

234 234

83  
246



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**DONACION**  
"TESIS DONADA POR LA  
BIBLIOTECA CENTRAL U.N.A.M.  
PARA USO EXCLUSIVO DE BIBLIOTECAS"

## TECNOLOGIA APLICADA A LA BASURA



BIBLIOTECA  
INSTITUTO DE ECOLOGIA  
UNAM

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

**ULISES MARCELO GONZALEZ SANDOVAL**

Director de Tesis:

ING. JESUS ROVIROZA LOPEZ



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

MARZO 1996



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios porque aún con todas mis tribulaciones y olvidos, siempre que lo invoco, Él está a mi lado, y nunca deja de procurarme.

Le doy gracias a mis Padres, TERESA y JORGE, que con su gran amor y abnegación me han apoyado en todas y cada una de mis decisiones. Y de manera especial a mi abue Ma.Teresa por sus innumerables oraciones.

A mis hermanas Danya, Sandra, Samanda, Yenía, Mayra y Deisla, que me han sabido soportar y que gracias al amor reinante en nuestra familia seguimos todos unidos, mil gracias.

A mi novia Aglae, que con su gran paciencia y amor soporto mi falta de atención hacia ella durante este tiempo, Todavía.

De una manera muy especial agradezco a todos y cada uno de mis profesores, que me han dado un pedazo de su vida y conocimientos, y a los cuales ahora yo secundo. En particular al Ing. Armando Ortíz Prado y al Ing. Eduardo U. Márquez Amador.

Por medio de este trabajo hago un reconocimiento al Actuario Federico Garduño y Barrera, que desinteresadamente me proporcionó su tiempo, experiencia, y la información relativa al PUMA.

Para con el Ing. Jesús Roviroza no tengo palabras para expresar mi sentir, mil gracias por haber accedido a ser mi director de Tesis, y más que nada por brindarme, como un buen amigo, todo el tiempo necesario, aún conociendo que la jornada sería escabrosa (más de dos años que duro el presente trabajo).

Al Lic. Marco Antonio Ballesteros y su compañía REACO, S.A. de C.V. por apoyarme con sus instalaciones y equipo de cómputo. GRACIAS.

Y en general, gracias a la Naturaleza que me ha abierto hoy los ojos hacia ella, para con la cuál tengo un gran compromiso.

# DONACION

## "TESIS DONADA POR LA BIBLIOTECA CENTRAL U.N.A.M. PARA USO EXCLUSIVO DE BIBLIOTECAS"

### I N D I C E

Página

2	AGRADECIMIENTOS
3	INDICE
7	INTRODUCCION
11	CAPITULO I. MAS ALLA DE LOS LIMITES DEL CRECIMIENTO
13	1.1 Crecimiento de la población Mundial
15	1.2 La Ecología y sus perturbadores
15	1.2.1 Recursos Renovables
15	1.2.1.1 Alimentos
17	1.2.1.2 Agua
18	1.2.1.3 Bosques
19	1.2.2 Recursos No renovables
19	1.2.2.1 Combustibles Fósiles
23	1.2.2.2 Materiales
26	1.3 La contaminación
26	1.3.1 Depresiones para contaminación y residuos
28	1.3.2 Más allá de los límites de los insumos globales
28	1.4 Impactos negativos de la basura sobre el medio ambiente de México
28	1.4.1 Contaminación y riesgos a la Salud Pública
30	1.4.2 Impacto Social
31	1.4.3 Impacto sobre los sistemas administrativos
31	1.4.4 Impacto económico
33	CAPITULO II. LOS RESIDUOS SOLIDOS: UNA CONSECUENCIA DE LA VIDA
36	2.1 El flujo de materiales en la sociedad
36	2.1.1 Definición de residuo sólido
37	2.1.2 Tipos de residuos sólidos y sus fuentes generadoras
39	2.2 Composición de la basura
41	2.2.1 Componentes individuales de la basura
43	2.2.2 Propiedades físicas y químicas de los residuos sólidos
44	2.2.2.1 Resistencia mecánica de los componentes de los residuos sólidos municipales
45	2.2.2.2 Contenido de humedad
46	2.2.2.3 Densidad
48	2.2.2.4 Composición química
52	2.2.3 Futuros cambios en la composición
55	2.3 La generación de basura
56	2.3.1 Factores que afectan las tasas de generación
56	2.4 Residuos industriales y especialmente peligrosos
59	2.4.1 Clasificación de los residuos industriales y peligrosos
59	2.4.2 Recolección
60	2.4.3 Transporte
60	2.4.4 Eliminación
62	2.4.5 Prevención del personal
61	2.5 Legislación mexicana existente relacionada con los residuos peligrosos
63	CAPITULO III. EL MANEJO DE LOS DESPERDICIOS SOLIDOS
64	3.1 La recolección de la basura
75	3.2 Almacenaje y estaciones de transferencia
76	3.2.1 Tipos de estaciones de Transferencia
77	3.2.2 Consideraciones para la ubicación de una estación
78	3.3 Tratamiento de los residuos sólidos
79	3.3.1 Disposición final
79	3.3.1.1 Relleno Sanitario
83	3.3.1.2 Condiciones que debe satisfacer el sitio en que se ubique un relleno sanitario
83	3.3.1.3 Obras complementarias en la construcción de un relleno sanitario
84	3.3.1.4 Relleno Sanitario Controlado
84	3.3.1.4.1 Relleno sanitario controlado tradicional
85	3.3.1.4.2 Relleno sanitario de basura compactada
85	3.3.1.4.3 Relleno sanitario con basura previamente triturada
86	3.3.1.4.4 Utilización posterior de un relleno sanitario
86	3.3.1.5 Relleno oceánico y húmedo.

87	3.3.2	El Compostaje
88	3.3.2.1	El compost
89	3.3.2.2	Fermentación lenta
89	3.3.2.3	Fermentación acelerada
91	3.3.2.4	Comercialización del compost
92	3.3.3	Incineración
92	3.3.3.1	Principio operativo
94	3.3.3.2	Elementos para seleccionar un procedimiento
96	3.3.3.3	Tratamiento de los humos
98	3.3.3.4	Esquema base de una planta de incineración

#### 99 CAPITULO IV. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y EQUIPOS

100	4.1	Objetivos para un procesamiento
102	4.2	Reducción mecánica de volúmen
102	4.2.1	Equipos de compactación
104	4.2.2	Selección de los equipos de compactación
106	4.3	Reducción química de volúmen
106	4.3.1	Incineración de los desechos municipales
107	4.3.2	Descripción del proceso de incineración
109	4.3.3	Control de las emisiones contaminantes al aire
110	4.4	Reducción mecánica de tamaño
113	4.4.1	Mecanismos de molienda
116	4.4.2	Molienda seca
117	4.4.2.1	Procedimiento Dorr Oliver
118	4.4.2.2	Procedimiento Gondard
120	4.4.3	Molienda por vía húmeda. Fermentación acelerada
120	4.4.3.1	Sistema Dano-Socca
121	4.5	Separación por componentes
121	4.5.1	Clasificación manual
122	4.5.2	Separación neumática
123	4.5.2.1	Equipos para la separación neumática
126	4.5.3	Separación magnética
127	4.5.3.1	Equipos para la separación magnética
129	4.5.4	Tamizado
129	4.5.4.1	Equipos para el tamizado
130	4.5.5	Otras técnicas de separación
131	4.5.5.1	Separación inercial
131	4.5.5.2	Flotación
132	4.5.5.3	Clasificación óptica
133	4.5.5.4	Separación electrostática
133	4.6	Secado y eliminación de agua
133	4.6.1	Secado
133	4.6.1.1	Secadores convectivos
135	4.6.2	Eliminación de agua
135	4.7	El sistema Vickers para la eliminación de basura
135	4.7.1	Principio
136	4.7.2	Ventajas del procedimiento
137	4.7.3	Inconvenientes
138	4.7.4	Descripción del pulverizador
140	4.7.5	Tipos de instalación
140	4.7.5.1	Esquema simplificado
142	4.7.5.2	Versión con fabricación de compost
142	4.7.6	Producción
142	4.7.7	Equipos opcionales

#### 146 CAPITULO V. RECUPERACION Y TRANSFORMACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN SUBPRODUCTOS Y EN ENERGIA

148	5.1	Sistemas de recuperación y procesamiento de materiales
148	5.1.1	Especificaciones de los materiales
150	5.1.2	Sistemas de procesamiento y de recuperación
150	5.1.2.1	Diagramas de Procesos
152	5.1.2.2	Diseño y Trazado de Sistemas
153	5.1.2.3	Balace de materiales y razones de abastecimiento
154	5.1.2.4	Limitaciones de los equipos
156	5.2	Recuperación de subproductos por transformación química
156	5.2.1	Incineración con recuperación de calor
158	5.2.1.1	Métodos de incendio
159	5.2.1.2	Cálculos de la combustión
160	5.2.1.3	Gases y Temperaturas de los gases de combustión

160	5.2.2	Pirólisis	
161	5.2.2.1	Descripción del proceso	
161	5.2.2.2	Productos finales de la transformación	
163	5.2.3	Incineración-Pirólisis	
163	5.2.3.1	Descripción del proceso Purox	
164	5.2.3.2	Productos finales de la transformación	
165	5.2.4	Otros procesos de transformación química	
165	5.3	Recuperación de subproductos por transformación biológica	
166	5.3.1	Algunos procesos biológicos fundamentales	
166	5.3.1.1	Tipos de microorganismos	
168	5.3.1.2	Procesos asimilatorios y desasimilatorios	
168	5.3.1.3	Metabolismos aeróbicos y anaeróbicos	
169	5.3.1.4	Requerimientos nutricionales	
169	5.3.1.5	Requerimientos ambientales	
170	5.3.1.6	Otros procesos biológicos	
170	5.4	Recuperación de energía debido a la transformación de los productos	
170	5.4.1	Sistemas de recuperación de energía	
170	5.4.1.1	Combinación de Turbina-generador de vapor	
170	5.4.1.2	Combinación de Turbina-Generador de gas	
172	5.4.2	Valoración de los procesos térmicos	
172	5.4.3	Factores de eficiencia	
174	5.4.4	Otros usos y factores de pérdida	
174	<b>CAPITULO VI. RECICLAJE Y REUTILIZACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS</b>		
177	6.1	Panorama del reciclaje	
179	6.1.1	El símbolo de nuestro tiempo	
180	6.1.2	La recuperación de los materiales inertes de la basura	
182	6.2	Escenario del reciclaje: metas y prioridades	
184	6.2.1	El Sistema educativo	
184	6.2.2	Das soluciones para la basura: destruirlas o recuperarlas	
184	6.2.3	Mejor que separar es no mezclar: Recogida Selectiva	
186	6.2.3.1	Cómo empezar a dejar de hacer basura	
187	6.3	El vidrio	
188	6.3.1	Las ventajas de la fabricación del vidrio a partir del calcin	
191	6.3.2	La recuperación del vidrio	
195	6.4	El papel y el cartón	
195	6.4.1	La fabricación del papel y el cartón	
197	6.4.2	Como se fabrica papel reciclado	
198	6.4.3	Papeles ecológicos	
199	6.5	Los plásticos	
200	6.5.1	De donde proviene el plástico que se encuentra en los residuos sólidos	
202	6.5.2	La fabricación y el consumo de plásticos	
205	6.5.3	Los ahorros obtenidos al reciclar los plásticos	
205	6.5.4	Las limitaciones técnicas para reciclar los plásticos	
208	6.5.5	La recuperación de los residuos plásticos	
210	6.5.6	Situación actual y posibilidades de aumento del plástico reciclado	
213	6.6	El Hule natural ( el caucho )	
213	6.6.1	El problema de los neumáticos	
214	6.6.2	La recuperación y posibilidades de aumento	
215	6.6.3	Cómo se recicla el caucho.	
216	6.7	Los textiles	
216	6.7.1	La recogida selectiva de ropa y trapos	
218	6.7.2	Las diferentes formas en que se reciclan los textiles	
220	6.8	Las chatarras metálicas	
205	6.9	Otros materiales	
222	<b>CAPITULO VII. ESTRATEGIAS MODERNAS PARA EL EFICIENTE MANEJO DE LA BASURA</b>		
223	7.1	Los avances en el aprovechamiento de las basuras en Europa y EEUU	
224	7.1.1	Instrumentos Fiscales.	
225	7.1.2	Instrumentos Técnicos.	
226	7.1.3	Acuerdos y Medida Económicas.	
229	7.2	Evolución de la legislación mexicana de los residuos sólidos municipales	
230	7.3	Legislación de la Gestión ambiental	
232	7.3.1	Nuevo Esquema de regulación ecológica	
233	7.4	Bases para una estrategia de desarrollo sustentable	
237	7.5	El manejo de la basura y sus prioridades: una política ambiental	
219	7.6	Hacia un sistema integral para el manejo de los residuos sólidos	

242	<b>CAPITULO VIII. EL PROGRAMA UNIVERSITARIO DE MEDIO AMBIENTE</b>	
243	8.1	Introducción.
244	8.2	Programa para el control ecológico del campus
246	8.2.1	Mejoramiento continuo de áreas verdes.
247	8.2.2	Manejo de residuos sólidos.
248	8.3	Evaluación del programa: Alcances y Logros 1993-1994 ( Área de Residuos Sólidos)
248	8.3.1	Programa de mejoramiento ecológico (Área de residuos sólidos) ( Julio 93 - Julio 94 )
251	8.3.2	Logros obtenidos a Diciembre de 1993
251	8.3.3	Alcances de los Programas del PUMA para 1994
252	8.3.4	Difusión de los Subprogramas en Dependencias.
252	8.4	Programa de Mejoramiento Ecológico 1995. Subprograma de Manejo de Residuos Sólidos
252	8.4.1	Antecedentes.
252	8.4.1.1	La basura en la Ciudad de México.
253	8.4.1.2	La basura en la Ciudad universitaria.
253	8.4.2	Meta 1994 del Subprograma de Manejo de Residuos Sólidos.
254	8.4.3	Diagnóstico sobre residuos sólidos.
255	8.4.4	Sistema para el manejo de los residuos sólidos en C.U.
258	8.5	La Retroalimentación: Alternativas Funcionales.
260	8.5.1	Programa Alternativo para el manejo de los residuos sólidos.
261	8.5.2	Estructura del Programa Alternativo.
262	8.5.2.1	Estrategias básicas: Concientización y Planación.
264	8.5.2.2	Procesos básicos: Reusar y Reciclar.
270	8.5.2.3	Retroalimentación.
271	<b>CAPITULO IX. CONCLUSIONES</b>	
275	<b>APENDICES</b>	
276	APENDICE A: Residuos Sólidos: Terminología (Norma mexicana NOM AA-91-1985)	
280	APENDICE B: Generador de Energía ( esquema ).	
281	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	

## INTRODUCCION

## **INTRODUCCION:**

Muchos esfuerzos presentes para conservar y mantener el progreso humano, para hacer frente a las necesidades humanas, y para lograr las ambiciones humanas son simplemente insostenibles, tanto en las naciones ricas como en las pobres. Absorben en exceso, y demasiado rápido, de las cuentas de recursos ambientales que ya están al descubierto. Puede que muestren beneficios en los balances de nuestra generación, pero nuestros hijos heredarán las pérdidas.

## **COMISION MUNDIAL DE DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE**

Los residuos sólidos siempre han sido un reto a resolver. Ya las primeras civilizaciones, al conformar asentamientos humanos no inmigrantes tuvieron que enfrentar el problema de la generación de los residuos sólidos.

Sin embargo en aquella época, las características de los residuos, puramente orgánicos, y la poca carga que representaban, hacía que se integraran fácilmente a los ciclos de la naturaleza, cuya ayuda era fundamental. Con el paso del tiempo, por el incremento de población y el cambio de las características de los residuos, las soluciones quizás antes fáciles tuvieron que ser cada vez más complicadas. De una incorporación relativamente sencilla de los residuos orgánicos a la naturaleza, la carga contaminante fué rebasando su poder de recuperación natural. A partir de entonces comienza la necesidad de auxiliar a los procesos naturales y evitar así el deterioro ecológico que pudiera convertirse en daño irreversible.

En varias partes del Mundo, los daños ocasionados por deficientes sistemas de manejo, tratamiento y disposición final de los residuos han adquirido una proporción alarmante, ya sea por ser causantes directos de la contaminación al suelo, a la atmósfera, o porque han ocasionado contaminación de fuentes superficiales y subterráneas de agua potable.

Lo anterior se debe a que por mucho tiempo, los residuos sólidos se han manejado deficientemente y aún no se ha logrado la incorporación de técnicas de ingeniería para la solución del problema que, directamente proporcional al tiempo se va agravando en varias partes de nuestra Tierra.

Debido a los problemas que ha tenido que enfrentar la humanidad en este campo, el presente trabajo tiene la finalidad de analizar lo que se ha realizado en cuanto a tecnología para el tratamiento de los residuos sólidos, observando los alcances logrados en la materia y las perspectivas tecnológicas futuras para el aprovechamiento de estos desperdicios a través de su reciclamiento.

Por lo extenso del tema, centraré la exposición principalmente en los residuos sólidos denominados "residuos sólidos municipales, o mejor conocida como basura doméstica".

Además, por la importancia que revisten, se bosqueja el panorama de los residuos sólidos peligrosos y su identificación, aunque cada uno por separado puede ser materia de tesis.

Al presentar las técnicas actuales para el manejo de los residuos sólidos municipales, busco concientizar en la falta de tecnología que México tiene en este campo, ya que solamente se puede hablar de recolección y disposición final de los residuos en México, mientras que en muchos otros países del mundo, al ser considerado el problema de los residuos de primer orden, los gobiernos han tratado de generar ordenanzas, leyes, decretos, etc. con el fin de enfrentar frontalmente a éste problema.

Es desalentador el constatar que se haya estado viviendo una "Política de desperdicio" en México y muchos otros países del tercer mundo principalmente, esto es, considerar que los recursos naturales a los cuales tenemos acceso eran ilimitados, y por tanto, se podían explotar indiscriminadamente, postulado que hoy por hoy es totalmente falso.

En el primer capítulo presento una panorámica mundial de la situación planetaria, partiendo del problema del crecimiento poblacional, recorriendo rápidamente la situación que presentan los recursos naturales renovables y los no renovables, indicando para cada uno su límite de explotación y las consecuencias de esta. Al final del capítulo pongo en peso que los recursos transformados y aprovechados se transforman en residuos contaminantes, los cuales impactan negativamente a la sociedad en la que vivimos.

En el capítulo segundo defino en forma clara lo que significan los residuos sólidos municipales, sus características, su composición, y los índices de generación de estos en México. Es en este capítulo donde presento un panorama de los residuos industriales y especialmente peligrosos.

En el capítulo tercero entro de lleno al manejo de los residuos sólidos municipales, iniciando el estudio con los métodos de recolección de estos, enunciando posteriormente los tres procesos más desarrollados existentes para la canalización final de los residuos sólidos municipales, los cuales son: 1) su disposición final en la tierra; 2) el compostaje; y 3) la incineración de los mismos.

En el capítulo cuarto me adentro en el campo de la ingeniería mecánica aplicada a los residuos sólidos, esto es, a las técnicas de procesamiento de los residuos sólidos, y en especial, a los equipos utilizados para este fin. Analizo básicamente los procesos de reducción, tanto química como mecánica, dando mayor importancia a esta última en lo que a dispositivos mecánicos y equipos se refiere, como en el caso de la separación neumática y magnética, el tamizado de los residuos y otras técnicas de separación. Hago referencia a los procesos de secado y eliminación de agua de los residuos para su trabajo en seco. Por último presento un sistema global para el tratamiento de los residuos conocido como el Sistema Vickers.

En el capítulo quinto muestro los diferentes sistemas de recuperación y transformación de los residuos sólidos en elementos aprovechables como pueden ser: 1) subproductos, que pueden ser productos químicos, o bien pellets para combustión, básicamente obtenidos debido a una transformación química o biológica; y 2) energía, principalmente tipo calorífica y su transformación en electricidad.

En el capítulo seis examino las posibilidades que ofrece el Reciclar los residuos sólidos municipales y reuno en forma muy condensada las posibles técnicas y alternativas que se pueden emplear para reciclar diversos elementos que constituyen a los residuos sólidos.

En el capítulo siete describo los avances que en otras partes del Mundo se están dando en materia de residuos sólidos. Enlisto a su vez la actual legislación mexicana en el ámbito ambiental, proponiendo un nuevo esquema de regulación ecológica y de política ambiental, y por último he seleccionado un sistema integral para el manejo de los residuos sólidos municipales que actualmente se encuentra en operación en un municipio francés, para presentarlo como posible marco de referencia para ser evaluado y juzgado.

Ya que el problema de los residuos sólidos aqueja a todos, en el capítulo ocho analizo el actual Programa Universitario de Medio Ambiente en el rubro del Manejo de los Residuos Sólidos dentro del Campus Universitario, estimando sus posibles alcances y valorando las posibles alternativas que podrían hacer más eficiente este programa para beneficio, tanto de los universitarios, como de los mexicanos.

Por último, después de haber hecho un rápido recorrido a través de la problemática que representan los residuos sólidos, las técnicas actuales de que se dispone para su control, y los avances tecnológicos que apuntan hacia un cambio de mentalidad productivo-industrial expresado en términos de REDUCIR-REUSAR-RECUPERAR-RECICLAR-REPENSAR, juzgo necesario presentar mis conclusiones al respecto, estimando que estamos a muy buen tiempo para tomar las medidas pertinentes para combatir este grave problema y poder vislumbrar en un futuro no muy lejano su completo control.

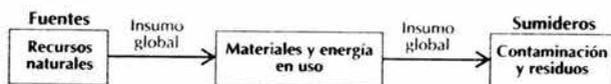
## **CAPITULO I**

# **MAS ALLA DE LOS LIMITES DEL CRECIMIENTO**

## MAS ALLA DE LOS LIMITES DEL CRECIMIENTO

Overshoot es un término derivado del análisis de sistemas, de amplia difusión en la jerga económica, cuya equivalencia al español es "sobrepasarse", aunque la fuerza del término no sea equivalente. Overshoot significa ir más allá de los límites inadvertidamente, sin habérselo propuesto. La vida cotidiana está plagada de pequeños y no tan pequeños "sobrepasamientos". Las causas subyacentes del overshoot son siempre las mismas. En primer lugar, hay movimiento rápido, acción o cambio. En segundo lugar, existe algún tipo de barrera o límite más allá del cual el movimiento, la acción o el cambio no deben ir. En tercer lugar, hay dificultades de control por distracción, datos falaces, una retroalimentación retardada, mala información, respuesta lenta o simplemente inercia.

Este tema introductorio trata el fenómeno del sobrepasamiento a una escala mucho mayor, la escala en la que la población humana y la economía extraen recursos de la tierra y emiten desperdicios contaminantes hacia el medio ambiente. Muchas de estas tasas de extracción y emisión han crecido hasta magnitudes insoportables. El medio ambiente ya no las puede mantener. Tras el sobrepasamiento pueden desencadenarse una serie de consecuencias negativas. Una de ellas, desde luego, es algún tipo de choque o crash. Otra es una rectificación deliberada, una corrección, una cuidadosa reducción de intensidad. El crecimiento de cualquier cosa puede resolver algunos problemas, pero crea a su vez otros. Esto se debe a la existencia de los límites; la tierra es finita. El crecimiento de cualquier objeto físico, incluyendo la población humana, sus coches, sus edificios y sus chimeneas, no pueden continuar indefinidamente. Pero los límites importantes en el crecimiento son los límites de volumen global de insumos ( por ejemplo los flujos de energía y materiales necesarios para mantener a la gente, los coches, los edificios y las chimeneas funcionando).



La población humana y la economía dependen de los flujos constantes de aire, agua, alimentos, materias primas y combustibles fósiles de la tierra en un ciclo interminable, constante y repetitivo. Emiten constantemente desperdicios y contaminación que vuelven a la tierra. Los límites del crecimiento son los límites de la habilidad de las fuentes planetarias para proveer ese flujo de materiales y energía aunado con el límite de los sumideros planetarios para absorber la contaminación y los residuos. Una de las causas de sobrepasamiento es el movimiento rápido, el crecimiento, el cambio. En el sistema global, la población, la producción de alimentos, la producción industrial, el consumo de recursos y la contaminación están creciendo y su incremento sigue un patrón de tipo exponencial.

El crecimiento exponencial es la fuerza motriz que impulsa a la economía humana a traspasar los límites físicos de la tierra. La población y el capital son maquinarias de crecimiento en el mundo industrializado.

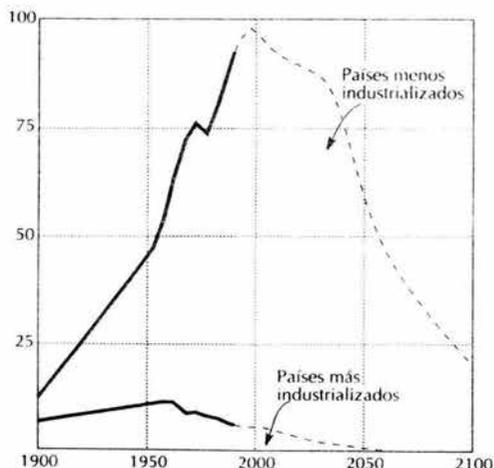
Otras cantidades, tales como la producción de alimentos, la utilización de los recursos, o la contaminación, tienden a incrementarse exponencialmente no porque se multipliquen a sí mismas, sino porque son "arrastradas" por la población y el capital. De la misma manera, la contaminación y los residuos han crecido no a causa de sus propios procesos interiores de retroalimentación, sino porque son arrastrados por la creciente cantidad de materiales utilizados y energía consumida por la economía humana en crecimiento.

### 1.1 CRECIMIENTO DE LA POBLACION MUNDIAL.

En el año 1650 la población humana se cifraba en torno a los 500 millones de personas. Crecía a una tasa de 0.3% anual, correspondiente a un periodo de duplicación de cerca de 250 años. En 1900 la población había alcanzado los 1,600 millones de personas y crecía a una tasa anual de 0.5%, con un periodo de duplicación de 140 años. En el año de 1970 la población totalizaba 3,600 millones de personas y la tasa de incremento poblacional había alcanzado el 2.1% anual. Eso no solo era crecimiento exponencial, era superexponencial (la tasa de crecimiento crecía en sí misma).

