residencias y empresas comerciales, con lo cual se evita la contaminación con otros materiales.

En Uruguay<sup>27</sup>, aunque existen pequeñas empresas manejando polietileno del consumo final, es muy escaso el reciclado del plástico proveniente de los residuos sólidos urbanos. Las investigaciones realizadas por el proyecto de "Clasificación y Reciclo de Residuos Sólidos", IMM/PNUD, para detectar porqué no están presentes los plásticos en los circuitos de clasificación, siendo que, luego de los restos de alimentos, son los que están presentes en mayor proporción en masa y especialmente en volumen, han dado como resultado que:

- la gran variabilidad de precios que han sufrido en los últimos años hace que los clasificadores y los depositeros chicos no estén dispuestos a correr el riesgo de acumularlos;
- la falta de capacidad para clasificarlos por falta de conocimiento y por las dificultades operativas que esto presenta han desestimulado su recolección;
- las dificultades para el lavado, especialmente los flexibles, impide la mejora de los mismos;
- es creencia generalizada que varios de los plásticos no son reciclables;
- hay poca predisposición del sector formal de tomar estos materiales por los problemas de clasificación y lavado. La escasa inversión de las empresas involucradas en tareas de lavado y reciclo hace que, hasta el presente, no están en condiciones de ofrecer al mercado materiales de niveles de limpieza, desagregación y regularidad suficientes para inspirar confianza al sector formal de transformadores.

Existe sin embargo en Uruguay una experiencia de reciclado post-consumo que, dadas sus características trasciende las actividades de empresa. La Campaña de Reciclaje de la Bolsa de Leche impulsada por el Consejo de Enseñanza Primaria, diversas intendencias municipales y una empresa líder en lácteos, constituye un Programa de Educación Ambiental dirigido a sensibilizar a la población en relación al tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios, y motivar cambios en los comportamientos y actitudes ciudadanas

respecto a esos temas. Los sachés de lácteos, previamente abiertos, enjuagados y secos por los escolares y sus familias, son llevados a las escuelas donde se realizan las actividades de educación ambiental. Las intendencias recogen el material de las escuelas y lo trasladan a la planta de reciclaje. La empresa láctea toma a su cargo el proceso de transformación del material en bolsas recicladas para residuos, que son utilizadas por las propias escuelas y por las intendencias, las que las adquieren para uso en la limpieza de espacios públicos. La referida campaña iniciada en 1993 es de carácter permanente, cuenta al presente con la participación de doce intendencias municipales y continúa su proceso de expansión<sup>33</sup>.

En Brasil, de las empresas que se dedican a la recuperación y/o reciclaje de materiales plásticos, una gran parte trabaja sólo con residuos industriales, los cuales, cuando provienen de empresas idóneas, presentan una muy buena calidad, tanto con relación a homogeneidad como en cuanto a contaminación por otros plásticos o materiales. Son las empresas pequeñas y medianas las que generalmente operan con plásticos recolectados debido a su bajo costo, desde vertederos, centros de clasificación de residuos sólidos, chatarrerías, e intermediarios, que les compran materiales a los recolectores informales, a la industria y al comercio. Se sabe que algunos recicladores utilizan, inclusive, plásticos de residuos sólidos hospitalarios y bolsas u otros envases de agroquímicos.

La dificultad en reciclar los residuos plásticos reside, justamente, en el hecho que estos se encuentran todos mezclados, lo cual obliga a separar los diferentes tipos, por ser incompatibles entre sí y no poder ser procesados por un equipo convencional. Por lo que los recicladores procuran adquirir la materia prima deseada previamente separada, a pesar de que siempre hace falta proceder a una inspección ocular para separar los plásticos indeseados, los cuales invariablemente están presentes en cada lote recibido.

## 9 ¿Cómo identificar los tipos de plástico?

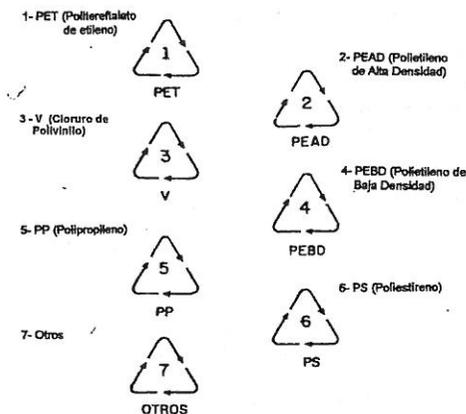
La separación de los diferentes plásticos por tipo de resina es un problema que no ha sido resuelto, siendo uno de los motivos que restringe el reciclaje de los plásticos. A pesar de los muchos estudios e investigaciones ya realizadas o en proceso, no se ha llegado hasta hoy, a un sistema que pueda, de manera rápida, automática y eficiente, realizar la perfecta separación de los plásticos. Muchos artículos se fabrican con más de un tipo de resina, lo cual complica aún más la separación.

Buscando una rápida identificación, se ha diseñado una **codificación de las resinas** utilizadas en la fabricación de artículos de plástico. La idea es imprimir o marcar en el artículo, en su embalaje o en un rótulo, el código correspondiente a la resina utilizada, o a las dominantes en caso de que se trate de una mezcla, de acuerdo con el sistema presentado en la Figura 3. La situación mejor es la de grabar el código en el producto mismo en los casos que sea posible, para evitar contaminar con tinta el material. Esto es aplicable cuando existen moldes o paredes gruesas, pero es muy difícil en láminas finas.

Este sistema fue desarrollado para ayudar a los recicladores a identificar y separar los plásticos manualmente, mientras se logra idear un sistema automático que cumpla esta tarea.

La Asociación Uruguaya de Industrias del Plástico ha declarado la intención de que todas las empresas que utilizan materiales plásticos, pongan el código de identificación en cada uno de los artículos, sin embargo esto no se cumple en una parte importante de los casos.

FIGURA 3  
Sistema internacional de codificación de plásticos



Existe otra forma simple para identificar los plásticos que se encuentran en los residuos sólidos. Este método se basa en algunas características físicas y de degradación térmica de los plásticos. Puede ser muy útil también cuando existen dudas con respecto al tipo de resina. Algunas de esas características se indican a continuación.

- Polietilenos de baja y de alta densidad:
  - baja densidad (flotan en el agua).
  - se derriten a baja temperatura (PEBD = 85° C; PEAD = 120° C).
  - se queman como una vela, y despiden olor a parafina.
  - superficie lisa y "cerosa".
- Polipropileno:
  - baja densidad (flota en el agua).
  - se derrite a baja temperatura (150° C).
  - se quema como una vela, y despiden olor a parafina.
  - cuando se aprietan entre las manos, hacen ruido como de celofán.
- Cloruro de polivinilo:
  - alta densidad (se hunde en el agua).
  - se derrite a baja temperatura (80° C).
  - se quema con gran dificultad, y despiden un olor acre.
  - se puede soldar mediante solventes (acetonas).
- Poliestireno:
  - alta densidad (se hunde en el agua).
  - es quebradizo.
  - se derrite a bajas temperatura (80 a 100° C).
  - se quema relativamente fácil, y despiden olor a "estireno".
  - es afectado por muchos solventes.
- Polietileno tereftalato:
  - alta densidad (se hunde en el agua)
  - muy resistente.
  - se derrite a baja temperatura (80° C).

Los plásticos poseen entonces características diferentes entre sí que pueden ayudar a separarlos. De hecho, gran parte, si no la mayoría de las empresas recicladoras de residuos sólidos plásticos, hacen la separación y purificación de los plásticos por la diferencia de densidad (algunos plásticos flotan en el agua, otros se hunden, y de esta forma se pueden separar). A título de ilustración, el Cuadro 3 muestra las densidades de algunos plásticos.

CUADRO 3  
Densidad de plásticos granulados

Tipos de plásticos	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Polipropileno	0.900 - 0.910
Poliétileno de Baja Densidad	0.910 - 0.930
Poliétileno de Alta Densidad	0.940 - 0.960
Poliestireno	1.040 - 1.080
Polivinilo, cloruro	1.220 - 1.300
Poliétileno, tereftalato	1.220 - 1.400

Además, existen algunos embalajes y artículos tan tradicionales, que su identificación se vuelve relativamente simple. La Tabla 1 presenta algunos ejemplos típicos.

TABLA 1  
Materiales por Tipos de plásticos

- baldes, frascos y botellas de alcohol, tanques: PEAD.
- conductores para alambres y cables eléctricos: PVC, PEBD, PP.
- vasos para agua mineral: PP y PS.
- vasos desechables (café, agua, cerveza, etc.): PS.
- envoltorios para pasta, golosinas y galletas: PP, PEBD.
- frascos de detergentes y productos de limpieza: PP, PEAD, PEBD, y PVC.
- frasco de champús y artículos de higiene: PEBD, PEAD, PP.
- gabinetes de computadoras, aparatos de sonido y TV: PS.
- botellas de agua mineral: PEAD, PP, PET y PVC.
- botellas de refrescos: PET y la tapa en PP con un retentor en EVA.
- espumaplast®: EPS.
- lonas agrícolas: PEBD, PVC.
- envases de margarinas: PP.
- bolsas de abono: PEBD.
- bolsas de leche: PEBD.
- bolsas para la residuos sólidos: PEBD.
- bolsas de rafia: PP.
- caños: la mayor parte fabricada en PVC, pero también en PEAD, PEBD y PP.

## 10 Procesos de reciclado de plásticos de residuos sólidos

El aprovechamiento de materiales plásticos desde los residuos sólidos urbanos (Punto 8), se puede hacer por dos procesos distintos: sin o con separación de las resinas.

### Sin separación de las resinas

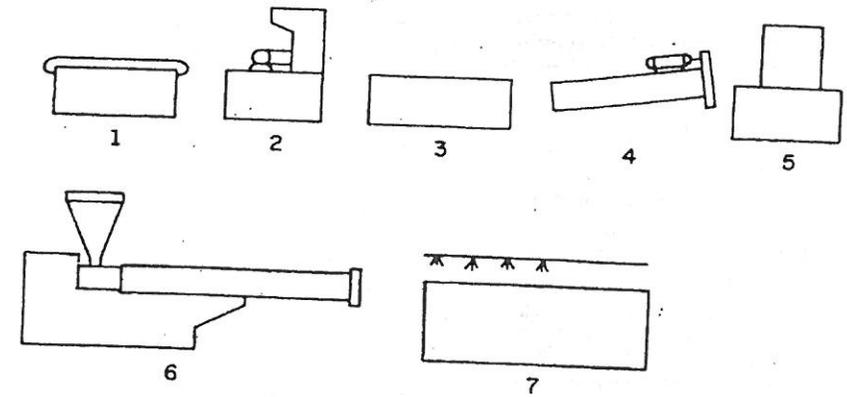
Significa, el reprocesamiento de plásticos mezclados.

Esta alternativa exige altas inversiones en equipos especiales (una planta puede costar varios millones de dólares), necesarios para la obtención de productos de buena calidad, actualmente fabricados sólo en el extranjero. La desventaja de este proceso, además del elevado costo de inversión, es su limitación a la producción de artefactos. Debido a su concepción, permite sólo la fabricación de piezas de espesor relativamente grueso, obteniendo la llamada "madera plástica" para mobiliario, postes, tarimas para depósitos, etc.

De acuerdo con la Figura 4, las principales etapas involucradas en este proceso son:

- trituración de los plásticos;
- lavado con agua con o sin detergentes;
- secado;
- almacenamiento;
- aglutinación;
- transformación en nuevos productos mediante equipos especiales.

FIGURA 4  
Reciclaje de una mezcla de plásticos



- 1 - Mesa de clasificación    2 - Molino/triturador    3 - Tanque lavador  
4 - Secador    5 - Aglutinador    6 - Extrusora  
7 - Sistema de enfriamiento

### Con separación por tipo de resina

La recuperación y el reciclaje de plásticos separados por tipo de resina permite por ejemplo,

con...  
botellas de PET  
botellas de PVC  
botellas de PEAD  
botellas de PP  
espuma de EPS  
bolsas de PEBD

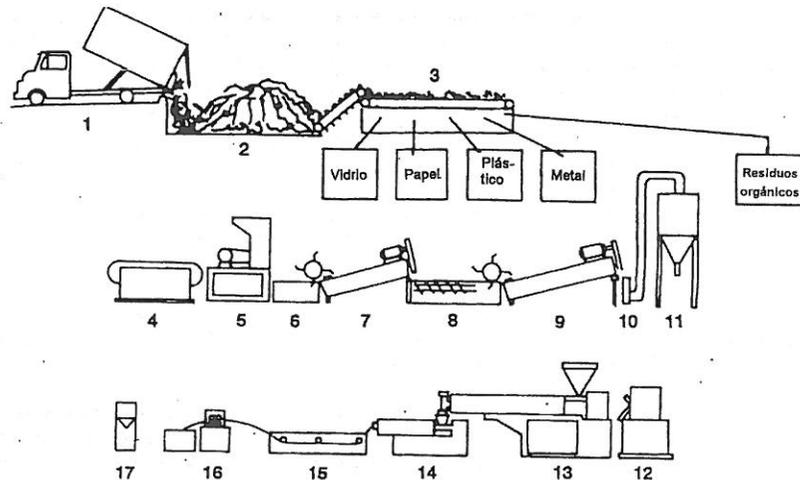
producir...  
alfombras...  
cañerías de desagüe...  
botellas...  
cuerdas...  
bandejas...  
bolsas para residuos sólidos...

El proceso consiste en:

- separación de los plásticos y de otros materiales, a través de la clasificación manual;
- identificación, separación y clasificación de los diferentes tipos de plástico;
- trituración, lavado y secado;
- aglutinación;
- extrusión;
- granulación;
- transformación en nuevos productos mediante procesos y equipos tradicionales.

Como ya se comentó anteriormente, la etapa más crítica del proceso es la identificación y separación de los diversos tipos de plástico. La mezcla indiscriminada de diferentes resinas da como resultado productos de baja calidad y, muchas veces, inaprovechables. La Figura 5 presenta el diagrama del proceso y el Cuadro 4 las etapas involucradas.

FIGURA 5  
Procesos de recuperación de plásticos diferentes



- |                                      |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1- Recepción de los residuos sólidos | 10- Soplador               |
| 2- Fosa de descarga                  | 11- Silo                   |
| 3- Correa transportadora             | 12- Aglutinador            |
| 4- Mesa de clasificación             | 13- Extrusora              |
| 5- Molino/triturador                 | 14- Extrusora              |
| 6- Tanque lavador/separador          | 15- Tanque de enfriamiento |
| 7- Lavador                           | 16- Granulador             |
| 8- Lavador/transportador             | 17- Ensacador              |
| 9- Secador                           |                            |

CUADRO 4

Etapas involucradas en el reciclaje de plásticos separados

Etapas	Descripción
Separación	Identificación de los plásticos
Trituración	PEBD, PEAD, PVC, PP, PS, PET, otros
Regeneración	Molienda y lavado
	Secado
	Aglutinación
	Extrusión
Post-tratamiento	Granulación
	Agregado de aditivos
Reciclaje	Granulación
	Transformación en artículo nuevo

## 11 Los beneficios del reciclaje del plástico

El reciclaje de los materiales plásticos que se encuentran en los residuos sólidos urbanos produce beneficios sociales y económicos para la sociedad, entre los cuales se pueden destacar los siguientes:

- reducción del volumen de residuos sólidos recolectados que se envían a los rellenos sanitarios, propiciando aumento de la vida útil de los mismos y reducción en el costo del transporte.

- economía de energía y petróleo, pues los plásticos son derivados del petróleo, y un kilo de plástico equivale a un litro de petróleo en energía;
- generación de empleos (clasificadores, obreros, almacenadores, etc.);
- menor precio para el consumidor de los artículos producidos con plástico reciclado (en promedio, los artículos de plástico reciclado son un 30% más baratos que los mismos productos confeccionados con materia prima virgen);
- mejoras sensibles en el proceso de descomposición de la materia orgánica en los rellenos sanitarios, dado que el plástico impermeabiliza las capas de material en descomposición, perjudicando la circulación de gases y líquidos.

## 12 Dificultades para implantar un reciclaje del plástico

La implantación de un sistema de recolección selectiva y de procesos para la adecuada separación de materiales plásticos de los residuos sólidos, presenta algunos problemas que deben tener soluciones diferentes en función de las diversas características de cada municipio.

Entre los problemas más comunes, se pueden mencionar los siguientes:

- la escasez de empresas interesadas en comprar material separado de los residuos;
- las distancias que a veces separan el municipio del mercado comprador;
- la dificultad en separar correctamente los diversos tipos de plástico;
- la difícil tarea de garantizar a los compradores un suministro continuo de materia prima de buena calidad.

No debe perderse de vista que una tasa importante de desvío de los residuos plásticos de un relleno sanitario, puede traer como consecuencia la paralización de la descomposición de la materia orgánica putrescible en el relleno. Al disminuir la carga de inertes puede haber un aumento tal de los ácidos generados en la primera fase de la biodegradación que se inhiba el proceso de putrefacción, con las consecuencias negativas para la operación del relleno<sup>31</sup>.

## 13 Comercialización del plástico reciclado

El plástico proveniente de los residuos sólidos puede ser comercializado en diversas formas y niveles de preparación, dependiendo de los sistemas de recolección y clasificación, del valor agregado, de la disponibilidad de empresas recicladoras en la región, etc. En forma general, las empresas que se dedican al reciclaje o la reventa de este tipo de material prefieren adquirirlo previamente separado y limpio, pues así podrá ser procesado con más facilidad. Es por tanto, conveniente que la intendencia o una asociación con credenciales para esa tarea, monte una estructura mínima para preparar los plásticos con miras en el mercado comprador. Tanto a través de la recolección selectiva, como a través de la recolección convencional, los plásticos deben pasar por un proceso que los prepare para una posterior transformación.

Según la preparación que se les aplique, pueden ser comercializados bajo las siguientes formas:

- **plástico mezclado:** los objetos de plástico son separados de los otros materiales que componen los residuos sólidos, mediante la selección manual en una correa móvil; luego de separado, el material es colocado en bolsas plásticas, que se comprimen, amarran y rotulan;
- **plástico separado:** los artículos plásticos son separados por tipo de resina, mediante la clasificación manual en una correa móvil; cada operario será responsable de retirar uno o dos tipos de plástico y los irá depositando en recipientes identificados con el nombre o el símbolo de la resina. Los plásticos separados son colocados en bolsas plásticas, prensados e identificados convenientemente;

- **plástico triturado:** después de la separación por tipo de resina, los artículos de plástico son triturados según la granulometría adecuada en molinos de cuchillas y luego son embolsados e identificados correctamente;

- **plástico aglutinado:** los plásticos luego de ser triturados, son lavados en un tanque con agua, secados en un bastidor con la ayuda de sopladores de aire, y condensados en un aglutinador. Ese equipo consiste en una cesta rotativa, semejante al de una lavadora para ropa, que al girar recalienta el plástico por fricción, secando y condensando el material triturado. El material al ser retirado del granulador y enfriado al aire es embolsado, recibiendo etiqueta de identificación;

- **plástico granulado (peletizado):** aunque algunos equipos puedan transformar directamente a plástico granulado, es conveniente que dicho material pase por una extrusora y luego por un granulador. Al pasar por la extrusora el material es fundido, homogeneizado y obligado a pasar por una matriz que contiene diversos orificios, de los cuales saldrán filamentos plásticos ("spaghetti"). Estos filamentos son enfriados en un baño de agua fría y cortados en pedazos de aproximadamente 2 a 3 mm. en un equipo granulador. Luego el material granulado es embolsado y etiquetado.

Es evidente que el precio del material que va a ser comercializado aumenta en proporción de su mejora, como también aumenta su costo. La elección de una de las alternativas presentadas depende básicamente de las características de la recolección, del tamaño del municipio, de la disponibilidad de espacio, de la ubicación, de las industrias del sector en fin, de un conjunto de factores que determinarán la elección más adecuada.

#### 14 Situación uruguaya y proyecciones futuras

Como ya se mostró en el Cuadro 1, Uruguay todavía consume poco plástico en comparación con otros países desarrollados. Es de suponer por lo tanto, que la demanda aumentará en los próximos años y, en caso de que no haya una buena planificación para gestionar los residuos plásticos, con seguridad las consecuencias serán semejantes a las ya vividas por algunos países. Estos a veces se encuentran con volúmenes enormes de residuos sólidos, sin saber exactamente qué van a hacer, mientras que las áreas disponibles para rellenos se vuelven cada día más escasas, las instalaciones de incineradores no siempre son aprovechadas por la población local y los costos financieros y políticos se vuelven incompatibles con la realidad de esas regiones.

En las grandes ciudades se presentan problemas relacionados con la escasez de espacios disponibles para instalar rellenos sanitarios, que cada día quedan más lejos, o bien, en algunos casos tales espacios no existen, lo cual crea una situación preocupante pues la tasa de crecimiento poblacional - a pesar de haberse reducido - continúa bastante alta y la tendencia es la de una mayor generación de residuos sólidos. Considerando esos factores, potenciados por el hecho de que el aumento del poder adquisitivo de la población propicia un mayor consumo, contribuyendo a una mayor generación de residuos sólidos, se vuelve necesaria una urgente toma de posición por parte de los responsables, para que se inicien estudios y proyectos que prevean la solución de un problema tan crítico y desafiante.

La reutilización de materiales plásticos es una condición esencial para la gestión de los residuos sólidos, ya que esos materiales significan un gran volumen de los residuos sólidos urbanos, y su desvío del relleno sanitario contribuirá significativamente a un mejor aprovechamiento de los recursos y la consiguiente mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. Las intendencias podrían inclusive, crear incentivos (fiscales, estructurales, etc.) para motivar y concientizar a los ciudadanos y a las empresas a participar activamente en el proceso, al igual que fomentar la utilización de productos reciclados. Con esto las intendencias estarían dando ejemplo y aval para el consumo de los plásticos reciclados, ayudando a combatir algunos de los tabúes que aún existen.