Crecía por una feliz razón: la tasa de mortandad estaba cayendo. También decrecían las tasas de natalidad, pero en forma mucho más lenta. Por lo cual la población crecía en forma acelerada. Entre 1971 y 1991 la tasa de mortandad continuó cayendo, pero la tasa de natalidad promedio comenzó a caer más rápidamente. Aunque la población se elevó de 3,600 millones a 5,400 millones, la tasa de crecimiento cayó del 2.1 al 1.7%.

Millones de personas añadidas anualmente



El número de personas que se añaden anualmente a la población mundial ha crecido en forma enorme y las proyecciones indican que seguirá creciendo durante otra década, según las previsiones del Banco Mundial. Estas estimaciones son muy optimistas; tienen en cuenta rápidas caídas en la tasa de natalidad de las naciones menos industrializadas. (Fuente: Naciones Unidas)

Figura 1-1 CRECIMIENTO ANUAL DE LA POBLACION MUNDIAL

Tabla 1-1 ADICIONES A LA POBLACION MUNDIAL, 1971 Y 1991

Año	Pobración (en millones)	X	Tasa de crecimiento (por año)	=	Población Añadida (millones)
1971	3,600	X	2.1 %	=	76
1991	5,400	X	1.7 %	=	92

La gente necesita alimentos, agua, aire y nutrientes para crecer, para mantener sus cuerpos y para engendrar nuevas personas. Las máquinas necesitan energía, agua y aire, además de una enorme variedad de minerales, productos químicos y materiales biológicos, para producir bienes y servicios, para mantenerlos y para producir más máquinas. De acuerdo con las leyes más fundamentales del planeta, los materiales y la energía usada por la población y por el parque de capital no desaparecen. Los materiales son reciclados o se convierten en desperdicios y agentes contaminantes. La energía se disipa bajo la forma de calor inutilizable. La población y el capital toman materiales y la mayor parte de las energías de la tierra y devuelven a ella desperdicios y calor.

Cada recurso usado por la economía humana (alimentos, agua, madera, hierro, fósforo, petróleo y cientos de otros elementos) está limitado tanto por sus fuentes como por sus sumideros<sup>1</sup>. La naturaleza exacta de dichos límites es compleja, porque tanto las fuentes como los sumideros forman parte de un único sistema, dinámico e interconectado: **la tierra**.

Se han sugerido tres simples reglas para ayudar a ordenar esta complejidad y para definir los límites a largo plazo, o los límites sostenibles de insumos totales:

- a) Para una fuente renovable (tierra, aire, bosques, peces) el ritmo o tasa sostenible de explotación no puede ser mayor que la tasa de regeneración. ( De esta forma, por ejemplo, la pesca es sostenible cuando la captura se hace a una tasa que puede ser reemplazada por la restante población de peces ).
- b) Para una fuente no renovable (combustible fósil, elementos minerales de alta pureza, agua fósil del subsuelo, etc.) la tasa sostenible de explotación o uso no puede ser mayor a la tasa con la cual una fuente renovable usada en forma sostenible, pudiera sustituir al elemento no renovable. ( Por ejemplo, un depósito de petróleo sería utilizado en forma sostenible si parte de los beneficios que produce fueran invertidos en forma sistemática en acumuladores solares o en la plantación de árboles, de forma tal que cuando se extinga el petróleo, un flujo equivalente de energía renovable esté disponible ).
- c) Para un elemento contaminante la tasa sostenible de emisión no puede ser mayor que la tasa a la cual el elemento contaminante puede ser reciclado, absorbido o esterilizado por el medio ambiente. ( Por ejemplo, el sistema de alcantarillado puede desembocar en un lago o río en una forma sostenible a una tasa a la cual el ecosistema natural del agua pueda absorber los nutrientes ).

<sup>1</sup> Un sumidero se define como un conducto o canal para el desagüe, o en otras palabras, una cloaca; por lo que se debe entender que un sumidero planetario es el lugar hacia donde los residuos serán desterrados.

Los límites que discuto aquí son aquellos acerca de los cuales la ciencia sabe más. No hay garantía de que en realidad sean los más limitantes. Las tecnologías que se mencionan están en constante evolución, pero aun dado lo incompleto de la comprensión humana sobre los límites, creo que los datos presentados a continuación ofrecen tres puntos claros:

- 1) La sociedad humana está utilizando recursos y produciendo residuos a tasas que no son sostenibles.
- 2) Estas tasas excesivas de insumos no son necesarias. Cambios técnicos, institucionales y de distribución, podrían reducirlas grandemente mientras se mantienen o incluso se mejora la calidad de vida de la población mundial.
- 3) Pero, aun con instituciones y tecnologías mucho más eficientes, los límites a la capacidad de la tierra para soportar a la población y al capital están cerca, probablemente a una distancia no mayor que el tiempo de una duplicación o dos.

## **1.2 LA ECOLOGIA Y SUS PERTURBADORES**

### **1.2.1 RECURSOS RENOVABLES**

#### **1.2.1.1 ALIMENTOS**

La cantidad total de alimentos producidos en el mundo en 1989, si se hubiese distribuido en forma pareja, podría haber alimentado a 5,900 millones de personas con una dieta de subsistencia, a 3,900 millones con una dieta moderada, o a 2,900 millones con una dieta a nivel europeo. (La población ese año era de 5,200 millones de personas). Estas cifras asumen un factor de desperdicio del 40% debido a pérdidas entre la cosecha y el consumo. De los más de 5,000 millones de habitantes de la tierra, 1,000 millones están comiendo en cualquier momento determinado menos alimento que los que su cuerpo requiere. Alrededor de 500 a 1,000 millones sufren hambre crónica. Cada año 24 millones de niños nacen por debajo del peso necesario. En 1990 se estimó que 204 millones de niños de menos de 5 años estaban seriamente desnutridos. A grandes razgos, unos 13 millones de personas mueren cada año por causas relacionadas con el hambre. La mayor parte de los que mueren son niños.

En un detallado estudio de los suelos y climas de 117 países de América Latina, Africa y Asia, la FAO ha estimado que sólo 19 de esos países, con una población conjunta de 104 millones de personas, no estarían en condiciones de alimentar a sus poblaciones estimadas para el año 2000 con sus propias tierras si pudieran usar cada hectárea de tierra productiva y obteniendo los máximos rendimientos técnicamente posibles.

De acuerdo con este estudio, si todas las tierras cultivables fueran asignadas para alimentos, si no hubiera pérdidas por erosión, y si el clima fuera perfecto, la gestión perfecta y la utilización de insumos agrícolas sin restricciones, los 117 países estudiados podrían multiplicar su producción de alimentos por un factor de 16. Un límite obvio a la producción de alimentos es la tierra .

Estimaciones teóricas de la cantidad de tierra disponible para la producción agraria sobre la tierra van de los 2,000 a los 4,000 millones de hectáreas (dependiendo de lo que se considere "cultivable"), de las que en la actualidad se cultivan aproximadamente 1,500 millones.

La superficie realmente cultivada se ha reducido levemente en los últimos veinte años a causa de las pérdidas por la erosión, salinización, urbanización y desertización, que ha superado ligeramente al desarrollo de nuevas especies de cultivo. Durante toda la historia de la humanidad ha habido un considerable exceso de tierras potencialmente cultivables, pero en un lapso de unos 35 años (el período de la última duplicación de la población) ha surgido una repentina escasez.

Durante veinte años desde el primer Día de la Tierra en 1970, los desiertos se han expandido en unos 120 millones de hectáreas, concentrando más tierras que las que actualmente están dedicadas a la agricultura en China... En poco más de dos décadas... los agricultores del mundo han perdido unos 480,000 millones de toneladas de tierra de primera calidad, equivalente a grandes rasgos a las superficies de cultivo de la India. Las políticas cortas de vista conducen a la degradación del recurso básico de la agricultura en prácticamente en todos los continentes: la erosión del suelo en América del Norte; la acidificación del suelo en Europa; la deforestación y desertización en Asia, África y América Latina; y desperdicios y contaminación del agua en casi todas partes...

A finales de la década de 1970 la erosión excedía a la formación en alrededor de un tercio del suelo cultivable en E.E.U.U.... En Canadá, la desintegración del suelo ha costado a los productores agrarios 1,000 millones de dolares anuales... En la India la erosión del suelo afecta a entre el 25% y el 30% de la tierra en cultivo. sin medidas de conservación, las superficies totales de tierras de cultivo de irrigación pluvial en... Asia, África y América Latina se reducirán en 544 millones de hectáreas a largo plazo. En la mayoría de las áreas del Tercer Mundo el problema de la degradación de las tierras es severo.

Se ha estimado que entre seis y siete millones de hectáreas de tierra agrícolas se convierten cada año en improductivas a causa de la erosión. Inundaciones, salinización y alcalinización dañan otros 1.5 millones de hectáreas... El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente reveló que a principios de la década de 1980 un total de 1.501 millones de hectáreas de tierras sin explotar y de cultivos sufrían de una desertización moderada.

Si el flujo de alimentos a través de la sociedad humana fuese más eficiente, padeciera un menor índice de desperdicio, no sería necesario producir más. Aunque también podría generarse más alimentos y de forma sostenible. Pero esas son afirmaciones gratuitas. La realidad actual es que en muchas partes del mundo las fuentes de alimentos (tierras, aguas y nutrientes del suelo) están cayendo y los sumideros de los agentes contaminantes generados en la agricultura se están desbordando. En esos sitios, las tasas de insumos agrícolas totales ya se encuentran más allá de sus límites sostenibles. A menos de que se hagan rápidos cambios (cambios que son realmente posibles) la población mundial en crecimiento exponencial deberá intentar seguir alimentándose de una base agrícola en proceso de degradación.

### 1.2.1.2 AGUA

En reuniones internacionales sobre recursos hemos oído con frecuencia la afirmación de que incluso en la década de 1990 algunas naciones o regiones deberán detener su crecimiento o ir a la guerra, o ambas cosas a la vez, debido a la escasez de agua. En la figura 1.2 el límite físico es la extinción de todos los arroyos y ríos del mundo.

Este es el flujo renovable de donde la economía humana toma todos los insumos de agua fresca. Es una colosal masa de agua, 40,000 kilómetros cúbicos al año. Puede parecer un límite muy remoto, si se tiene en cuenta que el uso humano anual de agua es de 3,500 kilómetros cúbicos al año. En la práctica, sin embargo, los recursos no pueden ser utilizados en todo su potencial.

Mucha de la demanda es estacional. No hay forma posible de almacenar semejante cantidad de agua. Por lo tanto unos 28,000 kilómetros cúbicos por año fluyen hacia el mar en forma de torrentes. Esto deja solo 12,000 kilómetros cúbicos que pueden ser contenidos y contabilizados como un recurso sostenible. Más aún, algunos ríos fluyen en zonas de escasa población, especialmente en los trópicos y en las cercanías de los polos. Los cursos de agua estable accesible representan por lo tanto solo unos 7,000 kilómetros cúbicos al año.

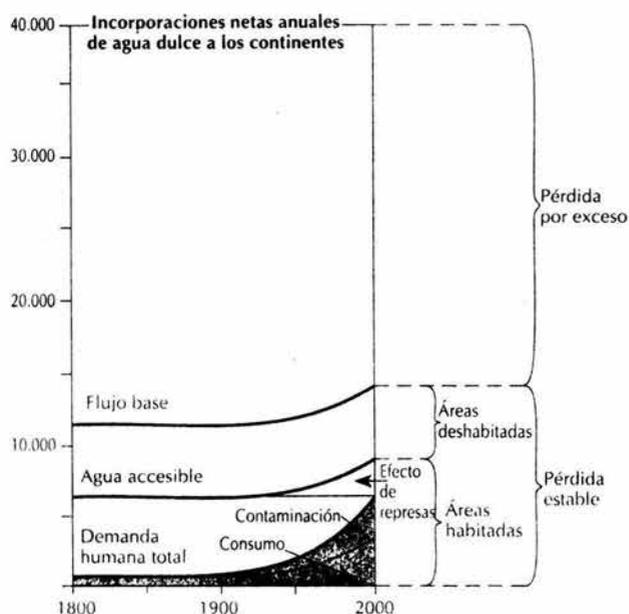
De todas formas la figura 1.2 muestra también que los seres humanos están elevando el límite mediante la construcción de diques y presas para atrapar el agua de torrentes estacionales que de otra forma se perdería. Para finales del presente siglo las presas de construcción humana aumentarán la provisión de aguas sostenibles en unos 3,000 kilómetros cúbicos al año.

Las presas anegan tierras, desde luego, y las tierras de las cuencas hidrográficas que suelen anegarse son en general tierras de alto rendimiento agrícola. Hay otras formas de elevar el límite del agua, como la desalinización del agua del mar nuevos asentamientos en zonas deshabitadas y transporte a larga distancia del agua.

La figura 1-2 también muestra que hay un monumental desperdicio de los recursos hidrológicos. El proceso se hace visible en la línea que denota la contaminación. La cantidad de agua que se inutiliza por la contaminación es casi tan grande como la cantidad usada por la economía humana. Hay además otro desperdicio de agua que no se muestra en la ilustración por el uso ineficaz del agua.

Finalmente hay un crecimiento exponencial de la demanda, impulsado por la población y el capital. La mayor parte de las sociedades con limitaciones de agua, ricas y pobres, se abandonan a la tentación de explotar las reservas de agua subterráneas en forma insostenible. Edificios en Bangkok y de la Ciudad de México se están hundiendo porque el agua subterránea que fluye debajo de ellos ha sido consumida. La explotación del agua subterránea, la importación de agua y la desalinización son estrategias que pueden sostener localmente, durante cierto tiempo, una economía que ha crecido más allá de los límites de sus reservas de agua.

Kilómetros cúbicos por año



Un gráfico de los recursos globales de agua dulce y su utilización muestra con qué velocidad el crecimiento exponencial en el consumo y en la contaminación puede acercar la cantidad total de agua estable a la que es accesible para el hombre.

En 1950 la demanda humana de agua dulce representaba sólo la mitad del agua accesible. Sólo un esforzado programa de construcción de presas dejaría algún margen entre la demanda y la oferta para el año 2000.

Figura 1-2 RECURSOS DE AGUA DULCE

### 1.2.1.3 BOSQUES

Antes de que la especie humana inventara la agricultura había 6,000 millones de hectáreas de bosques sobre la tierra. Ahora quedan 4,000 millones, y sólo 1,500 millones son bosques primarios inalterados. La mitad de esa pérdida forestal ocurrió entre 1950 y 1990.

El primer intento serio de evaluar las tasas de deforestación tropical, realizado por la FAO en 1980, arrojó una cifra de 11,4 millones de hectáreas anuales perdidas. A mediados de la década de 1980 esa cifra había subido a 20 millones de hectáreas anuales. Tras algunos cambios en la política forestal, especialmente en Brasil, la tasa perdida de bosques parecía haber descendido en 1990 a unas 17,000 hectáreas anuales. Los motivos para la deforestación varían de una nación tropical a otra.

Entre los responsables de esta catástrofe se encuentran las empresas multinacionales madereras y papeleras; los gobiernos ansiosos de incrementar las exportaciones y pagar la deuda externa; ricos terratenientes locales; productores de carne; granjeros; y habitantes pobres que aspiran a una parcela cultivable o al uso de madera para leña.

Estos actores suelen trabajar en concierto: el Gobierno, invitando a las compañías; las compañías, deforestando para exportar la madera; y la población pobre que se desplaza a lo largo de las rutas madereras, buscando tierra para producir.

El Banco Mundial pronostica que a lo largo de la próxima década la cantidad de países tropicales que exportan madera caerá de 33 a 10. La sobreexplotación es una amenaza para los bosques. Otra es la contaminación. Tres cuartos de los bosques europeos, durante años gestionados para obtener de ellos una producción sostenible, se han visto seriamente dañados por la contaminación del aire y la lluvia ácida.

El daño producido a los bosques por la contaminación se estima que cuesta a Europa unos 30,000 millones de dólares anuales, casi tanto como el valor de la producción anual de hierro y acero de Alemania, y tres veces más que los gastos anuales europeos en el control de la contaminación del aire. Aún en el caso de que Europa reduzca las actuales emisiones de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y amoníaco entre un 60% y un 80%, algunos de sus bosques seguirán estando amenazados.

Sólo los bosques tropicales que cubren escasamente el 7% de la superficie de la tierra albergarían a un 50% de las especies sobre la Tierra. Los bosques toman y fijan un gran stock de carbono, que ayuda a mantener el equilibrio del stock de dióxido de carbono en la atmósfera, y sirven por lo tanto para combatir el fenómeno invernal.

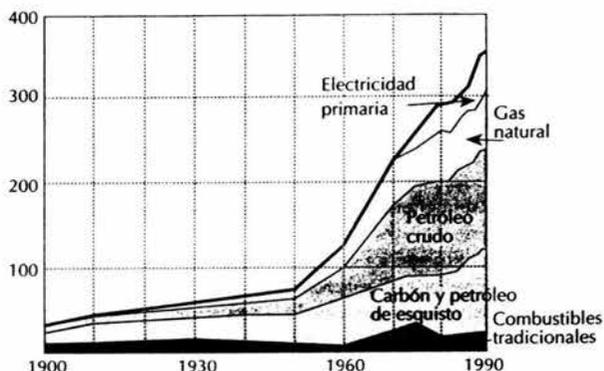
## **1.2.2 RECURSOS NO RENOVABLES**

### **1.2.2.1 COMBUSTIBLES FOSILES**

Los insumos totales de la economía humana han crecido entre 1860 y 1985 por un factor de 60. El consumo de la energía mundial ha seguido creciendo, en forma desigual pero inexorable, a través de las guerras, recesiones, inestabilidades de precios y cambios tecnológicos (figura 1.3). La mayor parte de la energía fluye a través del mundo industrializado. El promedio europeo utiliza entre 10 y 30 veces más energía comercial que la población promedio en un país en desarrollo, y el promedio estadounidense usa 40 veces más.

Las tasas de utilización de energía y la contribución relativa de distintas fuentes reflejan la evolución de la tecnología además del crecimiento de la población mundial. Pese a que los combustibles fósiles dominan la provisión de energía primaria, la participación del carbón alcanzó su máximo en torno a 1920, cuando constituía más del 70% del combustible consumido; la participación del petróleo alcanzó su máximo en torno a la década de 1970 con una aportación de un poco más del 40%. El gas natural, que es menos contaminante que el petróleo y el carbón, se espera que contribuya más en el futuro al uso global de energía. La electricidad primaria en éste gráfico incluye tanto la energía hidroeléctrica como la nuclear.

Millones de terajoules por año



La Conferencia sobre la Energía Mundial preveía en 1989 que un crecimiento a las tasas habituales de la población y el capital incrementarían la demanda mundial de energía en otro 75% para finales del año 2020, y que el conjunto de combustibles que proveen dicha energía seguirían dominados por los combustibles fósiles no renovables: carbón, petróleo y gas.

Figura 1.3 UTILIZACION MUNDIAL DE LA ENERGIA

En la actualidad el 88% de la energía comercial usada en el mundo procede de combustibles fósiles. Entre 1970 y 1990 la economía mundial quemó 450,000 millones de barriles de petróleo, 90,000 millones de toneladas de carbón, y 1,1 billones de metros cúbicos de gas natural. Los combustibles fósiles son fuentes no renovables. Cuando son quemadas se convierten en dióxido de carbono, vapor de agua, dióxido de azufre y otros numerosos productos de la combustión que no vuelven (en una escala de interés humano) a combinarse para reconstituir combustibles fósiles. En lugar de ello constituyen desperdicios y elementos contaminantes que entran en los sumideros planetarios ( ver tabla 1-2 ).



La combustión produce elementos contaminantes que entran en el último sumidero disponible: los procesos biogeoquímicos del planeta, que reciclan los agentes contaminantes, o los hacen inocuos o son envenenados por ellos. Otro tipo de contaminante se genera en cada una de las fases del flujo de combustibles fósiles, desde el descubrimiento hasta la producción, refinado, transporte y almacenamiento.

Tabla 1-2

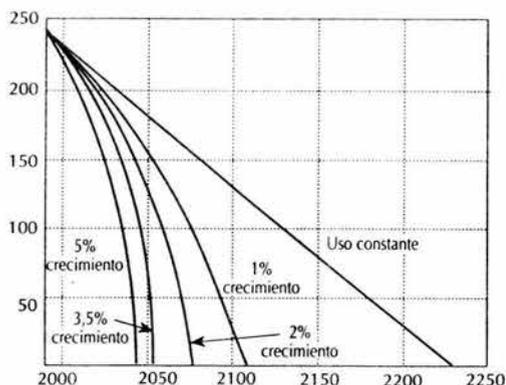
**RESERVAS MUNDIALES Y PRODUCCION DE PETROLEO,  
REGIONES Y NACIONES SELECCIONADAS**

Región o nación	Producción acumulada hasta 1988	Producción de 1988 sin descubrir	Reservas conocidas	Estimación de reservas
Mundo	610.1	21.3	92.1	75-945
Oriente Medio	160.2	5.1	584.8	66-199
URSS	103.6	4.5	80.0	46-187
EE UU	152.7	3.0	48.5	33-70
Asia	36.8	2.2	42.8	37-148
Africa	46.4	2.0	58.7	20-92
América del Sur	57.9	1.4	43.8	18-86
Europa Occidental	15.7	1.4	43.8	11-56
México	15.7	0.9	27.4	15-75
Canadá	14.3	0.5	7.0	9-57
Europa del Este	6.8	0.1	2.0	1-41

De todos los combustibles fósiles, el gas natural emite la menor contaminación por unidad energética, y por lo tanto puede sustituir prestamente al carbón y petróleo en el futuro, lo que acelerará su propio agotamiento a un nivel que sorprenderá a aquellos que no aprecian en toda su magnitud la dinámica del crecimiento exponencial ( ver fig. 1-4 )

Si los descubrimientos eventuales cuadruplican las actuales reservas globales de gas natural, la tasa actual de consumo de combustible puede sostenerse hasta el año 2230. Pero el agotamiento del petróleo combinado con problemas de medio ambiente del carbón podrían desplazar el peso hacia el gas. Si el consumo de gas continuara creciendo a su tasa actual de 3.5% anual, una cantidad de gas igual a cuatro veces las actuales reservas conocidas será consumida para el 2054.

Duración posible de las reservas restantes



**Figura 1.4 AGOTAMIENTO DE LAS RESERVAS MUNDIALES DE GAS SUPONIENDO DIFERENTES TASAS DE CRECIMIENTO EN EL CONSUMO.**

Un punto importante es que los combustibles fósiles no son sostenibles, son sorprendentemente limitados, especialmente cuando se los usa en forma exponencial, y no se deben desperdiciar. El stock de reservas no descubiertas puede ser muy grande, pero es finito y no renovable y se encuentra en declinación. Hay sustitutos renovables para los combustibles fósiles. No es necesario que llegue a haber una escasez global de energía.

Están disponibles opciones de energía que son sostenibles en la fuente, soportables ambientalmente, técnicamente posibles y crecientemente económicas. Algunas de mayor eficiencia y de rápida implementación frente a otras que tomaría solo un poco más de tiempo como son las energías renovables de base solar.

La eficiencia energética implica producir los mismos servicios energéticos finales (habitaciones con calefacción, iluminadas y refrigeradas, transporte para personas y carga, agua potable, motores en funcionamiento, etc), pero usando menos energía para esos objetivos. Supone la misma o mejor calidad de vida material, habitualmente a un menor costo, pero no solo un menor costo directo energético, sino además menos contaminación, menos consumo de las fuentes internas de energía, menos conflicto sobre el emplazamiento de las plantas y, para muchas naciones, menos deuda externa y menos costo militar para mantener el acceso o controlar los recursos exteriores.

Los cálculos de cuánta energía pueden ahorrarse a través de la eficiencia dependen de las predilecciones políticas y técnicas de las personas que hacen los cálculos. Algunos creen que Europa occidental y Japón (las economías del mundo actualmente más eficientes en la utilización energética), podrían incrementar su eficiencia por un factor entre 2 y 4 con tecnologías ya disponibles o fácilmente previsible en los próximos veinte años. Una eficiencia de esa magnitud permitiría proveer la energía para todo el mundo desde una fuente renovable de base solar: sol, viento, hidroelectricidad, y biomasa como la madera, maíz o caña de azúcar. El sol vierte a diario mucha más energía sobre la tierra que la que los humanos pueden usar.

El uso humano total de combustible fósil constituye un flujo de energía igual a cinco millones de watts. El flujo constante del sol hacia la superficie de la tierra representa 80,000 terawatts. Los avances tecnológicos en materia de sistema para la captura de energía solar han sido más lentos que los destinados a elevar la eficiencia, pero sin embargo han sido constantes. En 1970 la electricidad fotovoltaica se generaba a un costo de capital de 150 dólares por watt. En 1990 el costo había caído a 4.50 dólares por watt. La electricidad de generación térmico-solar y eólica en los emplazamientos apropiados ya es competitiva en costos y hay más tecnologías de esta naturaleza en el horizonte.

Las fuentes de energía renovable no son necesariamente inocuas para el medio ambiente y no son ilimitadas. Los molinos de viento requieren tierras y carreteras de acceso. Algunos tipos de células solares contienen materiales tóxicos. Las represas hidroeléctricas inundan las tierras y arruinan los cursos de agua de flujo libre. La energía de biomasa es sólo sostenible en la medida en que los son la agricultura o la explotación forestal que producen la biomasa. Algunas fuentes solares son diluidas e intermitentes y requieren amplias áreas de recolección y complejos mecanismos de almacenamiento, y todos ellos requieren capital físico y una gestión cuidadosa.

Por otra parte, las fuentes de energía renovable tiene una limitación de velocidad. Pueden fluir indefinidamente pero a un paso constante. No pueden soportar cualquier tamaño de población, ni el incremento indefinido del capital de plantas. Pero pueden proveer la energía básica para la sociedad sostenible del futuro.

### 1.2.2.2 MATERIALES

A veces uno oye hablar de una sociedad "postindustrial" que utilizará menos materiales, porque la economía consistirá en menos industria y más servicios.