Aunque haya, en ciertos casos, algunas limitaciones y restricciones en cuanto al uso del plástico procedente de los residuos sólidos urbanos (no puede usarse para contener alimentos, productos farmacéuticos y hospitalarios y algunos tipos de juguetes), si esta materia prima es tratada adecuadamente se puede utilizar en la fabricación de muchos productos, conservando casi las mismas propiedades que los artículos hechos con materia prima virgen. Sin embargo, el prejuicio todavía existente sobre la mala calidad de los artículos de plástico reciclado, impide un uso mayor del plástico reciclado. Esto se basa en la falta de información y también en la existencia de algunos procesadores, que insisten en la tesis de que la competitividad sólo se alcanza cuando hay precios bajos, sin que importe la calidad del producto. Se debe destacar que existen normas técnicas y especificaciones que se deben observar, tanto en el caso de que la materia prima sea virgen o reciclada.

El plástico reciclado contribuye eficazmente al desarrollo de artículos de buena calidad y bajo costo, tales como: conductores eléctricos, mangueras, bolsas para residuos, juguetes, utensilios domésticos, etc., y productos industriales de alta demanda, tales como tarimas, marcos, postes y perfiles de "madera plástica", asientos de autobuses y del metro, y un sin fin de otros productos.

En Uruguay<sup>27</sup>, la potencialidad de estos materiales es grande, pasando la solución fundamentalmente por el aporte de tecnología y financiamiento. El aporte tecnológico se centraría tanto en capacitación de los actores como en equipamientos adecuados para la clasificación y el lavado. El aporte financiero iría orientado especialmente al mantenimiento de capacidades de estiba lo suficientemente altas para minimizar los efectos de la variabilidad de precios de las materias primas vírgenes, lograr la escala suficiente para producir a costos competitivos con otros materiales plásticos y con otros materiales de construcción (madera, cemento, metal) y negociar adecuadamente en el mercado internacional.

## Referências

- 1 ALI, D.M., SUBRAMANIAN, T.V. Waste plastics: re-use of materials and recovery of energy. *Plastics and Rubber International*, v.7, n.1, Feb. 1982.
- 2 SPECIALIZED machinery for the recycling imperative. *Modern Plastics International*, p. 62-64, Apr. 1991.
- 3 NAFTA em queda reanima o setor. *Plástico moderno*, p.27-46, abr. 1994.
- 4 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING OF MATERIALS. Disposal of plastics with minimum environmental impact. S.I., 1973. (STP 533).
- 5 BERTOLINI, G., FONTAINE, J. European exchanges of plastics waste: the central position of Italy. *Conservation & Recycling*, v.7, n.1, p.43-48, 1984.
- 6 BUEKENS, A.G. Plásticos y reciclaje de resíduos plásticos. En: CONFERENCIA SOBRE UN DESARROLLO INDUSTRIAL ECOLOGICAMENTE SOSTENIBLE, 1991, Copenhague. Proceedings... Copenhague: ONUDI, 1991.
- 7 CASTELNUOVO, L. Experience and activities of mont eco in the urban plastic waste recycling. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS, 1992, S.I., Anais... S.I.: ABIQUIM, 1992.
- 8 EHRIG, R.J. Plastics recycling: products and processes. S.I.: Ed. Harlgen, 1992.
- 9 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Decision makers guide to solid waste management. S.I., 1989. 155 p. (EPA / 530-SW-89-072).
- 10 FOUHY, K. et al. Plastics recycling diminishing return. *Chemical Engineering*, p.30-34, Dec. 1993.
- 11 GAINES, L.L., WOLSKY, A.M. Resource conservation through beverage container recycling. *Conservation & Recycling*, v.6, n.1-2, p.11-20, 1983.
- 12 HACKENBERGER, A. Reciclagem do poliestireno expandido. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS, 1992, S.I. Anais... S.I.: ABIQUIM, 1992.
- 13 HAMAYA, S. The present situation and outlook on plastic waste recycling in Japan. *Conserving & Recycling*, v.4, n.3, p.185-192, 1981.
- 14 HOUSE, E.F. Solid waste solutions. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS, 1992, S.I. Anais... S.I.: ABIQUIM, 1992.
- 15 KREISHER, K.R., MAPLESTON, P. Recycling becomes top priority for car makers. *Modern Plastics International*, p.36-38, June 1991.
- 16 LEAVERSUCH, R.D. Chemical recycling brings real versatility to solid waste management. *Modern Plastics International*, p.26-45, July 1991.
- 17 MADER, F.W. Reaproveitamento de plásticos: um desafio global. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS, 1992, S.I., Anais... S.I.: ABIQUIM, 1992.
- 18 MANO, E.B. Polímeros como Materiais de Engenharia. S.I.: Edgar Blücher, 1991.
- 19 MILGRN, J. Recycling plastics: current status. *Conservation & Recycling*, v.3, n.3/4, p.327-335, 1974.
- 20 MODERN PLASTICS ENCYCLOPEDIA, 1991, S.I.: Ed. Rosalind Juran Mc Graw-Hill. 1990. v.67, n.11, 1990.
- 21 NEALE, C.W. Observations on the economics of recycling industrial scrap plastics in new products. *Conservation & Recycling*, v.6, n.3, p.91-105, 1983.
- 22 PLASTICS in the environmental. S.I.: Harring Chemsult, s.f.
- 23 SIEH, T.K., KATSING, T. Reciclagem do PET. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS, 1992. S.I. Anais... S.I.: ABIQUIM, 1992.

- 24 TOENSMEIER, P.A. Solid waste crisis creates market for dedicated recycling lines. *Modern Plastics International*, p.74-78, Nov. 1989.
- 25 ASOCIACION VENEZOLANA DE INDUSTRIAS PLÁSTICAS (AVIPLA).
- 26 ASOCIACIÓN URUGUAYA DE INDUSTRIAS DEL PLÁSTICO. Relevamiento Informativo sobre la Industria Plástica Latino americana. Estadísticas ALIPLAST.
- 27 PROYECTO PNUD/URU/91/008, "Clasificación y Reciclo de Residuos Sólidos", Asistencia Preparatoria / Segunda Etapa, IMM, PNUD, Setiembre 1996.
- 28 FUNDACION DE LA INDUSTRIA PLASTICA, "Los plásticos y sus residuos", Buenos Aires 1995.
- 29 ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN URUGUAY, Serie Análisis Sectoriales N° 7, Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud. OPS/OMS - DINAMA - GTZ - PNUD. Marzo 1996.
- 30 PLASTICS ENGINEERING HANDBOOK. Society of the Plastics Industry. 5th. Edition. Ed. M.L.Berins. New York. 1991.
- 31 BORZACCONI, L. Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. En: III Seminario del Plástico, AUIP, Nov.1997.
- 32 MONTEVIDEO REFRESCOS. Informaciones personales.
- 33 CONAPROLE. Informaciones personales.

### 3.3 El Vidrio

#### 1 ¿Qué es el vidrio?

El vidrio es un material obtenido por la fusión de compuestos inorgánicos a altas temperaturas, y el enfriamiento de la masa resultante hasta un estado rígido, no cristalino.

El principal componente del vidrio es la sílice ( $\text{SiO}_2$ ). La sílice, sola, sería un vidrio ideal para muchas aplicaciones, pero las altas temperaturas necesarias para su fusión y las dificultades para darle forma limitan su uso a algunas aplicaciones especiales.

Para reducir la temperatura de fusión de la sílice, es necesario utilizar un fundente, y para ello sirve el óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). Como el conjunto  $\text{SiO}_2$ - $\text{Na}_2\text{O}$  es soluble en agua, se añade un tercer elemento, el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), que le confiere al vidrio la estabilidad química necesaria. Este vidrio se denomina vidrio soda-cal.

El vidrio soda-cal, también llamado «vidrio común», representa el 90% de todo el vidrio fabricado en el mundo. El vidrio soda-cal, además de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{CaO}$ , que constituyen aproximadamente el 90% de su composición, posee otros elementos, algunos provenientes de la propia materia prima usada, como el óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), y otros agregados a propósito para brindarle al vidrio características deseables, como es el caso del óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

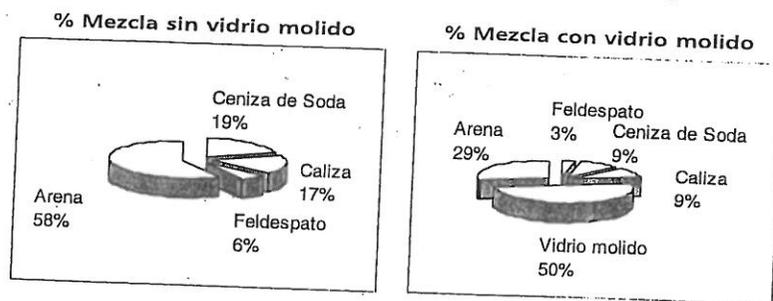
El  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se le añade al vidrio para mejorar su durabilidad química, inhibir su cristalización durante el enfriamiento y controlar su viscosidad, propiedad muy importante en todas las etapas de fusión, conformación y recocimiento del vidrio.

El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  es una impureza presente en la mayoría de las materias primas naturales. Para los vidrios incoloros de alta calidad es necesario minimizar la cantidad de este óxido en la formulación, pues presenta gran influencia en la coloración del vidrio. Vidrios transparentes de alta calidad utilizan arenas con niveles de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  inferiores a 0,01%.

#### Materias primas del vidrio

Arena, soda, caliza y feldespato son las materias primas básicas en la fabricación del vidrio tipo soda-cal. A esa mezcla se le añaden trozos de vidrio generados internamente en la fábrica o comprados, procedimiento que reduce sensiblemente los costos de producción.

FIGURA 1  
Formulación de un vidrio soda-cal (valores típicos)



#### 2 ¿Tienen todos los vidrios la misma composición?

Aunque todos los vidrios partan de una misma base, poseen composiciones diferentes, de acuerdo con la finalidad a la que se destinan. De este modo, hay:

- vidrio soda-cal, también denominado «vidrio común»;
- vidrio borosilicato (contiene óxido de boro);
- vidrio de plomo (contiene óxido de plomo);
- vidrios de formulaciones específicas.

#### 3 Algunos productos de vidrio

##### • Vidrio para envases

Botellas, pots, frascos y otros envases fabricados con vidrio común en colores blanco, ámbar y verde.

Son los únicos productos de vidrio fabricados en Uruguay con una capacidad instalada de 45 mil toneladas anuales (unos 125 ton/dfa), de las cuales 50% es para exportación<sup>20</sup>. La capacidad instalada en Brasil es de 3.430 ton/dfa<sup>18</sup>.

##### • Vidrio plano

Vidrios planos lisos, vidrios cristales, vidrios impresos, vidrios templados, laminados, y coloreados, fabricados en vidrio común.

##### • Vidrios domésticos

Tazas, bandejas, vasos, platos, ollas y otros productos domésticos fabricados en diversos tipos de vidrio común, borosilicato, de plomo, vidrio-cerámica.

##### • Fibra de vidrio

Mantas, tejidos, hilos y otros productos para aplicaciones de refuerzo o aislamiento, fabricados con vidrio borosilicato.

##### • Vidrios técnicos

Lámparas incandescentes y fluorescentes, tubos de TV, vidrios para laboratorio, vidrios para termos, vidrios para anteojos y aislantes térmicos, fabricados en vidrio común, de plomo y de fórmulas específicas.

#### 4 Procesos para la fabricación del vidrio

En la actualidad, la industria del vidrio utiliza procesos de fabricación específicos de acuerdo con el tipo de producto final que se desea. Una primera clasificación divide esos procesos en Primarios (automáticos y manuales) y Secundarios.

Los procesos primarios se caracterizan por la producción de vidrio a partir de la fusión de materias primas a altas temperaturas, mientras los procesos secundarios son los que transforman el vidrio en otros productos, es decir, cualquier proceso en el que la materia prima para la fabricación sea el propio vidrio, tal como: espejos, vidrios templados, vidrios laminados, entre otros.

### 5 El reuso del vidrio

El vidrio es un material no poroso, que resiste temperaturas de hasta 150° C (vidrio común), sin perder ninguna de sus propiedades físicas y químicas. Esta particularidad permite que los objetos de vidrio puedan ser reutilizados varias veces para un mismo propósito.

La posibilidad de poder lavar y esterilizar los envases de vidrio con un alto grado de seguridad, hizo que el uso de envases de vidrio retornables sea bastante difundido.

Los envases de vidrio retornables se emplean básicamente para contener cervezas, refrescos y agua, sus características físicas y mecánicas están normalizadas. Una vez consumido el producto, son devueltos a las propias embotelladoras de bebidas para su lavado y esterilizado, en locales habilitados, antes de ser utilizados de nuevo.

Las botellas retornables de vidrio, por el hecho de que deben ir y volver a las fábricas, y se deben abrir y tapar varias veces, deben ser más resistentes y por lo tanto más pesadas que los otros envases. Existe una tendencia, lenta pero bien definida, de ir sustituyendo progresivamente estas botellas retornables por botellas más livianas y desechables, destinadas a ser utilizadas una sola vez.

Es importante enfatizar que solamente los envases de vidrio retornables, proyectados específicamente para ser reutilizados, deben tener esa finalidad. Todos los otros envases de vidrio deben ser obligatoriamente quebrados, para ser vendidos a las industrias del vidrio o para otros usos alternos, como los que se mencionan abajo.

#### Importante

La reutilización indiscriminada de botellas, frascos y otros recipientes de vidrio, que no hayan sido adecuadamente lavados y esterilizados, constituye un riesgo potencial para la salud de la población.

Cabe recordar que la etapa más importante de la limpieza de envases de vidrio es la esterilización, que normalmente se hace a altas temperaturas (entre 100 y 150°C).

### 6 El reciclaje del vidrio

El vidrio es reciclable en un 100%, y durante el proceso de fusión no se produce pérdida de material. Con cada tonelada de fragmentos de vidrio limpio, se obtiene otra tonelada de vidrio nuevo. Es más: se deja de utilizar 1,2 tonelada de materia prima virgen.

La inclusión de cascos, en el proceso normal de fabricación de vidrio reduce sensiblemente los costos de producción. (Casco = cada uno de los pedazos de vasija o vaso que se rompe). En términos de aceite combustible y electricidad, sólo en la fabricación, cada 10% de vidrio molido en la mezcla, se economiza un 2,5% de la energía necesaria para la fusión en los altos hornos.

### Los cascos de vidrio

Los cascos de vidrio provienen fundamentalmente de dos fuentes: interna y externa. En cada fábrica de vidrio se produce internamente cierta cantidad de casco, que es reutilizado en la propia fábrica sin otro procesamiento adicional, debido a que su calidad y composición es conocida.

El casco de vidrio generado externamente tiene diversas procedencias. La principal fuente de casco de vidrio externo son los propios usuarios y procesadores de todo tipo de productos de vidrio.

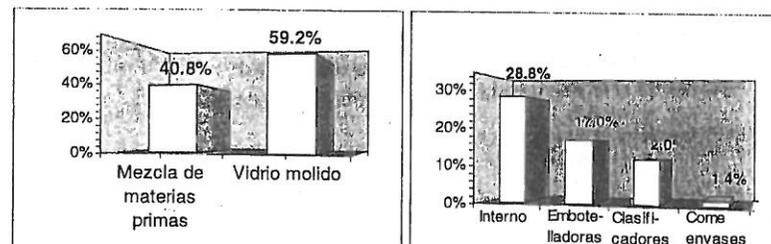
En el caso de los residuos domiciliarios, la situación es muy compleja, no siempre es posible conocer la procedencia y composición química de cada vidrio encontrado. En este caso, la mejor cosa a hacer es separar y clasificar el vidrio por producto, determinando luego su destino correcto.

Algunos procesos de fabricación de vidrio pueden usar sólo el casco de vidrio generado internamente (por ejemplo, el vidrio plano). En otras industrias de vidrio es posible aprovechar una cierta cantidad de casco generado externamente (por ejemplo, envases de vidrio).

Una de las principales ventajas presentadas por el vidrio, es que este puede ser reciclado infinitas veces para la producción de recipientes, que sirven para envasar los más nobles productos.

FIGURA 2

Materiales usados en la fabricación de vidrio en Uruguay<sup>(a)</sup> Procedencia del vidrio molido utilizado<sup>20</sup>



(a): datos del único fabricante de envases de vidrio del país.

#### Otras aplicaciones para el vidrio molido diferentes a envases

- material de relleno;
- material abrasivo;
- materia prima para baldosas cerámicas;
- fabricación de microesferas de vidrio;
- fabricación de lana de vidrio;
- fabricación de fibra de vidrio;
- fabricación de perlitas de vidrio;
- fabricación de espuma de vidrio;
- fabricación de ticholos de vidrio;
- materia prima en la fabricación de asfalto
- aplicaciones artísticas

## 7 ¿Qué vidrios se encuentran en los residuos sólidos domiciliarios?

El principal tipo de vidrio encontrado en los residuos sólidos domiciliarios es el vidrio de envases. Esos envases de vidrio son: botellas para bebidas alcohólicas, para agua, refrescos y jugos, vasos, jarras, potes y frascos para alimentos.

En los residuos sólidos domiciliarios se encuentra también el vidrio que forma parte o componente de un sin fin de otros productos domésticos, como, por ejemplo, platos, ollas, ensaladeras, aceiteras, televisores, lámparas, entre otros. La composición química de estos vidrios, normalmente, es muy diferente de la del vidrio común, usado en la fabricación de envases y de vidrio plano y, por consiguiente, es muy difícil, o casi imposible, separar y aprovechar el vidrio de estos artículos. En principio, todo este vidrio podría ser reaprovechado. Sin embargo, en la práctica no resulta viable económicamente.

Por lo tanto, la mayor parte del vidrio contenido en los residuos sólidos domiciliarios que se puede reaprovechar, comprende: botellas, frascos, potes y otras vasijas para productos alimenticios, cosméticos, etc.

### Envases retornables y reciclables:

- botellas de vidrio ámbar para cervezas;
- botellas de vidrio blanco para refrescos;
- botellas de vidrio verde para refrescos.

### Envases reciclables:

- botellas desechables, de vidrio blanco, ámbar y verde, para cervezas y refrescos;
- botellas para jugos y agua mineral;
- frascos y potes para productos alimenticios;
- botellas de vidrio verde y blanco para bebidas alcohólicas y vino;
- frascos para cosméticos y medicinas.

### Artículos de vidrio no reciclables\*:

- lámparas incandescentes;
- lámpara fluorescentes;
- tubos de televisión;
- vidrios de espejos;
- vidrios domésticos (ollas de vidrio borosilicato y vidrios especiales).

(\*)El vidrio de estos artículos puede tener aplicación en algunas de las alternativas mencionadas anteriormente.

## 8 Mercado del reciclaje y el reuso del vidrio

En general, para los municipios ubicados en la proximidad de fábricas de vidrio, la mejor forma de realizar el reciclaje es la de quebrar los productos de vidrio (botellas, potes, frascos, etc.) y venderlos en forma de cascó, directamente a esas fábricas.

Para lograr un mejor precio de venta de ese vidrio quebrado, se debe realizar la entrega del mismo a las industrias luego de limpiarlo (remoción de aros, metales y material inorgánico), y mejor todavía luego de clasificarlo por colores. Por ejemplo en Montevideo, los precios pagados por tonelada de vidrio puesta en la fábrica que lo muele, son de US\$32 para el vidrio color y US\$ 41 para el vidrio blanco<sup>21</sup>.

Los municipios distantes de las fábricas de vidrio, y cuyo costo de transporte puede hacer antieconómica la venta de cascó de vidrio a las industrias tradicionales de envases, pueden venderlo para otras finalidades, como se indica en el Punto 6.

En ciertas ocasiones, el valor de venta puede ser atractivo, en caso de que la industria

local esté trayendo de lejos su materia prima. Es común que otras industrias (no vidrieras) desconozcan la utilización del vidrio, previsto en los residuos sólidos domiciliarios, como materia prima.

En el Uruguay<sup>21</sup>, el mercado del vidrio se desagrega en tres vertientes sustancialmente diferentes:

- vidrio recuperado para materia prima de la empresa productora de envases de vidrio;
- botellas y envases con posibilidad de reuso;
- vidrio plano.

El vidrio plano, según ya se mencionó, tiene propiedades de fusión distintas por lo que no es usado en mezclas con el de envases. Ha cerrado recientemente la empresa local productora de vidrio plano, por lo que todo el abastecimiento de este producto a plaza es importado. Sólo se comercializa el vidrio plano roto, en partes relativamente grandes, abasteciendo a un gran número de pequeñas vidrierías que atienden al consumidor final.

Del vidrio para envases, una fracción se deriva a lavaderos para su reuso, pero la mayor parte tiene como destino la fusión para fabricación de nuevos envases.

Tanto en el país como a nivel internacional, existen circuitos de lavado de botellas y recipientes de vidrio para reuso, del mismo u otro destino final. Es una actividad que, considerando envases de vidrio, significa un aprovechamiento de recursos importante. En el medio uruguayo, se realiza en condiciones mayoritariamente informales, lo que significa ausencia de controles sanitarios y de condiciones de trabajo para los operadores de los lavaderos. Cabe considerar que la escala de producción del fabricante de envases y el nivel mínimo requerido para la importación de envases, han implicado el desarrollo del reuso de envases en las bodegas, fábricas de bebidas sin alcohol y de alimentos envasados (pequeñas y medianas empresas).

En el país existe una sola empresa que muele vidrio. También existe un único fabricante de envases de vidrio. Ambas están situadas en Montevideo. Las fuentes más importantes de vidrio para molienda y refusión son las envasadoras de líquidos y alimentos en general, entregando su descarte de envasado. La segunda fuente es el circuito de descarte de los depósitos a los cuales la empresa moledora recurre directamente, y los clasificadores que venden directamente en la planta.

La tercera fuente son los comenvases de un circuito operado desde hace 10 años, en acuerdo entre una organización no gubernamental dedicada a la infancia abandonada y la empresa fabricante de envases de vidrio. La empresa hace todo el servicio pagándole a la organización el vidrio que se recoge allí. En el presente el circuito opera con varios inconvenientes: robo del contenido de los comenvases; presencia de todo tipo de desperdicios, lo que implica un costo de clasificación; ubicación inadecuada desde el punto de vista de la descarga; disminución notoria de la publicidad existente en el inicio de la campaña. Los resultados de la recolección son del orden de 550 toneladas al año.

Venezuela cuenta con 70 microempresas de acopio y/o tratamiento de vidrio para reciclar. Existen también programas comunitarios que facilitan el retorno del vidrio para reciclar.

## Referencias

- 1 A EMBALAGEM E O MEIO AMBIENTE, 1990, Campinas. Anais... Campinas: CETEA / ITAL, 1990. 1.v.
- 2 AKERMAN, M. A importância do caco de vidro como matéria-prima. Apresentado en el Encontro Técnico da ABIVIDRO, 10., 1993, São Bernardo do Campo.
- 3 ANTUNES, A. Sistemas de processamento de sucata de vidro para fabricação de embalagens. En: SIMPÓSIO TÉCNICO LATINO AMERICANO SOBRE A FABRICAÇÃO DE VIDRO, 3., 1985, São Paulo. Anais... S.I.: s.n., 1985. v.3.
- 4 ANTUNES, A. Utilização de caco de vidro reciclado. Boletim ATBIAV, v.7, n.58, p.23-29, 1987.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Anuário brasileiro de cerâmica. S.I., 1994. p.53.12.
- 6 ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO. Manual de reciclagem de vidro. S.I., 1994. 1.v.
- 7 BISAN, A. Uma instalação simples de tratamento de cacos de vidro. Apresentado en el Encontro Técnico da ABIVIDRO, 9., 1992, São Paulo.
- 8 CASTRO, A.L.F. A reciclagem do vidro em Brasil. En: SIMPÓSIO TÉCNICO LATINO AMERICANO SOBRE A FABRICAÇÃO DE VIDRO, 3., 1991, São Paulo. Anais... [S.I.: s.n.], 1991, v.3.
- 9 CASTRO, A.L.F. Informações pessoais. São Paulo, 1994.
- 10 CASTRO, A.L.F. Reciclagem de vidro: uma solução para o desenvolvimento sustentável. Apresentado en el Encontro Técnico da ABIVIDRO, 10., 1993, São Bernardo do Campo.
- 11 COOK, R.F. Glass recycling: developments in the U.K. Apresentado en el SIMPÓSIO TÉCNICO LATINO AMERICANO SOBRE A FABRICAÇÃO DE VIDRO, São Paulo, 1985. v.3.
- 12 COOK, R.F. Glass recycling: economics. Apresentado en el SIMPÓSIO TÉCNICO LATINO AMERICANO SOBRE A FABRICAÇÃO DE VIDRO, São Paulo, 1985. v.3.
- 13 COOK, R.F. Glass recycling in Europe. Apresentado en el SIMPÓSIO TÉCNICO LATINO AMERICANO SOBRE A FABRICAÇÃO DE VIDRO, v.3, São Paulo, 1985.
- 14 ROUSE, C.G. A reciclagem de vidro na Europa: sucesso em 20 anos. Projeto Reciclagem, São Paulo, v.1, n.1, p.53-54, jul./ago. 1990.
- 15 ROUSE, C.G. Reciclagem de vidro: uma questão de custo e benefício. Projeto Reciclagem, São Paulo, v.2, n.6, p.28-29, ago./sept. 1991.
- 16 VERMYLEN, M. Glass recycling in western Europe. En: SIMPÓSIO TÉCNICO LATINO AMERICANO SOBRE A FABRICAÇÃO DE VIDRO, 3., 1991, São Paulo, Anais... [S.I.: s.n.], 1991.
- 17 WOLLHEIM, F.P. Qualidade do caco de vidro reciclado. Apresentado en el Encontro Técnico da ABIVIDRO, 9., 1992, São Paulo.
- 18 WOLLHEIM, F.P. Tratamento de caco de cor de vidro de embalagem. Apresentado en el Encontro Técnico da ABIVIDRO, 9., 1992, São Paulo.
- 19 OWENS ILLINOIS DE VENEZUELA. Programa de Reciclaje del Vidrio de Owens Illinois de Ve-nezuela. Apresentado en 1<sup>er</sup> Encuentro municipio y Ambiente. 1991.
- 20 CRISTALERÍAS DEL URUGUAY. Informações pessoais.
- 21 PROYECTO PNUD/URU/91/008, "Clasificación y Reciclo de Residuos Sólidos", Asistencia Preparatoria / Segunda Etapa, IMM, PNUD, Setiembre 1996.

## 3.4 Metales

## 1 ¿Qué son los metales?

Los metales, en cuanto a su composición, se clasifican en dos grandes grupos: los ferrosos, compuestos básicamente de hierro, y los no ferrosos. Esta división se justifica por la gran predominancia de uso de los materiales a base de hierro, principalmente el acero. El acero es hierro combinado con carbono, existiendo aceros especiales que contienen otros metales en pequeña proporción.

Los metales son materiales de larga durabilidad, resistencia mecánica y facilidad de moldeo, siendo muy usados en equipos, estructuras y envases en general.

Entre los materiales no ferrosos se destacan: el aluminio, el cobre y sus aleaciones (como el latón - cobre/zinc, y el bronce - cobre/estaño), el plomo, el níquel y el zinc. Los dos últimos, junto con el cromo y el estaño, se emplean más en combinación, en forma de aleación con otros metales o como revestimiento de algunos metales como, por ejemplo, el acero.

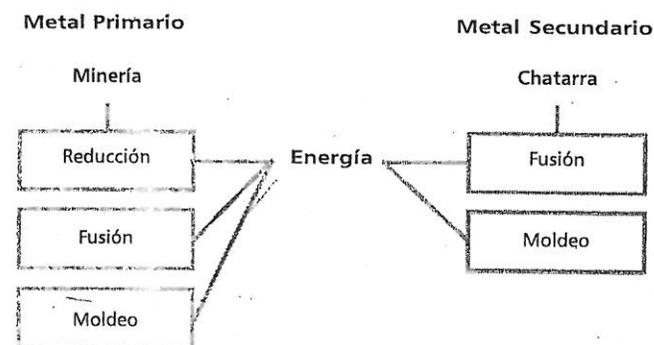
## 2 Procesos de fabricación de los metales

Son dos los procesos de fabricación: primario y secundario.

En el proceso primario, el metal se obtiene a través de la reducción del mineral al estado metálico por medio de reductores, como el carbón. Este proceso se realiza a altas temperaturas, con un elevado consumo de energía. El metal obtenido se denomina primario.

En el proceso secundario, el metal es obtenido básicamente de la fusión del metal ya usado, denominado chatarra. El consumo de energía es menor, y el metal obtenido se denomina secundario.

FIGURA 1  
Etapas en la fabricación del metal primario y del metal secundario



La chatarra, además de llevar ganada la etapa más costosa del proceso primario, la extracción y reducción del mineral al estado metálico, tiene también un valor económico, propio del metal. Este valor es significativo en metales como el aluminio, el plomo, el cobre y, en particular, en los metales nobles: oro, platino y plata.

### 3 Los metales en los residuos sólidos domiciliarios

La mayor parte de los metales presentes en los residuos sólidos proviene de envases, principalmente de alimentos - las tradicionales latas.

En menor cantidad, se encuentran en los residuos sólidos urbanos metales provenientes de utensilios y equipos desechados (ollas, piezas de electrodomésticos, parrilleras, etc.).

#### Tipos de latas

- de hojalata (acero revestido con estaño). Ej.: latas de conservas alimenticias;
  - cromadas (acero revestido con cromo). Ej.: latas de aceite;
  - de acero sin revestimiento. Ej.: latas de pintura;
  - de aluminio. Ej.: latas de refrescos y cerveza;
- El revestimiento del acero con materiales como el estaño y el plomo, le confiere mayor resistencia contra la corrosión.

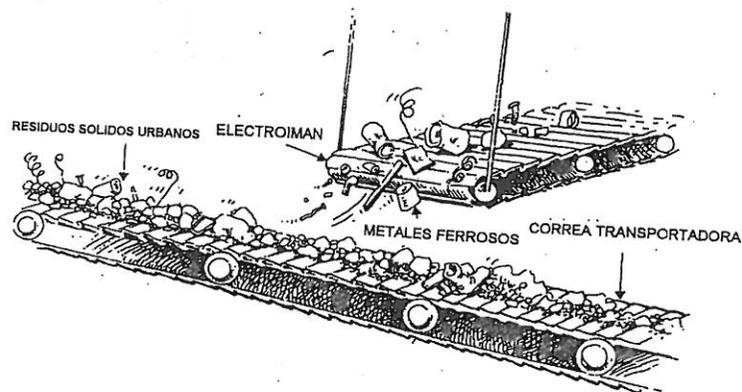
### 4 El reciclaje de los metales

La gran ventaja del reciclaje de los metales es la de evitar los gastos de la fase de reducción del mineral a metal. Esa fase implica un gran gasto de energía, exige el transporte de grandes volúmenes de mineral e instalaciones costosas, destinadas a la producción en gran escala.

Aunque sea mayor el interés por reciclar materiales no ferrosos, debido al mayor valor de su chatarra, es muy grande la demanda de chatarra de hierro y de acero, inclusive por parte de las grandes plantas siderúrgicas y fundiciones.

La chatarra puede, sin mayores problemas, ser reciclada inclusive cuando está oxidada. Su reciclaje se simplifica por la facilidad de identificarla y separarla, principalmente en el caso de la chatarra ferrosa, para la cual se emplean imanes, debido a sus propiedades magnéticas. Mediante este procedimiento se puede retirar hasta un 90 % del material ferroso presente en los residuos sólidos<sup>6</sup>.

FIGURA 2  
Imán para separar el metal de los residuos sólidos



Del mismo modo que para cada uno de los materiales presentes en los residuos sólidos urbanos, la desventaja de reciclar los metales desde allí, está en el hecho de que están mezclados con otros materiales.

Pero aún cuando la chatarra esté separada de los otros tipos de residuos, muchas veces se presenta la necesidad de realizar operaciones complementarias, como la eliminación del aceite, en el caso de virutas resultantes de la fabricación de piezas.

Otra desventaja es que algunos metales de revestimiento utilizados para protección del metal base, deben ser removidos o diluidos antes del procesamiento. Por ejemplo, el estaño de la hojalata puede causar la fractura en caliente del acero durante su procesamiento, cuando está presente en determinadas cantidades.

Luego de la recolección, debido a la gran diversidad de tipos de chatarra de metal presentes en los residuos sólidos domiciliarios, el trabajo de selección debe ser lo más eficiente posible, para que se pueda aprovechar en forma óptima esta chatarra.

### 5 El mercado uruguayo de los metales

En Uruguay<sup>12</sup>, como es clásico para estos materiales en todas partes, el mercado de los metales está conformado por una variedad de actores de diverso tipo, los que se describen a continuación:

- una amplia gama de fabricantes de productos, grandes, medianos y pequeños. Entre los primeros se encuentran una empresa del aluminio, que consume unas 200 toneladas/mes de materia prima, de las cuales el 50% es material recuperado (44% del descarte interno y 6% de chatarra comprada fuera de la empresa); una gran empresa productora de plaguicidas cúpricos que consume entre 80 y 100 toneladas/años de cobre, siendo prácticamente el 70% de la demanda cubierta con cobre recuperado; una empresa líder en el mercado de baterías (acumuladores eléctricos), que consume plomo antimonial proveniente de las baterías usadas; y con respecto a la chatarra de hierro dulce, tenemos la principal empresa, que pertenece a un grupo metalúrgico brasileño, consume para ella y para terceros unas 30 mil toneladas anuales de chatarra de hierro;

- grandes depósitos o almacenes de metales, que habitualmente son empresas de importancia muy vinculadas a los barrios proveedores de chatarra y a las empresas demandantes de estos materiales. Entre ellos hay uno que se destaca pues también es una fundición de metales no-ferrosos, trabaja con plomo, aluminio, cromo, zinc, bronce. Esta empresa exporta metales secundarios, pues hay más metal secundario que lo que procesa el país<sup>10</sup>;

- recicladores, entre los cuales, tenemos los grandes ya citados, existiendo además varios otros de menor entidad. Tanto los depósitos de metales como los recicladores, todos reciben todos los metales que luego se intercambian o venden según su especialización;

- proveedores de chatarra. Por un lado están los clasificadores y depósitos chicos, quienes juntan, queman para limpiar, separan, embolsan y venden; por otro lado, los grandes proveedores, que son las empresas estatales de electricidad y comunicaciones, y ofertas coyunturales como vagones ferroviarios, desguase de barcos, automóviles, hierro industrial, etc.; y finalmente existen comenvases de los que se habla más adelante en el reciclaje de latas.

### Recolección de metales

Para la comercialización de la chatarra hay organizadas redes complejas de recolección.

No obstante que el destino final de la chatarra sean las fundiciones y las grandes siderurgias, en buena parte su recolección comienza con el recolector de calle. Ese trabajador constituye la base de la red de recolección, que se extiende desde el «hierro viejo» hasta las industrias transformadoras. Este tipo de recolección minuciosa y la relativa facilidad de procesar la chatarra, permite su aprovechamiento en regiones próximas a las ciudades. Eso no es posible con las grandes siderurgias que fabrican el metal primario.

En los residuos sólidos, los recipientes metálicos y otros artículos de metal, están mezclados con materiales de diversa clase. Si esos residuos sólidos se sometiesen a separación magnética, como en general ocurre en las plantas de clasificación o en la recolección selectiva, los materiales ferrosos serían separados con facilidad de los residuos sólidos restantes. Luego de separado, el metal ferroso es compactado en prensas y puede ser comercializado en forma de bultos.

## 6 El reciclaje de las latas

Es importante notar que los gastos en energía son los predominantes en la producción de metales. En el caso del aluminio, la energía necesaria para el proceso del metal reciclado es 20 veces menor que para el metal primario; para el acero esta relación es de 3,7, aún muy considerable. Estos hechos explican el interés en reciclar por parte de los fabricantes de metal, que son los grandes aliados, e inclusive líderes en las campañas de reciclaje de metales.

En el caso de las latas de aluminio para bebidas, si el proceso de reciclaje es el correcto, con el aluminio que contiene una lata vacía se puede fabricar una nueva. Es más, ese tipo de aluminio no es apto para ser integrado en grandes proporciones a aleaciones para extrusión, por lo que, en el caso de Uruguay, la capacidad de absorción es baja<sup>12</sup>.

*El éxito con el reciclaje de las latas de aluminio se debe, principalmente, al valor agregado de las mismas. En efecto, la energía usada en el reciclaje de este metal corresponde al 5% de la que se necesita para la producción de aluminio a partir de la materia prima mineral (bauxita)<sup>5</sup>.*

CUADRO 1  
Consumo per cápita de latas de aluminio (cervezas + refrescos)<sup>2,11</sup>

País	Latas/año/habitante
Estados Unidos	375 (1993)
Inglaterra	55 (")
Venezuela	50 (")
México	31 (")
Brasil	10 (")
Uruguay	8 (1995)

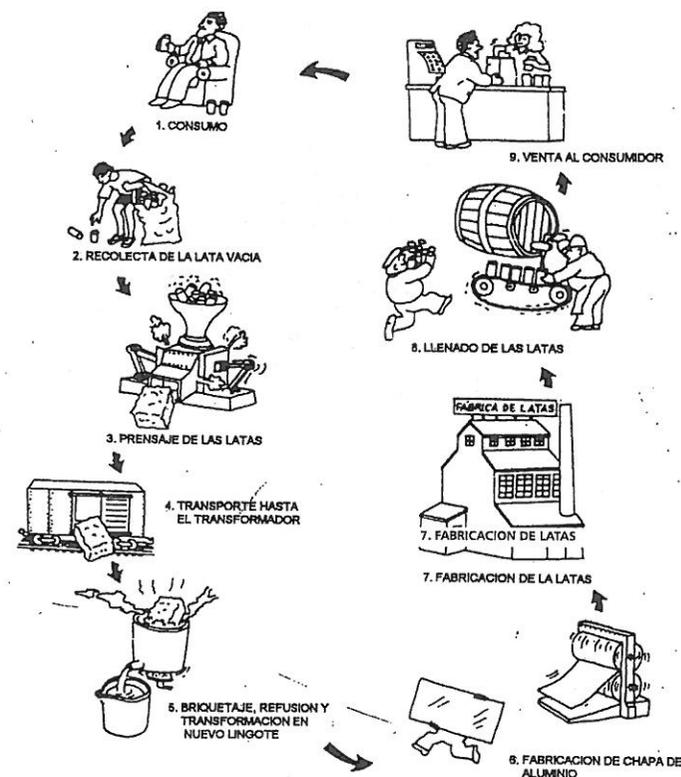
En Uruguay<sup>12</sup>, el 100% de las 25 millones de latas de aluminio que se consumen por año son importadas, por lo que no se cuenta con el interés del fabricante por recolectarlas.

De todos modos, en Montevideo existen dos iniciativas para recolectarlas. Una de ellas, es una empresa que instaló unos 31 comelatas en barrios de altos ingresos de la ciudad. Estos comelatas otorgan premios al que tira allí su lata, en una forma similar a las maquinillas de los casinos, con publicidad en cada premio y en el exterior del comelata. Clasifican automáticamente las latas para extraer las que contienen hierro, las compactan y a su vez registran informáticamente una serie de datos. Esta empresa vende la lata de aluminio compactada a las fundiciones.

La otra iniciativa es la de una organización no gubernamental con objetivos de colaborar y educar en la limpieza de la ciudad, la que recibió apoyo financiero para instalar comelatas compactadores, más de 150, en un circuito de recolección. Acordó la recolección con otras organizaciones gubernamentales y la Intendencia Municipal de Montevideo. Finalmente interviene la empresa de aluminio nacional, que es fabricante de latas en Brasil, la que aceptó almacenar las latas compactadas y transportarlas a Brasil de a 20 toneladas. El programa comenzó en agosto del 96, y a junio del 97 llevaban 6 toneladas recolectadas<sup>9,11</sup>.

En Venezuela se recicla el 82 % del aluminio que se produce, esto los ubica en el cuarto lugar en el mundo como país reciclador de este metal. En Brasil, el reciclaje supera el 50%, valor superior a la media mundial<sup>4</sup>.

FIGURA 3  
El ciclo de la lata de aluminio (autorizado - Reynolds Latasa)



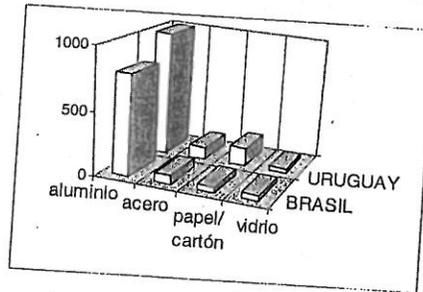
Las latas de acero revestido con estaño, hojalata, principalmente usadas para envasar alimentos, es el material de envase que más fácilmente es recolectado de los residuos sólidos urbanos, debido a que puede ser separado magnéticamente en condiciones sanitarias adecuadas. La importancia del reciclaje de la hojalata se comprende cada vez más, y se están estudiando métodos y desarrollando tecnologías para separar el estaño. En Brasil la recuperación de estas latas está en el 18%<sup>1</sup>.

A modo informativo se resume a continuación la información de mercado para varios materiales vistos en apartados anteriores.

**TABLA 1**  
**Precios de venta de algunos materiales recuperados en Uruguay - 1996**<sup>1,2</sup>

MATERIAL	Miles de U\$S anuales del mercado	Demanda miles de toneladas/año	Precio medio de la tonelada en U\$S
HIERRO DULCE	1875	31	60
HIERRO FUNDIDO	70	0.7	100
PLOMO BATERÍAS	7800	1.72	4620
LATÓN	420	0.42	1000
BRONCE	120	0.06	2000
COBRE	7000	2.94	2330
ALUMINIO	360	0.36	1000
VIDRIO MOLIDO	600	18	35
PAPEL	6600	44	150
TRAPO LIMPIO	900	1.5	600

**FIGURA 4**  
**Comparación de precios medios de ventas entre Brasil y Uruguay**<sup>(3,12)</sup>



## Referencias

- 1 A EMBALAGEM E O MEIO AMBIENTE, 1990, Campinas. Anais... Campinas: CETEA / ITAL, 1992. Parte 1 y 2.
- 2 COUTO, W.S. Reciclagem no Brasil. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DE ALUMINIO, 1., 1994. Anais... S.I. ABAL, 1994. No paginado.
- 3 COUTO, W.S. Reciclagem no Brasil. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DE ALUMINIO, 1., 1994. Anais... S.I.: ABAL, 1994. No paginado.
- 4 FILLETI, H. Alumínio y ecología. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DE ALUMINIO, 1., 1994. Anais... S.I.: ABAL, 1994. No paginado.
- 5 GIOSA, J.R. Reciclagem de latas no Brasil. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DE ALUMINIO, 1., 1994. Anais... S.I.: ABAL, 1994. No paginado.
- 6 INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. Estatística de Siderurgia. [Rio de Janeiro], 1994.
- 7 KARPEL, S. Reciclado de la hojalata: el camino a recorrer. Estaño y sus aplicaciones, London, n.162, p.12-16, 1990.
- 8 TARDELLI, J. Informaciones personales. São Paulo: PROLATA: ABAL, 1994. No paginado.
- 9 ALCAN. Informaciones personales.
- 10 WERBA S.A. Informaciones personales.
- 11 PROLATA, Asociación Civil Centro Uruguay Independiente. Instructivo: "La lata no es basura".
- 12 PROYECTO PNUD/URU/91/008, "Clasificación y Reciclo de Residuos Sólidos", Asistencia Preparatoria / Segunda Etapa, IMM, PNUD, Setiembre 1996.