La idea no tiene en cuenta hasta dónde los servicios dependen de la base industrial y de los materiales traídos de todo el mundo. Se escribió una vez sobre una máquina habitual del sector de servicios, una máquina de escribir (su descripción también se aplicaría a los ordenadores, impresoras laser y equipo de fax): "La máquina de escribir que estoy utilizando ahora probablemente contiene aluminio de Jamaica o de Surinam, hierro sueco, magnesio checo, manganeso de Gabón, cromo de Rodesia, vanadio soviético, zinc peruano, níquel de Nueva Caledonia, cobre de Chile, estaño malayo, columbio nigeriano, cobalto de Zaire, plomo yugoslavo, molibdeno canadiense, arsénico frances, tantalio de Brasil, antimonio de Sudáfrica, plata mexicana, y rastros de otros metales igualmente peregrinos. El esmalte puede contener titanio noruego, el plástico está fabricado con petróleo de Oriente Próximo (refinado con tierras raras de EE UU como catalizador) y cloro (extraído con mercurio español); la arena de la fundición proviene de una playa australiana; las herramientas usan tungsteno chino; el carbón provino de Ruhr; el producto final consume quizá demasiados pinos escandinavos.

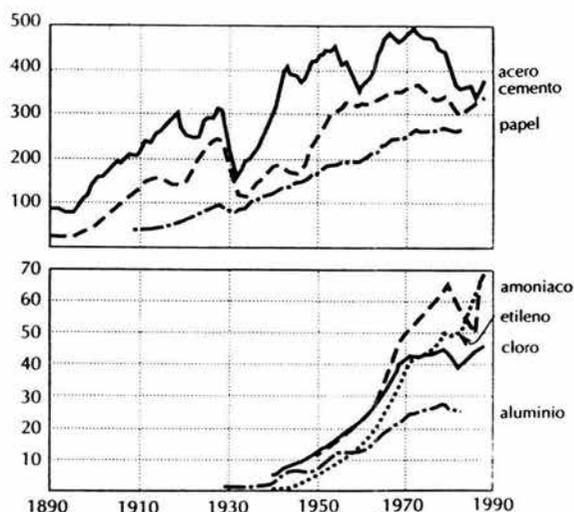
La descripción es útil no solo para señalar las rutas entregidas a lo largo de las cuáles la economía industrial mueve materiales, sino también para enfatizar que cada pieza de la máquina de escribir se originaba en la tierra. Una vez que ha pasado la vida útil de la máquina de escribir, lo más probable es que acabe en la tierra también.



La corriente de materiales de la tierra a través de la economía y de regreso a la tierra puede ser diagramada de la misma forma que el flujo de los combustibles fósiles, con una salvedad. A diferencia de los combustibles fósiles materiales como los metales, el cemento, el plástico y el cristal no se transforman en gases de combustión tras su uso. O se acumulan en alguna parte como desperdicios sólidos, o se reutilizan por el reciclado, o se trituran y pulverizan, se destiñen, vaporizan, o se los dispersa por el suelo, el agua o el aire.

La ilustración siguiente muestra la historia de la utilización de materiales por persona en un país, que supuestamente se desplaza hacia una modalidad postindustrial, Estados Unidos.

*Kilogramos por persona al año*



**Figura 1-5 TENDENCIAS EN EL CONSUMO ESTADOUNIDENSE DE MATERIALES**

Las tendencias en el consumo *per cápita* de siete materiales ejemplifican la utilización promedio de materiales básicos en Estados Unidos. Entre los siete hay tres materiales "tradicionales": acero, cemento y papel. Los otros materiales "modernos" son: aluminio, amoníaco, cloro y etileno. El uso *per cápita* de los materiales tradicionales se ha nivelado, con la excepción de las alteraciones de los ciclos económicos. La utilización *per cápita* de los nuevos materiales se ha elevado continuamente hasta la declinación económica de comienzos de la década de 1980.

Los industriales con visión de futuro están diseñando productos, desde teteras hasta coches, teniendo en cuenta el desguace y reciclado final de los materiales.

Un nuevo modelo de coche de la BMW tiene una carrocería de plástico diseñado para un reciclado fácil. Los plásticos ahora vienen marcados con su tipo de resina, y hay pocos tipos que se mezclen entre sí, de forma tal que puedan ser separados y reutilizados.

Separar y reciclar materiales después de su uso es un paso más a la **Sostenibilidad**. En otras palabras, comienza el hombre a mover los materiales a través de la economía humana de la forma en que se mueven a través de la naturaleza: en ciclos.

En la naturaleza, el desperdicio de un proceso se convierte en el insumo de otro proceso. Sectores íntegros de los ecosistemas, particularmente en los suelos trabajan para separar los materiales de los desperdicios de la naturaleza, aislarlos en trozos utilizables y enviarlos de regreso como firmas vivas nuevamente ( analizar tabla 1-3 ).

Tabla 1-3 **MINERALES DE IMPORTANCIA ECONOMICA: RELACIONES DE TENOR EXPORTABLE CON LA ABUNDANCIA CORTICAL MEDIA**

Elemento	Abundancia cortical(%)	Tenor limite explotable(%)	Relación
Mercurio	0.0000089	0.1	11,200
Tungsteno	0.00011	0.45	4,000
Plomo	0.0012	4.0	3,300
Cromo	0.011	23.0	2,100
Estaño	0.00017	0.35	2,000
Plata	0.0000075	0.01	1,330
Oro	0.00000035	0.00035	1,000
Molibdeno	0.000132	0.1	770
Zinc	0.0094	3.5	370
Manganeso	0.13	25.0	190
Níquel	0.0089	0.9	100
Cobalto	0.0025	0.2	80
Fósforo	0.12	8.8	70
Cobre	0.0063	0.35	56
Titanio	0.64	10.0	16
Hierro	5.820	20.0	3.4
Aluminio	8.3	18.5	2.2

La moderna economía humana está finalmente desarrollando también un sector de reciclado. Pero reciclar la basura es hacerse cargo del último y menos problemático escalón del flujo de materiales.

Una regla poco afinada estima que cada tonelada de basura en el extremo consumidor del flujo ha requerido además la producción de cinco toneladas de desperdicio en el proceso de manufactura y veinte toneladas de residuos en el punto de la extracción inicial (minería, bombeo, tala, granja).

**La mejor forma de reducir dichos flujos de residuos es reducir el flujo de materiales desde la fuente.**

El incremento de la vida útil de los productos a través de un mejor diseño, preparación y reutilización (como, por ejemplo, la utilización de botellas retornables y el lavado de copas en lugar de usar las desechables) es más efectivo que reciclar, porque no requiere aplastar, moler, derretir, purificar y volver a fabricar los productos reciclados.

Duplicar la vida útil de cualquier producto reduce a la mitad el consumo de energía, la generación de residuos y la contaminación, y el agotamiento último de todos los materiales utilizados en su fabricación.

Las posibilidades del reciclado, la mayor eficiencia, el incremento en la vida de los productos y reducción en la fuente, en el mundo de los materiales son exitantes. A una escala global, no obstante, no han reducido todavía el vasto flujo material a través de la economía.

En el mejor de los casos han reducido su tasa de crecimiento. Miles de millones de personas entre tanto todavía ansían coches y refrigerados, y esos miles de millones crecen en forma exponencial. La economía mundial utiliza cada año alrededor de 2000 millones de toneladas de minerales no combustibles. Esa alta tasa de flujo material reduce la concentración de los minerales, incrementa el uso de energía y el desperdicio en la producción, llena fosos y emite contaminantes en todo el proceso. Los materiales deberán ser tratados como los dones preciosos y limitados de la tierra que son en realidad. La idea de la "Sociedad descartable" se hará obsoleta.

### **1.3 LA CONTAMINACION**

#### **1.3.1 DEPRESIONES PARA CONTAMINACION Y RESIDUOS**

Los éxitos más grandes en lo que a contaminación se refiere, provienen de la identificación y prohibición de los elementos tóxicos para la salud humana. Las naciones industrializadas se las han arreglado para reducir en forma sustancial algunos de los elementos contaminantes más visibles y fácilmente manipulables (como las partículas de hollín). A otros los han mantenido a raya a pesar de un fuerte incremento en las fuentes de emisión.

En la actualidad los peóres niveles de contaminación del agua y del aire se encuentran en Europa de Este y en el Tercer Mundo, donde es inimaginable la inversión de miles de millones de dolares para abatir esa amenaza. Y eso es lo que se ha hecho con un tipo de agentes contaminantes que son química y políticamente fáciles de abatir. Los contaminantes más intratables, al menos hasta en momento, son los residuos nucleares, residuos de riesgo y residuos que amenazan los procesos bioquímicos globales, como los gases del efecto invernadero. Químicamente son los más difíciles de secuestrar o detoxificar, fisiológicamente los más difíciles de detectar por los sentidos, y económica y políticamente los más difíciles de regular.

Los residuos más intratables y de mayor riesgo son los productos químicos sintetizados por el hombre. Como nunca antes habían existido sobre el planeta, no se han desarrollado organismos capaces de desintegrarlos y hacerlos inócuos. En la actualidad hay un total de 65,000 productos químicos industriales en el uso comercial habitual. Los datos toxicológicos están disponibles solo para aproximadamente para el 1% del total. Cada día entran al mercado entre 3 y 5 productos químicos. Un 80% de éstos productos no son probados para ver su toxicidad.

Cada día, un millón de toneladas de residuos peligrosos se generan en el mundo, un 90% de ellos en el mundo industrializado. En un día promedio en Estados Unidos, hay cinco accidentes industriales que implican residuos peligrosos. Recientemente, Noruega ha encontrado 7,000 emplazamientos donde el suelo está contaminado con agentes químicos y metales peligrosos; el gobierno estima que su eliminación costará entre 3,000 y 6,000 millones de dólares. A medida que las naciones industrializadas comienzan a encontrar suelos y aguas subterráneas contaminadas por décadas de vertidos químicos irresponsables, se registra una creciente presión en las naciones en vía de industrialización del Sur para aceptar procesos de manufactura o vertidos de residuos que ya no se consideran tolerables en el Norte.

Luego están los elementos que contaminan los grandes flujos de energía y materiales de la tierra en su conjunto. Estos contaminantes globales, sin importar quien los genera, afectan a todos.

El ejemplo más dramático de contaminante global ha sido el efecto de los agentes químicos industriales denominados clorofluorocarbonos sobre la capa de ozono de la estratósfera. Muchos científicos consideran que el siguiente límite global con el que la humanidad deberá enfrentarse es el denominado efecto invernadero, o la trampa del calor por el cambio global del clima.

En lo últimos veinte años se ha descubierto que otros gases de invernadero emitidos por la actividad humana también crecen en forma exponencial en la atmósfera: metano, óxido nitroso y los mismos clorofluorocarbonos que amenazan la capa de ozono. La contaminación no es signo de progreso. Es un signo de ineficiencia y falta de cuidado. Las industrias descubren formas de reducir las emisiones contaminantes rediseñando los procesos de manufacturación desde el principio hasta el final, usando "tecnología limpia" y "sistemas de prevención cautelares".

El rediseño de los procesos productivos para impedir la contaminación puede ser eficiente en materia de costos, aún cuando el mercado no está dispuesto a descontar los costos medioambientales.

El potencial del ingenio humano para reducir la contaminación está aún sin explorar. Si la vida media de cada producto que fluye a través de la economía humana se pudiera duplicar, se pudiera reciclar el doble de materiales que en la actualidad y se redujera a la mitad la cantidad de material necesaria para generar cada producto, el saldo sería una reducción de los insumos globales por un factor de 8.

Si la utilización de la energía se hiciera más eficiente, si se utilizaran fuentes de energía renovable, si la tierra, los bosques, los alimentos y el agua se usaran con un mayor margen de aprovechamiento y se reestablecieran los bosques, se podría detener el crecimiento de los gases de invernadero y de muchos otros agentes contaminantes. Llevar el consumo de energía y materiales por debajo de los límites de sus fuentes reduce automáticamente los flujos contaminantes.

### **1.3.2 MAS ALLA DE LOS LIMITES DE LOS INSUMOS GLOBALES**

Muchas personas reconocen, al menos a un nivel local, que los insumos destinados a la economía han crecido más allá de sus límites. En el caso de algunos problemas particulares, como el de los CFC que erosionan la capa de ozono no solo ha habido un reconocimiento de "sobrepasamiento", sino ciertos esfuerzos internacionales para adoptar acciones correctivas. Pero hay escasa difusión del problema general del "sobrepasamiento", escasa presión en cuanto a los cambios técnicos que son necesarios con urgencia, y escasa voluntad de hacer frente a las fuentes subyacentes al crecimiento de la población y el capital.

Cualquier conversación sobre los límites se transforma en un amargo debate, ya en curso, sobre quienes son los verdaderos contaminantes de mundo. Los insumos globales por tonedad de acero son mayores para una planta ineficiente del este Europeo que para un supereficiente minicomplejo siderúrgico japonés.

Se afirma que un suizo utiliza tanta energía como 40 somalíes, y un ruso usa tanta energía como un suizo sin obtener de ello ni siquiera un nivel de vida decente. Si el mundo en su conjunto está excediendo sus límites, quién debería hacer algo a cerca de ello: ¿los ricos dilapidadores o los pobres que se multiplican, o los torpes exsocialistas ?.

Los defensores del medio ambiente resumen las causas del deterioro del medio ambiente con una fórmula que denominan IPAT: Impacto = Población x Afluencia x Tecnología

El impacto (insumos globales) de cualquier población o nación sobre las fuentes o sumideros del planeta es el producto de su población (P) multiplicada por su nivel de afluencia (A) multiplicado por el daño que ocasionan tecnologías particulares (T) que soportan esa afluencia.

Tál como lo ha dicho el economista del MIT Lester Thurow, *"si la población del mundo tuviera la productividad de los suizos, los hábitos de consumo de los chinos, el instinto igualitario de los suecos y la disciplina social de los japoneses entonces el planeta podría soportar muchas veces su actual población sin privaciones para nadie. Por otra parte, si la población mundial tuviera la productividad de el Chad, los hábitos de consumo de Estados Unidos, los instintos antiglobalistas de la India y la disciplina social de Argentina, entonces el planeta no podría soportar nada que se acercara a sus cifras actuales"*.

## **1.4 IMPACTOS NEGATIVOS DE LA BASURA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE DE MEXICO.**

### **1.4.1 CONTAMINACION Y RIESGOS A LA SALUD PUBLICA**

Los residuos sólidos son un medio ideal para el desarrollo de la fauna nociva, ya que le proporciona el alimento diario, la madriguera y una zona segura de reproducción. Por lo tanto, insectos y roedores son huéspedes constantes en los sitios donde los residuos son manejados y almacenados en forma inadecuada.

Este problema se presenta, primeramente, en las fuentes de generación, ya sea domiciliaria o de cualquier otro tipo, con la consecuente agresión a la salud de los habitantes y a la economía del cualquier país.

Millones de roedores pululan por las alcantarillas, lotes baldíos, centros de abasto, comercios, casas habitación y cualquier otro lugar que les ofrezca condiciones de seguridad para su existencia y que no les falte el suministro de alimento para ellos y sus críos. Los roedores diezman los abastos, contaminan con heces y orines los viveres y otros alimentos de la población de un país y por supuesto, son transmisores de enfermedades.

Los mosquitos, moscas, cucarachas y hormigas, transmiten también a los humanos una infinidad de enfermedades, además de las molestias sanitarias que ocasionan a cualquier población en general.

Otro problema de salud pública, que se encuentra latente debido a los residuos sólidos es la dispersión de agentes patógenos que son transportados por los mismos y que causan enfermedades. Los agentes se dispersan por el acarreo de insectos y roedores.

El problema más grave en el manejo de los residuos sólidos, es el de la contaminación, que se presenta en los sitios de disposición final, ya que siempre está latente la posibilidad de degradar la calidad del agua, por la infiltración del "lixiviado" hasta los mantos acuíferos, de donde se extrae la mayor cantidad de agua que consume la humanidad.

El mecanismo de contaminación es sencillo: el agua de lluvia se pone en contacto con el extracto de residuos depositados, lo atraviesa y el líquido resultante, llamado "lixiviado" con características altamente contaminantes por la carga orgánica y los metales pesados que lleva en su composición, se infiltra en el subsuelo, pudiendo llegar en ocasiones a los mantos acuíferos, y desde luego la generación de malos olores detectables en los sitios de tiraderos a cielo abierto.

Cuando se llega a incendiar los sitios de disposición final, se aporta una variedad de contaminantes a la atmósfera en una cantidad no cuantificada de partículas parcialmente quemadas y gases. Entre estos últimos destacan: dióxido de carbono, compuestos nitrogenados, compuestos azufrados, compuestos clorados y otra gama de la más diversa índole, incrementando los niveles de contaminación en los lugares aledaños a los sitios de disposición.

Además de contaminantes, los incendios ponen en peligro la integridad de los trabajadores y "pepenadores" que laboran en estos sitios. Por lo que respecta a la contaminación del suelo, los resultados son evidentes: el suelo se inutiliza para cualquier otro uso. En ocasiones, los sitios que fueron tiraderos a cielo abierto pueden regenerarse, pero el costo económico sale del alcance presupuestal de muchas poblaciones del Orbe.

## 1.4.2 IMPACTO SOCIAL

Existe en los sitios de disposición, una población que por muchos años ha permanecido allí, desarrollando sus actividades de vida, se les llama "pepenadores", porque llevan a cabo la segregación de los objetos y materiales contenidos en la basura que tienen un valor en el mercado nacional.

La cantidad de los pepenadores ha crecido con el tiempo, y su control por parte de las autoridades de los países en vías de desarrollo se ha perdido desde hace varios años. Utilizados y manipulados por líderes y partidos políticos, se han convertido en los dueños de los sitios de disposición, y sus líderes han creado verdaderos cacicazgos urbanos. En la tabla 1-4 se pueden apreciar los diversos materiales que son más susceptibles de reciclado, y por lo tanto, de pepena.

Tabla 1-4 LOS SUBPRODUCTOS RECICLABLES

Subproducto	% En peso	% Recuperable	Subproductos Reciclables
Cartón	4.10	70	2.87
Tetrapack	1.66	50	0.83
Hueso	0.80	50	0.40
Lata	2.52	60	1.51
M. Ferroso	0.76	60	0.46
M. No Ferroso	0.60	40	0.24
Papel	9.63	45	4.33
Pañal desechable	3.66		
Plástico película	3.42	55	1.88
Plástico rígido	2.28	55	1.25
Residuos alimenticios	34.70		
Trapo	1.94	60	1.16
Vidrio color	3.44	75	2.58
Vidrio transparente	4.25	75	3.19

El problema de los pepenadores rebasa el ámbito de cualquier autoridad y se ha convertido en un quebradero de cabeza que requiere pronta solución. Para ello, se requiere elevar los niveles de vida, ahora subhumanos que existen en estos sitios. Es del conocimiento popular que la venta de residuos sólidos es en la actualidad parte de una economía subterránea que difícilmente se saneará.

Por otra parte, en los últimos veinte años, la presencia de los plásticos a nivel masivo y la producción de artículos de un solo uso ha tenido un impacto negativo en la cultura de cualquier población, desterrando buenas costumbres y hábitos que se tenían.

Mientras que el plástico representaba, en los principios de los sesentas, del uno al dos por ciento en peso, de los residuos generados en casa habitación; en la actualidad, sus modalidades (Plástico película y rígido, poliuretano y poliestireno expandido) representa para el país, el siete por ciento. El pañal desechable, en aquellos días, no se presentaban o había indicios. Ahora representa un poco más del tres por ciento.

En aquella época, el vidrio representaba un máximo del tres por ciento, mientras que ahora representa más del siete por ciento. La materia orgánica estaba en el orden de los 65 a 70 por ciento; en la actualidad, solo representa del 34 al 45 por ciento del total de residuos. Finalmente, el cartón disminuyó en forma considerable, del 6 al 7 por ciento en la década de los sesentas a tan sólo un poco más del 4 por ciento en nuestros días.

Actualmente se generan aproximadamente 200 gramos más de residuos sólidos por persona, diariamente, con respecto a lo que se generaba hace apenas 25 años, ya mencioné que el tipo de residuos ha cambiado considerablemente.

En el cuadro anterior se presenta la composición de los residuos sólidos con base a los materiales que presentan una opción de venta en el mercado actual en México. En él, se refleja el desarrollo tecnológico que está viviendo México. Sin embargo, el abuso consumista y la introducción de elementos más baratos -y quizá más prácticos-, han aumentado el volumen de residuos sólidos que se generan en el país.

Hemos pasado de ser generadores de residuos con un alto contenido de materia orgánica y con pocos materiales de lenta degradación, a generadores de residuos con un alto contenido de materiales de muy lenta degradación.

La población en general no comprende cabalmente que los residuos degradan el paisaje. Basta con viajar hacia los lugares fuera de la mancha urbana, para observar la molesta presencia de los residuos en las carreteras, y aún en las zonas de turismo y recreación del país.

#### **1.4.3 IMPACTO SOBRE LOS SISTEMAS ADMINISTRATIVOS**

En los sistemas de aseo público, la ignorancia y el tiempo fueron engendrando vicios que en la actualidad están bien enraizados, y que proporcionan alicientes a los trabajadores que van en contra del sistema. Estos vicios toman grandes magnitudes en los sistemas de barrido y recolección. Esto aunado a la importante falta de sistemas administrativos actualizados y un control de mayor calidad, tienen en un profundo bache a los sistemas de aseo público.

#### **1.4.4 IMPACTO ECONOMICO**

Las deficiencias y la mala administración de los sistemas de aseo, inciden en forma notable en la economía de los municipios. Se ha determinado que la eficiencia del sistema de recolección, varía del 65 al 75 por ciento; que el sistema de barrido mecánico llega a penas al 50 por ciento y en el sistema de transferencia, el de más alta eficiencia, se manejan números del 75 a 80 por ciento. Hay que resolver esta grave situación, pues ocasiona un uso ineficiente de los recursos humanos y económicos de los sistemas de aseo.

Estas deficiencias, resultado de un trabajo realizado por muchos años de manera no óptima, demuestra que los servicios de aseo público deben de recibir mayor importancia por parte de las autoridades, no con mayores presupuestos, sino mejorando métodos técnicos y administrativos que conlleven a una óptima utilización del personal y equipo, así como la elevación de los sistemas a un mejor nivel, para resolver el aseo público, problema que hay que enfrentar todos los días del año.

De continuar incrementándose el rezago, con el tiempo no habrá presupuesto que alcance, y esos cada vez mas altos presupuestos no necesariamente se reflejarán en un mejor servicio a la ciudadanía. Por supuesto el ataque degradante al medio ambiente será ascendente e irreversible en sus consecuencias.

A continuación se contempla una tabla que nos indican cuál es la situación actual y la que se espera para el año 2000 en la República Mexicana en materia de residuos sólidos.

**Tabla 1-5 PROYECCION DE GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS**

Año	Población (Miles) (Kg./Hab.Día)	Generación Per-cápita (Toneladas)	Generación Domicilio (Toneladas)	Otros (Toneladas)	Generación Total (Toneladas)
1988	81'640	0.566	47,482	9,496	58,619
1992	96'240	0.613	58,962	11,792	70,754
2000	107'777	0.718	77,365	15,473	92,838

## **CAPITULO II**

### **RESIDUOS SOLIDOS: UNA CONSECUENCIA DE LA VIDA**

## RESIDUOS SOLIDOS: UNA CONSECUENCIA DE LA VIDA.

El flujo de los materiales en nuestra sociedad pueden ser ilustrados por el esquema de la figura 2-1. Este diagrama enfatiza el hecho de que nosotros no "consumimos" materiales; nosotros solamente los usamos y finalmente los retornamos, generalmente cambiando su estado original, al medio ambiente. La producción de mercancías útiles para su eventual uso por ésta gente llamada "consumidores" requiere de una entrada de materiales. Estos materiales se originaron de una de tres fuentes:

- \* materiales crudos, los cuales son recogidos de la superficie de la tierra y usados para la fabricación de productos;
- \* materiales de desecho producidos durante la operación de fabricación;
- \* materiales recobrados después de que el producto ha sido usado.

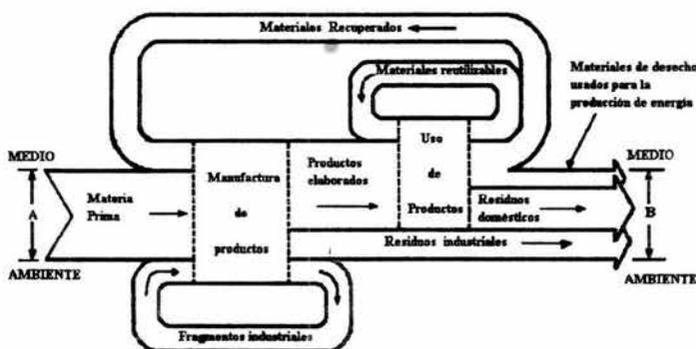


Figura 2-1 EL FLUJO DE MATERIALES EN LA SOCIEDAD

Las operaciones industriales no son totalmente eficientes, y por esto producen algunos residuos de los cuales se deben deshacer. Las constantes existencias son vendidas a los compradores de productos, el cual a su momento, tiene tres opciones después de usarlo:

- tirarlo
- recolectar el material en suficiente cantidad para después usarlo para producir energía o para reciclarlo por alguna industria; ó
- volver a usar el material para lo mismo o diferente aplicación sin ser remanufacturado.

Esto es indicativo para notar que lo anterior es un SISTEMA CERRADO, con solamente una entrada y una salida, enfatizando de nuevo la naturaleza finita de nuestro mundo. En una situación estable, la cantidad de los materiales introducidos a un proceso debe ser de igual magnitud que los retornados, al final de su vida útil, al medio ambiente.

Por ejemplo, la fabricación de recipientes de bebidas involucran el uso de materiales crudos (ejemplo el mineral de bauxita) la cuál es refinada para obtener el aluminio. El producto terminado (latas) son vendidas a los consumidores. Algunas de éstas latas están defectuosas o por otras razones innadecuadas para el uso del consumidor siendo recicladas como desperdicio industrial.