### 3.5 Escombros

#### 1 ¿Qué son los escombros?

Escombros son el conjunto de fragmentos o restos de ladrillos, hormigón, argamasa, acero o hierro, madera, etc., provenientes de los desechos de construcción, remodelación y/o demolición de estructuras, como edificios, residencias, puentes, etc.

Podemos identificar, en los escombros que se producen durante una construcción, la existencia de dos tipos de residuos:

- los residuos (fragmentos) de elementos prefabricados, como materiales de cerámica, bloques de cemento, demoliciones localizadas, etc.;
- los residuos (restos) de materiales elaborados en la obra, como hormigón y argamasas, que contienen cemento, cal, arena y piedra.

Los escombros de construcción se componen de restos y fragmentos de materiales, mientras los de demolición están formados prácticamente sólo por fragmentos, teniendo por eso mayor potencial cualitativo comparativamente con los escombros de construcción.

*Nota: argamasa o mortero es la mezcla de cal, arena y agua, que popularmente se conoce como "mezcla"; el hormigón es mezcla de cemento, arena, agua y piedra; el cemento es un tipo especial de cal; el hormigón armado o concreto, es hormigón con una estructura de hierro o acero.*

#### 2 Los problemas planteados con los escombros

Cuando son descartados de las construcciones, como material prácticamente inerte, los escombros causan problemas por la carga y por su volumen. Al ocupar el lugar de los residuos sólidos domiciliarios, los escombros sobrecargan las operaciones de transporte hacia el relleno sanitario.

De los diferentes destinos clandestinos de los escombros, dos pueden ser bastante problemáticos:

- la descarga en pendientes u otros terrenos inseguros, donde se generan depósitos inestables, que pueden provocar deslizamientos;
- la descarga en tierras bajas, junto a drenajes, o inclusive directamente en el lecho de ríos, donde se puede provocar obstrucción del cauce e inundaciones.

*En la ciudad de San Pablo, un levantamiento hecho en 1991, cuantificó 412 sitios con descargas ilegales, evidenciando contraste con el número de 7 áreas municipales disponibles. En Belo Horizonte, en 1993, los números fueron de 134 descargas irregulares contra 15 sitios oficializados para entierro de este tipo de residuo.*

Independientemente de las cuestiones relativas al reciclaje o la reutilización, el uso exclusivo de escombros brutos, en vertederos controlados o para la recuperación de terrenos degradados, puede ser considerado como una iniciativa racional mínima en cuanto al destino del escombros.

#### 3 ¿Cuál es la situación mundial?

Los datos disponibles<sup>4</sup> para evaluar el desperdicio en las construcciones brasileñas, tomando como base investigaciones realizadas en 1989 y 1993, indican que:

- el desperdicio en la construcción corresponde a 20%, en masa, como mínimo, de todos los materiales utilizados en una obra. Valores de 10 a 15% son obtenidos en países europeos;
- la pérdida económica es de 10% del costo total de la obra (por cada 10 pisos de un predio, uno es desperdiciado).

Otros datos:

- en la ciudad de San Pablo, se estima que se generan 2 mil t/día de escombros; para la ciudad de Belo Horizonte la estimativa es de 900 t/día<sup>5</sup>;
- en la ciudad de Campinas<sup>7</sup>, 800 t/día fueron estimadas, a partir de la cantidad de obras habilitadas;
- muestras, extraídas en vertederos de los Estados Unidos<sup>1</sup>, indicaron que la cantidad de escombros ha sido de 25 a 30% del total de residuos enterrados;
- un estudio de 1990, llevado a cabo en siete países europeos, indicó una media de 450 kg/año por habitante, de escombros generados, con grandes variaciones, que van de 110 kg en Irlanda a 750 kg en Bélgica y Dinamarca<sup>1</sup>.

La situación uruguaya respecto a los escombros es poco conocida en cuanto a datos de generación. No hay reciclaje alguno de los escombros. En general son bien recibidos en los vertederos municipales para las vías internas de los mismos. Las empresas que ofrecen el servicio de contenedores intercambiables de gran capacidad, popularmente llamados *volquetas*, cobran el servicio y venden el escombros para rellenos de terrenos. Hay problemas del mal uso del vecindario con las volquetas, en tanto que se vierte allí todo tipo de desechos, impidiendo que puedan usarse para rellenos.

#### 4 ¿Cómo tratar los escombros municipales?

La implantación de un sistema para el uso/disposición racional de los escombros municipales debe comenzar por un estudio en el que se evalúen:

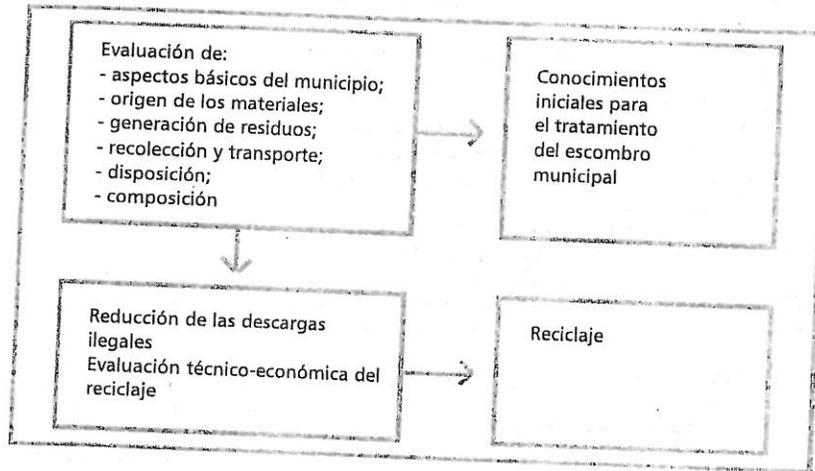
- aspectos básicos del municipio;
- origen de los materiales;
- generación de los residuos con análisis del sector generador, localización geográfica, cuantificación de la generación;
- recolección y transporte;
- disposición final;
- composición.

El estudio debe, además de los objetivos implícitos, ayudar a responder preguntas de los técnicos municipales, en cuanto a la posibilidad de reciclaje bajo diversos aspectos, tales como:

- ¿el reciclaje va a disminuir la cantidad de vertederos ilegales?
- ¿cuánto representa el volumen de material reciclado para la preservación de las fuentes naturales de arena y piedra?
- ¿el producto del reciclaje conserva su calidad a lo largo del tiempo, para el uso previsto?
- ¿los costos financieros (equipo y personal) son compatibles con la actividad?

*La decisión de reciclar debe formar parte, por lo tanto, de un contexto amplio de variables. Hay, inclusive, otros factores a tomar en cuenta - externos a la cuestión del reciclaje municipal - como, por ejemplo: la importancia de la reducción del alto desperdicio en la construcción, o también, el incentivo a la reutilización/reciclaje, dentro del propio local generador.*

### Resumen de los aspectos iniciales del tratamiento de los escombros urbanos:



### 5 ¿Qué se puede hacer con los escombros?

- Reaprovechamiento en la obra: parte de los escombros de una construcción normalmente se utilizan de nuevo en la propia obra para llenar zanjas, contra-pisos, etc.;

*También existe la posibilidad del reciclaje de los escombros en el propio local generador. Los fragmentos y restos de material cerámico, concretos y argamasas pueden ser reutilizados, luego de ser triturados con equipo apropiado, en argamasas para la propia construcción generadora de escombros.*

#### Ventajas

- el reciclaje de los escombros urbanos puede representar ventajas socioeconómicas, si va acompañado por una serie de medidas, como la reducción o eliminación de descargas ilegales, pues la limpieza de estas áreas tiene costos importantes, (para Brasil US\$ 10,00/m<sup>3</sup>);
- se estima que las actividades finales (selección y trituración) de reciclaje de escombros, por ejemplo en Brasil, giran en torno a los US\$ 2,50/m<sup>3</sup>, mientras que el costo para una arena común es de US\$ 6,50/m<sup>3</sup> (solamente extracción, sin transporte para la obra);
- un relleno de inertes para los escombros alivia los vertederos tradicionales y permite gestionar adecuadamente el reaprovechamiento de los escombros, como material reciclado o no;
- existen ventajas importantes de carácter ecológico, puesto que los escombros reciclados sustituyen a los agregados tradicionales provenientes de reservas naturales que, muchas veces, son devastadas en la actividad de extracción.

#### Desventaja

- El reciclado de los escombros urbanos posee, potencialmente, una calidad inferior al agregado tradicional, y principalmente, puede tener características muy variables de un lote a otro, debido a la heterogeneidad de los residuos, justificando la utilización de los agregados reciclados en hormigón y argamasas no estructurales.

### 6 ¿Cuáles son los procesos y productos?

#### Materiales reciclables

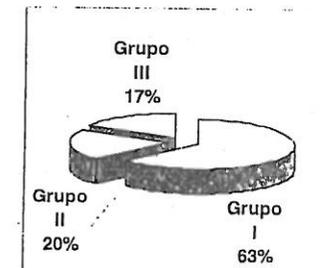
Los materiales encontrados predominantemente en los escombros, que son reciclables para la producción de agregados, pertenecen a dos grupos:

**Grupo I - materiales compuestos de cemento, cal, arena y piedra: hormigón, argamasas, bloques de concreto;**  
**Grupo II - materiales cerámicos: tejas, tubos, ladrillos, baldosas.**

Un tercer grupo de escombros no reciclables para agregado de construcción, está compuesto por materiales como: tierra, yeso, metal, madera, papel, plástico, materia orgánica, vidrio y espumaplast®. De esos materiales, algunos pueden ser seleccionados y encauzados para otros usos. Así, los embalajes de papel y cartón, madera (combustible), y el mismo vidrio y el metal pueden ser recogidos para reuso o reciclaje.

La composición de los escombros depende de varios factores como, por ejemplo<sup>7</sup>, las características regionales (geológicas y morfológicas); hábitos y costumbres de la población; nivel económico, etc. Tomando como referencia la ciudad de Campinas, en Brasil, los análisis efectuados en 10 muestras de escombros arrojaron los valores porcentuales expresados en la Figura 1, para los grupos anteriormente definidos.

FIGURA 1  
Composición media de los escombros de Campinas, San Pablo (en masa)



Grupo I: hormigón, argamasa y bloques de hormigón (63%);  
 Grupo II: tejas, tubos, ladrillos y baldosas (20%);  
 Grupo III: residuos no reciclables como agregado: tierra, yeso, metal, madera, papel, plástico, materia orgánica, vidrio y otros (17%).

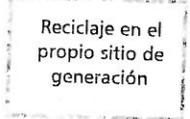
*Nota: En los Estados Unidos, dos tipos más de escombros tienen metodología de reciclaje específico para el reaprovechamiento: el pavimento asfáltico y la madera. En las referencias 1 y 2 se podrán obtener mayores detalles sobre estos dos tipos de reciclaje.*

Procesos



El proceso de reciclaje puede ser llevado a cabo:

(1°)



Es un tipo de reciclaje practicado por el responsable de la construcción o demolición y debe ser incentivado, pues minimiza el escombros urbano.  
 Es fácil seleccionar la composición del escombros reciclable, siendo más viable técnica/económicamente de lo que es el reciclaje del escombros urbano.

(2°)



Exige evaluar la recolección, transporte y local apropiado.  
 Es normalmente de iniciativa del poder público municipal.  
 La decisión de reciclar involucra una serie de cuestiones sociales, técnicas y financieras.

Reciclaje en el propio sitio de generación de los escombros

FIGURA 2  
Construcción de una edificación

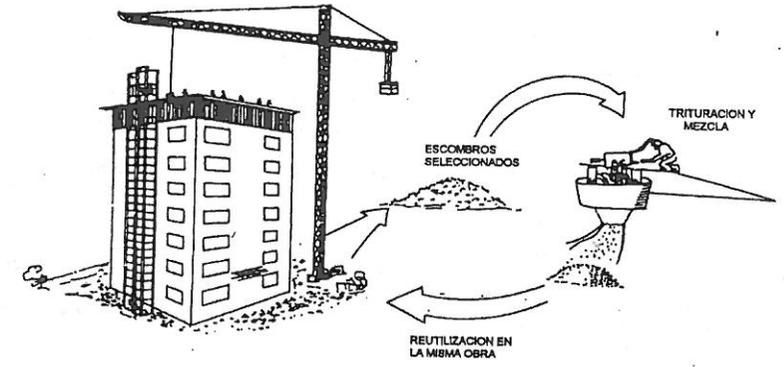


FIGURA 3  
Demolición de una estructura

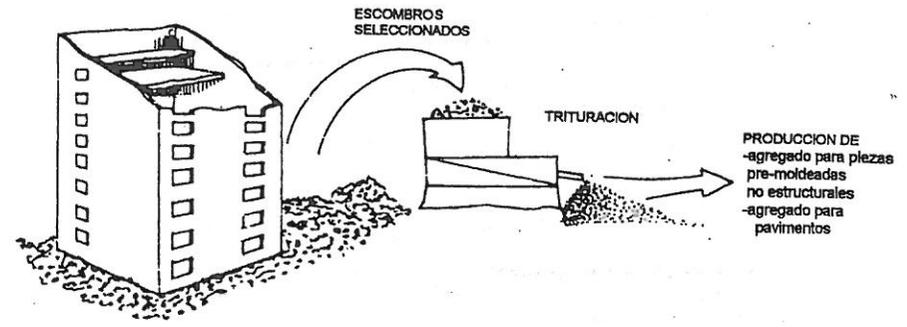
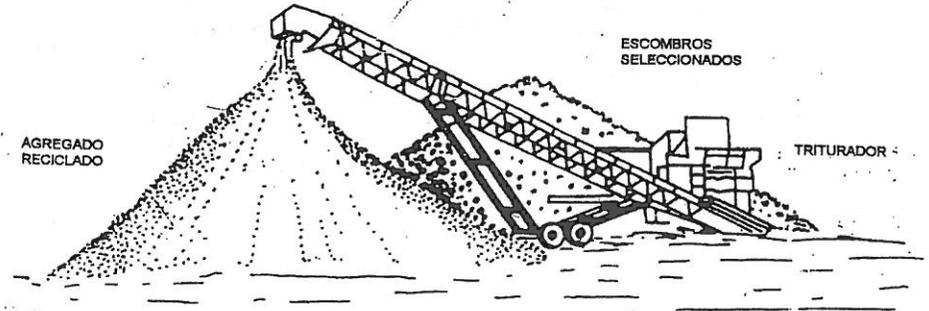
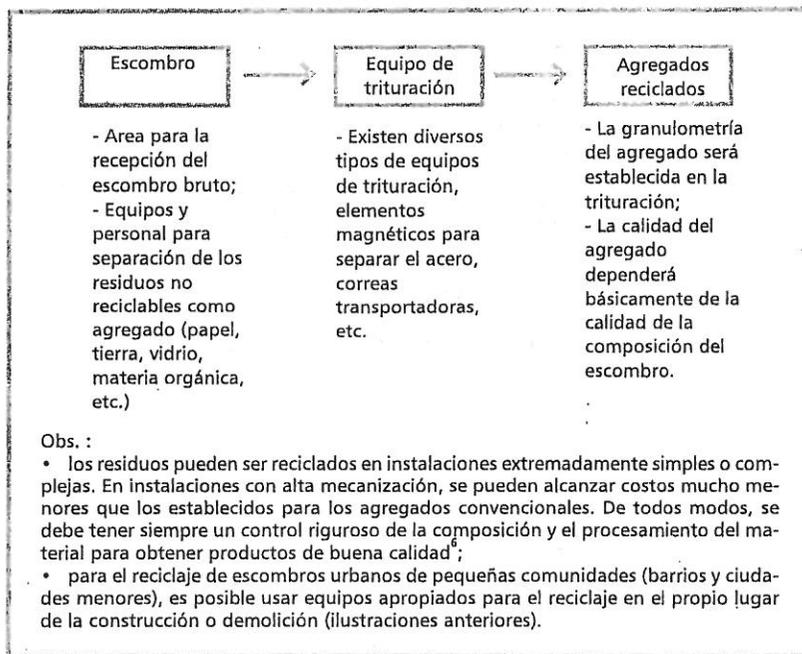


FIGURA 4  
Reciclaje en lugar distante al de la generación del escombros



## 7 ¿Cómo implementar un sistema municipal de reciclaje?

La instalación necesaria para el reciclaje de escombros consta esencialmente de espacios y equipos para la selección, trituración y clasificación de los materiales.



### El reciclaje en San Pablo, Santo André, Belo Horizonte, Estados Unidos<sup>6,5</sup>

- la prefectura municipal de San Pablo, implantó en 1991, la primera planta de reciclaje de escombros en el hemisferio sur, utilizando agregados reciclados para la preparación de sub-base de pavimentos, en aproximadamente 100 km de vías públicas;
- la prefectura municipal de Santo André desarrolló un proyecto para reciclaje de 30 m<sup>3</sup> de residuos, con producción simultánea de componentes de construcción (4 mil bloques/día);
- en Belo Horizonte la meta era generar, en el año 1994, 120 t/día de material reciclado, para uso en servicios públicos diversos;
- en los Estados Unidos<sup>5</sup>, una instalación de reciclaje próxima a Trumbull, Connecticut, en un área de 4,5 acres, comenzó sus operaciones en 1988, y en 1991, procesó aproximadamente 300 mil t/día de escombros de hormigón, asfalto, bloques y ladrillos. Los equipos incluyen triturador, correas transportadoras, imanes y una unidad portátil de energía eléctrica. El costo estimado de la instalación fue de U\$S 1.000.000.

Con un costo de U\$S 2,50 por tonelada de escombros, el agregado reciclado es vendido a U\$S 7,00/t, lo cual es ventajoso, cuando se compara con los U\$S 20,00/t de un agregado natural en Brasil (valores sin incluir transporte del material).

El material reciclado puede usarse directamente como agregado, o mezclarse con cemento para producir hormigón.

## 8 Calidad de los agregados reciclados

*En el reciclaje de escombros de construcción - cerámicas, arena, piedra y concretos - se debe tener presente que la calidad de los agregados obtenidos puede ser muy variable e inferior a la de los agregados convencionales.*

En el ámbito de aplicación de las normas técnicas tradicionales de agregados para hormigón, los agregados reciclados pueden no satisfacer algunos valores límite especificados, principalmente si proceden de materiales cerámicos.

Por esas razones, se recomienda utilizar el agregado reciclado solamente en elementos no estructurales, como, por ejemplo, en:

- bloques de hormigón de ventilación;
- sub-base de pavimento;
- guías y cunetas;
- otros usos: revestimiento, asentamiento, etc.

El uso de agregados reciclados en hormigones de mayor capacidad resistente, destinados a elementos planos como pisos, pavimentos etc., puede ser viable en los casos de residuos de demolición de estructuras de hormigón, donde es posible, por el conocimiento técnico de la obra a ser demolida, planificar la reutilización y reciclaje.

Existen limitaciones para el uso general del agregado reciclado, cuando se compara con el agregado tradicional, pero existen también otros aspectos positivos, que pueden ser explotados. Por ejemplo, los residuos cerámicos, que, por un lado, pueden no tener la resistencia deseada, sin embargo, una vez pulverizados, presentan propiedades interesantes de plasticidad y retención de agua: factores importantes para revestimientos y asentamientos. Pueden, inclusive, presentar propiedades puzolánicas, lo cual podría ser un factor de reducción del consumo de cemento y/o cal.

Debido a que la atención sobre el reciclaje de los escombros es muy reciente, es comprensible que la normativa adecuada vaya a exigir algún tiempo, antes de ser establecida, lo que el conocimiento técnico cualitativo del agregado reciclado para quien participa en el proceso de reciclaje es imprescindible.

En la fase de trituración de los escombros, se debe controlar un elemento importante del agregado reciclado: la granulometría, que deberá ser adecuada a la finalidad establecida. El agregado reciclado podrá utilizarse como arena y/o piedra picada.

Deben realizarse en laboratorio mezclas experimentales, semejantes a las realizadas tradicionalmente para hormigón y mezclas con materiales convencionales, con varias proporciones de materiales, mezcla con materiales convencionales, estudios comparativos, etc.

## Referencias

- 1 APOTHEKER, S. Managing construction and demolition materials. Resource Recycling, Aug. 1992.
- 2 DONOVAN, C.T. Construction and demolition waste processing: new solutions to an old problem. Resource Recycling, Aug. 1991.
- 3 GUERRA, E.A. et al. Utilização de agregado cerâmico. Presentado en la REUNIÃO ANUAL IBRACON, 1990, Fortaleza.
- 4 JOUCHELEVICH, R. Estudo revela desperdício na construção. Folha de São Paulo, 20 mar. 1994.
- 5 PINTO, T.P. Reciclagem de resíduos de construção e possibilidades de uso de resíduos reciclados em obras públicas. Presentado en el SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA CONSTRUÇÃO HABITACIONAL, 1994, Belo Horizonte.
- 6 PINTO, T.P., LIMA, J.A.R. Industrialização de componentes a partir da definição de uma política de reciclagem de resíduos da construção urbana. En: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3., FÓRUM BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA - HABITAÇÃO, 1., 1993, São Paulo. Anais... São Paulo: IPT, 1993.
- 7 SILVEIRA, G.T.R. Metodologia de caracterização dos resíduos sólidos, como base para uma gestão ambiental. Estudo de caso: entulhos da construção civil em Campinas. Campinas. 1993 (Disertación de maestría ante la UNICAMP).
- 8 BIMSA. Informaciones personales.

## 3.6 Otros Materiales

En los residuos sólidos municipales existen ciertos materiales que, aunque presentes en cantidades muy pequeñas, en comparación con el conjunto formado por materias orgánicas putrescibles, papel, vidrio, plástico y artículos de metal, merecen una atención especial, debido a los problemas de salud y de impacto ambiental que pueden causar.

Dentro de estos materiales están los neumáticos, las baterías y pilas, las lámparas fluorescentes y los residuos contenidos en envases de materiales de limpieza, insecticidas, herbicidas, cosméticos, tintas y medicamentos, que son liberados cuando se destruyen los envases que los contienen.

### 1 Neumáticos

El neumático presenta una estructura compleja, y está formado por diversos materiales, como goma, acero y tejido de poliamida o poliéster, que le confieren las características necesarias a su función y seguridad.

Los neumáticos usados pueden ser simplemente **desechados**, o destinados al **reuso** o **reciclados**.

Se debe notar que la separación de los materiales que componen un neumático en sus componentes originales es difícil. Por tal motivo, un enfoque de reciclaje de estos materiales debe considerar la mejor manera de aprovecharlos en conjunto.

Entre los problemas que pueden causar los neumáticos al ser desechados pueden citarse contaminación de ríos y lagos, ocupación de grandes espacios en los vertederos, o amontonamientos en terrenos baldíos, con riesgo de favorecer la proliferación de insectos e incendios. Sin embargo, el principal problema es la pérdida de esta «materia prima», como se verá a continuación.

El fenómeno es mundial siendo función de la flota de vehículos de cada país. Por lo que en los Estados Unidos, Japón y algunas naciones de Europa, los problemas son más acentuados.

En Uruguay no se dispone de estadísticas confiables sobre el destino de los neumáticos usados, pero a medida que vaya creciendo la flota de vehículos, el problema será cada vez más grave, especialmente en las ciudades grandes y medianas.

La dispersión geográfica y los altos costos de transporte, debido al gran volumen ocupado por este tipo de desecho en su estado natural, impiden su recolección y aprovechamiento en grandes cantidades.

#### *El descarte de neumáticos*

##### **Apilamiento de neumáticos desechados**

La práctica de amontonar cubiertas usadas en lugares abiertos se da hasta en los países del primer mundo. Sin embargo, en países con clima más cálido, este procedimiento es peligroso a causa de la acumulación de agua en el interior de las mismas, lo que propicia la proliferación de insectos transmisores del dengue, fiebre amarilla y encefalitis.

Se recomienda entonces que los neumáticos sean cubiertos para evitar la entrada de agua o, por lo menos, agujereados para facilitar el drenaje.

Otro problema común es el riesgo de incendio. Las pilas de neumáticos se queman con facilidad, produciendo una densa humareda negra y, como subproducto, un material aceitoso que contamina el agua del subsuelo.

Esto debe tenerse en cuenta para informar a la población, en función de que la quema de cubiertas es una costumbre arraigada para varios fines, entre ellos, la protección de cultivos de las heladas y protestas callejeras.

**Entierro**

El desechar neumáticos enteros en vertederos no es adecuado. Se observó que las cubiertas depositadas en los rellenos sanitarios tienden a subir y salir a la superficie<sup>11</sup>.

Por tal motivo, a falta de otra solución, se recomienda que las cubiertas después de recolectadas de las gomerasías y depósitos, sean cortadas, antes de ser depositadas en los vertederos.

**El reuso de los neumáticos**

La situación ideal para el reuso de los neumáticos es el recauchutaje múltiple - cuando la misma armazón es aprovechada por lo menos dos veces. La banda de rodamiento vieja, desgastada, se elimina raspándola, y sobre la armazón se coloca una banda nueva. Luego de la vulcanización, el neumático recauchutado deberá tener la misma duración que el nuevo. La economía del proceso favorece el recauchutaje de los neumáticos más costosos, como los de transporte (camión, autobús, avión), ya que en este sector los costos son mejor monitoreados.

**El reciclaje de los neumáticos****En la ingeniería civil**

El uso de llantas de caucho en la ingeniería civil conlleva diversas soluciones creativas en aplicaciones bastante diversificadas, tales como, señalamiento de los costados de carreteras, como elemento de contención en parques y terrenos de juego, rompeolas, obstáculos para el tránsito y, asimismo, arrecifes artificiales para la cría de peces y mariscos.

Por ejemplo, hay referencias en Uruguay, en Punta Gorda de Carmelo, de neumáticos que están en el agua, que por el tipo de marca de los mismos se deduce que han de estar allí desde los años 50<sup>14</sup>.

Existen proyectos para la construcción de rellenos sanitarios considerando la estabilización del manto impermeable con una estructura de cauchos amarrados entre sí<sup>13</sup>. Generalmente, lo que limita estas aplicaciones es la poca información, ya que el material que está disponible, es barato y muy resistente a la acción del tiempo.

**En la regeneración de la goma**

El proceso de regeneración de la goma implica la separación de la goma vulcanizada de los demás componentes, y su digestión con vapor y productos químicos, como álcalis, mercaptanos, aceites minerales. El producto de esta digestión es refinado en molinos hasta la obtención de un manto uniforme, o extrudado para obtener un material granulado.

Ningún proceso conocido desvulcaniza totalmente la goma y el material resultante presenta características inferiores a las del compuesto original. Otro problema observado es que el material regenerado resulta de una mezcla de los elementos presentes en el neumático, con composición indefinida. A pesar de no ser utilizada para cubiertas radiales, la goma regenerada se usa en compuestos destinados a productos con menor exigencia en cuanto a desempeño, tales como alfombras, protectores, suelas de calzados, neumáticos industriales y para bicicletas.

La molienda del neumático en partículas finas permite el uso directo del residuo de goma en aplicaciones semejantes a las de la goma regenerada.

La reciente conquista del mercado por parte de los cubiertas radiales, con el doble de duración respecto a las convencionales diagonales, propició una reducción del costo de las materias primas (goma natural y sintética), reduciendo la rentabilidad de los productores de goma y de la industria petroquímica, provocando un menor reaprovechamiento de la misma.

La única fábrica de neumáticos uruguayo todavía mantiene algún tipo en el que es posible el reciclaje parcial de la goma. Esta operación tiene un alto costo de energía y

según etapas los precios de las materias primas originales son inferiores a los costos operativos. Las cubiertas que tienen acero no se reciclan<sup>14</sup>.

**En la generación de energía**

El poder calorífico de fragmentos de neumático equivale al del aceite combustible, y es de aproximadamente 40 MJ/kg. El poder calorífico de la madera es de 14 MJ/kg.

En los Estados Unidos, casi un 30% del total de 275 millones de neumáticos desechados se queman en hornos, ya proyectados para optimizar esta quema. La tecnología desarrollada permite la quema de combustible sólido en el centro del horno. Las ventajas de alimentar un horno de cemento con residuos de neumáticos, incluyen la posibilidad de usar el neumático entero, inclusive la tela de acero, que le añade hierro al cemento.

En fábricas de celulosa y papel, los neumáticos también pueden usarse como combustible, pero el acero debe ser removido. El empleo de la tecnología adecuada permite la utilización de los neumáticos como combustible, con niveles de emisión comparables a los de hornos convencionales.

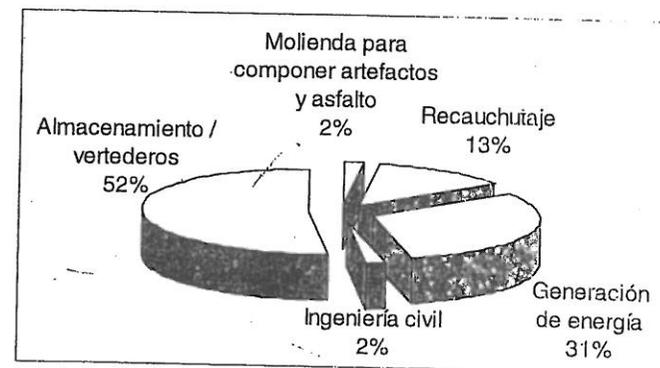
**En el "asfalto modificado con goma"**

Esta aplicación ha recibido un gran apoyo por parte del gobierno norteamericano, que pretende aumentar el reciclaje de cauchos usados, incentivando su incorporación al asfalto empleado en la pavimentación de carreteras.

El proceso supone la incorporación de la goma en pedazos o en polvo. A pesar de su mayor costo, el agregado de neumáticos al pavimento puede hasta duplicar la vida útil de la vía. Eso se debe a que la goma le confiere al pavimento mayores propiedades de elasticidad ante las variaciones de temperatura. El uso de goma también reduce el ruido de los vehículos que transitan por la vía. Por estas ventajas, y también para disminuir el almacenamiento de neumáticos viejos, el gobierno norteamericano exige que el 5% del material usado para pavimentar las carreteras federales sea de goma molida. En el Estado de California se pavimentaron 25 carreteras con 1,7 millones de neumáticos. Es de destacar que en los estados del sur de los Estados Unidos es donde más se observa las ventajas de elasticidad en el uso de asfalto modificado con goma.

La Figura 1 muestra el destino de los neumáticos usados en los Estados Unidos, de un total de 240 millones de unidades disponibles anualmente.

FIGURA 1  
Destino de los neumáticos usados en los Estados Unidos \*



(\*) Environmental and Energy Study Institute - Washington, 1993.

**En la fabricación de nuevos materiales**

Diversos procesos de pirólisis de neumáticos, a nivel piloto, se están ensayando, principalmente en los Estados Unidos, Japón y Alemania, con el objetivo de transformar los hidrocarburos presentes en los neumáticos en nuevos materiales, como aceite y negro de humo<sup>10</sup>.

**Gestión del problema de las cubiertas viejas**

La cuestión de los neumáticos usados debe ser gestionada tomando en cuenta su cantidad y la existencia de mercado para su destino. Siempre que sea posible, se debe impedir su almacenamiento en condiciones que permitan la proliferación de insectos a partir del agua acumulada en las cubiertas. Se debe también impedir su quema al aire libre, al igual que su lanzamiento a ríos y lagos. Es fundamental orientar al comercio, las gomerías e inclusive los depósitos sobre estos peligros. En acción conjunta con las autoridades ambientales, se debe incentivar el almacenamiento de cubiertas usadas en condiciones adecuadas, y buscar un mercado para su utilización, tanto con miras a la producción de artículos hechos con goma, como una eventual quema en hornos de cal y cemento, donde haya posibilidad de transporte, pudiéndose, por ejemplo, facilitar la instalación de equipos para la reducción del volumen (molienda en trozos menores).

**2 Pilas/baterías**

La pila es un minigenerador portátil, que transforma energía química en eléctrica<sup>3</sup>. Pueden presentarse bajo diversas formas (cilíndricas, rectangulares, botones), según la finalidad a la cual se destinan.

Las pilas se clasifican de acuerdo con sus sistemas químicos; y en cada uno de ellos puede haber más de una categoría. Las categorías son señaladas por letras, que normalmente vienen impresas en las pilas. Además de eso, las pilas pueden dividirse en primarias y secundarias, estas últimas recargables.

La Tabla 1 muestra la clasificación de las pilas de acuerdo con sus sistemas químicos y sus aplicaciones. Las pilas de zinc-carbón fueron las primeras en ser lanzadas al mercado (hacia 1900), y todavía son de uso común en la actualidad.

	Tipos de pila	Código	Uso común
PRIMARIAS	Zinc carbón	-	Propósitos generales
	Alcalina de manganeso	L	Propósitos generales
	Litio	C	Relojes y equipos fotográficos
	Óxido de mercurio	N, M	Aparatos auditivos y equipos fotográficos
	Óxido de plata	S, P	Relojes electrónicos y calculadoras
SECUNDARIAS	Zinc aire	A, P	Aparatos auditivos
	Níquel cadmio (recargables)	-	Herramientas electroportátiles sin cable y propósitos generales.
	Plomo ácido (recargables)	-	Electroportátiles, juguetes, etc.

Hasta 1985, todas las pilas mencionadas en la Tabla 1, excepto las de litio, contenían mercurio metálico en proporciones variables: de 0,01% en las de zinc-carbón, a 30% en las de óxido de mercurio, y en las otras 1%<sup>2</sup>.

En la actualidad, la tendencia es disminuir el mercurio presente en las pilas. Por ejemplo, para las pilas brasileras de zinc-carbón y alcalinas, en 1994, los niveles de mercurio estaban en 0,006% y 0,025% respectivamente como valores medios<sup>1</sup>, contra valores de 0,01% y 0,8% para 1980. En Japón ya se consiguió, en 1993, reducir a 0 la presencia de mercurio en las pilas alcalinas<sup>3</sup>.

El mercurio, en las pilas, cumple la función de almacenar las impurezas contenidas en las materias primas, impurezas generadoras de gases que pueden perjudicar el funcionamiento y la seguridad de la pila.

El mercurio no es el único elemento tóxico que se encuentra en las pilas. Según su naturaleza, pueden contener zinc, plomo y cadmio. Este último está presente en las pilas recargables de níquel-cadmio.

La Asociación Europea de Fabricantes de Pilas - EUROPILE, que agrupa a 12 fabricantes importantes, publicó en abril de 1991 un documento en el cual toman posición respecto al problema. En el mismo, se dan las siguientes directrices<sup>2</sup>:

- 1ª reducir el nivel de sustancias potencialmente peligrosas presentes en las pilas hasta los valores más bajos que la tecnología pueda conseguir;
- 2ª alentar la recuperación de sustancias peligrosas contenidas en las pilas, cuando la reducción no es técnicamente posible.

Las pilas que entran en la segunda categoría son las de:

- óxido de mercurio;
- níquel-cadmio (recargable);
- plomo-ácido (recargable).

Además, según EUROPILE:

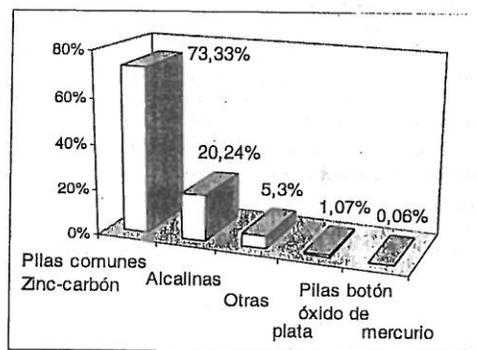
- concentrar la recolección y reciclaje a los tres tipos de pilas recientemente mencionados tiene sentido, porque esos contienen básicamente todos los materiales peligrosos presentes en las pilas;
- la restricción de la recolección a esos tipos de pilas mejora la eficiencia de la recolección misma, simplifica los requisitos de separación de las pilas, maximiza la recuperación, simplifica la tecnología de recuperación y minimiza los costos, además de aumentar el valor de los materiales recuperados;
- recolectar y reciclar otros tipos de pilas no trae beneficios, porque no contienen cantidades significativas de materiales peligrosos, y los otros componentes tienen bajo valor comercial, en relación al costo que implica su recuperación.

Las orientaciones de EUROPILE están conformes con las directrices trazadas por la Comunidad Europea para las pilas, que son<sup>2</sup>:

- las pilas alcalinas de manganeso no deben contener más del 0,025% de mercurio.
- las pilas de óxido de mercurio, cadmio, níquel y plomo-ácido deben ser recolectadas separadamente para su reciclaje o disposición especial.

De acuerdo con los datos recabados por la Oficina de Gestión Tecnológica de la Facultad de Química, Universidad de la República, cada año ingresan legalmente a Uruguay unos 38 millones de unidades, que pesan (según estimaciones preliminares) 1.900 toneladas<sup>15</sup>, discriminadas según los tipos de pilas que se describen en la Figura 2.

FIGURA. 2  
Tipos de pilas importadas a Uruguay en 1995<sup>15</sup>



Según esta misma fuente, las pilas comunes son prácticamente inofensivas y las alcalinas tienen peligrosidad intermedia tendiente a disminuir debido a la disposiciones europeas para el contenido de mercurio. Por lo que, si no se mezclan las pilas, el problema es menor que el de la recolección de todos los tipos de pilas mezclados. La Intendencia Municipal de Montevideo, en el marco de educación ambiental y no teniendo al alcance las soluciones de reciclaje que para algunos tipos de pilas existen en otras partes del mundo, optó por el lanzamiento de una campaña no selectiva de pilas, guardándolas en tanques de fibra de cemento (pesan unas 2,5 toneladas), que una vez completos se sellan con hormigón. Tomando en cuenta la cantidad que se importa se calcula que se está recuperando menos del 10% de las pilas. Actualmente, esta Intendencia está cooperando con la Oficina de Gestión Tecnológica<sup>15</sup> para realizar investigaciones en el tema de reciclaje de pilas y evaluación de la campaña.

En Brasil no es una preocupación prioritaria la disposición de las pilas usadas, aunque ya existe en Río de Janeiro, un proyecto de ley, de 1991, que crea el sistema estatal de recolección de pilas. Mientras, hay consenso en que el descarte concentrado de pilas debe ser realizado solamente en depósitos adecuados para tal fin.

### 3 Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes contienen sustancias químicas nocivas al medio ambiente, como metales pesados, entre los cuales sobresale el mercurio metálico.

Mientras estén intactas, las lámparas fluorescentes no ofrecen riesgos. Sin embargo, al ser descartadas en los residuos sólidos, el vidrio se rompe y el mercurio es liberado, evaporándose. Cuando llueve, vuelve a la tierra y contamina el suelo y los cursos de agua.

Ingerido o inhalado por el ser humano, el mercurio produce efectos desastrosos en el sistema nervioso, pudiendo causar desde lesiones leves hasta la vida vegetativa y la muerte.

Cada lámpara fluorescente contiene cerca de 15 miligramos de mercurio, lo cual significa un bajo riesgo de contaminación ambiental, tomando en cuenta una sola unidad aislada. Pero los riesgos aumentan en caso de descartar grandes cantidades en un único sitio.

En las ciudades brasileras, más de 30 millones de lámparas fluorescentes quemadas son anualmente descartadas como residuos, especialmente por establecimientos industriales, bancarios y comerciales.

En la mayoría de los países no existe una legislación que prohíba verter las lámparas a los residuos sólidos. Si la hay por ejemplo en Alemania, donde las lámparas deben ser molidas, empacadas y enterradas en las minas abandonadas.

Existe un proceso de reciclaje de lámparas fluorescentes patentado por una empresa brasileras. El mismo consiste en la destrucción de la lámpara en forma controlada: el vidrio es separado de la base y descontaminado, regresando a la producción de lámparas o siendo usado en la composición de esmalte en la vitrificación de cerámicas. La base es vendida como chatarra de aluminio y el mercurio es filtrado y puesto a disposición de fabricantes de cloro-soda, pilas, baterías y también lámparas. Debe destacarse que la venta de los materiales reciclables no cubre el costo del procesamiento de la lámpara.

Muchas empresas brasileras, previendo ya una futura ley acerca del descarte de lámparas fluorescentes, estudian formas que permitan dar una disposición adecuada a sus lámparas usadas, que en la actualidad acaban siendo recogidas por los camiones de los residuos sólidos.

#### Manejo y disposición final de lámparas fluorescentes usadas<sup>16</sup>

En caso de que se almacenen las lámparas fluorescentes para una utilización futura, es recomendable que sean almacenadas en un local ventilado, y protegidas contra su eventual ruptura por agentes mecánicos. Las lámparas quebradas se deben separar de las demás y acondicionarlas en recipientes herméticos, como un tambor de acero con tapa y en buenas condiciones. Existe un contenedor especialmente diseñado para almacenar y transportar este tipo de lámparas. Su construcción elimina casi por completo el riesgo de ruptura, además de poseer un filtro de carbón activado, en previsión de eventuales emanaciones de vapores de mercurio.

**Importante:** bajo ningún concepto, las lámparas deben ser quebradas para almacenarlas, y solamente las que se rompan accidentalmente se deben acomodar en recipientes herméticos. Esta operación es riesgosa para el operador, además de imposibilitar la separación automática de las bases de metal. Es condenable la práctica de «embutir» los contactos eléctricos de las extremidades de la lámpara, martillando los contactos hacia su interior, ya que los orificios resultantes provocan el derramamiento del vapor de mercurio.

El piso del local donde se manejan las lámparas quebradas, debe ser impermeable y monolítico, y debe limpiarse con aspirador de polvo industrial (con filtro de carbón activo), y no barrido. Semanalmente, se debe cubrir con una fina capa de hipoclorito, seguida por una solución diluida de sulfato de sodio en cantidades moderadas, para que no oscurezca, debiendo la primera secarse antes de aplicar la segunda. El hipoclorito reaccionará con el mercurio formando cloruro de mercurio, el cual, a su vez, reaccionará con el sulfato para formar sulfato de mercurio, que es un polvo oscuro, fino, estable e insoluble. La finalidad de ese lavado es la de neutralizar las microgotas que se dispersan por la porosidad del piso, y que pueden generar importantes emanaciones de vapor de mercurio, debido a la mayor superficie específica de esas microgotas.

### 4 Residuos tóxicos contenidos en envases

Los residuos químicos contenidos en envases desechados de materiales de limpieza, insecticidas, herbicidas, cosméticos, tintas y medicamentos pueden ser liberados y, bajo la acción de la lluvia, migrar hacia las aguas superficiales y subterráneas y/o quedar retenidos en el suelo, causando contaminación de estos medios. Desgraciadamente, no existe, hasta el momento, una política para el desecho, reciclaje o reuso de esos residuos.