El consumidor usa las latas, y los envases vacíos, además de otros productos, son eliminados de la manera usual. Algo de este aluminio es regresado al sector industrial ( para ser remanufacturado ) y algunos de estos podrían ser usados para otros propósitos en el hogar. El aluminio que es recobrado y regresado al proceso de transformación se encuentra ahí solo por el esfuerzo conciente de la comunidad o de alguna organización, la cual colecte y recicle el material a través de algún sistema. Para la mayoría de los materiales, lo anterior es generalmente acompañado con una pérdida financiera.

La interacción del flujo de los materiales con el " medio ambiente " se dá con la entrada de materiales en bruto y la acumulación de residuos. En la figura 2-1 estas dos separaciones están indicadas por la letra "A" para los materiales en bruto y por la letra "B" para los materiales retornados hacia el medio ambiente.

Se puede argumentar que tanto A como B deberían ser tan amplias como fuera posible ya que hay muchos logros que se obtendrían por el incremento de estos valores. Por ejemplo, una gran cantidad de materiales naturales introducidos dentro de procesos de manufactura representan una gran cantidad de empleos en la industria de la extracción, la cual puede tener efectos secundarios al estar produciendo más baratos materiales y con esto reduciendo el costo de manufactura.

Una gran amplitud de B es también benéfica en el sentido de que los residuos industriales ( en los que se incluyen personas tan diversas como el recolector de basura local y el presidente de una gran firma que manufacture complejos equipos para rehabilitar la tierra ) tienen un interés clave en la cantidad de materiales que la gente desecha de ellos. De este modo el incremento en la amplitud de B podría significar más trabajos en esta industria.

De cualquier modo, grandes amplitudes de A y B también traen efectos nocivos. En primer lugar, una gran cantidad de materiales naturales empleados significa que una gran cantidad de materiales no renovables son extraídos (usualmente empleando métodos con bajo sentido ecologista, ejemplificado por el actual método de explotación de minas).

Similarmente, grandes cantidades de residuos pueden tener un significativo efecto nocivo, como son el usar amplias áreas de tierra para depositar los residuos, o bien, siendo quemados los residuos en incineradores que producen serios problemas de contaminación atmosférica en sus localidades.

Un alto nivel de materiales naturales extraídos pueden con el tiempo encabezar el problema del agotamiento de los recursos naturales. Es obvio que en todo el mundo quiera alcanzar un estándar de vida semejante o superior al de las naciones desarrolladas del presente, por lo que el abasto de materiales no será el adecuado para satisfacer la demanda. Nuestro actual estilo de vida está basado en la obtención de estos materiales que se encuentran concentrados en sus fuentes ( minerales ), y con el uso de éstos estamos distribuyendo los productos por encima de una gran superficie de la tierra. Con esta distribución obviamente se hace difícil el recuperamiento y rehuso de los residuos.

## 2.1 EL FLUJO DE MATERIALES EN LA SOCIEDAD

### 2.1.1 DEFINICION DE RESIDUO SOLIDO

De las diferentes definiciones que se han propuesto para definir a un residuo, el diccionario nos dice que " RESIDUO es la materia que queda después de efectuar una operación mecánica, química, tratamiento industrial, transformación, etc. ", otras dicen " RESIDUO es un material cuyo poseedor no puede ya valorizar, ni arrojar tal como estaba al medio ambiente ".

Ambas ideas son aceptables, pero en la segunda es importante definir que mientras para uno algo es residuo, para otro puede ser un recurso aprovechable.

Tratando de definir un poco más lo que es un desecho sólido, se presenta también el cuestionamiento de lo que consideramos como "sólido". En general se considera "sólido" un elemento que es "paleable", es decir, que se le puede cargar con una pala; y "líquido" , un elemento que es "bombeable"; pero como las bombas se perfeccionan cada vez más , ocurre que los residuos que al mismo tiempo son "paleables" son "bombeables", por lo que se recurre en el mejor caso al sentido común.

La eliminación de los residuos sólidos es una acción importante en la lucha que hoy se ha emprendido para la protección de la naturaleza y de nuestro ambiente; de esto se desprende que en la actualidad se busquen alternativas para " **TRATAR** " a los residuos sólidos.

Por "Tratar" se entenderá la operación a que se somete un material para conferirle alguna cualidad o propiedad; volver a valorizar el residuo: en todo caso, serán consideradas todas las clasificaciones, recuperaciones y transformaciones que permitirán encontrarle una nueva utilidad; o bien arrojárselo al medio exterior sin que constituya un perjuicio desmedido. Sin embargo hay que señalar que el daño es de naturaleza cualitativa:

- con la aparición de nuevos cuerpos tóxicos (por ejemplo cianuros, cromo hexavalente, pesticidas, etc.)
- con mayor frecuencia, la concentración de cuerpos que ya existían en la naturaleza en forma mucho más diluida (metales pesados, materias orgánicas o radiactivas, etc.);
- y también con frecuencia, la acumulación de materias inertes inutilizables (escombros, sedimentos tratados o no, etc.

Es importante hacer una distinción para el caso práctico de los residuos, ya que en la actualidad se manejan diferentes terminologías para definir a los residuos sólidos, llamándoles también o desechos, o desperdicios ó en términos generales, basura.

### **2.1.2 TIPOS DE RESIDUOS SOLIDOS Y SUS FUENTES GENERADORAS**

El término residuo sólido incluyen a todo tipo de elemento ( desecho, desperdicio, resto, despojo, escombro, sobra, cascajo, remanente, basura, etc. ) el cuál es descargado tal vez por su pequeño o nulo valor para el que lo posee. Al hablar de residuos sólidos se abarcan todas sus fuentes generadoras, sus diversos tipos de clasificación, su composición y sus propiedades.

Para evitar confusiones, el término residuo, a menudo se usa recíprocamente con el término desecho sólido. Se puede determinar que un "residuo" es todo elemento que ha sido transportado a una casa o a un establecimiento comercial, y posteriormente es depositado en la basura; bajo este término se incluyen todos los desperdicios alimenticios, los sobrantes, como son el papel, las latas, botellas, etc. y las cenizas provenientes por ejemplo, de la combustión del carbón.

Se puede determinar que un "desecho" está constituido por las ramas de los árboles, las hojas, y los artículos pesados o voluminosos (refrigeradores, cajas grandes, etc.).

Una clasificación más detallada se presenta a continuación:

#### **DESPERDICIOS ALIMENTICIOS:**

Son los residuos animales, frutales o vegetales resultado de su manejo, preparación, cocción y consumo de estos alimentos (también llamados basura orgánica). La más importante característica de estos residuos es que son altamente putrefactos y de descomposición acelerada, especialmente en clima caliente. A menudo, la descomposición se rodeará con la producción de olores desagradables. En muchos lugares, la putrefacción natural de estos residuos influenciará significativamente el diseño y operación de los sistemas de recolección de los residuos sólidos.

En adición a las cantidades de desperdicios alimenticios generados en las casas, una considerable cantidad es generada por los restaurantes y cafeterías, así como por grandes medios institucionales como son los hospitales y las prisiones, y los medios asociados con las compras de comida, incluyendo almacenes de mayoreo y menudeo y las tiendas, centrales de abasto, etc.

#### **DESECHOS:**

Consisten en residuos sólidos combustibles y no combustibles provenientes de casas habitación, instituciones, actividades comerciales, etc., excluyendo los desperdicios alimenticios y otros materiales de elevada putrefacción. Al grupo de los llamados residuos combustibles pertenecen los materiales tales como el papel, el cartón, los plásticos, los textiles, el hule, la piel, la madera, los muebles y el césped del jardín. Residuos no combustibles consisten en artículos como son el vidrio, las cerámicas, las latas de metal y de aluminio, los metales ferrosos, los no ferrosos y los barro.

#### **GENIZAS Y RESIDUOS DE COMBUSTION:**

Materiales remanentes de la combustión de la madera, el carbón, el coque industrial, y otros residuos combustibles del hogar, de los almacenes, de instituciones, de los medios industriales y municipales que tienen como propósito el calentamiento, horneado y eliminación de residuos combustibles son catalogados como cenizas y residuos de la combustión. Los residuos combustibles provenientes de las plantas productoras de energía no son incluidos en esta categoría. Las cenizas y los residuos de combustión están normalmente compuestos por refinados, materiales polvosos, brasas, escorias, y una pequeña cantidad de materiales quemados parcial o totalmente. El vidrio, los cerámicos y varios metales son también encontrados en los residuos de combustión de los incineradores municipales.

#### **DESPERDICIOS DE DEMOLICION Y CONSTRUCCION:**

Residuos de la demolición de edificios y otras estructuras son clasificados en este rubro. Los residuos de las construcciones, las remodelaciones, y las reparaciones individuales a las casas habitación, edificios comerciales, y otras estructuras son clasificados como residuos de construcción. Los residuos son algunas veces clasificados como escombros o sobrantes de construcción. La cantidad producida es difícil de estimar y su composición es muy variable, pero pueden incluirse los lodos, piedras, concretos, ladrillos, yesos, madera aserrada, duelas, y tuberías, la calefacción y partes eléctricas.

#### **DESPERDICIOS ESPECIALES:**

Residuos como los barridos en las calles, esparcidos en los bordes de las carreteras, la esparcida por los contenedores municipales, de los escombros de fosas en ruinas, animales muertos y los vehículos abandonados son clasificados en este rubro. Porque es imposible predecir donde se encontrarán al morir los animales o van a ser abandonados los autos, estos residuos son generalmente identificados como originarios de una fuente esparcida no especificada. Lo anterior está en contraste con la fuente residencial, la cual está también esparcida pero se especifica que este tipo de generación de residuos es un evento consecutivo.

#### **DESPERDICIOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO:**

Los residuos sólidos y semisólidos del agua, las aguas negras o residuales, y los residuos de los medios de tratamiento industrial son incluidos en esta clasificación. Las características específicas de estos materiales varía dependiendo de la naturaleza del proceso de tratamiento. En el presente, su recolección no está a cargo de la mayoría de las agencias municipales responsables del manejo de los desperdicios sólidos. Para el futuro, de cualquier modo, se anticipa que su desalojo será uno de los mayores factores a resolver en cualquier plan para el manejo de los residuos sólidos.

#### **DESPERDICIOS DE LA AGRICULTURA:**

Residuos y sobrantes resultado de las diversas actividades agrícolas (como el plantado y cosecha de parcelas, campos y árboles y recolección de viñas, la producción de leche, la producción de animales para sacrificar, y la operación de los terrenos para forraje), son colectivamente llamados residuos agrícolas.

En el presente, la eliminación de estos residuos no es responsabilidad de la mayoría de las agencias municipales y estatales responsables de los residuos sólidos. Aunque, en muchas áreas la eliminación del estiércol de los animales ha sido un crítico problema, especialmente en de los terrenos para forraje y en las lecherías.

#### DESPERDICIOS PELIGROSOS:

Los residuos químicos, biológicos, flamables, explosivos o radiactivos que se constituyen como sustancias peligrosas, en forma inmediata o pasado un tiempo, para la vida de los humanos, de las plantas y de los animales son clasificados como peligrosos. Usualmente, estos residuos se observan en form líquida, pero a estos se les puede encontrar en forma de gases; sólidos o lodos.

En todos los casos anteriores, estos residuos peligrosos deben ser manejados y eliminados con gran cuidado y precaución. Por la naturaleza de estos residuos, para su administración se consideran muchos otros parámetros.

## 2.2. COMPOSICION DE LA BASURA.

La información de la composición de los residuos sólidos es importante para evaluar diversas alternativas en las necesidades de equipos, sistemas, programas y planes para su manejo. Por ejemplo, si la generación de residuos sólidos generados por los medios comerciales consiste solamente en productos de papel, el uso de equipo de procesamiento especial, como son las trituradoras y empacadoras, pueden ser apropiadas. La separación en la fuente de recolección puede ser también considerada si la ciudad o la agencia recolectora está envuelta en los programas de reciclado de productos de papel.

Tabla 2-1 COMPOSICION FISICA ORDINARIA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

Subproductos	Rango	Porcentaje por peso	
		Promedio	Materiales de empaquetado
Desperdicios alimenticios	6-26	15	-
Papel	25-45	40	55.8
Cartón	3-15	4	-
Plástico	2-8	3	3.6
Textiles	0-4	2	0.4
Hule	0-2	0.5	-
Piel	0-2	0.5	-
Recortes de jardinería	0-20	12	-
Madera	1-4	2	7.8
Vidrio	4-16	8	18.1
Latas de metal	2-8	6	14.3
Metales no ferrosos	0-1	1	-
Metales ferrosos	1-4	2	-
Excrementos, cenizas, tabique, etc.	0-10	4	-

La composición física y química de los residuos sólidos municipales que se presentará se limita al análisis de los residuos municipales más significativos. Se considerará con fines prácticos que al analizar los problemas de una municipalidad nacional, ésta puede ser representativa de la situación que la UNAM presenta por su índice poblacional. Esto es importante hacerlo notar, aunque, el fundamento de los análisis presentados son aplicables a todos los tipos de residuos sólidos.

Tabla 2-2 COMPOSICION FISICA PROMEDIO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Subproductos	Domiciliarios Peso (%)	Municipales Peso (%)
Abatelenguas	—	0.04
Cartón	2.25	1.38
Cuero	4.91*	5.65*
Envases de cartón	0.13	0.09
Fibra dura vegetal	0.08	0.46
Fibra sintética	1.58	0.84
Gasa	—	0.08
Hueso	0.09*	0.19*
Hule	0.20	0.37
Jeringa desechable	—	0.06
Lata	2.61*	1.54*
Loza y cerámica	0.47	0.31
Madera	0.13	0.63
Material de construcción	0.57	2.95
Material ferroso	1.33*	1.45*
Material no ferroso	0.07*	0.56*
Papel Bond	2.72*	4.74*
Papel periódico	5.33*	5.14*
Papel sanitario	8.42	5.57
Pañal desechable	3.16	4.58
Placas radiológicas	—	0.01
Plástico película	5.66	4.79*
Neopreno (llantas)	—	—
Plástico rígido	4.15*	3.35*
Poliuretano	0.17	0.17
Poliestireno expandido	0.77	0.56
Residuo alimenticio	32.36	36.40
Residuo de jardinería	5.57	4.83
Toallas sanitarias	—	0.03
Trapo	0.56	0.37
Vendas	—	0.01
Vidrio de color	4.35*	2.84*
Vidrio transparente	6.14*	4.60*
Residuo fino	1.39	2.63
Otros	2.09	3.47

fente: Dirección General de Servicios Urbanos, Departamento del Distrito Federal, 1994

\* Residuos reciclables

La información y los datos de la composición física de los residuos sólidos es importante para la selección y operación de los equipos y medios de procesamiento necesarios en una evaluación de factibilidad para la recuperación de recursos y su posible transformación en energía; así como para el análisis y diseño de los medios necesarios para eliminarla. Los componentes individuales que constituyen a los residuos sólidos municipales, su contenido de humedad y densidad son descritos a continuación.

### 2.2.1 COMPONENTES INDIVIDUALES DE LA BASURA:

Los componentes que típicamente constituyen la mayoría de los residuos sólidos municipales y su relativa distribución son reportados en la tabla 2-1. y específicamente en México en las tabla 2-2. Aunque cualquier número de componentes pudo haber sido seleccionado, los enlistados en éstas tablas han sido considerados ya que estos son verdaderamente identificables y corresponden con los componentes característicos reportados por la literatura y han probado adecuarse por sus características a los residuos sólidos de la mayoría de las muestras estudiadas en diversas localidades.

Los porcentajes de los componentes que constituyen los residuos sólidos municipales varían con la localidad, la estación del año, las condiciones económicas, y muchos otros factores, como se puede apreciar en la tabla 2-3.

Tabla 2-3 COMPOSICION PORCENTUAL POR ZONAS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Subproductos	Fronteriza	Norte	Centro	Sur	ZMCM
Cartón	2.07	4.28	3.00	2.51	9.50
Residuos finos	3.22	9.71	3.15	3.42	1.96
Hueso	0.52	0.59	0.94	0.61	0.14
Hule	0.71	0.78	0.90	0.31	0.66
Lata	2.15	2.46	1.36	1.95	1.70
Material ferroso	0.51	0.46	0.86	1.30	1.14
Material no ferroso	0.22	0.57	0.45	0.72	0.70
Papel	13.56	9.17	11.15	11.45	ND
Pañal desechable	10.62	2.59	7.40	5.39	0.51
Plástico película	4.09	3.79	2.15	6.72	3.62
Plástico rígido	1.93	2.38	1.27	1.71	3.75
Residuos de jardín	12.53	7.48	27.33	37.74	3.54
Residuos alimenticios	33.99	37.56	24.03	6.53	24.07
Trapo	3.58	1.94	1.29	0.90	0.57
Vidrio de color	2.74	3.36	1.86	2.50	2.90
Vidrio transparente	2.91	4.27	4.15	2.90	4.18
Otros	4.65	8.61	8.71	3.34	5.44
Totales	100%	100%	100%	100%	*

ND: no disponible

\*: no totaliza el 100% por incluir otros subproductos

fuelle: Dirección General de Infraestructura y Equipamiento. Subsecretaría de Desarrollo Urbano, Sedesol, 1994

Por esta razón, la distribución de los componentes es un factor crítico en la discusión de un proceso particular para su manejo, y por tanto, un estudio especial se deberá desarrollar en cada caso particular si es posible, comparando su resultado con la distribución propuesta. Aún si este puede ser realizado, todavía se cataloga como imposible el obtener una distribución exacta a menos que una cantidad prohibitiva de casos sean analizados.

Si bien podría ser difícil especificar "los típicos residuos en México" el estandar de vida nacional y su estilo de vida verdaderamente tienen efectos significativos en la composición de sus residuos, así como sucede en cualquier parte del mundo. El problema fundamental para poder obtener datos confiables para un análisis certero implica el estudio de un sin número de casos, los cuales serían el resultado de estudiar el comportamiento de una ciudad específica.

Existen dos métodos analíticos para que las autoridades municipales puedan evaluar la composición física de los residuos sólidos, aunque al parecer se ven poco dispuestos para tomar en consideración las posibilidades de recuperación de recursos sin una buena cantidad de datos producto de uno de los siguientes análisis:

**METODO MANUAL**, en el cual existen dos variables de importancia, con las cuales se debe diseñar el caso de estudio y estas son el tamaño y el método para la determinación de los componentes de los residuos. La separación de las mezclas en sus componentes requiere el establecer las categorías a considerar. En algunos casos, estas clasificaciones se podrían subdividir posteriormente. Es prudente identificar el potencial de comercialización de los productos que se recuperen.

Finalmente se debería reconocer que cualquier estudio por cuidadoso que sea puede proporcionar información imprecisa por la naturaleza de los residuos. No todos los artículos pueden ser catalogados dentro de componentes especificados.

**METODO POR FOTOGAMETRIA**, en el cuál se fotografía directamente los residuos (en ángulo de 90°) con un lente de grado angular, usando una película de color de 35 mm. con un flash electrónico para eliminar las sombras. La diapositiva de 2" x 2" es entonces proyectado sobre una pantalla la cual está dividida en una malla cuadrículada de aproximadamente 10" x 10". Esta malla puede también ser dibujada en una pieza de rotafolio, o proyectada a un negativo de transparencia desde un proyector superior.

**Tabla 2-4 DENSIDADES DE ALGUNOS RESIDUOS VOLUMINOSOS**

MATERIAL	g/cm <sup>3</sup>	MATERIAL	gr/cm <sup>3</sup>
Ferrosos ligeros	0.100	Plásticos	0.037
Cartón	0.030	Aluminio	0.038
Alimentos	0.368	Vidrio	0.295
Basura del jardín	0.071	Papel misceláneo	0.061
Hule	0.238	Periódicos	0.099

Los componentes de cada intersección de la malla son identificados y se procede a tabularlos. Usando una predeterminada densidad de bulto (el cual incluye el espacio interior, por ejemplo en un bote de refresco ), el peso de la fracción es entonces calculado. Algunas de las densidades para objetos pesados se enlistan en la tabla 2-4.

## 2.2.2 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

La principal finalidad por la que se le practican pruebas a los residuos sólidos es estudiar el comportamiento de sus componentes en forma individual y bajo condiciones específicas, para lo cuál se utilizan pruebas destructivas principalmente

Las pruebas destructivas determinan las propiedades mecánicas terminales de los materiales sometidos a cargas y esfuerzos, para lo cuál se requiere de muestras (probetas o especímenes) las cuales, dependiendo del material a analizar, se encuentran normalizadas por la American Society for Testing and Materials (ASTM), así como de las máquinas para realizar dichas pruebas. Entre las pruebas destructivas comunes se cuentan las de **tracción-compresión, flexión, impacto, fatiga, corte y dureza.**

En la prueba de tracción-compresión se requiere someter la muestra de un componente de residuo a una carga uniaxial de tensión o compresión, hasta que se fractura. Un método útil para registrar el comportamiento de una muestra sometida a esfuerzo de tracción es una curva o diagrama de deformación. Entre las propiedades que se pueden observar directamente (y las que se pueden calcular) en dicha prueba están: 1) límite proporcional; 2) punto de cedencia y resistencia a la cedencia o fluencia; 3) resistencia final a la tracción; 4) resistencia a la fractura; 5) ductilidad, alargamiento y reducción del área; 6) módulo de elasticidad. Para realizar esta prueba se utiliza generalmente una máquina probadora universal para pruebas mecánicas.

La prueba de flexión se utiliza para estudiar las características (forma seccional, longitud y otras) de una muestra, en vez de estudiar sus propiedades. Entre las propiedades que se ilustran con la prueba de flexión están el módulo de fractura o ruptura, el módulo de elasticidad, el de flexión y ductilidad. Para esta prueba se utiliza una máquina provadora universal. Las tres fallas mecánicas características que se observan en ésta prueba son la cedencia, el pandeo y el corte.

La prueba de impacto se creó para estudiar el comportamiento del material al recibir un golpe. La propiedad relacionada con las pruebas de impacto es la **tenacidad**, que se define como la capacidad de un material para resistir la fractura al someterlo a una carga de impacto. Las pruebas de impacto son de tres tipos: de torsión, de tensión y en viga. La más común es la de viga y son de dos clases: Izod y Charpy, en donde difiere la forma de aplicar la carga a la muestra.

Las pruebas de fatiga se realizan aplicando cargas repetidas generando condiciones de esfuerzo y deformación fluctuantes, dando como resultado el agrietamiento o fractura completa del material. El esfuerzo máximo anterior a la falla se le conoce como límite de fatiga.

La resistencia a la fatiga es el esfuerzo por el cuál éste se fractura. Esta prueba se utiliza para estudiar el comportamiento de los materiales bajo cargas repetitivas.

En la prueba de esfuerzo cortante, las fuerzas actúan paralelas a un área pero en sentido opuesto y producen el "deslizamiento" de una parte del material más allá de la otra. El proposito de las puebas de esfuerzo cortante o cizallamiento es determinar el esfuerzo cortante que puede ocurrir por tensión, compresión o torsión.

**La dureza** es el resultado de una combinación de diferentes propiedades de un material y no se puede considerar una propiedad básica, pero si de gran utilizada práctica. Ninguna de las pruebas de dureza conocidas puede "separar" la dureza de un material de otras propiedades tales como elasticidad, ductilidad, fragilidad o tenacidad. Existen varios métodos de prueba de dureza entre los cuales se encuentran: 1) prueba de dureza Rockwell; 2) prueba de dureza Vickers; 3) pruebas de microdureza y 4) prueba Shore (o de rebote).

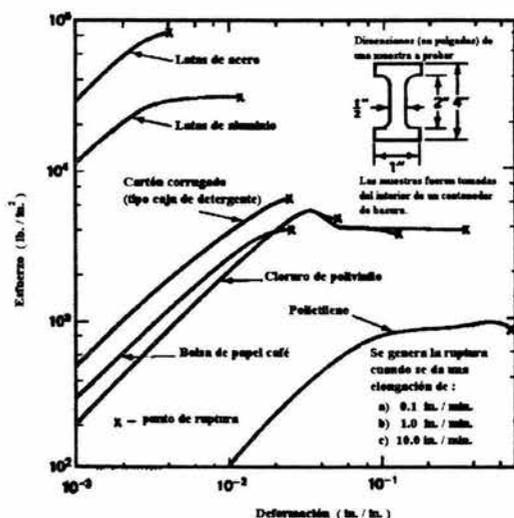


Figura 2-2 CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACION PARA ALGUNOS COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.

### 2.2.2.1 RESISTENCIA MECANICA DE LOS COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Las propiedades mecánicas de los componentes individuales de los residuos sólidos no han sido muy estudiados. Solo por las técnicas de trituración y separación mecánica se ha observado la necesidad de conocer estas propiedades para ser tomadas en cuenta.

Los resultados de las pruebas de tracción (diagrama esfuerzo-deformación) de algunos elementos por separado de los residuos sólidos son mostrados en la figura 2-2 y en la tabla 2-5.

Tabla 2-5 Valores de la curva esfuerzo-deformación para algunos componentes de los residuos sólidos municipales

Material	Tipo del envase	Forma del envase y lugar de la muestra	Espesor de la muestra (in.)	Resistencia Última (lb/in.2)	Deformación final (in./in.)	Energía de ruptura (ft-lb/in.3)
Acero	Lata de 12 oz. De bebida	Cilindro- Muestra cortada de un lado, axialmente y circunferencialmente	0.007	82000	0.005	9.4
Aluminio	Lata de 12 oz. De bebida	De igual forma que arriba	0.006	31000	0.013	26.5
Cartón	Caja, de detergente para ropa	Caja rectangular- Muestra cortada de la cara delantera y trasera	0.025	6400	0.025	8.3
Papel	Bolsa, de papel café	Bolsa tipo de comestibles- Muestra cortada de varios lugares	0.009	4000	0.025	5.1
Plástico Cloruro de Polivinilo	Botella, de jabón líquido	Escultura moldeada- Muestra cortada del panel frontal y trasero	0.19 - 0.026	4000 - 5000	0.360 para e=0.1 0.130 para e=1.0 0.061 para e=10	111 para e=0.1 44 para e=1.0 19 para e=10
Poliétileno	Botella, de shampoo	Cilindrico- Muestra cortada como en las latas de arriba	0.028 - 0.036	1000	0.80 para e=0.1 0.84 para e=1.0 0.90 para e=10	56 para e=0.1 60 para e=1.0 66 para e=10

e= porcentaje de elongación; todos los materiales probados en e=0.1, 1.0 y 10 in./min.

Como se esperaba, el acero tiene la mayor resistencia a la tensión, presentando un módulo de elasticidad (E) de  $83.8 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$  ( $28.5 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$ ), el cual se compara favorablemente con el valor usual de E de  $85 \text{ a } 88 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$  para el acero al carbono de baja aleación. Para el aluminio la E se registra en  $30 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$  ( $10 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$ ), mientras que el P.V.C. tuvo una E de solo  $0.6 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$  ( $0.2 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$ ) como se esperaba.

#### 2.2.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD:

El contenido de humedad de los residuos sólidos usualmente es expresado como el peso de los residuos sólidos húmedos por la unidad de peso, ya sea de los residuos sólidos mojados o secos. En el método de medición que utiliza el peso mojado; la humedad en una muestra es expresada como un porcentaje del peso del material mojado; en el método a peso seco, esto es expresado como un porcentaje con respecto al peso seco del material. En la ecuación siguiente, el contenido de humedad del peso mojado es expresado como:

$$M(\%) = \text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{w - d}{w} \times 100$$

donde  $M$  = Contenido de humedad en (%)  
 $w$  = peso inicial ( mojado ) de la muestra  
 $d$  = peso inicial ( seco ) de la muestra

El secado es usualmente realizado por el rango de los 77°C (170°F) durante 24 horas para garantizar una completa deshidratación y así evitar una indeseable vaporización o volatilización del material. En la tabla 2-6 se tienen los datos típicos de contenido de humedad para los más usuales residuos sólidos.

**Tabla 2-6 INFORMACION ACEPTADA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES**

Componente	Porcentaje de humedad	
	Rango	Promedio
Desperdicios alimenticios	50-80	70
Papel	4-10	6
Cartón	4-8	5
Plástico	1-4	2
Textiles	6-15	10
Hule	1-4	2
Piel	8-12	10
Recortes de jardinería	30-80	60
Madera	15-40	20
Vidrio	1-4	2
Latas de metal	2-4	3
Metales no ferrosos	2-4	2
Metales ferrosos	2-6	3
Excrementos, cenizas, tabique, etc.	6-12	8
Residuos sólidos municipales	15-40	20

### 2.2.2.3 DENSIDAD:

El dato de la densidad es generalmente necesario para evaluar la masa total y el volumen de agua que debe ser manejada. Desafortunadamente, esta información es reducida o no uniforme en la medida en que la densidad de los residuos sólidos han sido reportada por otra fuente. A menudo, no se hace ninguna distinción entre densidades de residuos sin compactar y compactados. Las densidades típicas de varios residuos que se encuentran en los contenedores es reportada por cada elemento en la tabla 2-4 y 2-7.

La densidad de los residuos municipales puede ser incrementada por medio de la compactación mecánica ( en el cap. 4 se analizará el proceso mecánico de compactación ). Los requerimientos de energía para lograr residuos sólidos densos estan presentados en la fig. 2-3a, mientras que en la fig. 2-3b se muestra la energía que se requiere para comprimir algún componente individual de los residuos sólidos.

A compresión  
constante:

- 1) Bote de metal -carga radial
- 2) Bote de metal -carga axial
- 3) Bote de aluminio - radial
- 4) Bote de aluminio - axial
- 5) Caja de cartón corrugado
- 6) Cartoncillo

Por Impacto:

- A) Bote de metal -radial
- B) Bote de metal -axial
- C) Bote de aluminio - radial
- D) Bote de aluminio - axial
- E) Botella de vidrio - axial y radial

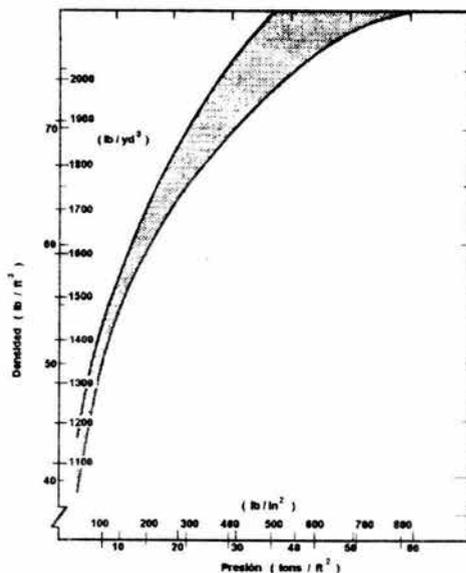
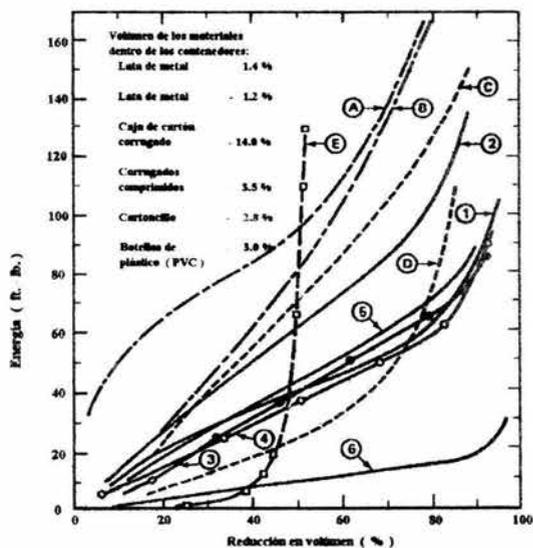


Figura 2-3b CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIVIDAD DE ALGUNOS COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Figura 2-3a

COMPRESION  
DE LOS  
RESIDUOS  
SÓLIDOS  
MUNICIPALES



**Tabla 2-7 DENSIDAD PROMEDIO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES POR FUENTES**

Fuente	Densidad, lb/yd <sup>3</sup>	
	Rango	Promedio
<b>Residencial (sin compactar)</b>		
Basura	150-300	220
Recortes de jardinería	100-250	175
Cenizas	1100-1400	1250
<b>Residencial (compactada)</b>		
En el camión compactador	300-750	500
En el Relleno Sanitario (compactado normal)	600-850	750
En el Relleno Sanitario (compactado bueno)	1000-1250	1000
<b>Residencial (después de procesamiento)</b>		
Enfardada	1000-1800	1200
Triturada, sin compactar	200-450	360
Triturada, compactada	1100-1800	1300
<b>Comercial-Industrial (sin compactar)</b>		
Desperdicios alimenticios (húmedos)	800-1600	900
Basura combustible	80-300	200
Basura no combustible	300-600	500

Compactación a baja presión, menor a 100 lb/in<sup>2</sup>

Nota: lb/yd<sup>3</sup> x 0.5933 = kg/m<sup>3</sup>

lb/in<sup>2</sup> x 6.895 = kN/m<sup>2</sup>

#### 2.2.2.4 COMPOSICION QUIMICA:

La información de la composición química de los residuos sólidos es de suma importancia para evaluar diferentes procesamientos y las posibles opciones para recobrar algo de ellos. Por ejemplo, consideremos el proceso de incineración.

Normalmente los residuos sólidos pueden ser considerados como una combinación de combustibles semihúmedos y materiales no combustibles. Si los residuos sólidos son considerados para usarse como combustibles, sus cuatro propiedades más importantes a observar serán:

- 1) Su análisis inmediato
  - a) Humedad (perdida a 105°C durante una hora)
  - b) Materiales volátiles (perdidos adicionalmente cuando se ignicionan a 950°C)
  - c) Cenizas ( residuos después de su quemado)
  - d) Carbón estable ( sobrante )

2) Punto de fusión de las cenizas

3) Análisis final, porcentaje de C (Carbono), H (Hidrógeno), N (Nitrógeno), O (Oxígeno), S (Azufre), y cenizas.

4) Valor de calentamiento

El análisis inmediato de los compuestos combustibles de los residuos sólidos municipales característicos de México son presentados en la tabla 2-8.

Tabla 2-8 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES GENERADOS EN DIVERSAS FUENTES.

Parámetros físico-químico	Domiciliarios	Comercios	Servicios	Especiales	Áreas públicas
Humedad (%)	39.65	46.78	50.08	48.04	7.20
Cenizas (%)	20.82	4.80	12.97	6.73	25.14
Poder calórico superior(kg/kcal)	3491.80	2885.00	3695.00	3371.00	4911.00
Materia orgánica (%)	69.28	37.25	33.10	91.73	74.69
Carbono (%)	40.20	21.61	19.20	52.68	43.41
Hidrógeno(%)	4.62	2.48	2.21	6.95	4.99
Oxígeno (%)	21.79	12.68	7.13	31.04	22.02
Nitrógeno(%)	2.67	0.48	4.56	1.06	4.27

Nota: Valores en base seca

fuelle: Dirección General de Servicios Urbanos, Departamento del Distrito Federal, 1994.

La tabla 2-9 equivale a dicho análisis por componente. Estos datos son considerados como los valores límite para propósitos de diseño, debido a la naturaleza heterogénea de los residuos y a su variación con respecto a la geografía del lugar y del tiempo, dando como resultado un amplio rango de valores. Una información más veraz para cierto tipo de desperdicio puede ser obtenido solamente por el análisis directo de éste.

Una prueba química alternativa de los residuos sólidos es el usar combinadamente los resultados del análisis químico individual tabulados para cada material específico. La tabla 2-10 es una compilación de los más recientes datos analíticos. Los valores de calentamiento para los residuos son parte importante para considerar al momento de determinar el recobrar energía a partir de los residuos.

Si el valor energético de los combustibles derivados de los residuos sólidos ( o refuse derived fuel RDF ) no se encuentra disponible, una aproximación de su magnitud puede ser calculada usando la fórmula modificada de Dulong que es

$$\text{Btu/lb} = 14,096 C_{\text{org}} + 60214 ( H - O/8 ) + 1040 N + 3982 S + 8929 (( H - O/2 ) / 2 ) + 4274 ( O/2 ) - 6382 C_{\text{inorg}}$$

donde  $C_{org}$ , H, O, N, S y  $C_{inorg}$  son las fracciones decimales de cada uno de los elementos, encontradas en recientes análisis. Una aproximación a la fórmula de Dulong se puede escribir como:

$$\text{Btu/lb} = 145.5C + 620(H - 1/8 O) + 41 S$$

donde los valores de C, H, O y S están en porcentajes.

**Tabla 2-9 INFORMACION PROMEDIO DE UN ANALISIS FINAL DE LOS COMPONENTES COMBUSTIBLES EN LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES**

Porcentaje por peso (base seca)						
Componente	Carbón	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
Desperdicios alimenticios	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
Papel	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
Cartón	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0
Plástico	60.0	7.2	22.8	—	—	10.0
Textiles	55.0	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5
Hule	78.0	10.0	—	2.0	—	10.0
Piel	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
Recortes de jardinería	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
Madera	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
Excrementos, cenizas, tabique, etc.	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

La tabla 2-11 contiene los datos reportados para la energía térmica generada y los residuos inertes producidos a partir de los residuos sólidos. Como se observa, los valores caloríficos se basan en los residuos tal como son emanados. Si se requieren los valores de Btu considerando los residuos totalmente secos, los valores mostrados en la tabla 2-11 pueden ser convertidos utilizando la ecuación siguiente:

$$\text{Btu / lb (constitución seca)} = \text{Btu/lb (como son emanados)} \left( \frac{100}{100 - \% \text{ humedad}} \right)$$

La correspondiente ecuación para obtener el Btu por libra de las cenizas libres bajo una constitución seca es:

$$\text{Btu / lb (libre de cenizas bajo una constitución seca)} = \text{Btu/lb (como son emanados)} \left( \frac{100}{100 - \% \text{ cenizas} - \% \text{ humedad}} \right)$$

Reconociendo que se necesita energía para producir combustible derivado de los residuos (RDF), es posible calcular la energía térmica que se generará con dicho combustible menos el gasto de la energía por unidad de masa se requerirá para su elaboración.

Si el valor resultante de esta energía es comparada con otros combustibles, la comparación se conoce como equivalencia de conversión. Por ejemplo, la masa de aceite ( o carbón ) por día que los RDF pueden remplazar, tomando en cuenta la energía que se requiere para procesar a los residuos. De acuerdo a la segunda ley de la termodinámica, cuesta energía obtener energía en forma aprovechable y útil.

Tabla 2-10 ANALISIS PRIMARIO DE LOS COMPONENTES MAS COMUNES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

	C(%)	H2(%)	O2(%)	N(%)	S(%)	Inertes*	Btu/lb	Porcentaje de humedad	Porcentaje como se descarga
Periódicos	49.14	6.10	43.03	0.05	0.16	1.43	7.974	5.97	10.33
	46.36	6.13	42.30	0.14	0.11	1.52	8.480		
Papel café	44.90	6.08	47.84	0.00	0.11	2.96	8.266	5.83	6.12
						1.01	7.256		
						1.07	7.706		
Papel de revistas	32.91	4.95	38.55	0.07	0.09	22.47	5.254	4.11	7.48
Cajas de cartón corrugado	43.73	5.70	44.93	0.09	0.21	5.06	7.043	5.20	25.88
						5.34	7.429		
Papel cubierto con plástico	45.30	6.17	45.50	0.18	0.08	2.64	7.341	4.71	0.84
						2.77	7.703		
Cartoncillo encerado (tetrapack)	59.18	9.25	30.13	0.12	0.10	1.17	11.327	3.45	0.84
						1.22	11.732		
Papel cartoncillo para alimentos	44.74	6.10	41.92	0.15	0.16	6.50	7.258	6.11	2.27
						6.93	7.730		
Desechos de correspondencia	37.87	5.41	42.74	0.17	0.09	13.09	6.088	4.56	3.03
Papel de seda	43.90	6.10	49.00			0.93	6.999	7.00	2.18
Cartón	45.52	6.08	44.53	0.16	0.14	3.57	7.841		
Papeles diversos	44.00	6.15	41.65	0.43	0.12	7.65	7.793		
Vegetales y residuos de comida	49.06	6.62	37.55	1.68	0.20	1.06	1.795	78.29	2.52
Cáscara de cítricos, semillas	47.96	5.68	41.67	1.11	0.12	0.74	1.707	78.70	1.68
Carne molida, cocinada	59.59	9.47	24.85	1.02	0.19	3.11	7.623	38.74	2.52
Manteca frita	73.14	11.54	14.82	0.43	0.07	0.00	16.466	0.00	2.52
Desperdicios	41.72	5.75	27.62	2.79	0.25	21.87	7.246		
Cuero	42.01	5.32	22.83	5.98	1.00	21.16	7.243	7.46	0.42
Compuesto por caucho (hule) tacón, suela, lengüeta	53.22	7.09	7.76	0.50	1.34	29.74	10.899	1.15	0.42
Materia plástica									
Promedio	78.00	9.00	13.00				15.910		0.84
Superior	90.00	10.00					19.303		
Inferior	55.80	7.00	37.20				9.580		
Poliétileno	85.60	14.40					19.950		
Vinilo	47.10	5.90	18.6 (chlorine = 28.4%)				8.830		
Película plástica	67.21	9.72	15.82	0.46	0.07	6.72	13.846		
Mezclada, de los desechos municipales contaminada con residuos alimenticios									
Otros plásticos	47.70	6.04	24.06	1.93	0.55	19.72	9.049		
Hule, cuero									
Pinturas, aceites	52.10	13.10	34.80			0.00	12.780		0.84
Polvos de una aspiradora	35.69	4.73	20.38	6.26	1.15	30.34	6.386	5.47	0.84
La poda de los árboles	48.51	6.54	40.44	1.71	0.19	0.81	2.708	69.00	1.68
Flores y plantas del jardín	46.65	6.61	40.18	1.21	0.26	2.34	3.697	53.94	1.68
Pasto, hierbas verdes	46.18	5.96	36.43	4.46	0.42	1.62	2.058	75.24	1.68
Hojas secas de árboles	52.15	6.11	30.34	6.99	0.16	3.82	7.984	9.97	2.52
Madera suave, pino	52.55	6.08	40.90	0.25	0.10	0.12	9.150		
Madera dura, roble	49.49	6.62	43.39	0.25	0.10	0.15	8.682		
Madera	49.00	6.00	42.00			2.28	6.840	24.00	2.52
	48.30	5.97	42.44	0.29	0.11	2.89	8.236		
Hierbas y excrementos	36.20	4.75	26.61	2.10	0.26	30.08	6.284		
Trapos	43.90	6.10	49.00			0.93	6.999	7.00	0.84
Tejidos	46.19	6.41	41.85	2.18	0.20	3.17	8.036		
Lodos						100.00			1.68
Botellas de vidrio	0.52	0.07	0.04	0.03		99.02	8.400		
Btu debido a la etiqueta, revestimientos y remanentes del producto									
Vidrio, cerizas, cerámicos						100.00			8.50
Vidrio, piedras, cerámicos			(lo mismo que arriba, en botellas de vidrio)						
Latas de metal	4.54	0.63	4.28	0.05	0.01	90.49	7.420		
Btu debido a la etiqueta, revestimientos y remanentes del producto									
Metales						100.00	2.660		7.53

\*Inertes = cenizas, vidrio, metal, piedras, cerámicos

## 2.2.3 FUTUROS CAMBIOS EN LA COMPOSICION

En términos de planeación del manejo de los residuos sólidos, el conocimiento de su rumbo en el futuro, en lo que a composición de residuos se refiere, es de gran importancia. Por ejemplo, si se tiene un programa de reciclaje de papel, que fué instituido bajo el fundamento de los datos de distribución normal observados en su momento y si la expectativa es que la producción de papel se vá a eliminar en el futuro, debido a que se van a utilizar registros electrónicos únicamente, aún con toda su programación, en un futuro se transformaría en un "elefante blanco".

Tabla 2-11 INFORMACION PROMEDIO DE LOS RESIDUOS INERTES Y DEL CONTENIDO DE ENERGIA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Componente	Residuo Inerte, porcentaje		Energía, Btu/lb*	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio
Desperdicios alimenticios	2-8	5	1500-3000	2,000
Papel	4-8	6	5000-8000	7,200
Cartón	3-6	5	6000-7500	7,000
Plástico	6-20	10	12000-16000	14,000
Textiles	2-4	2.5	6500-8000	7,500
Hule	8-20	10	9000-12000	10,000
Piel	8-20	10	6500-8500	7,500
Recortes de jardinería	2-6	4.5	1000-8000	2,800
Madera	0.6-2	1.5	7500-8500	8,000
Vidrio	96-99 <sup>a</sup>	98	50-100	60
Latas de metal	96-99 <sup>a</sup>	98	100-500	300
Metales no ferrosos	90-99 <sup>a</sup>	96	---	---
Metales ferrosos	94-99 <sup>a</sup>	98	100-500	300
Excrementos, cenizas, tabique, etc.	60-80	70	1000-5000	3,000
Residuos sólidos municipales			4000-5000	4,500

\*Después de una completa combustión

<sup>a</sup> En base a como se emanaron

Nota: Btu/lb x 2.326 = kJ/kg

Aunque el caso anteriormente ilustrado es extremo, con este se ilustra que las tendencias futuras deben ser evaluadas cuidadosamente sin considerar programas largo plazo. Otra cuestión importante es considerar cuál de las cantidades está cambiando, o bien, saber si el reporte del sistema indica que alguno ha mejorado. En la tabla 2-12 se puede observar a groso modo la composición actual de los residuos sólidos en México. A continuación se muestran tres componentes típicos de los residuos y su situación presente.

**RESIDUOS ALIMENTICIOS:** La cantidad de residuos de comida recolectados en las residencias ha ido cambiando significativamente como resultado de los avances tecnológicos y de los cambios en la actitud de la gente.

Tres factores han tenido un significativo efecto en el manejo de los residuos alimenticios: el uso de trituradores caseros; el desarrollo de alimentos procesados y la industria de los empaques. Con el uso de trituradores caseros se transforman los residuos sólidos en pequeños fragmentos, los cuales se vierten a la cañería transformándose en componentes de las aguas residuales (aguas negras), por lo que su estudio no se contempla bajo el esquema de residuo sólido. Los alimentos procesados disminuyen, en gran escala, los residuos alimenticios consistentes en cáscaras, rabos, etc. debidos a las frutas y verduras principalmente, así como los alimentos deshidratados y enlatados que conllevan un sensible aumento de residuos de embalajes, principalmente de plásticos y metal.

Tabla 2-12 COMPOSICION PORCENTUAL DE RESIDUOS EN MEXICO A 1994

Subproducto	Porcentaje en peso	Subproducto	Porcentaje en peso
Cartón y papel	23.42	Metales	3.55
Vidrio	7.44	Textiles	1.22
Plásticos	10.91	Orgánicos	41.23
Otros	12.23		

fueron: Dirección General de Servicios Urbanos, Departamento del Distrito Federal, 1994

**PAPEL:** El porcentaje de papel encontrado en los residuos sólido se ha ido incrementando grandemente en los últimos años. Si consideramos que el incremento en la cantidad de papel producida en los E.U.A. aumenta más del doble del porcentaje de incremento de la población en los años de 1950 a 1962, la razón del incremento en los residuos de papel es claro, aunque el uso de las computadoras y las redes de comunicación vía modem o satélite tienden a reducir su uso.

**PLASTICO:** El porcentaje de los plástico en los residuos sólidos se ha incrementado también significativamente en los últimos 20 años. Las condiciones futuras (económicas y políticas) alrededor de la industria de petroquímicos afectará la producción de plásticos. El tamaño de cualquier impacto es impredecible.

Tabla 2-13a VOLUMEN ESTIMADO DE GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES POR ZONA A NIVEL NACIONAL 1993

Zona	Número de habitantes	Generación Kg/hab/día	Toneladas diarias	Toneladas anuales	%
Fronteriza	5 272 031	0.956	5 041	1 839 971	6.55
Norte	17 728 029	0.889	15 764	5 753 774	20.48
Centro	42 221 759	0.787	33 237	12 131 494	43.19
Distrito Federal	8 870 298	1.249	11 081	4 044 483	14.40
Sureste	13 930 219	0.850	11 835	4 319 817	15.38
Promedio		0.874			
Totales	88 023 336		76 958	28 089 539	100.00

fueron: Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, Subsecretaría de Desarrollo Urbano, Sedesol, 1994.

**Tabla 2-13b VOLUMEN ESTIMADO DE GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES POR ZONA A NIVEL NACIONAL 1994**

Zona	Número de habitantes	Generación Kg/hab/día	Toneladas diarias	Toneladas anuales	%
Fronteriza	5 424 020	0.976	5 294	1 932 403	6.56
Norte	18 231 339	0.908	16 552	6 041 387	20.50
Centro	43 364 686	0.804	34 854	12 721 546	43.16
Distrito Federal	9 092 053	1.275	11 596	4 232 652	14.36
Sureste	14 353 185	0.867	12 541	4 544 451	15.42
Promedio		0.893			
<b>Totales</b>	<b>90 465 283</b>		<b>80 746</b>	<b>29 472 439</b>	<b>100.00</b>

**Tabla 2-14 EVOLUCION DE LA GENERACION Y COMPOSICION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN MEXICO\***

Composición (ton)	Unidad	1991	1992	1993	1994**
Papel, cartón, productos de papel	1000	2963.47 (14.07%)	3090.83 (14.07%)	3952.20 (14.07%)	2146.77 (7.8%)
Textiles	1000	313.83 (1.49%)	327.32 (1.49%)	418.53 (1.49%)	439.14 (1.6%)
Plásticos	1000	922.53 (4.38%)	962.18 (4.38%)	1230.32 (4.38%)	1290.89 (4.6%)
Vidrios	1000	1242.68 (5.90%)	1296.08 (5.90%)	1657.28 (5.90%)	1738.87 (6.32%)
Metales	1000	609.75 (2.90%)	635.96 (2.90%)	813.19 (2.90%)	853.23 (3.10%)
Basura de comida, jardines y materiales similares (orgánicos)	1000	11036.66 (52.40%)	11510.99 (52.40%)	14718.82 (52.40%)	15443.56 (56.21%)
Otro tipo de basura variada, residuos finos, hule, pañal desechable, etc.	1000	3973.41 (18.87%)	4144.17 (18.87%)	5299.09 (18.87%)	5559.98 (20.23%)
<b>Total</b>		<b>21062.33 (100%)</b>	<b>21967.53 (100%)</b>	<b>28089.54 (100%)</b>	<b>27472.44 (100%)</b>

\* Valores estimados

\*\* Valores a Julio de 1994

fuernte: Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, Subsecretaría de Desarrollo Urbano, Sedesol, 1994.

## 2.3 LA GENERACION DE BASURA:

Por lo laborioso y extenso de los estudios para determinar la cantidad de residuos sólidos generados, solamente se mencionan los puntos importantes a evaluar para su adecuado análisis:

1. Determinación de las cantidades.
2. Análisis estadístico de las tasas de generación.
3. Clasificación por actividades de las tasas de generación.
4. Metodos usados para la determinación de las tasas de generación:
  1. Análisis de cargas vs. unidades.
  2. Análisis de peso vs. volumen (obteniendo las densidades de carga).
  3. Análisis de materiales Vs. balance ( las tablas 2-13a, 2-13b y 2-14 muestran un detallado análisis del balance de materiales por cada fuente generadora.

Tabla 2-15 GENERACION UNITARIA DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Fuentes generadoras	Subclasificación	Generación Unitaria
Domiciliarios	Unifamiliar	0.669 kg/hab/día
	Plurifamiliar	0.772 kg/hab/día
Comercio	Tiendas de autoservicio	2.527 kg/empleado/día
	Tiendas departamentales	
	Con restaurante	1.468 kg/empleado/día
	Sin restaurante	0.766 kg/empleado/día
	Locales comerciales(diversos)	2.875 kg/empleado/día
	Mercados	
	Comunes	2.143 kg/local/día
	Especiales	3.350 kg/local/día
Servicios	Restaurantes y Bares	0.850 kg/comensal/día
	Hoteles y Moteles	1.035 kg/huesped/día
	Centros educativos	0.058 kg/alumno/día
	Centros de espectáculos y recreación	
	Cines	0.012 kg/espectador/función
	Estadios	0.054 kg/espectador/evento
	Oficinas	0.179 kg/empleado/turno
Especiales	Terminal terrestre	2.418 kg/pasajero/día
	Terminal aérea	5.177 kg/pasajero/día
	Reclusorio	0.538 kg/interno/día
	Unidades Médicas	
	Nivel 1	1.279 kg/consultorio/día
Nivel 2	4.730 kg/cama/día	
Nivel 3	5.580 kg/cama/día	

fuelle: Dirección General de Servicios Urbanos, Departamento del Distrito Federal, 1994.