## Referencias

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. Sindicato de la Indústria de Aparatos Eléctricos Electrónicos y Similares del Estado de São Paulo. Informaciones personales. São Paulo, 1994.
- 2 BATTERIES and the environment: the facts. S.I.: Association of European Primary Dry Battery Manufactures, 1991.
- 3 CASTANHO, V. Evolução da indústria das pilhas. En: SEMINÁRIO COMPONENTES POTENCIALMENTE PERIGOSOS PRESENTES NO LIXO TÓXICO, 1993, São Paulo. Anais... São Paulo: IPT / ABEQ, 1993.
- 4 CEMPRE INFORMA, n.14, jun. 1994.
- 5 DUNN, J.R. Recycling reuse elastomers -an overview. Florida: Rubber Division Meeting, 1993.
- 6 FERREIRA, J.V.O município e a questão dos agrotóxicos. São Paulo: CEPAM, 1994, v.4 (Série Manuais).
- 7 KOKISH, B. Organization seeks scrap tire solution. Rubber and Plastic News, 25, p. 44-47, Oct.
- 8 MANEJO e disposição de lâmpadas fluorescentes usadas. Boletim Apliquim.
- 9 PARODI, E. Informações pessoais. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, Depto. Zoonose, 1994.
- 10 SCHUTER, R.H. En: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÔMEROS, 2, 1993, São Paulo. Anais... São Paulo, 1993, p.1135-1143.
- 11 SNYDER, R.H. The shape and size of the scrap tire problem and some potential solutions. En: CONFERENCE ON TIRE TECHNOLOGY, 1986, Clemson. Proceedings... South Carolina, 1986.
- 12 USO de asfalto reciclado reduz custo de recuperação de estradas. IPT Pesquisas e Serviços, São Paulo, v.4, n.27, jul. 1992.
- 13 VIADANA, R.H.C. Informações pessoais. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, Secretaria do Verde e Meio Ambiente, 1994.
- 14 FUNSA. Informaciones personales.
- 15 BÚSQUEDA. Ambiente/Ciencia y Técnica. Jueves 5 de Junio de 1997, página 42. Montevideo.

## Parte 4 Incineración

## 1 ¿Qué es la incineración?

Es una de las tecnologías térmicas existentes para el tratamiento de residuos. Incineración es la quema de materiales a alta temperatura (generalmente superior a 900°C), mezclados con una cantidad apropiada de aire durante un tiempo predeterminado. En el caso de incineración de los residuos sólidos, los compuestos orgánicos son reducidos a sus constituyentes minerales, principalmente dióxido de carbono gaseoso, vapor de agua, y sólidos inorgánicos (cenizas).

Esta combustión se realiza en una instalación que suele llamarse planta de incineración, proyectada y construída para tal fin.

FIGURA 1  
Esquema de un incinerador\*



(\*) Diseño autorizado por la Asociación Brasileira de Ingeniería Química

**¿Cuáles son las ventajas de la incineración de los residuos sólidos?**

- **reducción drástica del volumen a ser descartado:** la incineración deja como sobras las cenizas, que generalmente son inertes. De esta forma, reduce la necesidad de espacio para el relleno sanitario;
- **reducción del impacto ambiental:** en comparación con el relleno sanitario, la incineración minimiza la preocupación a largo plazo relacionada con el monitoreo de la capa freática, ya que el residuo tóxico es destruido, y no «guardado»;
- **desintoxicación:** la incineración destruye bacterias, virus y compuestos orgánicos, como el tetracloruro de carbono, el aceite sucio, e inclusive, dioxinas. En la incineración, la dificultad de destrucción no depende de la peligrosidad del residuo, sino de su resistencia al calor. La incineración también se puede usar para descontaminar el suelo que contiene residuos tóxicos. Este, después de incinerado, es devuelto a su lugar de origen;
- **recuperación de energía:** parte de la energía consumida puede recuperarse para la generación de vapor o electricidad.

**¿Cuáles son las desventajas de la incineración de los residuos sólidos?**

- **costo elevado:** la incineración es uno de los tratamientos de residuos que presenta costos elevados tanto en la inversión inicial, como en el costo operacional. Normalmente, se debe incinerar sólo lo que no puede ser reciclado. Hoy, con las crecientes exigencias para la mitigación de los impactos ambientales causados por los rellenos sanitarios, estos están llegando a costar más de U\$S 20 por tonelada, alcanzando el rango de costo operacional de los incineradores;
- **exige mano de obra calificada:** es difícil encontrar y mantener personal bien calificado para la supervisión y operación de los incineradores;
- **problemas operacionales:** la variabilidad de la composición de los residuos puede causar problemas de manejo y de operación del incinerador, e inclusive exigir un mantenimiento más intenso;
- **límite de emisiones de componentes de la clase de las dioxinas y furanos:** no existe consenso en cuanto al límite de emisión de los incineradores.

**CUADRO 1  
Costo (rangos típicos)**

INICIAL (INSTALADO) = U\$S 80.000 a 130.000 por tonelada día de capacidad

INCINERADORES MENORES

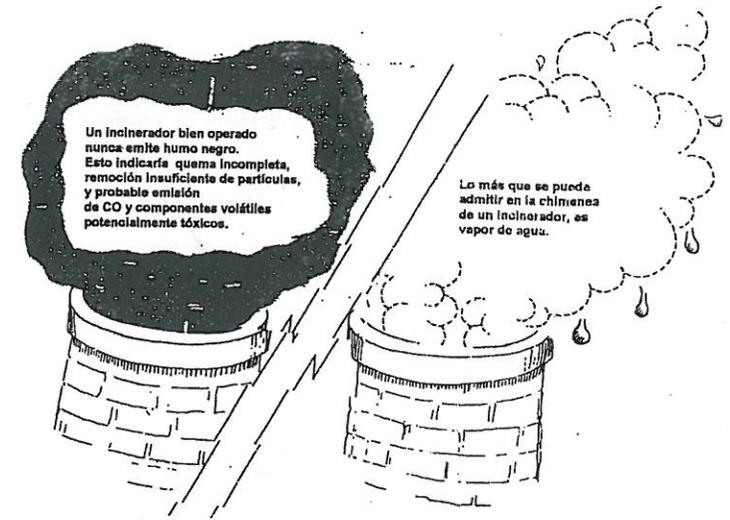
INCINERADORES MAYORES

EL COSTO VARÍA SEGÚN LA TECNOLOGÍA ESCOGIDA

COSTO POR TONELADA: U\$S 20 a U\$S 60/t RESIDUOS NO PELIGROSOS

U\$S 400 A U\$S 1.000/t RESIDUOS PELIGROSOS

**FIGURA 2  
Chimenea de un incinerador mal operado / bien operado**



A nivel mundial, la incineración se practica procurando la reducción de los volúmenes de residuos sólidos a ser dispuestos - ante los problemas con la disponibilidad de espacios, la reducción de la peligrosidad de los residuos - como es el caso de los desperdicios de hospitales, y a su vez, procurando aprovechar la posibilidad de recuperar energía.

En el Japón, el porcentaje de residuos sólidos incinerados llega hoy al 80%. La imposibilidad de disponer los residuos sólidos en rellenos sanitarios, a causa de la escasez de terrenos, llevó a este país a adoptar la incineración como alternativa de tratamiento, de forma intensiva. Actualmente dispone de centenares de incineradores. Sólo en Tokio funcionan trece usinas.

En los Estados Unidos, de los 200 millones de toneladas de residuos sólidos generados por año, 16% es incinerado.

En Brasil, el primer incinerador para residuos sólidos municipales fue instalado en la ciudad de Manaus, en 1896, veintidós años después de la implantación de la primera unidad construida en el mundo en la ciudad de Nottingham, Inglaterra, en 1874.

Esa actitud pionera brasilera no continuó con un crecimiento en la utilización de la incineración como forma de tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios. Por lo que, hoy en Brasil, los incineradores en uso no llegan a dos docenas.

En Caracas, Venezuela, recientemente fue instalado un incinerador dedicado únicamente al tratamiento de desechos tóxicos.

En Uruguay, la única experiencia en usinas de incineración es la de Montevideo, a principios de siglo XX. Es interesante conocer que previo a su instalación la Intendencia se debatía entre una planta de clasificación y reciclaje industrial y la incineración. En el debate formaba parte una comisión asesora técnica especialmente creada para dar solución a los residuos sólidos urbanos. Finalmente, en 1915, fueron instalados tres incineradores que trataron todos los residuos sólidos de la ciudad durante unas décadas. Eran las usinas 1, 2 y 3. La 1, en el centro de la ciudad, el que por motivos de contaminación atmosférica y de crecimiento urbano se demolió, se estima alrededor de los años 50.

La 2, en el oeste, la única que aún está en uso - se le hizo una readecuación en 1995 - en la que se incineran todos los residuos hospitalarios (unas 25 t/día), excepto los radioactivos; no alcanza las temperaturas establecidas y genera unas 3.2 t/día de cenizas que se llevan al vertedero. Finalmente la 3, al noreste, aunque aún existe, está fuera de uso desde hace pocos años.

## 2 Planificación de un horno incinerador

Una planificación estratégica a largo plazo es esencial para implantar un horno incinerador con éxito. Los responsables de las decisiones necesitan conocer la influencia de una variedad de temas en el proceso de planificación, y definir:

- quién asume la propiedad y las responsabilidades consiguientes, incluyendo los riesgos inherentes a la instalación;
- quién toma las decisiones legales y de ingeniería;
- la selección y coordinación del suministrador del incinerador;
- la venta de un producto (electricidad), en caso de que haya;
- la generación de capital, si fuera el caso anterior.

La planificación a largo plazo dentro de la intendencia es la clave para el éxito del proyecto y la operación eficiente del horno incinerador.

En caso de incineración con recuperación de energía, se debe conocer:

- composición de los residuos sólidos, directamente relacionada con la recuperación de la energía. La humedad y la reducción del porcentaje de plástico, por ejemplo, disminuyen la energía generada, elevando el costo por tonelada incinerada;
- la tarifa de la energía recuperada: la ganancia obtenida con la venta de la electricidad generada tiene gran influencia sobre el costo por tonelada incinerada.

En Europa existen decenas de incineradores de residuos sólidos municipales con recuperación de energía. La mayor parte de ellos tiene capacidad a partir de 200 t/día. Teniendo en cuenta que la energía eléctrica es más barata para nuestra región, considerando las condiciones de demanda y oferta de energía y otros factores de escala, parecería que la incineración de residuos municipales sería interesante económicamente para usinas con gran capacidad, posiblemente en el rango de 1.000 t/día.

### Mercado para la energía

Las usinas de incineración de los residuos sólidos municipales difieren de la mayoría de los servicios públicos por su característica de poder generar un producto, energía, que se puede vender, con la consiguiente ganancia. El responsable de la decisión acerca de la elección de la alternativa más conveniente, necesita, por lo tanto, estar preparado para comercializar el producto y atender satisfactoriamente a los compradores.

En la comercialización de la electricidad, es importante considerar factores como:

- Producción consistente. Los usuarios no aceptan interrupciones en el suministro. Se necesita una caldera de reserva para garantizar que el suministro sea constante.
- Precio competitivo. La instalación de combustión de residuos sólidos estará compitiendo con otros generadores en la venta de energía.

## 3 Dimensiones de la usina

Las dimensiones apropiadas de la usina resultan de la evaluación cuidadosa de una gran variedad de criterios:

### Capacidad de la usina/suministro de residuos sólidos

El suministro de residuos sólidos es el factor fundamental para calcular las dimensiones del horno. La capacidad instalada no sólo tomará en cuenta el poder calorífico de los

residuos sólidos, sino también el suministro constante de residuos sólidos próximo a la capacidad del proyecto, lo cual es la única garantía de una operación adecuada del horno.

### Programas alternativos para residuos sólidos

Las futuras reducciones en la generación de residuos sólidos, programas de reciclaje y compostaje están directamente ligados al proyecto de la usina. Estos programas generalmente requieren menos tiempo y recursos para su implementación, y alteran la capacidad y el poder calorífico de los residuos sólidos que se debe incinerar. Después de la implementación de los programas de reducción de generación, reciclaje y compostaje, el volumen de residuos sólidos que se debe incinerar será menor, y permitirá la construcción de un horno menor, y de costo consecuentemente menor.

### Características de los residuos sólidos a ser incinerados

Una buena incineración depende de la exactitud en el conocimiento de las características de los residuos sólidos. Por eso, la mayoría de las intendencias que planean tener un horno incinerador de residuos sólidos deben hacer su propia caracterización, con miras a obtener un cuadro preciso de la cantidad y composición de los residuos sólidos locales. Los recursos invertidos en esta fase pueden evitar errores muy costosos durante las fases sucesivas del proyecto.

Desde el punto de vista técnico, estos datos serán usados para verificar el poder calorífico de los residuos. Las informaciones acerca de la cantidad de materiales que se deben reciclar también ayudarán a determinar el poder calorífico. El poder calorífico de una masa de residuos sólidos puede ser mayor o menor de lo previsto y, en ambos casos la operativa de la planta puede ser afectada.

### Planificación de las interrupciones de la planta

Es también muy importante tomar en consideración los tiempos de parada de la planta. La mayoría de ellas son proyectadas para operar continuamente (24 horas por día), pero habrá tanto paradas programadas (para mantenimiento), como imprevistas (fallas del equipo). Es necesario tener espacio para almacenar los residuos sólidos que continúen llegando durante la parada, y además la unidad debe tener la capacidad para absorber el exceso acumulado y bajar la reserva a niveles normales. Si estas capacidades no estuviesen incluidas en el sistema, será necesario enviar residuos sólidos al relleno sanitario o a una instalación alterna.

### Duración del proyecto

El tiempo necesario para planificar, desarrollar y construir un incinerador es variable. Se considera que 5-8 años son el tiempo mínimo necesario para llevar un horno incinerador desde los estudios iniciales de planificación hasta su puesta en marcha.

### Ubicación del horno incinerador

La elección del lugar para el incinerador será una de las decisiones más difíciles. Una variedad de barreras sociales y técnicas deberá ser negociada, para lograr una ubicación bien resuelta:

- efecto sobre los habitantes. Los vecinos estarán preocupados por los impactos sobre la salud asociados con el incinerador, la disminución del valor de las propiedades y el aumento del tráfico en la zona;
- impacto ambiental. El incinerador tiene un potencial de crear una gama de reales preocupaciones ambientales;
- planes de desarrollo. Es necesario evaluar los planes para el futuro uso del suelo donde esté localizado el incinerador;
- proximidad de la fuente de generación de los residuos sólidos. Es importante tomar en cuenta los costos de transporte dentro de un sistema de gestión integral de los residuos sólidos;

- proximidad de los mercados para la energía generada, cuando sea el caso. La energía generada deberá ser entregada a los compradores. Es preciso considerar la ubicación de las líneas de distribución eléctrica;
- aspectos logísticos. El ordenamiento territorial y las rutas de acceso también se deben tomar en cuenta;
- disposición de las cenizas generadas. Es necesario el acceso a un relleno sanitario adecuado;
- la tecnología de incineración que se va a usar.

#### Caracterización del residuo

Para incinerar un residuo, es indispensable caracterizarlo correctamente. Incinerar un residuo desconocido o en condiciones operativas erradas puede ocasionar desastres para el medio ambiente. Los siguientes son puntos esenciales en la caracterización de un residuo:

- **PCI (poder calorífico inferior):** indica cuánto calor se libera durante la quema del residuo. Residuos con alto PCI consumen menos combustible. El valor medio para los residuos sólidos domiciliarios es de 1.300 kcal/kg. (5.44 MJ/kg). Un PCI muy variable puede dificultar el control de la temperatura del incinerador y causar:

- combustión incompleta, con emisión de material tóxico a través de la chimenea;
- fusión y acumulación de cenizas debido a temperaturas excesivas;
- consumo excesivo de combustible;
- generación de monóxido de carbono (CO) debido a insuficiencia de aire para la combustión.

- **Cenizas:** es lo que sobra luego de la incineración, y están constituidas por materia mineral, carbono no quemado y la mayor parte de los metales. El porcentaje de cenizas permite estimar el espacio necesario para el relleno sanitario. Las cenizas son: la escoria (captada en la base), y los volátiles, captados en los filtros de gases. Contienen metales pesados y dioxinas; por lo tanto, se consideran sustancias tóxicas<sup>17</sup>.

- **Humedad:** indica el porcentaje de agua contenida en el residuo. Un índice alto de humedad perjudica la recuperación de energía.

- **Composición de elementos químicos:**

- **Carbono, hidrógeno y oxígeno:** elementos químicos principales de los residuos orgánicos que permiten calcular las condiciones de la combustión;
- **Azufre, cloro orgánico y nitrógeno:** estos elementos forman gases ácidos corrosivos que pueden afectar la durabilidad del equipo. Los óxidos de azufre (SOx) y el ácido clorhídrico (HCl) se eliminan por absorción en solución alcalina. Los óxidos de nitrógeno (NOx) deben ser minimizados por medio del control de las condiciones de combustión, con cámaras dobles y quemadores proyectados para tal fin;
- **Metales:** mercurio, cadmio, plomo y otros, pueden darle una gran toxicidad al residuo o a las corrientes gaseosa y líquida que salen de un incinerador. Precisan ser identificados para la definición del proceso de su remoción de la corriente gaseosa o líquida. Son factores primordiales en la clasificación de la cenizas de incineración;

- **Características especiales:** existen propiedades de los residuos que deben ser tomadas en cuenta en el proyecto del incinerador y en los cuidados operacionales, a efectos de garantizar la integridad física de los operadores y del equipo. Son ellas: la toxicidad (por ejemplo; PCBs como ascarel), corrosividad (ácidos), olor (gas sulfhídrico), liberación de humo (ácido clorhídrico), reactividad (pentacloruro de fósforo).

## 4 Tecnologías térmicas

Entre los tipos y tecnologías de incineradores existentes, se pueden mencionar:

**Aire controlado:** incinerador en el cual el flujo del aire de combustión es reducido, con el propósito de minimizar la turbulencia y la generación de partículas volátiles.

**Horno rotativo:** incinerador con tambor rotativo, para que el residuo gire y quede expuesto al aire de combustión.

**Cámaras múltiples:** incinerador con compartimientos en serie para acomodar diferentes fases de la incineración y facilitar la separación de partículas.

**Parrillas móviles:** incinerador típico para los residuos sólidos municipales, provisto de parrillas, cuyo movimiento permite la distribución gradual del residuo a lo largo del incinerador.

**Inyección de líquido:** incinerador con tubos atomizadores para la incineración del residuo líquido que se encuentra en suspensión.

**Lecho fluidizado:** lecho cilíndrico vertical con arena mantenida en alta turbulencia por flujo de aire recirculante, especialmente indicado para residuos en forma de lodo.

**Hornos de cemento:** grandes hornos utilizados para la producción de cemento, y que debido a la alta temperatura de operación y a la gran masa de materia prima procesada, permiten la incineración de varios tipos de residuos.

**Quemadores de gas:** dispositivos para la quema de gases combustibles residuales, provenientes de procesos de fabricación.

**Incineración catalítica:** proceso de destrucción de residuos gaseosos, en que el catalizador permite el uso de temperaturas menores.

**Régimen de operación:** se puede incinerar residuos en régimen de tandas, o sea, suministrando una carga a la vez y esperando que se complete su incineración, para luego suministrar otra carga; o en régimen **continuo**, en el cual la alimentación de residuos no se detiene durante la incineración. El régimen de tandas es típico de incineradores pequeños y, generalmente, presenta los inconvenientes de la disminución de la temperatura y el aumento de turbulencia en el momento de la alimentación de cada carga, causando emisiones indeseables.

Cabe mencionar aquí otras tecnologías térmicas:

**Pirólisis:** semejante a la incineración, pero realizada con admisión estricta de aire de combustión; así provoca la descomposición térmica de los residuos sólidos a temperaturas bajas.

**Esterilización a vapor:** calentamiento en un recipiente sellado presurizado con vapor.

**Plasma:** calentamiento del residuo a altísimas temperaturas por medio de la aplicación de corriente eléctrica.

**Inactivación térmica:** calentamiento en seco, sin adición de vapor, agua ni llama.

**Sal fundida:** oxidación a alta temperatura por contacto con una sal fundida. Ejemplo: cloruro de sodio.

## 5 Etapas en la incineración de los residuos sólidos

La incineración puede subdividirse en tres fases principales:

- pre-tratamiento / alimentación;
- incineración;
- control de contaminación.

### Pre-tratamiento / alimentación

Los residuos sólidos municipales pueden ser manipulados a granel. En primer lugar son colocados en fosos de almacenamiento intermedios por los camiones recolectores. Luego, se transfieren para la incineración por medio de un cucharón de cuatro gajos que se desplaza sobre puentes rodantes, como muestra la Figura 3.

**Incineración**

Para cumplir con los patrones de control de emisiones atmosféricas, la incineración debe constar de dos fases: combustión primaria y combustión secundaria.

**Combustión primaria**

En esta fase, que dura de 30 a 120 minutos a una temperatura de 500 a 800°C, ocurren el secado, el calentamiento, la liberación de sustancias volátiles y la transformación del residuo remanente en cenizas. Allí se genera el material particulado, que es básicamente la humareda oscura producida en una quema no controlada. Las partículas menores son las más perjudiciales al ser humano.

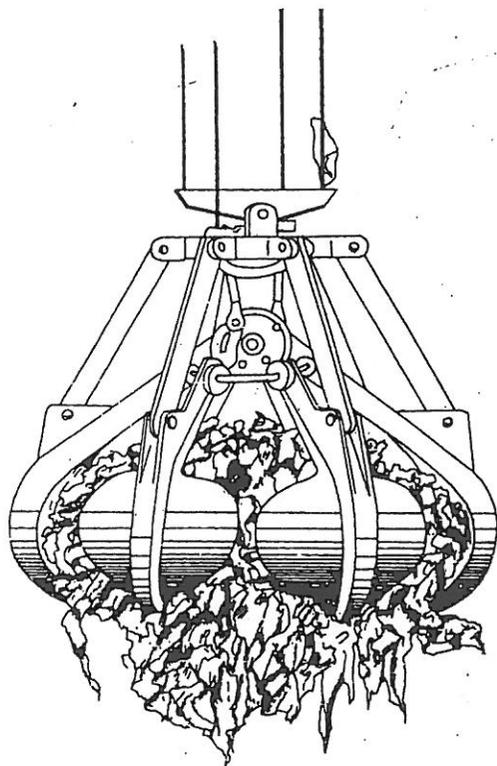
Para esta fase es importante suministrar aire de combustión en cantidad suficiente y de manera homogénea, exponiendo totalmente el residuo al calor.

Al final, la masa de cenizas ya no se reduce más, quedando: carbono no quemado, compuestos minerales de alto punto de vaporización y la mayoría de los metales.