En la tabla 2-15 se presentan los promedios de generación de los residuos sólidos municipales de acuerdo a la fuente de generación estudiada correspondiente al Distrito Federal.

### 2.3.1. FACTORES QUE AFECTAN LAS TASAS DE GENERACION:

Los factores que influyen en la generación de residuos sólidos son: la localización geográfica, la estación del año, la frecuencia de recolección, y en su caso, el uso de trituradoras caseras, los hábitos y la situación económica de la gente, el grado de operaciones de reutilización y reciclaje, la legislación, y la actitudes de la gente, básicamente como consumidor.

En la tabla 2-16 se observa que la Cd. de México producía en 1950, 370 grs. de basura *per capita*, y el tipo predominante era de la consideración biodegradable. De 1950 a la fecha se ha incrementado el volúmen y también se ha modificado su composición.

**Tabla 2-16 EVALUACION DE LA GENERACION Y PROPORCION NO BIODEGRADABLE EN LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES EN EL D.F.**

Año	Generación per capita grs/hab/día	Proporción no biodegradable (%)
1950	370	5
1993	1 000	30

fuelle: Dirección General de Servicios Urbanos, Departamento del Distrito Federal, 1994.

### 2.4. RESIDUOS INDUSTRIALES Y ESPECIALMENTE PELIGROSOS

Por la diversidad de procesos que emplean las industrias instaladas, las características de los residuos generados por estas, representan una amplia gama de residuos, que va desde los altamente peligrosos hasta los que no representan riesgo para la salud del ser humano o para el medio ambiente en general.

En la tabla 2-17 se presentan los residuos sólidos municipales que son considerados como peligrosos y en la fig. 2-4 se muestra un diagrama de procesos aplicable a los residuos sólidos peligrosos..

Tradicionalmente la industria ha depositado sin control los residuos en terrenos baldíos o sitios abandonados en forma clandestina y en ocasiones se ha advertido la contaminación de cuerpos de aguas superficiales, así como de la capa vegetal del subsuelo.

Las experiencias resultantes del mal manejo de los Residuos Sólidos Peligrosos han mostrado que es más costoso remediar que prevenir y que, mientras la administración de los residuos y contaminantes crea costos a las empresas que los generan, su difusión en el ambiente constituye una carga para la sociedad entera.

**Tabla 2-17 RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES CONSIDERADOS COMO PELIGROSOS**

Fuente	Origen específico	Tipo de residuo
Domiciliario	Unifamiliar	Algodón
		Gasa
	Plurifamiliar	Vendas
		Químicos
		Lubricantes
		Insecticidas
		Baterías portátiles
		Residuos de pintura
		Selladores
		Solventes
		Anticongelantes
		Acidos y sales
		Asbestos
		Baterías de carro
Manejo especializado	Unidades Médicas	Especiales
		Fármacos diversos
	Laboratorios	Cosméticos y similares
		Residuos de laboratorio
	Veterinarias	Lodos
		Residuos indefinidos
	Transporte terrestre	
	Transporte aéreo	
	Centros de readaptación	
	Instituciones militares	Peligrosos
		Infecciosos
		Químicos
		Fármacos mezclados
		Solventes
Acidos y sales		
Lubricantes y selladores		
Baterías		
Pinturas		

Fuente: Dirección General de Servicios Urbanos, Departamento del Distrito Federal, 1994.

**Tabla 2-18 RESIDUOS PELIGROSOS QUE SE GENERAN CON MAYOR FRECUENCIA**

Tipo de Residuo	Porcentaje	Tipo de Residuo	Porcentaje
Solventes	36.22	Adhesivos	1.76
Aceites y grasas	12.83	Freón	1.38
Pinturas y barnices	7.61	Lodos	1.00
Soldadura*	5.98	Silicón	0.62
Resinas	4.52	Tintas	0.29
Acidos y Bases	2.93	Plásticos	0.17
Derivados del petróleo	2.51	Otros	20.20
Metales pesados	1.98	TOTAL	100.00

\* Soldadura de plomo-estaño

Fuente: Dirección General de Normatividad Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, Sedesol, 1994.

En México, el Instituto Nacional de Ecología por medio de la información que ha recibido efectuó una proyección mediante la cuál estimó que en 1994 se generaron a nivel nacional 7.7 millones de toneladas de residuos sólidos peligrosos (líquidos y sólidos). La composición porcentual estimada de estos aparece descrita en la tabla 2-18.

Acorde con la terminología internacional, México ha adoptado la clave CRET1 para caracterizar los residuos peligrosos ( corrosivos; reactivos; explosivos; tóxicos; e inflamables ), así como los infecciosos, generados en los centros hospitalarios, laboratorios y centros de docencia e investigación. A continuación se detalla cada uno de ellos.

#### **CORROSIVIDAD:**

Un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando:

- En solución acuosa presenta un pH menor o igual a 2 , o mayor o igual a 12.5
- En estado líquido es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 1020) , a una velocidad de 6.35 milímetros por año, a una temperatura de 55° C.

#### **TOXICIDAD AL AMBIENTE:**

Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente cuando:

- Al hacer la prueba de extracción para toxicidad conforme a la norma técnica existente (en México la NTE-CPR-002/88), los resultados obtenidos rebasen los límites permisibles según la tabla correspondiente.

#### **REACTIVIDAD:**

Un residuo se considera peligroso por su reactividad cuando:

- Bajo condiciones de golpe, presión, temperatura o espontáneamente se descompone, combina o polimeriza vigorosamente.
- Es normalmente inestable y se combina o se transforma violentamente sin detonación.
- Reacciona con el agua y forma mezclas potencialmente explosivas o genera gases, vapores o humos en cantidades suficientes para provocar desequilibrio ecológico o daños al ambiente.
- Posee en su constitución sustancias que cuando se exponen a condiciones de pH adecuadas, pueden generar gases, vapores o humos en cantidades suficientes que constituyan un riesgo para el ambiente.
- Es capaz de producir radicales libres.

#### **EXPLOSIVIDAD:**

Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando:

- Es más sensible a golpes o fricción que el dinitrobenzeno.
- Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a una atmósfera de presión (1.033 Kg/cm<sup>2</sup>).

#### **INFLAMABILIDAD:**

Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando:

- En solución acuosa, contiene más de 24% de alcohol en volumen.
- Es líquido y tiene su punto de inflamación inferior a 60° C.
- No es líquido, pero es capaz de causar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos.
- Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes.

### **2.4.1 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS**

Ya que los residuos industriales constituyen un gran campo de estudio, en el presente trabajo no se detallan los elementos que los constituyen ni sus fuentes, me referiré exclusivamente a los pasos que deben seguirse para su manejo y eliminación en forma general, considerando que en muchos de los casos éstos deberán ser confinados en lugares especialmente construidos para éste fin.

#### **2.4.2 RECOLECCION:**

Los productos o residuos que pueden ser desinfectados en el lugar en que se producen, ya no pueden clasificarse como basuras tóxicas, y su evacuación sería normal con las basuras domésticas. El resto deberá ser resguardado en recipientes especiales, en espera de ser retirados.

Para un cierto tipo de residuos ( de reducida peligrosidad ) se recomiendan bolsas especiales de plástico fuerte, de un solo uso, y que no dejen salir líquidos.

Para los residuos de alta peligrosidad, es aconsejable la utilización de contenedores de acero inoxidable y de preferencia herméticos. En ambos casos deberán llevar inscripciones con la indicación de **BASURA TOXICA**.

Para las basuras de tipo biológicas, se recomienda que su almacenamiento se efectúe en una habitación frigorífica con el objeto de retrasar la putrefacción.

Si se usa un cuarto para guardar la basura, éste debe ser ventilado y con suelo provisto de desagüe para poder realizar una enérgica limpieza diaria con agua. Al menos una vez por semana se deben desinfectar las paredes, suelo y techo. En la puerta de dicho cuarto debe colocarse un letrero amarillo que indique: BASURA TOXICA.

*Tabla 2-19 PROYECTOS DE NOM PARA EL TRANSPORTE DE RESIDUOS PELIGROSOS.*

Clave	Descripción
NOM-003-SCT2-1993	Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de sustancias y residuos peligrosos.
NOM-004-SCT2-1993	Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y RP.
NOM-005-SCT2-1993	Información de emergencia en transportación para el transporte de materiales y RP.
NOM-006-SCT2-1993	Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de una unidad destinada al autotransporte de materiales y RP.
NOM-007-SCT2-1993	Envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y RP.
NOM-008-SCT2-1993	Disposiciones para efectuar la inspección de arrastre ferroviario.
NOM-009-SCT2-1993	Compatibilidad para el almacenamiento y transporte de materiales peligroso de la clase 1 explosivos.

#### **2.4.3. TRANSPORTE**

El transporte debe efectuarse en cajas colectoras de basura de acero inoxidable y sin compresión, para evitar la posible rotura de las bolsas. Estos vehículos se utilizarán exclusivamente para este servicio y se desinfectarán diariamente con una solución al 5% de cloro. Los operarios utilizarán guantes de uso rudo. En la tabla 2-19 se presentan las normas que actualmente se encuentran en estudio y que regularan el transporte de los residuos sólidos peligrosos.

#### **2.4.4. ELIMINACION:**

Solamente en casos muy especiales estas basuras podrán depositarse en vertederos, pero con muchas precauciones, tales como recubrimiento con cal viva y tierra. Normalmente esta basura debe ser incinerada en un incinerador existente en el hospital o bien en un incinerador central de la ciudad, instalado para este fin. Todo ello aconseja establecer un servicio de recogida especial para clínicas y hospitales, que evacuen estas basuras a un incinerador comunal y especial para este cometido.

#### **2.4.5. PREVENCIÓN DEL PERSONAL.**

Los operarios que trabajen en este tipo de basura, deben estar siempre eficientemente vacunados contra las fiebres tifoideas, paratifoideas, viruela, tétano y polio. Si alguno presenta reacción positiva en la prueba de la tuberculosis, debe ser vacunado. En caso de epidemias, el personal debe ser protegido con inyecciones de gammaglobulina.

Desgraciadamente algunas legislaciones actuales no han aunado en el manejo de los residuos sólidos peligrosos, por lo que fundamentalmente le corresponde a la fuente de su generación su control y adecuada eliminación.

#### **2.5 LEGISLACIÓN MEXICANA EXISTENTE RELACIONADA CON LOS RESIDUOS PELIGROSOS**

Para el tratamiento y disposición final de los residuos de naturaleza peligrosa existen en México sitios autorizados oficialmente. La actividad de control de residuos industriales peligrosos tienen su fundamento en:

- La Ley general de Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental, siendo la Procuraduría del Medio Ambiente la encargada de vigilar el cumplimiento de esta.
- El Reglamento de la misma ley en materia de residuos peligrosos.
- Siete normas técnicas ecológicas que cubren los criterios de peligrosidad y la operación de confinamientos controlados. En la tabla 2-20 se presentan dichas normas.
- Ocho formatos con sus respectivos instructivos.
- Tres decretos y dos acuerdos para la importación y exportación de materiales y residuos peligrosos, plaguicidas, así como sustancias tóxicas.

México estableció compromisos con los Estados Unidos que versan en el retorno a EU de los residuos generados por la industria maquiladora a través del Plan Integral Ambiental Fronterizo México-Estados Unidos denominado Hazardous Waste Tracking System (Haztraks); así como otros compromisos derivados de acuerdos internacionales, siendo un ejemplo de éstos el Convenio de Basilea sobre Movimientos Transfronterizos de Residuos Peligrosos y su Disposición establecido por la Organización de las Naciones Unidas y suscrito por México en 1989 (entró en vigor el 5 de mayo de 1992).

Debido a los anteriores compromisos, la tabla 2-21 presenta los proyectos existentes de normas oficiales mexicanas para su próxima aprobación.

**Tabla 2-20 NORMAS OFICIALES MEXICANAS PARA RESIDUOS PELIGROSOS (RP)**  
(DOF, 22 de Octubre de 1993)

Clave	Descripción
NOM-CRP-001-ECOL/93	Establece las características de los RP, el listado de los mismos y los límites que hacen a un RP por su toxicidad al ambiente.
NOM-CRP-002-ECOL/93	Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un RP por su toxicidad al ambiente.
NOM-CRP-003-ECOL/93	Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la primera norma.
NOM-CRP-004-ECOL/93	Establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de RP, excepto los radiactivos.
NOM-CRP-005-ECOL/93	Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de RP.
NOM-CRP-006-ECOL/93	Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para RP.
NOM-CRP-007-ECOL/93	Establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

**Tabla 2-21 PROYECTOS DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS PARA RESIDUOS PELIGROSOS (RP)**

<p>* Procedimiento para la clasificación, separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos generados en hospitales y establecimientos que presten atención médica.</p> <p>* Requisitos para el diseño, construcción y operación de presas de jales</p> <p>* Requisitos para la impermeabilización de celdas de un confinamiento controlado.</p>
---

## **CAPITULO III**

### **EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS**

## **EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS**

El establecimiento de un sistema integral para una gestión ambientalmente adecuada de los residuos sólidos municipales (entendida en términos de recolección, procesamiento y disposición final de los desechos) implica conocer:

*La generación.* El conocimiento de la cantidad y composición de basura generada en la fuente.

*El almacenamiento temporal.* El área y el tiempo en donde la fuente almacena sus residuos.

*La recolección.* Determina rutas y frecuencias de visita a las zonas generadoras.

*El transporte.* El equipo y materiales necesarios para recolectar y trasladar la basura.

*El tratamiento y el reciclaje.* Contar con tecnologías que permitan procesar la basura a fin de rescatar materiales que por su naturaleza sean aprovechables.

*La transferencia.* En caso de que el sitio de disposición final (o de vertido final) se encuentre alejado de los centros generadores, los gastos de transportación de los residuos sólidos municipales alcanzan niveles prohibitivos, por lo que se requiere establecer estaciones de transferencia.

*La disposición final.* Áreas adecuadas para el establecimiento de rellenos sanitarios en donde se confinen los residuos.

### **3.1 LA RECOLECCION DE LA BASURA**

Como sucede en la mayor parte de los países desarrollados del mundo, los sistemas de recolección de los desperdicios sólidos son indudablemente sistemas compuestos por hombres y camiones. Con alguna pequeña excepción, la recolección de los residuos sólidos municipales es hecha por hombres o mujeres quienes atraviesan la ciudad en camiones para posteriormente dirigirse con el camión a los depósitos, en donde es vaciado el camión. Estos lugares pueden ser, en el caso ideal, un relleno sanitario (vertedero controlado), o bien en una parada intermedia donde los desechos son transferidos de un pequeño camión dentro de otro de mayor tamaño, o bien, barcazas o carros de ferrocarril para transportarlos a gran distancia. A las instalaciones intermedias se les conoce como Estaciones de Transferencia.

El sistema de recolección es la parte más importante del manejo de los residuos sólidos municipales y en algunas ocasiones llega a representar el 80% de los costos totales que los municipios destinan para resolver el problema.

En las ciudades de la República Mexicana se recolectan alrededor del 70% de los residuos producidos, mientras que los restantes se abandonan en calles y lotes baldíos o se tiran en basureros clandestinos, cauces de ríos, arroyos u otros cuerpos de agua urbana.

Una práctica común en México y otros países del Tercer Mundo (o Subdesarrollados) ha sido la de disponer los residuos sólidos en basureros a cielo abierto, lo que ha tenido repercusiones en la calidad del aire, del agua y del suelo, así como en la salud de los habitantes que lo circunscriben, por las emanaciones de gases que es estos producen, los malos olores, los nocivos incendios, la generación de lixiviados y la proliferación de fauna nociva. En México se observan varias prácticas para el manejo y eliminación de los residuos sólidos; estos datos se encuentran plasmados en la tabla 3-1.

**Tabla 3-1 SITUACION DEL MANEJO Y DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES EN 1994**

	Volúmen ton/día	%	Miles ton/año
Generación de residuos estimados	80 746		29 472
Eficiencia de los sistemas:			
-Recolección	56 522	70.00*	20 631
-Relleno Sanitario	13 859	17.16	5 059
-Tiradero a cielo abierto	66 887	82.85**	24 414

\* Del total generado 70% se recolecta

\*\* Del total recolectado 75.5% más lo no recolectados dan 82.84% que se disponen en: rellenos no controlados; tiraderos a o abierto y clandestinos sin ningún control sanitario.

fuelle: Dirección de Proyectos de Residuos Sólidos para la Preservación del Medio Ambiente, Subsecretaría de Desarrollo Sedesol, 1994.

El proceso de recolección no debe ser pensado como un proceso de operación simple, desde el momento en que es posible definir por lo menos cinco fases por separado que determinan al proceso, como se observa en la figura 3-1.

En la FASE 1, el residente en forma individual debe remover cualquier cosa que sea considera como desperdicio ( definido como material que no tiene un valor futuro para el usuario )o residuo y depositarlo en un bote para basura, el cual puede estar dentro o fuera de la casa.

La FASE 2 consiste en el movimiento del bote de la basura hacia el camión, el cual forma parte de una cuadrilla de recolección, en el mismo momento en que el usuario lo ocupa. Si el bote es trasladado por el usuario hasta dejarlo en la calle, el sistema es llamado recolección en banqueta. El camión debe recolectar los desperdicios de muchas casas de la manera más eficiente posible ( FASE 3 ) y cuando se encuentra lleno ( o al final del día ), este debe viajar hasta el tiradero o al lugar de transferencia ( FASE 4).

La FASE 5 determina la localización de los tiraderos o de las estaciones de transferencia. Lo anterior genera básicamente un serio problema de planeación, lo que normalmente involucra a más de una comunidad. A continuación se detallan con mayor profundidad cada fase.

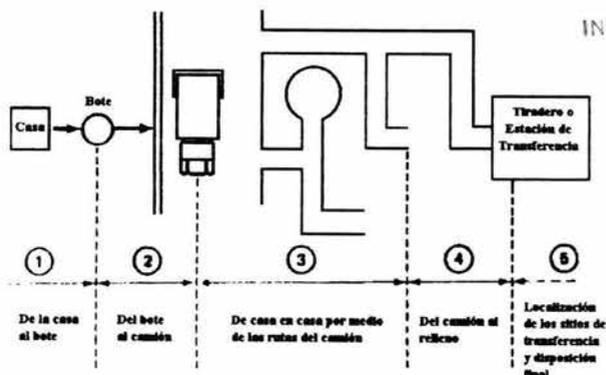


Figura 3-1 DIVERSAS FASES QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA DE RECOLECCION DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

## FASE 1

Es la fase de recolección en la fuente de generación (casas, comercios, etc), esto es, depositandola en un bote o contenedor. Esta operación no había recibido la importancia que merecía, ya que los investigadores o gobernantes consideraban que las eficiencias y conveniencias ganadas eran personales y no comunitarias. En un tema posterior sobre la separación de residuos, se observará que la gran desventaja en la recolección de materiales separados es el inconveniente padecido por el individuo.

Generalmente los recipientes para el manejo de los residuos domiciliarios (Botes de basura o contenedores urbanos) que son utilizados en muchas ciudades son generalmente denominados de recogida abierta y se caracterizan por sus inconvenientes, como son: dispersión de papeles y polvos, cubos volcados por el viento o animales, etc. Este método es el más simple; no necesita vehículos especiales, pero sí es preciso imponer una cierta disciplina en cuanto a los botes:

- han de ser de un modelo apropiado y de fácil manejo
- provistos de tapadera
- insonorizados
- mantener su limpieza

En la actualidad con el gran incremento de tiendas de autoservicio que ofrecen bolsas de polietileno para transportar las mercancías, éstas son recomendadas para depositar los desperdicios caseros y una vez cerradas, sean depositadas en botes de mayor capacidad, o bien son colocadas directamente en la acera para su recolección, con el inconveniente de su baja resistencia a la ruptura.

En realidad con el procedimiento anterior se evita el tener expuestos desperdicios al aire libre, pero implica una operación posterior, ya sea por el operario del camión de recolección, o bien en el relleno sanitario y que consiste en romper las bolsas para permitir la salida de los desperdicios, o de lo contrario se interfiere en el proceso de putrefacción natural al carecerse de aire.

Debido a la generalizada escases de tecnologías innovativas en la primera fase, una excepción son los compactadores caseros. Estos aparatos, normalmente situados debajo de la barra de la cocina, comprime aproximadamente 9 Kg de desperdicios dentro de un adecuado bloque sin necesidad de bolsa especial para posteriormente ser depositados en el bote de la basura normal.

En algunos países se ha probado el estandarizar los cubos para la basura, siendo estos, o bien de metal galvanizado, o de plástico; a los cuales, por medio de un dispositivo mecánico se les engancha y vacía su contenido dentro del camión recolector. Se comprobó que para zonas de multifamiliares es adecuado este sistema por los volúmenes de recolección observados. En la Cd. de México se han iniciado algunos proyectos pilotos en este sentido, así como en los campos de la Unam, en la Ciudad Universitaria en donde se pueden apreciar los nuevos contenedores de plástico verde, de gran capacidad y con tapa superior que aísla los residuos del medio ambiente.

Debido a la generalizada escases de tecnologías innovativas en la primera fase, una excepción son los compactadores caseros. Estos aparatos, normalmente situados debajo de la barra de la cocina, comprime aproximadamente 9 Kg de desperdicios dentro de un adecuado bloque sin necesidad de bolsa especial para posteriormente ser depositados en el bote de la basura normal.

Bote de basura casero



Bolsa de basura (papel o plástico)



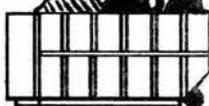
Contenedor de mediana capacidad con ruedas



Contenedor móvil de gran capacidad



Contenedor abierto enganchable a una plataforma



Contenedor especial para recolección selectiva



Figura 3-2 VARIEDAD DE RECIPIENTES PARA EL ACOPIO DE RESIDUOS SOLIDOS.

En algunos países se ha probado el estandarizar los cubos para la basura, siendo estos, o bien de metal galvanizado, o de plástico; a los cuales, por medio de un dispositivo mecánico se les engancha y vacía su contenido dentro del camión recolector. Se comprobó que para zonas de multifamiliares es adecuado este sistema por los volúmenes de recolección observados.

En la Cd. de México se han iniciado algunos proyectos pilotos en este sentido, así como en la Ciudad Universitaria en donde se pueden apreciar los nuevos contenedores de plástico verde, de gran capacidad y con tapa superior que aísla los residuos del medio ambiente.

Existe también lo que se conoce como recolección hermética que consiste en vaciar los botes de basura por medio de un dispositivo cerrado que evita toda manipulación que no sea la "conexión" del bote para verter su contenido mecánicamente dentro del camión. Esta técnica supone el empleo de recipientes especiales y de camiones equipados para tal efecto.

En algunos grandes inmuebles se observan tiros para la basura en los que se usan bolsas o botes colectivos; pero como el trabajo y el costo de su operación es elevado, se ha preferido utilizar los denominados "containers" de 750 a 1200 litros sobre ruedas, los cuales son vaciados en los camiones por dispositivos especiales, o bien remolcados hasta una Estación de Transferencia.

Todos los procedimientos anteriores se basan en el transporte de la basura desde los patios o las aceras a los camiones que circulan lentamente entorpeciendo el tráfico. Por lo anterior se ha desarrollado un procedimiento que permite el transporte de basuras por tuberías que parten de las tolvas de vaciado situadas en las casas y terminan en un gran container de 22 toneladas, previa trituración opcional, o bien en un incinerador, o también en un compresor fijo de basura.

La recolección neumática antes mencionada se trata de un sistema de transporte por vacío y vía seca y funciona de la siguiente manera:

La basura se tira por las tolvas situadas en cada casa y se acumula sobre unas plataformas horizontales situadas al final de las conducciones verticales. A una hora determinada, un grupo de turbinas aspirantes se ponen en funcionamiento, lo que crea una depresión en el interior de las tuberías, simultáneamente se abre una toma de aire al exterior. Las plataformas que retenían la basura se van abriendo una a una, permitiendo que ésta caiga a las conducciones horizontales. La basura es llevada entonces por la corriente de aire hasta un colector para comprimirla, con o sin trituración previa, o entrar en la tolva de un incinerador local. El diagrama de un sistema neumático se muestra en la figura 3-3.

El aire que sirvió para la evacuación de las basuras pasa por un filtrado eficaz, y se devuelve al exterior por medio de un silenciador. Las bombas aspirantes son lo suficientemente potentes para hacer funcionar la instalación en un radio de 1.5 a 2 Km. Los costos de funcionamiento son muy bajos, por lo que quizá se podría estudiar el establecer dicho sistema en fuentes multifamiliares y con ello amortizar la muy costosa instalación.

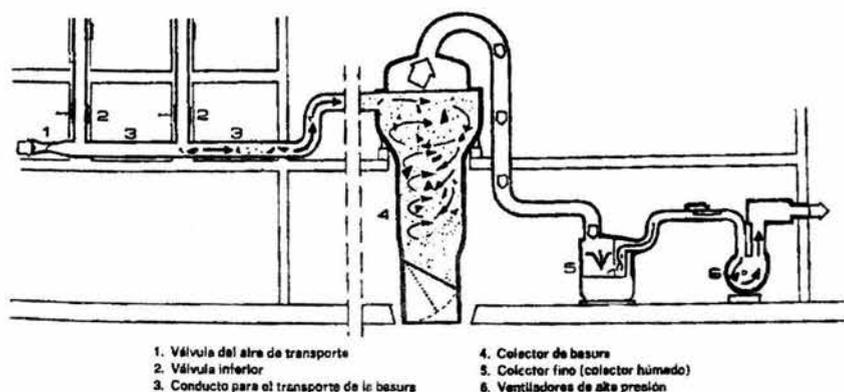


Figura 3-3 ESQUEMA DE UN SISTEMA DE EVACUACION NEUMATICA POR DUCTOS TUBULARES.

## FASE 2

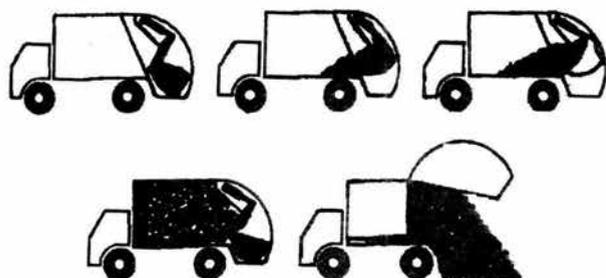
La segunda fase de la recolección es el movimiento de los desperdicios al camión, que puede ser realizado por la tripulación o por los mismos residentes.

La recolección de cestos de basura ( en algunas ciudades por calles estrechas ) puede ser facilitada vaciando los botes en tambores, o con el uso de botes de plástico especialmente construidos con ruedas los cuales son hidráulicamente vaciados dentro del camión. Estos botes soportan arriba de 300 litros (80 galones) y pueden ser también usados para desperdicios de jardín u otros.

Otros métodos para la transferencia de los desperdicios hasta el camión han sido probados con variados grados de éxito. La motivación para el empleo de instrumentos mecánicos de vaciado de botes en los camiones ha sido tanto eficiente como segura. Esto no debería ser una sorpresa, ya que la recolección de los residuos sólidos es en la mayoría de los casos uno de los trabajos de mayor riesgo que existen.

Los camiones usados para la recolección residencial y comercial están acondicionados con compactadores llamados "empacador", y varían en su tamaño y diseño, con cargas de 12 a 15 m<sup>3</sup> (16 a 20 yd<sup>3</sup>) siendo estos los más comunes.

Otros tipos de camiones, son vehículos con una simple caja abierta, y son usados generalmente, cuando los desperdicios son previamente empacados en bolsas de papel. En la fig. 3-4 a se observa el ciclo completo de un camión con dispositivo neumático para poder compactar la basura, mientras que en la fig. 3-4 b se pueden observar los diversos tipos de vehículos recolectores de basura que funcionan normalmente en una ciudad, dependiendo de las condiciones de la zona generadora de basura y el tipo de residuos .



Quando la tolva está llena, el ciclo de carga comienza. La pala empacadora sube hasta llegar a la parte alta de la tolva y después se mueven con la pala hacia el interior. Cuando el camión está lleno, la sección trasera del camión contiene un pistón el cuál expulsa a los residuos comprimidos.

Figura 3-4 a ESQUEMA OPERATIVO DE UN CAMION CON COMPACTADOR

Camión recolector abierto



Camión recolector con compactador de basura



Camión recolector con dispositivo de vaciado automático de contenedores móviles



Camión para contenedor abierto enganchable



Sin embargo, en muchas ciudades, algún tipo de empacador es utilizado. Estos camiones tienen mecanismos de compactación operados hidráulicamente, los cuales pueden comprimir los desperdicios desde una baja densidad de aprox.  $35 \text{ Kg/m}^3$  ( $60 \text{ yd}^3$ ) hasta un rango de  $200$  a  $240 \text{ Kg/m}^3$  ( $350$  a  $400 \text{ yd}^3$ ). Los vehículos con cargador trasero tienen una plataforma de carga baja la cual hace posible su vaciamiento cómodamente. Estos camiones pueden compactar a altas densidades, adaptando ejes de carga, y son estos los más comunes. Los mecanismos de compactación (empacado) se muestran en la figura 3-4.

Figura 3-4 b. Vehículos de recolección de residuos sólidos urbanos.

### **FASE 3**

Es la más estudiada de las fases y consiste en el desplazamiento de los camiones de casa en casa. Es obvio que la selección de una ruta o circuito puede afectar grandemente la eficiencia en la recolección y los cambios de ruta pueden resultar en un ahorro sustancial para la comunidad. La ruta particular de cada vehículo es asignada para una zona de recolección normalmente llamada "microruta" para distinguirla de los grandes problemas de enrutamiento a los sitios de depósito (tiraderos) y para el establecimiento de los límites de cada ruta en forma individual (Fase 4). A la unión de varias microrutas se le denomina comúnmente como "macrorutas" o "distritales".

La inminente pregunta que siempre se plantea es el cómo enrutar a los camiones a través de una serie de calles de uno o doble sentido minimizándose la distancia recorrida. Viendolo de otra manera, el objetivo es minimizar los avances muertos (deadheading), o lo que es igual, el viajar sin recoger desperdicios. Lo supuesto es que si una ruta puede ser ideada teniendo el menor número de avances muertos posibles, ésta será la más eficiente ruta de recolección.

El problema de la proyección de rutas a fin de eliminar los avances muertos parte de estudios indirectos realizados en 1736 por el brillante matemático Leonard EULER, el cuál fué invitado a diseñar una ruta para un paseo a través de los siete puentes de Königsberg, un pueblo al este de Prusia.

En el paseo no debería cruzarse un mismo puente dos veces pero debería regresar al punto de partida. El problema se ilustra en la fig. 3-5, junto con un diagrama esquemático. Las rutas son mostradas con líneas llamadas eslabones o ramas (links) y las localidades son conocidas como nodos (nodes). El sistema mostrado tiene cuatro nodos y siete ramas.

Euler no solamente demostró que el recorrido era imposible, también generalizó dos condiciones que deberían ser satisfechas en cualquier red para hacer una ruta posible al viajar sin cruzar dos veces por el mismo camino. Estas dos condiciones son:

1. Todos los puntos deben estar conectados (de uno debe ser posible conseguir desplazarse a otro)
2. El número de ramas para cualquier nodo debe ser de un número igual.

La primera condición es lógica. La segunda similarmente tiene sentido, y es que, si uno viaja para situarse ya sea en la isla A o B de la fig. 3-5, debe haber un camino diferente que permitir el regreso de nuevo ( por lo tanto dos caminos ). El problema del paseo de Euler tuvo todos los nodos con un número non de ramas, una clara e imposible situación.

El número de ramas que conectan a los nodos designa su grado, y la existencia de un nodo de grado impar en un sistema indica que es imposible una ruta sin avances muertos. Un sistema que tiene todos sus nodos del mismo grado es conocido como una Red Unicursal, y el Tour de Euler es teóricamente posible.

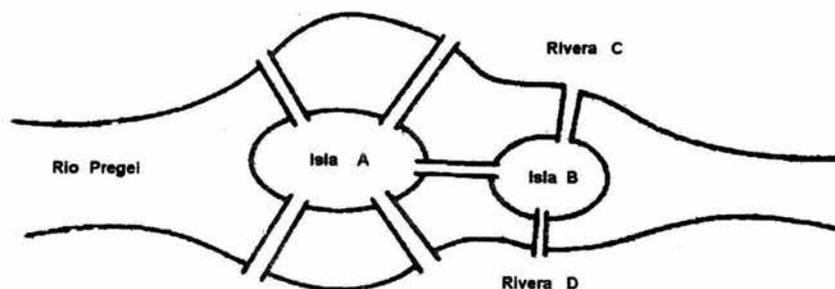
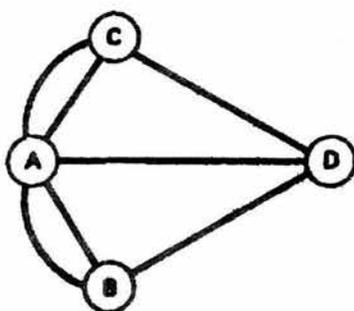


Figura. 3-5

**EL PROBLEMA DE LA RUTA DE PASEO DE EULER Y LOS SIETE PUENTES DE KÖNIGSBERG.**



En el mundo real, calles de un solo sentido, callejones, y otras restricciones pueden representar una aplicación práctica de la dificultad de un análisis teórico. Una calle de un solo sentido puede ser considerada en la teoría de Euler reconociendo de antemano que para cada entrada posible a un nodo debe haber un número exacto e igual de salidas para dejarlo. Así pues, un nodo con tres calles de un solo sentido que se dirigen a éste y una sola calle de un solo sentido que sale de éste, inmediatamente forma una red No Unicursal, aún cuando el número de ramas a éste nodo es par.

El desarrollo de rutas más cortas implica el hacer sistemas unicursales con el menor número de ramas agregadas. Por ejemplo, el problema de los puentes de Königsberg debería requerir solo dos ramas adicionales (avances muertos) para hacerlo un sistema unicursal (fig. 3-6). Con éste sistema, existiría el teórico paseo de Euler, y el problema es ahora encontrar la ruta apropiada.

Una vez que la Red Unicursal ha sido determinada, solo queda enrutar al camión dentro de la Red. Al método de rutas heurísticas (o de sentido común) desarrollado por Shuster y Schur se le han encontrado amplias aplicaciones al respecto

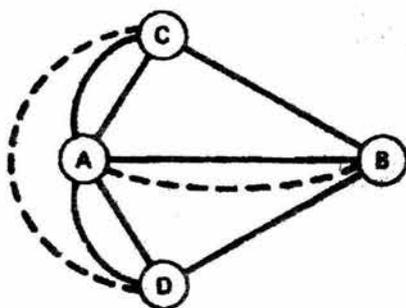


Figura 3-6 AUMENTANDO DOS RAMAS SE CREA UNA RED UNIDIRECCIONAL EN EL PROBLEMA DE LOS PUENTES DE KÖNIGSBERG.

Ellos promulgaron las reglas que deben seguirse para una microruta, algunas de las cuales son juicios de sentido común y algunas son útiles pautas para determinar estrategias globales cuando se abarca toda una Red. A continuación se detalla el juego de reglas para una "microruta":

1. Las rutas no deben de sobreponerse, pero deben ser compactas y no fragmentadas.

2. El punto de partida debe ser lo más cercano posible al depósito de los camiones.

3. Las calles excesivamente transitadas deben ser evitadas en horas pico.

4. Calles de un solo sentido que no puedan ser cruzadas en una línea deberá ser rodeada desde el principio hasta el final de la calle.

5. Los callejones deben ser recolectados cuando se esté del lado derecho de la calle.

6. En cuestas, la recolección deberá realizarse en forma descendente para que el camión pueda deslizarse libremente.

7. Dar vueltas en sentido de las manecillas del reloj alrededor de una manzana debe hacerse lo menos posible.

8. Largos caminos rectos, deben ser transitados antes de circular alrededor en sentido horario.

9. Para ciertos bloques de manzanas, caminos como los mostrados en la fig. 3-7 y 3-8 pueden ser usados.

10. Vueltas en U deben ser evitadas y por ningún motivo dejar una calle de doble sentido como el único acceso de entrada y salida a un nodo.

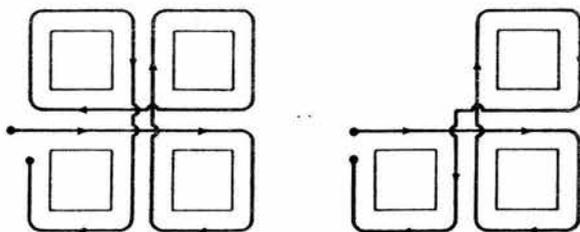
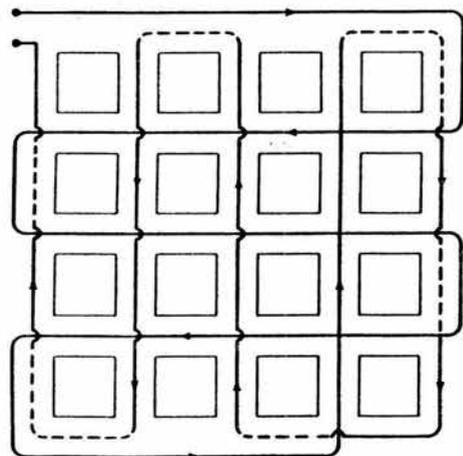


Figura 3-7 MODELOS ESPECIFICOS DE RUTAS PARA UNA CONFIGURACION DE 3 Y 4 MANZANAS.



Programas de computadora muy sofisticados han sido desarrollados por un gran número de investigadores, pero en la práctica ha sido encontrado que "las rutas construidas manualmente" son la mayoría de las veces mejor hechas que aquellas determinadas por códigos analíticos para construcción de rutas.

#### **FASE 4 Y 5**

Para pequeñas y aisladas comunidades, el problema de las macrorutas se reduce a encontrar el camino más directo desde el fin de la ruta hasta el tiradero o vertedero (disposal site).

*Figura 3-8 EJEMPLO DE UNA RUTA HEURISTICA DE GRANDES REDES; CON RECOLECCION EN LAS AMBAS ACERAS DE LA CALLE.*

Para sistemas regionales de grandes áreas metropolitanas, sin embargo, las macrorutas pueden ser usadas con grandes ventajas en términos de poder desarrollar un óptimo esquema de eliminación y transporte de residuos sólidos. Las técnicas disponibles, llamadas "modelos de distribución" están basadas en el concepto de minimización de las funciones objetivas propensas a contraerse, siendo la programación lineal la técnica más común.

Un problema sencillo de aplicación es el de optimizar la eliminación de desperdicios sólidos en más de un relleno sanitario. A menudo la solución es obvia -la fuente más cercana es depositada primero, seguida por la siguiente más cercana, y así sucesivamente.

Con sistemas más complejos, sin embargo, se hace necesario el uso de técnicas de optimización. El más apropiado es el "algoritmo de transportación", que utiliza la metodología de la programación lineal.

La complejidad del problema se vá incrementando por la inclusión de instalaciones intermedias como son las estaciones de transferencia o los incineradores.

### **3.2 ALMACENAJE Y ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.**

Como se ha observado en la exposición anterior, los desperdicios sólidos son almacenados inicialmente por las propias fuentes generadores ( residenciales, comerciales o industriales) en espera que el sistema ( municipal ) de recolección los retire de sus inmuebles para ser llevado a un depósito final llamado Relleno Sanitario.

Generalmente los camiones de recolección vacían sus cargas en un relleno sanitario o en una Estación de Transferencia, en caso de existir esta. Para su transportación, la distancia influye fuertemente en el costo del servicio, no solo por el transporte en sí, sino también por la pérdida de tiempo que esta representa.

Debido a la dificultad de encontrar terrenos adecuados para colocar un Relleno Sanitario cercano a las ciudades, la distancia para llegar a ellos crece en decenas de kilómetros, por lo que la actual tendencia es la de agrupar varios municipios para realizar este servicio.

Considerando el problema anterior y que la inversión en camiones es muy elevada se hace preciso construir una Estación de Transferencia. En éstas estaciones los camiones vierten la basura sobre una gran fosa, posteriormente es depositada (y en algunos casos comprimidas) dentro de la caja de un trailer, o bien, se vierte directamente en grandes contenedores en espera de su vaciado, se debe anotar que en ciertas instalaciones la basura puede ser triturada previamente.

En una caja de 20 m<sup>3</sup> se pueden transportar hasta 21 Ton. de basura triturada. Por tanto, éste trailer reemplaza de 3 a 4 vehículos de recolección urbana, realizando un solo transporte a larga distancia; y su vaciado se realiza, ya sea mediante una pala de eyección, o el piso de la caja tiene un sistema de deslizamiento, vertiendo los residuos sobre la fosa de recepción del relleno sanitario.

Los gastos de mantenimiento y operación de estas estaciones son pequeños y pueden ser manejadas por el mismo personal que realiza la recolección. Las grandes ventajas asociadas con las estaciones de transferencia han producido un rápido crecimiento en el número de éstas en las tres últimas décadas. Los principales beneficios derivados de ellas se resumen en:

1. Economía en el arrastre de desperdicios a los Rellenos sanitarios
2. Reducción de horas-hombre-muertas por transportación.
3. Ahorro de energía, básicamente en combustible para el camión.
4. Ahorro en el uso y desgaste de los vehículos.
5. Versatilidad para poder realizar operaciones conjuntas  
( Compactación , trituración, separación, incineración, etc. )
6. Reducción en la superficie de tránsito de los Rellenos Sanitarios.

### 3.2.1. TIPOS DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.

Los tipos de estaciones de Transferencia de residuos sólidos incluyen:

\* De descarga directa -sin piso de almacenaje:

Instalación de dos niveles en donde los vehículos en el piso superior descargan al piso inferior. Es sumamente eficiente y en la mayoría de los casos, la operación conlleva el llenado del trailer directamente.

Valores representativos de éste procedimiento son los siguientes:

Promedio de carga recolectada por un camión	6.6 Ton.
Promedio de tiempo de descarga	6 min.
No. de camiones descargando simultáneamente en el mismo foso	2
Capacidad del trailer de transferencia	20 Ton.
Tiempo estimado de llenado y cambio de trailer del lugar	7 min.

Usualmente se utiliza un cucharón de quijadas para distribuir los desperdicios en el trailer. El cucharón también ejerce una compactación aunque de bajo grado. Generalmente está provisto el cucharón de un dispositivo para agarrar un mayor volumen de basura. La desventaja de este tipo de estación es su baja eficiencia si el cucharón se pone fuera de servicio por mantenimiento, no existiendo elemento que lo remplace.

\* De descarga directa -con piso inclinado de almacenaje:

Este sistema de piso incrementa la capacidad de almacenado. Este concepto es resultado de cambios sustanciales tanto en la operación como en la construcción. El costo es significativamente mayor por el largo piso inclinado que se requiere para almacenar la basura. Los métodos de operación y costo también se incrementan. Este sistema es resultado de la necesidad de utilizar una pala mecánica (wheel loader) para cargar los desperdicios dentro de los trailers abiertos.

La ventaja de éste tipo de estación es que en horas pico, la capacidad de la estación no se ve limitada y se pueden descargar cuanto camión llegue. Se debe observar el costo de esta estación y su rentabilidad en el caso de desear diseñarla. Se puede decir que éste tipo de estación es más aconsejable para utilizarse como estación de transferencia e instalación para la recuperación de materiales conjuntamente. Con los pisos inclinados se obtiene la posibilidad de separar los materiales susceptibles a reciclado.

\* Compactadora:

Básicamente existen dos tipos de operaciones en una estación de Transferencia Compactadora; acumulado de la carga dentro del mismo piso o bien, vaciado en una tolva por el piso superior. Los desperdicios sólidos son movidos dentro del compactador y compactados en el trailer a su menor nivel.

Cuando la basura se deposita en el piso, una pala mecánica es empleada para llevar los desperdicios hacia la tolva. En algunos casos las tolvas son lo suficientemente grandes para recibir directamente a más de un camión al mismo tiempo. La basura es empujada por una larga pala operada hidráulicamente de la tolva de recepción al compactador y después compactando dentro del trailer.

El inconveniente se presenta en los trailers que deben soportar altas presiones de compactación, por lo que en los últimos años, los compactadores se encuentran ubicados en sus propias cámaras de compactación, por lo que descargan sobre los trailers los desperdicios compactados, eliminando la presión para el trailer.

#### \* Fosas:

El concepto de la fosa ha sido utilizado por muchos años en una gran cantidad de países que utilizan estaciones de transferencia. Esta puede almacenar en horas pico y puede ser operada las 24 horas si se desea.

Es posible que los desperdicios sean almacenados por las noches dentro de la fosa, esto depende de los requerimientos regulares y de las preferencias de su operación. Es común dejar algo de desperdicios en la parte baja de los pisos de las fosas para reducir el daño a estas producido por las orugas de los bulldozers usados para quebrar y cargar los desperdicios.

Las estaciones de tipo fosa han provado ser adecuadas para el manejo de desperdicios voluminosos (bulky waste). Un equipo de trabajo en la fosa puede aplastar y despedazar el desperdicio de gran volumen preparándolo para ser cargado en el trailer.

#### \* Combinado:

En muchas de las estaciones de Transferencia se encuentran incluidos más de un tipo de concepto para ésta. Muchas incluyen el vaciado directo con la fosa. El área de maniobra de los vehículos de recolección es generalmente en el centro de la estación.

### **3.2.2. CONSIDERACIONES PARA LA UBICACION DE UNA ESTACION:**

Obtener un lugar adecuado y establecer una estación de transferencia es un paso difícil. Merece la más cuidadosa planeación y el considerar una serie de factores interrelacionados con ésta. Algunas consideraciones a tomar en cuenta son:

- \* Requerimiento de superficie de tierra.
- \* Disposición y arreglo del sitio.
- \* Vías de acceso e impacto al tránsito.
- \* Localización.
- \* Zonificación de acuerdo a las necesidades municipales.
- \* Aceptación pública.
- \* Costo del terreno.

Los residuos son descargados, o bien directamente dentro de la caja abierta de un trailer, o en el interior de una instalación compactadora, o en un transportador continuo llevándolos hacia una instalación de procesamiento de residuos o una instalación de compactación.

Los residuos que se encuentran en el foso de almacenaje son empujados dentro de la caja abierta de un trailer para su transportación, o bien dentro de una instalación de compactación, o hacia un transportador continuo para llevarlos hacia una instalación de procesamiento de residuos o una instalación de compactación.

Los residuos son descargados sobre una plataforma de descarga. Después que los materiales reciclables han sido separados, los residuos restantes son cargados dentro de un trailer para su transportación por medio de cargadores primordialmente.

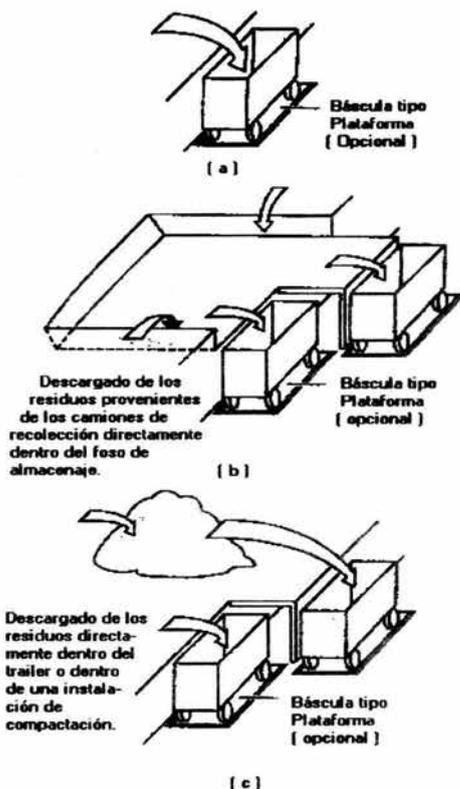


Figura 3-9 ESQUEMAS DE LOS DIFERENTES TIPOS COMO PUEDE OPERAR UNA ESTACION DE TRANSFERENCIA : (a) DE CARGA DIRECTA; (b) CON ALMACENAMIENTO DE CARGA Y (c) COMBINADA CON CARGA DIRECTA Y ALMACENAMIENTO.

### 3.3 TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

En muchos países se han establecido normas severas para el tratamiento de la basura, las cuales obligan a los ayuntamientos a enfrentarse con este difícil problema. En varios países aún no se han dictado estas normas, pero es evidente su necesidad si visitamos sus rellenos sanitarios, la mayoría incontrolados, y que constituyen un grave atentado contra la salud pública y contra la Naturaleza. La solución es siempre costosa, pero se trata de un costo que habrá que repartir entre los ciudadanos que lo utilizan; lo que no podemos es dejar que los rellenos sanitarios vayan creciendo más y más sin tomar las medidas oportunas.

Para resolver este problema es preciso la firme convicción de ayuda y la presta actuación por parte del Gobierno Federal a través de los Secretarios de Estado correspondientes, los gobiernos de los Estados, sus Municipios y los Legisladores del país.

### 3.3.1 DISPOSICION FINAL

En todos los países subdesarrollados, en vías de desarrollo y algunos desarrollados, los sistemas de disposición final de los residuos sólidos se efectúa todavía por medio de los tiraderos a cielo abierto por vía seca, que tantos problemas de contaminación causan a los ecosistemas. En algunas ciudades se ha comenzado a utilizar la tecnología del relleno sanitario como tal o bien el relleno sanitario controlado.

Para que una superficie disponible y autorizada albergue a un auténtico relleno, debe ser preparado un plan de operación para el adecuado depósito de los desperdicios sólidos. Varios métodos de operación han sido desarrollados, inicialmente basados en la experiencia de campo. Los métodos usados para rellenar superficies secas son totalmente diferentes de los usados para rellenar superficies húmedas (ejem. pantanos).

#### 3.3.1.1 EL RELLENO SANITARIO.

El relleno sanitario es una obra de Ingeniería, planeada, ejecutada y operada previendo efectos adversos al ambiente, en el cual se realizará la disposición final de los residuos sólidos municipales.

Los principales métodos utilizados para los rellenos sanitarios por vía seca pueden ser clasificados en: (1) de Superficie, (2) de Trinchera, y (3) de Zanja o Depresión. Además de éstos tres métodos, los cuales son normalmente usados para residuos sólidos municipales no procesados previamente, algunos rellenos sanitarios emplean la molienda o desmenuzando de los desperdicios sólidos previo a su vertido final.

#### \* METODO DE SUPERFICIE:

Este método es usado cuando el terreno es inapropiado para la excavación de zanjas o trincheras en las cuales depositar los desechos sólidos. Operacionalmente (fig. 3-10) los residuos son descargados y extendidos en largas y angostas fajas sobre la superficie de la tierra en una serie de estratos que varían de 16 a 30 pulgadas en profundidad. Cada estrato es compactado de acuerdo a como vaya progresando la descarga de residuos en el curso del día hasta que el espesor de los residuos compactados logren una altura que varía de 6 a 10 pies. En ese momento, y hasta el final de cada día de operación, otra capa de material de recubrimiento de 6 a 12 pulgadas es depositada encima de la totalidad del campo. El material de recubrimiento debe ser acarreado por medio de camiones o con equipo para movimiento de tierra de un terreno cercano o de una zanja para hacer terraplenes.

La operación de vaciado de los residuos sólidos normalmente es comenzada mediante la ejecución de un corte de terreno, frente al cual los residuos son colocados en delgadas capas y compactados.

El tamaño para el área de descarga varía dependiendo del terreno. Un completo levantamiento, el cual incluye el material de recubrimiento, es llamado celda (fig. 3-10).

Sucesivos levantamientos son colocados en la parte alta de uno de menor nivel hasta que la altura final es alcanzada según lo determinado en el plan de desarrollo del relleno. El tamaño del área de descarga usada cada día debe ser tal que la altura final programada para ese día sea alcanzada al final de este.