*Los metales son apenas redistribuidos al pasar por el incinerador:*

- buena parte es evaporada o arrastrada por la corriente gaseosa y necesita ser recolectada en el sistema de remoción del material particulado;
- otra parte permanece en las cenizas y puede ser recuperada para reciclaje.

FIGURA 3  
Alimentación por cucharón de cuatro gajos



**Combustión secundaria**

Los gases, vapores y material particulado, liberados en la combustión primaria, son soplados o succionados hacia la cámara de combustión secundaria o post-combustión, hacia donde permanecen alrededor de dos segundos expuestos a 1.000°C o más. En estas condiciones ocurre la destrucción de las sustancias volátiles y parte de las partículas.

Los principales factores que influyen en la destrucción de los residuos en esta fase son:

**Temperatura:** en la incineración, el objetivo es suministrar energía suficiente para que ocurra la ruptura de los enlaces entre los átomos del residuo, y luego, la recombinación que permite formar principalmente CO<sub>2</sub> y agua, sustancias bastante estables. La necesidad de mantener la temperatura correcta de incineración exige un control automático de la temperatura en las dos cámaras, generalmente con alarma para la temperatura baja y el bloqueo automático del suministro de residuos.

**Tiempo:** la absorción de la energía suministrada al residuo por la quema del combustible es rápida, pero no instantánea. El tiempo de 0,8 a 2 segundos, exigido como tiempo de residencia de los gases, es necesario para que ocurran las reacciones químicas de destrucción de los compuestos tóxicos.

Las variaciones en la cantidad de residuos alimentados o en la presión en el interior del incinerador, pueden provocar la reducción del tiempo de permanencia, perjudicando la incineración.

**Turbulencia:** es necesario que todo el material, al pasar por la cámara de combustión, permanezca expuesto a la temperatura de incineración durante la misma cantidad de tiempo. Ninguna porción deberá pasar «más rápido», ya que el tiempo de residencia debe ser mantenido. Por lo que, la cámara secundaria se dimensiona con el objetivo de que permita el paso turbulento de los gases, garantizando una mezcla adecuada.

**Exceso de aire:** la combustión completa de un residuo exige la presencia de oxígeno (O<sub>2</sub>) en cantidad adecuada. Al saber la composición de este residuo, se puede calcular la cantidad teórica de O<sub>2</sub> que se debe suministrar. En la práctica, sin embargo, es necesario proveer un exceso de aire, porque la mezcla residuo-O<sub>2</sub> no es perfecta.

Normalmente, el exceso de aire y la concentración de CO (monóxido de carbono) son medidos continuamente en la chimenea de un incinerador. Si la cantidad de aire suministrada es suficiente, la concentración de CO en la chimenea es cero, e indica que todos los compuestos orgánicos están siendo adecuadamente destruidos. Cuando el exceso de aire cae debajo de 1 a 1,5%, la combustión pasa a ser incompleta, lo cual se delata por la presencia de CO en la chimenea.

Un incinerador para residuos peligrosos, según la norma técnica brasilera ABNT NBR-1265 (ver Anexo B), debe presentar eficiencia de destrucción de 99,99% para determinado compuesto orgánico incinerado. Si este compuesto fuera un bifenilo policlorado (PCB) la eficiencia deberá ser de 99,999%. Pueden quedar, entonces, 0,01 o 0,001% de residuo tóxico que es diluido en los gases que salen por la chimenea, o mezclado en las cenizas, debiendo ser dispuestos en relleno.

En el Cuadro 2 se presentan algunos ejemplos de equipos o procesos, según la etapa de la incineración.

CUADRO 2 Etapas de la incineración				
PRE TRATAMIENTO	ALIMENTACIÓN	INCINERACIÓN	ACONDICIONAMIENTO DE LOS GASES	TRATAMIENTO DE LOS GASES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molienda</li> <li>• Secado</li> <li>• Compostaje</li> <li>• Embolsado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual</li> <li>• Correa de rodillos</li> <li>• Correa rodante</li> <li>• Puente rodante con cuatro gajos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cámaras múltiples</li> <li>• Aire controlado</li> <li>• Horno rotativo</li> <li>• Parrillas móviles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfriamiento con agua</li> <li>• Mezcla con agua</li> <li>• Intercambiador de calor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitador electrostático</li> <li>• Filtros de manga</li> <li>• Lavadores</li> </ul>

**Control de contaminación**

El control de las emisiones se puede hacer a través de:

**Control de combustión**

El proyecto, construcción, operación y mantenimiento adecuados (buenas prácticas de combustión) son un aspecto fundamental en el control de las emisiones. Condiciones apropiadas de combustión limitan especialmente la formación de dioxinas y furanos. El monitoreo y el control continuos, tanto computarizados, como manuales, son sumamente importantes como «buenas prácticas de combustión». El entrenamiento de los operadores es considerado básico para prevenir la contaminación.

Las dioxinas y furanos también se forman después de la salida de la cámara de combustión. El enfriamiento brusco de los gases de combustión es el método de control que limita con éxito esta formación secundaria.

**Dioxinas**

Las dioxinas y furanos constituyen una clase de sustancias organocloradas entre los que hay algunos compuestos extremadamente tóxicos. Pueden estar presentes en el residuo. Pueden también, formarse en ciertas condiciones durante el enfriamiento de los gases incinerados, en el rango de los 300°C. Pueden, además, formarse en irregularidades operacionales que perjudican la incineración.

Aunque no existan dioxinas en un residuo, su formación puede ocurrir durante el enfriamiento de los gases de evacuación del incinerador. Existen evidencias de la presencia de dioxinas en concentraciones superiores a 30 ng/Nm<sup>3</sup>. Una solución posible para evitar la formación de dioxinas que ocurre luego de la incineración, es enfriar bruscamente los gases de salida. Con todo, esta técnica puede ser conflictiva con la estrategia de recuperación de energía. En el caso que este enfriamiento brusco no sea posible, un sistema de tratamiento de gases adecuado quitará las dioxinas junto con el material particulado, terminando en el relleno.

La agencia ambiental norteamericana - Environmental Protection Agency - estableció el límite de 30 ng/Nm<sup>3</sup> para el total de dioxinas y furanos emitidos por los incineradores de residuos sólidos municipales con capacidad igual o mayor que 250 t/día. En Alemania, el límite para la emisión de estos compuestos en incineradores de residuos peligrosos es 0,1 ng/Nm<sup>3</sup> TEQ (unidad de equivalencia de toxicidad, que tiene como referencia la 2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-para-dioxina).

Realizar los análisis de detección de dioxinas y furanos implica contar con equipos de alta tecnología y personal capacitado. Hasta 1996, Brasil no contaba con instituciones públicas que pudieran realizar esos análisis en niveles de concentración tan bajos.

**Control de material particulado**

Filtros de tejido, llamados filtros manga, precipitadores electrostáticos y lavadores Venturi son los dispositivos para controlar la emisión de partículas (Cuadro 3).

Los filtros manga son diseñados con largas bolsas hechas con tejido resistente al calor que capturan partículas finas. El polvo y las partículas son recolectados y dispuestos.

Los precipitadores electrostáticos tratan las emisiones con la aplicación de un voltaje en las partículas que entran, cargándolas negativamente. Las partículas, entonces, son quitadas en placas cargadas positivamente. Usan campos electrostáticos múltiples para recolectar el máximo de material particulado.

Los lavadores Venturi utilizan grandes volúmenes de agua en forma de gotitas que impactan la corriente gaseosa de manera de capturar las partículas, que en este caso son enviadas a una estación de tratamiento de efluentes líquidos.

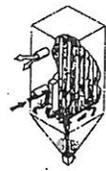
**Control del gas ácido**

Las unidades de control de gas ácido más comunes son las llamadas scrubbers. Scrubbers de cal seguidos por filtros manga son considerados la mejor tecnología de control de gas

ácido. Un lodo de cal que reacciona con los gases ácidos es atomizado en el scrubber. El agua del lodo evapora enfriando el gas. El particulado y los productos de la reacción anterior son retenidos por un filtro manga. Este tipo de sistema es usado para controlar las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ácido clorhídrico (HCl), partículas, metales y dioxinas y furanos.

Otros sistema de control de gas ácido es el de inyección de absorbente seco (IAS) seguido por enfriamiento del gas y precipitador electrostático. Existen dos diferentes métodos de IAS. Uno involucra la inyección de álcali seco como cal hidratada en el gas de combustión después de la cámara de combustión. El otro método inyecta el absorbente directamente en la cámara de combustión.

**CUADRO 3**  
**Retención del material particulado - Ventajas y desventajas**

	FILTRO MANGA ELECTROSTATICO	PRECIPITADOR	LAVADOR VENTURI
			
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja pérdida de carga</li> <li>• Recolección de partículas resistivas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta eficiencia</li> <li>• Partículas menores</li> <li>• Bajo costo de operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo inicial</li> <li>• Operación simple</li> <li>• Puede recolectar gases</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exige enfriamiento cerca de 250 °C</li> <li>• No puede ser usado en corrientes húmedas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo inicial</li> <li>• No es flexible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta pérdida de carga</li> <li>• Genera efluente líquido</li> <li>• Alto costo operacional</li> <li>• Poco eficiente para partículas menores que 0,5µm</li> </ul>

Los óxidos de nitrógeno no son eliminados por este proceso. Se debe minimizar su generación mediante el control de las condiciones de incineración, con quemadores adecuados en la segunda cámara.

Además de estos métodos citados, la separación de materiales antes de la combustión también puede reducir las emisiones, en especial las emisiones de metales. Los materiales que pueden contribuir con emisiones perjudiciales son:

- piezas soldadas con plomo, como recipientes de hojalata;
- pilas domésticas o de uso médico, que contienen metales pesados, como mercurio y cadmio;
- baterías de plomo-ácido (para vehículos), que son una de las principales fuentes de plomo en los residuos sólidos municipales;
- ciertos plásticos, como PVC, que pueden ser precursores de la formación de dioxinas;
- residuos de jardines, que pueden perjudicar la combustión debido a su humedad variable.

Esta lista contiene muchos materiales reciclables o compostables, que refuerzan la idea de que los programas de reciclaje y de compostaje pueden tener un impacto positivo en la operación de las instalaciones de combustión de residuos sólidos.

## 6 Gestión de la ceniza de incineración

La ceniza residual es un producto de la incineración de los residuos sólidos. La porción inorgánica no combustible de los residuos sólidos (como latas, frascos, polvo, etc.) y la materia orgánica no combustible (hollín) son los constituyentes de la ceniza.

Durante la incineración se generan dos tipos de ceniza: la ceniza de fondo y la ceniza suspendida en el gas de combustión. La ceniza de fondo está compuesta por el material no combustible que pasa por la cámara de combustión. Ella es usualmente recolectada por un dispositivo transportador y enfriada con agua. Esta ceniza constituye de 75 a 90% de toda la ceniza generada, según la tecnología que se emplee. La ceniza suspendida en el gas de combustión es un material más ligero recolectado por el equipo de control de contaminación.

Una preocupación especial, en cuanto a la ceniza que resulta de la incineración de los residuos sólidos municipales, es la presencia de metales pesados, especialmente de plomo y cadmio, que proceden de elementos como baterías de plomo-ácido, equipos electrónicos y algunos plásticos. Debido a los efectos potencialmente perjudiciales del desecho de ceniza, es necesario evaluarla en los estadios iniciales del proyecto. La lixiviación en los rellenos es la preocupación principal, ya que los metales solubles pueden contaminar el nivel freático. Las dioxinas asociadas con la ceniza suspendida en el gas de combustión, se pueden controlar bastante a través de buenas prácticas de combustión. Sin embargo, en caso de que estuviesen presentes, no son móviles en un relleno sanitario. Las emisiones de polvo se deben también controlar por medio de un manejo adecuado. Más allá del manejo y la disposición adecuados, existe una justa preocupación con respecto al riesgo potencial de contaminación.

### *Gestión adecuada de la ceniza*

La gestión adecuada de la ceniza implica el manejo apropiado desde su generación en el proceso de combustión, hasta su disposición final. Debido a los efectos potencialmente perjudiciales del contacto o aspiración de la ceniza de combustión de los residuos sólidos municipales, la seguridad de los trabajadores debe estar garantizada durante la carga de los vehículos de transporte de ceniza dentro de la unidad de incineración. En el transporte hacia otra localidad, se deben usar vehículos con carrocería cerrada y el proceso de descarga debe garantizar la minimización del levantamiento y escape de polvo y proteger a los trabajadores.

La ceniza de incineración de los residuos sólidos municipales debe ser adecuadamente analizada, para comprobar sus condiciones con respecto a los estándares internacionales aceptados, o a la legislación en caso que compete.

La descarga de ceniza no peligrosa puede hacerse en un relleno municipal para residuos sólidos. Debido a la naturaleza potencialmente peligrosa de la ceniza, el relleno utilizado debe estar equipado con sistemas de impermeabilización y recolección de percolado, además del monitoreo del agua del nivel freático. Este tipo de relleno no sólo es más seguro para el medio ambiente, sino que también reduce los riesgos asociados a futuras remediaciones.

## 7 Monitoreo y control automático

Dos tendencias recientes, que han tenido un gran impacto en la operación de los hornos incineradores, son las tecnologías de monitoreo y control automático. Casi todos los aspectos del proceso de combustión en la actualidad se pueden monitorear continuamente, desde la temperatura de la cámara de combustión hasta la composición del gas que sale de la chimenea. Existen también dispositivos de control operados por computadora, que pueden activarse al instante por alteraciones en la operación, e introducir la correspondiente acción correctiva.

Todos esos instrumentos han logrado un aumento de la seguridad y la reducción del riesgo ambiental de la instalación de hornos incineradores.

## 8 Costos de instalación de una usina de incineración

Los factores de costo varían considerablemente de una instalación a otra, y por ello, las estimaciones de costo específicas son difíciles de determinar. Las variables incluyen:

- tamaño (toneladas por día);
- tecnología;
- ubicación (costos de mano de obra y de construcción pueden variar considerablemente);
- tipo de financiamiento;
- tecnología de control de contaminación;
- costo de la disposición de la ceniza.

### *Costos de capital*

Los incineradores modulares (menos de 400 toneladas por día) tienen un costo de capital del orden de US\$100.000 a 130.000 por tonelada de capacidad (economías de escala se reflejan en el valor menor). Instalaciones mayores podrán costar entre US\$ 80.000 a 90.000 por tonelada de capacidad. Estos datos están basados en medias internacionales. Los costos reales pueden cambiar considerablemente según las condiciones específicas de cada localidad.

### *Costos operacionales*

Los costos de operación y mantenimiento también varían sensiblemente en función del tamaño, la localidad y la tecnología usada. La mano de obra es uno de los mayores componentes del costo operacional, y depende de la economía local. Los costos totales de operación y mantenimiento para una unidad de 2 mil toneladas diarias se estiman en US\$ 20 por tonelada anual. Esos costos aumentan progresivamente en la medida en que el tamaño de la planta disminuye.

## 9 Tipos de instalación para la incineración de los residuos sólidos municipales

### *Instalaciones para la quema masiva*

Los sistemas de quema masiva (o sea, sin pre-tratamiento de los residuos) no utilizan ningún procesamiento previo, más allá de la remoción de partes demasiado grandes. Esos sistemas generalmente tienen dos o tres unidades de combustión, que pueden tener una capacidad de 50 a 1.000 toneladas por día. La capacidad de las plantas, por tanto, va de 100 a 3 mil toneladas por día. Esas instalaciones son construidas en el sitio, y todos los sistemas nuevos poseen cámaras de combustión con paredes de agua para la recuperación de la energía.

### *Instalaciones modulares*

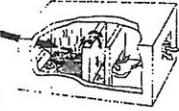
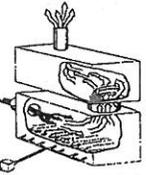
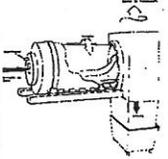
Las instalaciones modulares son pequeñas unidades de quema masiva con capacidad de 5 a 120 toneladas por día, poseyendo la planta en general de una a cuatro unidades, y su capacidad resultante es de 15 a 400 toneladas diarias. En general, esas unidades son construidas en una fábrica, y posteriormente trasladadas al sitio de instalación.

Las tecnologías de incineración por medio de un horno rotativo y aire controlado, son típicamente modulares. La tecnología de aire controlado se describe en el punto 12, debido a su importancia en el tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios.

La gama de diseños diferentes existentes en sistemas de incineración, es grande. Ante esta variedad, se debe resaltar que un incinerador sólo es adecuado cuando se hayan probado y aprobado sus niveles de emisión de contaminantes para el aire, el agua y las cenizas. Otros factores, como la inversión inicial, el costo de operación y la generación de energía son importantes, pero se deben considerar complementarios. Más todavía: como los patrones de emisión, en la actualidad, tienden a ser más rigurosos, lo que vale para hoy, podrá considerarse completamente obsoleto para mañana.

El Cuadro 4 compara cuatro tipos de incinerador.

CUADRO 4  
Tipos de incinerador

	CÁMARAS MÚLTIPLES	AIRE CONTROLADO	HORNO ROTATIVO	PARRILLAS MÓVILES
				
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simples de operar</li> <li>• Viable para pequeños generadores</li> <li>• Eficaz para residuos variados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja emisión de material particulado para ciertos residuos</li> <li>• Requiere poco espacio</li> <li>• Bajo costo inicial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy versátil</li> <li>• Operación simple</li> <li>• Fácil ajuste del tiempo de residencia</li> <li>• Buena reducción de masa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite buena recuperación de energía</li> <li>• Bajo costo inicial</li> <li>• Puede generar poco material particulado</li> </ul>
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mano de obra intensa</li> <li>• No procesa líquidos y lodos</li> <li>• Generalmente no alcanza temperatura adecuada para destruir residuos peligrosos</li> <li>• Alto desgaste refractario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede generar exceso de cenizas</li> <li>• Sensible a variaciones en el residuo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo inicial</li> <li>• Genera más material particulado</li> <li>• Elevado exceso de aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inadecuado para residuos variados coneniendo:               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Plásticos</li> <li>-Pedazos grandes</li> </ul> </li> </ul>

En la incineración de los residuos sólidos municipales, las tecnologías más utilizadas son:

**Horno rotativo:** para la generación de hasta 150 t/día de residuos variados, el horno rotativo puede ser una opción. Es considerada la tecnología más versátil para la incineración, por permitir la alimentación de sólidos en formas y tamaños variados, además de residuos pastosos y láminas. El horno rotativo es un equipo simple y de fácil operación, pero genera mayor cantidad de partículas.

**Parrillas móviles:** los grandes incineradores (de más de 200 t/día) generalmente utilizan cámaras con parrillas móviles perforadas, sobre las cuales el residuo es alimentado continuamente o casi, y desplazado lentamente desde la entrada a la salida. Durante este trayecto ocurren: secado, calentamiento y desprendimiento de materias volátiles, hasta que sólo quedan las cenizas. Debajo de estas parrillas es inyectado aire de combustión. El aire entra en contacto con los residuos luego de pasar por las perforaciones, propiciando así una combustión homogénea y, generalmente, autosustentada después del inicio. La zona más caliente queda sobre las parrillas. Los gases y vapores generados son destruidos hacia los 900 - 1.000°C en una región equivalente a la cámara secundaria. El movimiento y la forma de las parrillas varían según el fabricante, pero los objetivos principales son los mismos:

- voltear suavemente el residuo, de modo que toda su superficie quede expuesta al aire de combustión;
- proporcionar aire en cantidad adecuada y distribuida lo más homogéneamente posible;
- minimizar el bloqueo del paso del aire por parte de material aprisionado o en fusión;
- minimizar y simplificar el mantenimiento.

## 10 Operación y mantenimiento de incineradores

### Operación

Tanto por la responsabilidad de proteger el medio ambiente, como por el alto costo del equipo, operar un incinerador correctamente es tan importante como escoger e instalar una unidad adecuada.

La forma de operación de un incinerador es definida en buena parte por el fabricante, y varía caso a caso. Con todo, se considera que algunos puntos fundamentales son válidos para prácticamente cualquier incinerador. Por ejemplo:

- **temperatura:** probablemente es la variable más importante y, en general, se mantiene en el nivel deseado por medio de controladores automáticos. La operación con temperatura por debajo del valor establecido, acarrea la emisión de sustancias tóxicas hacia la atmósfera. En cambio, al operar por encima de lo establecido, se corre el riesgo de dañar seriamente el revestimiento de ladrillos refractarios del incinerador;
- **oxígeno:** la indicación del nivel de oxígeno en la chimenea es esencial para evaluar si la oxidación de compuestos tóxicos se está realizando o no;
- **otros monitores,** como el de monóxido de carbono (CO), deben exigirse toda vez que la presencia de sustancias tóxicas en la chimenea, por encima de ciertos límites, indique el riesgo que dichas sustancias estén pasando por el incinerador sin ser destruidas. En funcionamiento normal, con una inyección de aire adecuada, todo el CO se oxida y produce CO<sub>2</sub>.

### Mantenimiento

El punto central con respecto al mantenimiento de un incinerador es su revestimiento refractario. Los factores más importantes en el cuidado de ese revestimiento son:

- **temperatura:** operar por encima de la temperatura especificada por el fabricante como límite máximo puede dañar el refractario. Normalmente es controlada automáticamente;
- **operación intermitente:** el calentamiento y el enfriamiento necesitan seguir una velocidad especificada por el fabricante. Aún dentro de estas condiciones, cada parada y arranque representan desgaste y riesgo para el refractario. Por lo tanto, la operación continua (24 horas por día y 7 días por semana) es la mejor opción para extender la vida del revestimiento refractario;
- **evitar choques mecánicos** causados por sólidos duros como, por ejemplo, piezas de metal. Además, evitar el suministro en grandes cantidades de sustancias como sodio (que destruyen gradualmente el revestimiento), es otro punto importante que se debe tener en cuenta.

### Documentación

En la planta se deben tener por lo menos cuatro manuales, periódicamente actualizados y aprobados por los encargados. Estos manuales se pueden dividir así:

**Proyecto:** todas las especificaciones de construcción civil, eléctrica, mecánica, incluyendo un diagrama de procesos e instrumentación, hojas con datos de bombas, válvulas, componentes electrónicos, etc. Estas especificaciones son fundamentales en la elaboración del plano de reposición de piezas por rotura.

**Operación:** todos los procedimientos operacionales deben estar registrados en forma clara y accesible a los operadores. Este manual debe contener todas las condiciones, tales como diferentes cargas de residuos sólidos, secuencia de parada y arranque, velocidad de enfriamiento y calentamiento, frecuencia y valores aceptables de lectura para las distintas variables del proceso.

**Mantenimiento:** debe contener detalle de mantenimiento preventivo, lista de piezas de repuesto, procedimientos de calibración de sistemas de control automático, valores establecidos para todas las variables, plano de interrelaciones para todas las condiciones irregulares de operación, valores de prealarma, alarma e interrupción de operación, además del registro de eventos principales, como mantenimiento correctivo, alteraciones de valores establecidos para la interrelación, etc.

**Resolución de problemas:** cada arranque de una planta que opera en régimen continuo, presenta problemas operacionales en mayor cantidad que durante la operación normal. Es importante tener registrados en un manual estos problemas, sus causas probables y sus soluciones.

Son problemas típicos:

- accionamientos hidráulicos y eléctricos inoperantes;
- ausencia o inestabilidad de la llama en los quemadores;
- corrosión de los revestimientos refractarios.

## 11 La incineración y la legislación

Como ya se dijo en otras partes, en Uruguay, a nivel nacional rige la Ley 16.466 del 19 de enero de 1994 de Evaluación de Impacto Ambiental y su reglamentación el Decreto 435/994. Dentro de la lista de actividades comprendidas por la ley, relativo al tema residuos sólidos, están explicitados las plantas de tratamiento y disposición final de residuos tóxicos y peligrosos, habiendo un párrafo final que deja abierto la inclusión de otras actividades a juicio del Poder Ejecutivo.

La legislación brasilera es más explícita para el tema de usinas de incineración, por lo que a modo ilustrativo, se agrega la siguiente información:

La resolución CONAMA - Consejo Nacional de Medio Ambiente - n° 01 del 23 de enero de 1986, obliga a la realización de Estudio de Impacto Ambiental y Relatorio de Impacto al Medio Ambiente - EIA/RIMA - para incineradores de residuos sólidos municipales cuya capacidad exceda 40 t/día. Para capacidades menores, la elaboración de EIA/RIMA está definida por la respectiva Secretaría de Estado del Medio Ambiente. En la medida en que los municipios se estructuran adecuadamente, estos pueden asumir las funciones, entre otras, de la habilitación ambiental.

La habilitación de un incinerador comprende dos fases: la instalación - en que el proyecto de la unidad es sometido al organismo de control ambiental para análisis y aprobación del proyecto, incluyendo las medidas mitigadoras del impacto ambiental. Mediante aprobación, la habilitación de instalación es emitida pudiendo ser iniciada la construcción del incinerador. Después de la construcción, para la obtención de la habilitación de funcionamiento es preparado por el interesado un "plan de test de quema", que debe ser aprobado por el organismo de control ambiental. Este organismo también evaluará los resultados del test y establecerá las condiciones de operación. Para residuos peligrosos, las exigencias del test de quema constan en la norma técnica brasilera ABNT NBR-1265 (Ver Anexo B).

## 12 Incineración de los residuos sólidos de los servicios de salud y hospitalarios

La incineración de los residuos sólidos hospitalarios es considerada la mejor alternativa de tratamiento por las razones siguientes:

- reduce drásticamente el volumen del residuo, dejando una pequeña cantidad de cenizas;
- es un proceso simple, a pesar de ser crítico en cuanto a los procedimientos operacionales;
- como desventaja, existe la emisión de compuestos tóxicos, tales como las dioxinas y furanos en caso de que el incinerador no esté proyectado y operado adecuadamente.

La generación de residuos sólidos hospitalarios es casi cien veces menor que la de los residuos sólidos municipales, y en general es suficiente la utilización de incineradores pequeños.

Cabe resaltar que su carácter de residuo peligroso exige un correcto rigor operacional. Además de eso, su contenido energético es mucho mayor que el de los residuos sólidos municipales, de modo que se vuelve atractiva la posibilidad de recuperar energía. El valor medio del poder calorífico de los residuos sólidos hospitalarios es de 21,8 MJ/kg.

En este sentido, a medida que la generación de residuos sólidos hospitalarios aumenta, en la toma de decisión se debe tomar en cuenta:

- la posibilidad de enviarlos a municipios/empresas que posean incinerador;
- la contratación de prestación de servicios, en lugar de comprar equipo;
- la adquisición de una unidad pequeña para tratar los residuos sólidos hospitalarios del propio generador;
- un incinerador grande construido en sociedad, y que pueda prestar servicio a otros generadores.

Los residuos sólidos hospitalarios varían siempre de composición, en especial por estar constituidos de sobras y por tener procedencia heterogénea. El proceso de incineración puede verse seriamente afectado por esta variabilidad del residuo y sus envases.

Una vez que en el proyecto del incinerador se haya definido cuál deba ser la composición de los residuos que se deben incinerar, el organismo de control ambiental exigirá un plan mínimo de monitoreo, que se vuelve más complejo y costoso a medida que se deseen incinerar sustancias más peligrosas, en mayor cantidad y variedad.

Por tal motivo, al planificarse un ensayo de quema, es importante establecer el equilibrio entre la versatilidad en la aceptación de diferentes residuos, y el rigor en la selección durante su recepción (tipo y frecuencia de análisis y criterios de aceptación).

En los residuos sólidos hospitalarios pueden encontrarse sustancias peligrosas, como acetona, metanol, xileno e, inclusive, metales tóxicos provenientes de baterías retiradas de equipos electrónicos. Algunos metales pesados son extremadamente tóxicos para el ser humano, y exigen un tratamiento especial.

La admisión de residuos con composición muy diferente de la esperada, puede causar problemas de distinta gravedad, tales como:

- contaminación de la corriente gaseosa, líquida y/o de las cenizas. Ej.: metales pesados;
- daño al revestimiento refractario y a las parrillas. Ej.: exceso de sustancias con PCI elevado (polietileno), exceso de flúor, vidrios, etc.;
- explosiones. Ej.: explosivos y sustancias inestables muy reactivas;
- desgaste del revestimiento refractario. Ej.: alta cantidad de sodio (sal de cocina);
- corrosión. Ej.: alta cantidad de azufre y/o cloro (sulfatos, sal de cocina, PVC);
- combustión incompleta. Ej.: sólidos en pedazos grandes (trozos de madera, vidrios, yeso ortopédico);

- consumo excesivo de combustible. Ej.: residuo muy húmedo (los residuos sólidos urbanos generalmente contiene más del 40% de agua);
- generación de monóxido de carbono (CO) y partículas en exceso. Ej.: PCI alto y variable, cuando se alternan plásticos y material anatómico (órganos y tejidos de cirugías) de los residuos sólidos hospitalarios.

#### **Incineración de los residuos sólidos hospitalarios**

Los residuos sólidos hospitalarios generalmente se dispone en bolsas plásticas (Capítulo III), que se introducen manualmente en pequeños incineradores.

Los tipos de incineradores más usados son:

**Cámaras múltiples:** consisten básicamente en dos cámaras en serie, separadas por una trampa para la decantación de partículas. Como regla, sólo en la segunda cámara se mantiene un quemador para garantizar las condiciones típicas de combustión secundaria.

**Aire controlado:** este tipo de incinerador opera, en su cámara primaria, con inyección de una cantidad de aire menor del necesario para la combustión completa, de modo que la quema se vuelve lenta y con poca generación de partículas. Luego, en la segunda cámara los gases son calentados hasta 900 - 1.000 grados, destruyendo así los compuestos tóxicos. La energía generada en la quema puede volver innecesario el uso de combustible auxiliar durante la operación manual. La pureza de los gases de combustión dependerá de la homogeneidad del residuo suministrado.

En cuanto al tamaño del incinerador, se considera que entre 0,5 t/día y 20 t/día existen muchas alternativas para la selección de uno adecuado.

Dos factores estratégicos son esenciales, para decidir si se instala un incinerador:

- la inversión es alta, pudiendo llegar a más de 2 millones de dólares para unidades de 20 t/día;
- el costo del transporte de los residuos es pequeño, en comparación con el costo de un horno de incineración, de modo que puede ser preferible incinerar en unidades distantes más de 100 km.

Ciudades con hasta 50 mil habitantes pueden utilizar incineradores pequeños, con capacidad de 0,5 t/día, para destruir su residuos sólidos hospitalarios. En este sentido, en caso de que sea necesario aumentar la capacidad, se pueden adquirir nuevos módulos idénticos, y aprovechar los conocimientos de operación y mantenimiento.

Los municipios con población de 50 a 500 mil habitantes y con eventual necesidad de destruir residuos más variados, como los industriales, pueden considerar la posibilidad de incinerar en un horno rotativo con capacidad de 5 t/día.

#### **Otras formas de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios**

##### **Esterilización a vapor (en autoclaves)**

Es un método de tratamiento también ampliamente utilizado para la descontaminación de los residuos microbiológicos y otros de laboratorio, antes de su disposición final, principalmente usado en los Estados Unidos. Como es un proceso que, para ser eficiente, debe permitir la penetración del vapor y la conducción del calor por toda la masa que se debe esterilizar, se vuelve inadecuado para el tratamiento de grandes volúmenes de residuos, debido a que el «estado físico y el espesor del material que debe ser tratados en autoclave, son factores determinantes para la efectiva ejecución del proceso».

El uso de autoclave exige el desarrollo de una tecnología razonablemente compleja, y por tanto debe ser operado por un personal entrenado. Los residuos así tratados, deben ir al relleno sanitario y jamás ser reciclados, pues no hay garantía de destrucción de los organismos patógenos.

##### **Desinfección química**

Es un proceso en el cual los residuos son sumergidos en una solución química desinfectante, que destruye los agentes infecciosos. Los residuos líquidos son despejados en

sistemas de goteo, y los residuos sólidos resultantes son llevados al relleno sanitario. Las recomendaciones para su uso se refieren más a la desinfección de utensilios y superficies, que de los mismos residuos, debiendo ser necesario, para mayor garantía, un monitoreo de cada lote de los productos utilizados. El mayor inconveniente es que este proceso deja unos residuos tanto o más peligrosos para el medio ambiente, que los residuos sólidos tratados.

##### **Inactivación térmica**

Es un proceso de calentamiento de los residuos sólidos a temperaturas que destruyen grandes volúmenes de residuos líquidos. Se colocan sobre una llama, a temperaturas preestablecidas, por un período de tiempo específico.

##### **Esterilización por gases**

El uso de gases en el tratamiento de residuos es posible, pero los riesgos asociados al óxido de etileno utilizado en el proceso, desaconsejan esta técnica. Por estos riesgos, es un método que requiere toda una estructura especial de servicio para su realización.

##### **Radiaciones ionizantes**

Es una tecnología reciente para el tratamiento de los residuos, que utiliza rayos gama, a partir de cobalto 60 y ultravioleta, para destruir los microorganismos infecciosos. En los Estados Unidos, el uso de rayos gama es semejante a la técnica empleada para la esterilización de alimentos y otros productos de consumo. La radiación ultravioleta es más empleada en el tratamiento de aguas residuales.

##### **Uso de microondas**

La utilización de microondas para destruir agentes infecciosos está siendo empleada con éxito en algunos servicios sanitarios de Europa. Es un proceso novedoso, todavía poco conocido.

#### **La legislación brasilera y la incineración de los residuos sólidos hospitalarios**

La Resolución CONAMA n° 06 del 19/09/91 desobliga la incineración de los residuos sólidos hospitalarios y determina que los organismos estatales establezcan las normas para su tratamiento y disposición.

La Resolución CONAMA n° 01 del 23/01/86 obliga la realización de Estudios de Impacto Ambiental y Relatorio de Impacto al Medio Ambiente para incineradores de residuos sólidos hospitalarios cuya capacidad exceda 40 t/día. Para capacidades menores, la necesidad de elaboración de EIA/RIMA está definida por la respectiva Secretaría de Estado del Medio Ambiente.

La incineración de residuos peligrosos está reglamentada por la norma técnica brasilera ABNT NBR-1265, que excluye los residuos peligrosos por patogenicidad e inflamabilidad.

De acuerdo a la norma técnica ABNT NBR-10004, el residuo hospitalario solamente estará tipificado como peligroso por su toxicidad y/o patogenicidad. (Ver Capítulo II, 2.3).

En el estado de San Pablo, el proyecto de norma técnica de CETESB E 15.011 se aplica a incineradores de residuos infecciosos provenientes de establecimientos de salud, puertos y aeropuertos, cuya capacidad sea menor o igual a 1.000 kg/h.

TABLA 1  
Valores máximos de emisión según norma técnica CETESB E 15.011  
San Pablo

HF	5 mg/Nm <sup>3</sup>
CO	125 mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	1.200 mg/Nm <sup>3</sup>
Material particulado	150 mg/Nm <sup>3</sup>
Dioxinas	0,14 mg/Nm <sup>3</sup>
Cadmio y mercurio	0,28 mg/Nm <sup>3</sup>
Arsénico y níquel	1,4 mg/Nm <sup>3</sup>
Plomo y cromo	7 mg/Nm <sup>3</sup>

Esta norma establece que el test de quema debe ser realizado:

- con capacidad máxima del incinerador;
- antes de entrar en operación normal;
- cuando se desea alterar sus condiciones de operación.

Durante este test para sistemas con capacidad de hasta 200 kg/h, son especificados los valores máximos de emisión a la atmósfera de compuestos, como, por ejemplo, muestra la Tabla 1.

Exige además, la existencia de indicadores de temperatura, presión, oxígeno, monóxido de carbono y registradores, según la capacidad del sistema. También son exigidos mecanismos automáticos de bloqueo de la alimentación cuando situaciones anormales ocurren, como, por ejemplo:

- baja temperatura en las cámaras;
- ausencia de llama en cualquier quemador;
- presión positiva en las cámaras de combustión;
- falta de energía eléctrica o caída de tensión;
- mal funcionamiento del registro de temperatura.

## Referencias

- 1 ACHARYA, p. ET AL. Factors that can influence and control the emissions of dioxins and furans from hazardous wastes. *J. Waste Manage. Ass.*, v.41, p.12, Dec. 1991.
- 2 BRUNNER, C.R. *Handbook of incineration systems*. New York: Mc Graw-Hill, 1991.
- 3 BRUNNER, C.R. *Hazardous air emissions from incinerators*. New York: Chapman and Hall, 1985.
- 4 DELLINGER, H.B. et al. Evaluation of the origin, emissions and control of organic and metal compounds from cement kilns co-fired with hazardous wastes. *Scientific Advisory Board*. June 8, 1993.
- 5 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Decision-makers guide to solid waste management*. 1989.
- 6 FREEMAN, H.M. *Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal*. New York: Mc Graw-Hill, 1989.
- 7 GROVE, N. *Recycling Official Journal of the National Geographic Society, Washington*, v.186, n.1, p.94-115, July 1994.
- 8 MANDELLI, S.M.C. et al. *Tratamento de resíduos sólidos - Compêndio de Publicações*. Universidade de Caxias do Sul, 1991.
- 9 MANTUS, E.K., et al. All fired up: burning hazardous waste in cement kilns. S.I.: *Environmental Technology International*, 1992.
- ➔ 10 NIESSEN, W.R. *Combustion and incineration processes - Applications in environmental engineering*. New York: Marcel Dekker.
- 11 PERRY, R.H., CHILTON, C.H. *Chemical Engineer's Handbook*. 5. Ed. S.I.: Mc Graw-Hill Kogakusha, 1973.
- 12 REINHARDT, P.A., GORDON, J.G. *Infectious and Medical Waste Management*. S.I.: Lewis Publishers, 1991.
- 13 ROSS, R., Mc GOWAN, T. *Hazardous waste incineration is going mobile*. *Chemical engineering Magazine*, Oct. 1991.
- ➔ 14 TCHOBANOGLIOUS, G. et al. *Solid waste: engineering principles and management issues*. New York: Mc Graw-Hill, 1977.
- 15 VOGEL, G.A., MARTIN, E.J. *Estimating capital costs of facility components*. *Chemical engineering Magazine*, Nov. 28, 1983.
- 16 *PUBLIC Cleaning Services in Tokyo, 1992*. Bureau of Public Cleansing Tokyo Metropolitan, 1993.
- 17 ZULAUF, W. *Informaciones personales*. São Paulo, 1994.
- 18 REPUBLICA DE VENEZUELA (1.992). Decreto 2.211, Normas para el Control y Manejo de los Desechos Peligrosos. *Gaceta oficial* No. 4.418 Extraordinario del 23 de abril de 1.992.
- 19 INTENDENCIA MUNICIPAL DE MONTEVIDEO. Departamento Desarrollo Ambiental. División Disposición Final. *Informaciones personales*.
- ➔ 20 ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN URUGUAY, Serie Análisis Sectoriales N° 7, Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud - Dirección Nacional de Medio Ambiente - Agencia de la República Federal Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ) - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Marzo 1996.

## CONSIDERACIONES FINALES

Los profesionales de la edición original brasileña que contribuyeron con la realización de este Manual consideraron oportuno la transcripción de los compromisos asumidos por los prefectos y representantes municipales reunidos en el REMAI'91 - I Encuentro de Prefectos de Metrópolis Latino Americanas\*, conformando con ellos las recomendaciones finales del Manual.

### COMPROMISOS

1. Implementar programas que estimulen la disminución de generación de residuos;
2. Implementar investigaciones de tecnologías no agresivas al medio ambiente y compatibles con la realidad socioeconómica latinoamericana;
3. Adoptar programas que aseguren la recuperación y descontaminación de áreas degradadas;
4. Desarrollar programas de educación ambiental, con énfasis en la cuestión de producción y tratamiento de los residuos;
5. Minimizar la disposición de residuos, estableciendo programas de preselección, reciclaje y reutilización;
6. Implantar unidades de disposición final de residuos, con tecnologías que minimicen los impactos ambientales;
7. Asegurar control adecuado en el transporte y transbordo de residuos y materiales peligrosos;
8. Apoyar la adopción de programas de cooperación horizontal y vertical entre las esferas de gobierno, especialmente las iniciativas de articulación entre municipios;
9. Actualizar la tasa de limpieza urbana buscando el financiamiento integral de la recolección y disposición final de los residuos sólidos domiciliarios;
10. Implantar un sistema funcional de fiscalización y control ambiental, aplicando sanciones a las descargas clandestinas y a la disposición inadecuada de residuos;
11. Elaborar un Plan Director de Gestión de Residuos Sólidos;
12. Reconocer y disciplinar la clasificación ambulante de materiales reciclables.

(\*) Carta de San Pablo sobre Gestión y Tecnologías de Tratamiento de Residuos - Encuentro de Prefectos de Metrópolis Latinoamericanas sobre Gestión de Residuos, 1, Documento síntesis REMAI'91, p. 25-27, San Pablo, Brasil mayo de 1992.

## ANEXO A

# MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL

## 1. Introducción

La legislación ambiental uruguaya ha avanzado mucho en los últimos años. La creación de un ministerio específicamente competente en la materia ambiental, la aprobación de la Ley de Evaluación del Impacto Ambiental y la reciente reforma constitucional son hitos trascendentes pero ciertamente muy recientes.

Aun queda bastante por hacer. Prueba de ello puede ser el tema que específicamente nos ocupa, ya que la normativa sobre residuos sólidos y desechos en general es escasa y dispersa. Si bien la propia naturaleza del objeto de estudio y regulación hace indispensable conocer las normas relacionadas tanto con los agentes impactantes y las actividades humanas, como las que protegen la calidad de ciertos recursos ambientales, no existe todavía en Uruguay una clara disciplina jurídica de la generación, manejo y disposición de los residuos sólidos y de los desechos en general.

Por ello, en este anexo habremos de abordar en primer lugar, una descripción de la organización institucional ambiental, genéricamente considerada, tanto a nivel nacional como departamental; para luego adentrarnos en la legislación propiamente dicha.

En segundo término, el análisis se realizará encarando los principales aspectos de la legislación ambiental uruguaya, ya sea con relación a la protección del ambiente en general, como las normas específicamente vinculadas a los desechos, respecto del agua y el aire, la evaluación del impacto ambiental y, finalmente, el régimen de sanciones y responsabilidades.

En tercer y último lugar, se presentará un listado de rápida consulta de la legislación ambiental nacional, en un conjunto seleccionado de temas.

## 2. La organización institucional ambiental

### 2.1. Nivel nacional

Desde 1971 y hasta 1990, el espacio institucional de la gestión ambiental estuvo dominado por una dispersión de atribuciones en distintos órganos de la Administración Central, con un bajo grado de coordinación y la inexistencia de una política ambiental nacional formulada en forma explícita.

En ese período funcionó, adscripto al Ministerio de Educación y Cultura, el Instituto Nacional para la Preservación del Medio Ambiente (INPMA), creado por la Ley 14.053 del 30 de diciembre de 1971, como un órgano de carácter consultivo y de asesoramiento a los poderes del Estado, con objetivos y competencias muy amplios y difusos aunque pioneros en América Latina.

El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), fue creado por la Ley 16.112 del 30 de mayo de 1990, como el doceavo ministerio integrante del Poder Ejecutivo, en la órbita de la Administración Central del Gobierno Nacional.

La ley que lo estableció, le encomendó al MVOTMA la ejecución de la política nacional de medio ambiente que el Poder Ejecutivo determine (artículo 2º). Ver Cuadro 1.