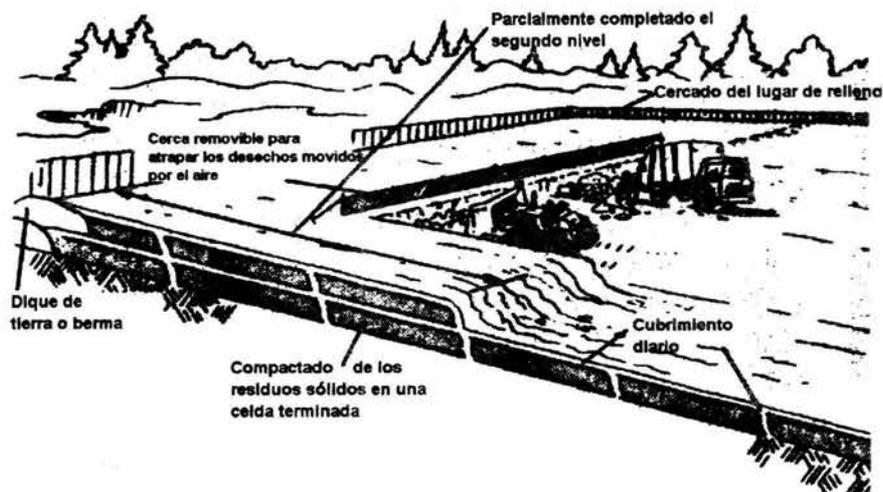


Figura 3-10 OPERACION POR EL METODO DE SUPERFICIE PARA UN RELLENO SANITARIO

Si una pequeña cantidad de material de recubrimiento se encuentra disponible en el lugar, la modalidad de declive en el método de superficie es generalmente empleada (fig. 3-11). En éste método, los residuos sólidos son colocados y compactados de acuerdo a lo descrito para el sistema de superficie y es parcial o totalmente cubierto con tierra obtenida de la base del declive.

En caso de requerirse tierra adicional, esta debe ser acarreada. Debido al incremento en su costo y a los problemas asociados con la obtención del material a utilizarse como recubrimiento, el uso del método de declives se debe basar en detallados estudios de factibilidad.

#### \* METODO DE ZANJAS:

El relleno sanitario por el método de zanjas o trincheras es idealmente adaptable en superficies donde está disponible una profundidad adecuada para obtener el material de recubrimiento en el lugar y donde el nivel hidrostático esté cercano a la superficie de éste.

Tipicamente, como se muestra en la fig. 3-12 los residuos sólidos son depositados en las zanjas variando de 100 a 400 pulgadas de largo, 3 a 6 pies de profundidad y 15 a 25 pies de ancho. Para iniciar el proceso, Una parte de la zanja es excavada y los lodos son almacenados en forma de terraplenes detras de la primera zanja.

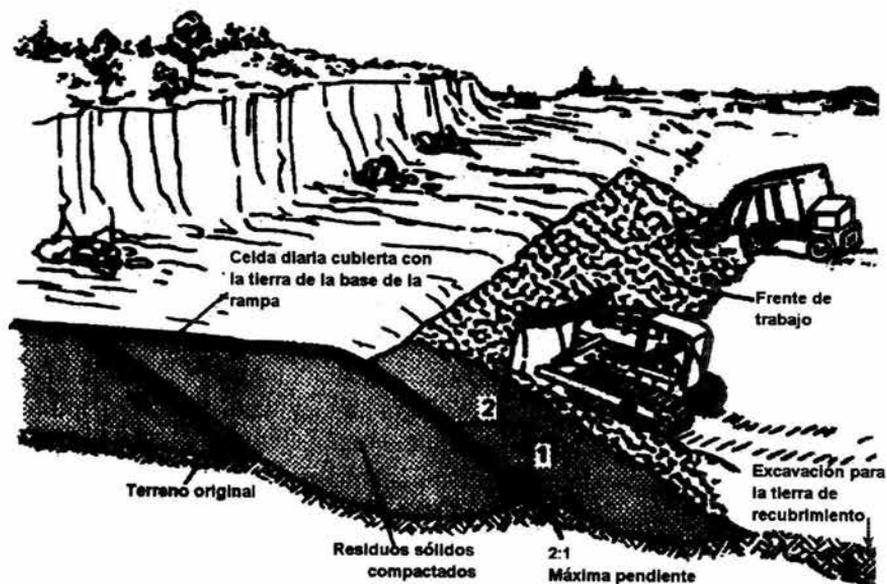


Figura 3-11 OPERACION POR EL METODO DE RAMPA PARA UN RELLENO SANITARIO.

Los residuos son entonces depositados en la zanja, regados en delgadas capas (normalmente de 18 a 24 pulgadas), y compactados. La operación continúa hasta alcanzar la altura deseada. El tamaño de la zanja utilizada en el día debe ser tal que la altura final de ésta sea alcanzada al final de cada día de operación.

El tamaño también deberá de ser suficiente para evitar costosos retrasos por la espera que se podría generar a los camiones recolectores al no poder descargar. El material de recubrimiento es obtenido por excavación de una zanja adyacente o contigua a la zanja que es rellena.

### \* METODO DE DEPRESION:

Cuando se localiza la existencia de una depresión natural o artificial, es generalmente posible usarla exitosamente para las operaciones de vaciado de residuos sólidos. Los cañones, barrancas, zanjas excavadas previamente y canteras, son todas usadas para éste propósito.

Las técnicas de depositar y compactar los residuos sólidos en rellenos por depresión varían de acuerdo con la geometría del sitio, las características del material de recubrimiento, la hidrología y geología del lugar, y el acceso al lugar.

Si la base de un cañón es razonablemente plana, el primer relleno en el lugar del cañón puede ser realizado empleando las operaciones del método de zanjas, planteado anteriormente.

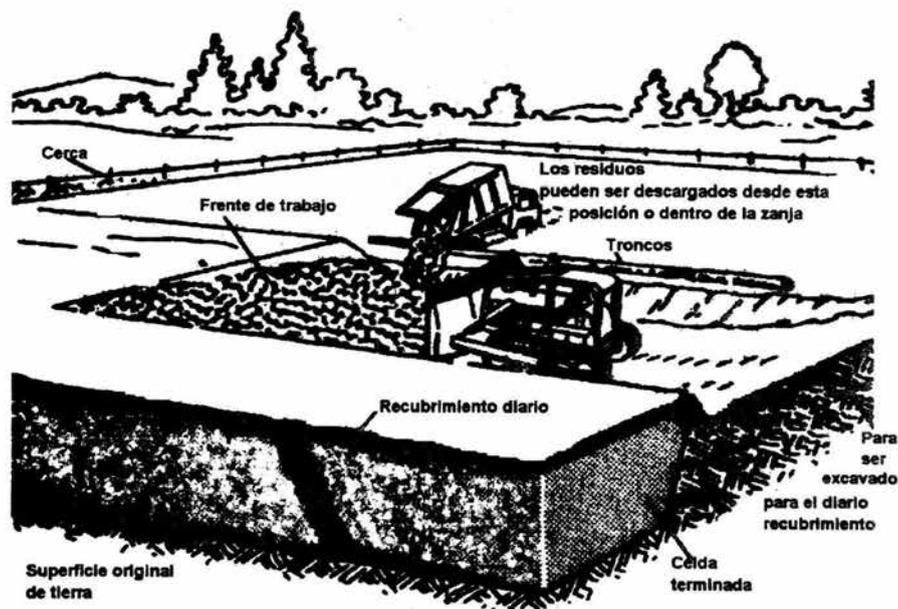


Figura 3-12 OPERACION POR EL METODO DE ZANJA PARA UN RELLENO SANITARIO.

### **3.3.1.2 CONDICIONES QUE DEBE SATISFACER EL SITIO EN QUE SE UBIQUE UN RELLENO SANITARIO**

- \* El manto freático deberá encontrarse a una profundidad mayor a 10 m.
- \* Las zonas de recarga de acuíferoso, fuentes de abastecimiento de agua potable deberán encontrarse a una distancia mayor de mil metros, aguas arriba del sitio elegido.
- \* Las zonas de fracturación deberán ubicarse como mínimo a una distancia de 500 m. del sitio y no deberá operar ningún relleno sanitario en la zona fracturada.
- \* El suelo deberá reunir características tanto de impermeabilidad como de remoción de contaminantes.
- \* Deberá tener una vida útil mínima de siete años.
- \* El sitio deberá estar ubicado a una distancia mayor a mil metros de la zona de inundación, cuerpos de agua y áreas donde se localizan drenajes naturales.
- \* Deberá estar ubicado a una distancia mayor de tres km. del área urbana; en un área de fácil y rápido acceso por carretera o caminos de terracería transitables en cualquier época del año; a una distancia mayor de 200 m. de las vías de comunicación terrestre; fuera de áreas naturales protegidas, del área de influencia de aeropuertos, de los derechos de vía de oleoductos o gasoductos, de las líneas de conducción de energía eléctrica y a una distancia mayor de 150 m. de zonas de almacenamiento de hidrocarburos.
- \* El sitio deberá tener un buen sistema de drenaje natural independientemente de la red de drenaje pluvial con que se equipe.
- \* La pendiente media del terreno natural del sitio no deberá ser mayor a 30% y deberá estar protegida de los procesos de erosión hídrica.

### **3.3.1.3. OBRAS COMPLEMENTARIAS EN LA CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO.**

- \* Área de acceso y espera
- \* Cerca o área perimetral
- \* Caseta de vigilancia
- \* Caminos permanentes
- \* Energía eléctrica
- \* Área de emergencia de disposición final
- \* Área de amortiguamiento
- \* Sistema de impermeabilización
- \* Área administrativa
- \* Pozos de monitoreo de lixiviados
- \* Servicios sanitarios
- \* Almacén y cobertizo
- \* Señalamientos fijos y móviles
- \* Sistema de monitoreo de biogás
- \* Sistema de captación de biogás
- \* Sistema de captación y tratamiento de lixiviados
- \* Drenajes perimetrales e interiores

### **3.3.1.4. RELLENO SANITARIO CONTROLADO:**

Un relleno sanitario se considera controlado cuando se toman las medidas oportunas para evitar todo lo que sea nocivo o molesto. El establecimiento de un relleno sanitario controlado implica no solo la utilización de medios mecánicos, sino también la observación de las reglas siguientes:

- 1.- Las basuras se descargan en capas sucesivas de espesores de 1.5 m. a 2 m.
- 2.- Las capas se nivelan y se limitan por terraplenes, con el objeto de que las lluvias no las arrastren. Se operará sobre un frente limitado con el objeto de cercar los terraplenes descubiertos.
- 3.- El depósito debe ser debidamente compactado y no debe permitirse la existencia de bolsas de aire. Los objetos voluminosos deben ser quebrados o divididos y colocados preferentemente en la base de los terraplenes.
- 4.- Los depósitos deben recubrirse con tierra o con un material de recubrimiento apropiado que constituye la cobertura.
- 5.- Se colocarán telas metálicas móviles en la zona de explotación para evitar que vuelen los papeles en el momento de la descarga. Así mismo se aconseja cercar el relleno sanitario con tela metálica de 1.5 m de altura como mínimo y rodearlo de árboles. El cercamiento impedirá la entrada de personas extrañas y permitirá un adecuado control por la puerta existente. Debe prohibirse terminantemente la peña.

Al colocar la basura de esta forma, la materia orgánica que se encuentra contenida en los residuos sólidos comienza a fermentar de forma aerobia y anaerobia en las capas superior e inferior, respectivamente.

### **3.3.1.2.1. RELLENO SANITARIO CONTROLADO TRADICIONAL:**

En este procedimiento no se coloca, si las condiciones lo permiten, una nueva capa de residuos hasta que la anterior no baje su temperatura a la natural del suelo. El depósito debe compactarse suficientemente pero sin exceso, para evitar las bolsas de aire que favorecen los incendios. La basura debe ser recubierta de tierra antes de las 72 horas, con capa de 10 a 30 cm de espesor. Para el recubrimiento es especialmente recomendable el empleo de arena y de chatarra, pues asegura la circulación del agua de lluvia y evita la formación de aguas estancadas. En este tipo de relleno sanitarios los malos olores se evitan con la capa de recubrimiento, como también la salida al exterior de larvas y moscas y los roedores no encuentran comida a su alcance; asimismo, es difícil que se produzcan incendios, pues el depósito queda suficientemente comprimido y por lo tanto no hay suficiente aire en su interior para la combustión.

### **3.3.1.2.2. RELLENO SANITARIO DE BASURA COMPACTADA:**

Se trata de un sistema que se está extendiendo rápidamente y, si se controla debidamente, los resultados son muy favorables, sin peligro ni molestia alguna. La compactación se efectúa mediante el rodaje de los camiones recolectores sobre el relleno sanitario, o bien con bulldozers especiales que aseguran la nivelación y su desplazamiento hacia el frente de la descarga.

Con estos bulldozers especiales se consigue tal compactación y no se precisa de la capa de cobertura; sin embargo, se recomienda el recubrimiento de los terraplenes en el caso en que éstos sean también compactados. Los resultados obtenidos con el relleno sanitario compactado son similares a los que se obtienen con el relleno sanitario controlado tradicional, pero con la ventaja de que en el compactado resulta imposible el incendio del relleno sanitario; por el contrario, la fermentación de los residuos orgánicos será totalmente anaerobia y por tanto habrá desprendimiento de metano.

### **3.3.1.2.3. RELLENO SANITARIO CON BASURA PREVIAMENTE TRITURADA:**

Este procedimiento es de utilización relativamente reciente y presenta grandes ventajas, basándose en los principios siguientes:

- Los ciudadanos para evitar las molestias son menores que en otros sistemas.
- Se puede circular fácilmente sobre el relleno sanitario.
- Triturada la basura, su colocación en capas es más fácil, el producto es más denso y homogéneo, no hay lugar a bolsas de aire y no es preciso un compactado especial, pues con el simple paso de los camiones en el relleno sanitario, este queda en condiciones adecuadas, facilitando la fermentación tanto aerobia como anaerobia.
- La basura triturada no atrae moscas, roedores y pájaros.

La basura triturada es aireada uniformemente, por lo que la fermentación aerobia transforma muy rápidamente las materias orgánicas cercanas a la superficie, constatándose una nueva reducción de volumen después de la fermentación. Reitero que no es necesaria la capas intermedias de cobertura; con extenderla únicamente al cerrar el relleno sanitario, este se podrá utilizar para desarrollar una zona verde, un campo de golf, etc.

Las capas de basura deben limitarse estrictamente a 2m de espesor, y dejar transcurrir un período de dos meses para cubrirla con otra capa igual. La instalación para la molienda de la basura puede estar situada en la estación de transferencia, o bien en el mismo relleno sanitario.

Para la instalación de un relleno sanitario controlado por cualquiera de los dos sistemas citados, es interesante elegir una depresión del terreno, pero haciendo previamente un adecuado estudio geológico para evitar filtraciones a los mantos freáticos subterráneos o arrastres de corriente de agua superficial.

#### **3.3.1.2.4. UTILIZACION POSTERIOR DE UN RELLENO SANITARIO:**

Una vez cerrado un relleno sanitario éste puede utilizarse para diferentes cometidos :

- Recogida y cribado del producto una vez que la fermentación está lo suficientemente avanzada. Esta utilización es cada vez más rara e incluso en algunos países se ha legislado que el producto así obtenido no puede ser vendido con la denominación de compost.
- Puesta en cultivo, creación de espacios verdes, campos de deportes, etc. Habrá que estudiar técnicamente el estado de la fermentación según el destino del terreno. En el caso de un relleno sanitario compactado, el terreno se considera estable después de doce años.

Se recomienda iniciar el aprovechamiento con una plantación de pasto. La plantación de árboles resulta aleatoria a menos que se haya cubierto el relleno sanitario con una capa importante de tierra vegetal.

El terreno ocupado por un relleno sanitarios de basura triturada es preferible para utilizarse posteriormente para cultivo, puesto que la capa superior se mineraliza muy rápidamente.

La construcción de casas sobre un relleno sanitario implica mayores reservas. En efecto, la compactación se sigue produciendo durante mucho tiempo y la fermentación en las capas profundas continúa durante años con emanaciones de gases nocivos, lo que obligaría, en todo caso, a construir casas sobre pilares elevados del suelo, pudiendo ser peligroso para los obreros la apertura de las zanjas para los cimientos. Por la misma razón, la utilización de un antiguo relleno sanitario para instalación de una industria debe llevar consigo el tomar las adecuadas precauciones.

El problema más importante para los agricultores al querer darle uso a un relleno sanitario extinto es el nylon. Una media de nylon permanece invariable transcurridos incluso seis meses en una masa en fermentación; se enrolla en las partes móviles y cubre una superficie en la que impide toda clase de germinación.

#### **3.3.1.3. RELLENO OCEANICO Y HUMEDO**

Aunque el vaciado de los residuos sólidos municipales al Oceano fué abandonada a mediados del siglo XX, la idea ha persistido a través de los años y es frecuentemente discutida hoy día.

Aún así, hace unos cuantos años, la idea de que el Oceano era un gigantesco fregadero, en el cual una cantidad infinita de contaminantes de todos tipos pueden ser vaciados, ha sido descartada. Por otro lado, se dijo que muchos de los residuos ahora colocados en los rellenos sanitarios o sobre la tierra pueden ser usados como fertilizantes para incrementar la productividad del oceano.

También es argumentado que el depósito de residuos en zanjas en el fondo del mar donde los repliegues tectónicos están apareciendo es un provechoso método de disposición de residuos. Actualmente varios residuos sólidos industriales y algunos otros son depositados en el mar.

En general se puede observar por todo el mundo que importantes ciudades costeras canalizan sus aguas residuales (aguas negras) directamente al océano, al carecer de sistemas de drenaje, por lo que al crecer estas ciudades, los problemas de contaminación de sus playas y costas se hacen evidentes y de un elevado costo de saneamiento ya que la realidad ha confirmado que el hombre produce y descarga al océano más residuos de los que tiene capacidad de asimilar.

Si a lo anterior le añadimos residuos sólidos, no nos extrañe que aún en altamar se observen flotando un sinnúmero de desechos, sin considerar el contaminante de moda: el derramamiento de petróleo crudo.

El método usual empleado para la disposición de residuos sólidos industriales en el mar consiste en la transportación de los residuos en tambores o en contenedores depositados en barcas propulsadas que los remolcan hasta el punto de descarga, normalmente mar adentro. La capacidad para las barcas para tambores es de 1000 a 5000 Tons. Los rangos de descarga para residuos industriales convencionales varía entre 4 a 20 ton/min. Los residuos en los contenedores son tanto cargados y vertidos o bien abiertos y arrojados para su hundimiento.

Los contenedores al tener una vida útil, pasada esta se desintegran y los residuos se mezclan en el mar, sucediendo, en algunos casos que los residuos floten en la superficie del mar así como los graves problemas de contaminación que se produce.

No se ha desarrollado técnica específica para el relleno de zonas pantanosas o bien de algunos causes pluviales, por lo que solamente se puede observar es que los residuos sólidos son arrojados directamente a estos lugares, correspondiendo principalmente al tratamiento de aguas negras o contaminadas su estudio específico.

### **3.3.2. EL COMPOSTAJE:**

En los años setenta, la tendencia general era el compostaje; sin embargo, dadas las dificultades para la comercialización del producto, la tendencia actual es de recesión acelerada.

Para la fabricación de compostaje podemos considerar dos métodos fundamentales:

- 1.- Fermentación natural, en la que, después del molido y eventualmente regado con agua, se coloca el producto en pirámides de 2m de altura sobre el área de fermentación. Durante el primer mes debe removerse cada diez días y una sola vez al mes durante los dos meses siguientes:

Después de cada volteo se observa una brusca elevación de la temperatura provocada por la aceleración de la fermentación de las bacterias aerobias termófilas. Si las pirámides no se remueven, se producirá una fermentación anaerobia, poco calorífica y con emanación de malos olores.

Transcurridos tres meses, la fase activa de la fermentación está terminada y queda sólo la maduración.

- 2.- En la fermentación acelerada, el producto triturado se almacena en torres, silos, cilindros o células. Se añade agua y se insulfa aire o se pone en movimiento el producto. Con este sistema se reduce la fase de fermentación a quince días. Tiene la ventaja de favorecer la oxidación de los compuestos orgánicos, controlar mejor la fermentación y evitar contactos exteriores con insectos y roedores, destruyéndose mejor los gérmenes patógenos al mantenerse mejor la temperatura.

Es evidente que el segundo sistema es más perfecto, pero las inversiones llegan a ser de 6 a 10 veces más elevadas que el primer procedimiento.

### 3.3.1. EL COMPOST:

A medida que se desarrolla la mecanización de la agricultura, el compost resulta ser un elemento indispensable para proporcionar a la tierra la materia orgánica precisa dado que el estiércol tiende a desaparecer.

En el cuadro siguiente exponemos los elementos más interesantes que integran el compost y el estiércol:

ELEMENTOS	COMPOST	ESTIERCOL
% de producto bruto húmedo	300	800
% de producto seco de materias orgánicas, totales.	430	170
Azoe	10	5
Fosfatos	6	3
Potasa	6	6
Cal	70	2

Un resumen de las tres acciones de un abono natural como es el compost en contraposición al estiércol que se pueden observar son:

- Acción química: abono completo, en el curso de la fermentación que continua en el suelo, el compost moviliza poco a poco sus reservas de azoe, de ácido fosfórico y de potasa y actúa beneficiosamente sobre la nutrición de la planta. La descomposición de las materias orgánicas libera aún cantidades importantes de ácido carbónico, al cual hay que atribuirle la doble virtud de ayudar a la nutrición por las raíces (disolución más rápida de algunos compuestos del suelo) y favorecer la asimilación clorofílica de las hojas.

He de señalar, sin embargo, que las reservas nutritivas del compost no son accesibles de inmediato y que son necesarias, para tal fin, tres cosechas como mínimo.

Finalmente, el compost contiene una serie de oligoelementos (sodio 3.8 %, hierro 20 %, manganeso 0.50 %, cobre 0.10 %, zinc 1.2 %, boro 0.2 %, azufre 5.5 %), de los cuales aún no se conoce bien su acción, pero sí se sabe que son beneficiosos para las plantas.

- **Acción física:** debido a su materia orgánica y al humus que se deriva, el compost posee la facultad de enmendar las características físicas del suelo. Las tierras que más se benefician son precisamente las que sufren una compactación excesiva (arcilla), o bien un exceso de permeabilidad (arena).
- **Acción biológica:** el compost aporta a la tierra un número importante de bacterias, pero es sobre todo gracias a su riqueza en materia orgánica que favorece las especies microbianas del mismo suelo.

### **3.3.2.2. FERMENTACION LENTA:**

Es precisamente, para obtener una fermentación lenta, que se tendrá interés en mecanizar la manutención y el movimiento del compost. Las aguas que suelta el compost deben ser evacuadas con cuidado y eventualmente tratadas para evitar la polución con las mismas.

En lo que concierne a las áreas de movimiento del producto, hay que tener siempre presente que si lo mantenemos sin voltearlo con arreglo a lo señalado, se producirá una fermentación anaerobia y en consecuencia olores de putrefacción, que pueden generar molestias en los alrededores y a los obreros de la explotación. La línea clásica a seguir en la fermentación lenta, generalmente suele ser: molido, selección, cribado y fermentación, pero algunos factores locales pueden modificar este orden y dar como principio la selección para la venta de los subproductos.

Suele decirse que las plantas que producen compost producen molestias en la vecindad debido al ruido, pero un estudio detallado nos ha mostrado que un molino a martillos de gran capacidad, a pleno rendimiento, produce 90 db a 5m y 76 db a 25m con viento favorable, y 72 db con viento contrario. Algunos señalan que el compostaje lento es menos higiénico y que facilita la creación de gérmenes patógenos. Ello es cierto siempre y cuando la fermentación lenta no se lleve a cabo en la forma adecuada y si los montones no se remueven según se ha señalado.

### **3.3.2.3. FERMENTACION ACELERADA:**

En los procedimientos del compostaje acelerado, la línea industrial es similar que en el lento, simplemente se añade al final de la línea un dispositivo para acelerar la fermentación. Los procedimientos se pueden clasificar en cinco grandes grupos:

- el compost se sitúa en células, unas encima de las otras, y se desplaza de arriba hacia abajo. Es como una torre de varios pisos en la que el compost desciende un piso cada día, con lo que se airea la masa total y se remueve toda;
- en cada piso se instalan dispositivos de riego para humedecer la masa con el objeto de facilitar la fermentación aerobia, y también planchas con tubos que permiten inyectar aire en el interior de la masa. Un procedimiento derivado de éste es una torre en la que todos los días un tornillo sinfín traslada el compost de la base y lo sube a la parte más alta.
- el mismo procedimiento señalado pero en forma horizontal, desplazándose las basuras, cada día, de un compartimiento a otro. Por la parte inferior se inyecta aire y por la superior se introduce agua. El primer procedimiento consume menos energía, pues la basura se eleva y luego va cayendo por la gravedad; en el segundo se evita la construcción de la torre vertical que es de elevado costo;
- el tercer sistema consiste en inyectar aire por la parte baja de los montones situados sobre plataformas especiales, y que pueden permanecer al aire libre o bien en células cubiertas o no;
- un horno de cemento que gira regularmente sobre su eje y con instalaciones para inyectar aire y agua. Las basuras permanecen en él de 7 a 8 días; finalmente, en este procedimiento invertimos el orden de las operaciones.

Es necesario fermentar la basura antes del molido en silos de cemento y con el suelo esponjoso a modo de setas agujeradas que permite inyectar aire. Hay que hacer muchas reservas sobre el último procedimiento, ya que la fermentación no puede ser totalmente aerobia, porque se observa el desprendimiento de malos olores.

Una planta de compostaje debe reunir las siguientes características:

- una tolva de recepción que a la vez hace de reguladora entre la llegada de los camiones de recogida y la capacidad de tratamiento. Asimismo debe permitir almacenar la basura de 2 ó 3 días en previsión de una parada de la planta por avería o revisión. Bajo esta tolva se encuentran, generalmente, cintas transportadoras muy resistentes, que hacen de extractores y marchan lentamente para evitar atascos, los cuales se producen si la tolva está mal concebida. Debe tener los laterales lo más vertical que sea posible y poseer un limitador de corte sobre el motor, para que invierta el sentido de la cinta y facilite el arreglo del atasco;
- después de la recepción viene la selección, que nos permite reciclar productos (papeles, cartón, trapos, chatarra, cristal, plástico, pan y huesos).

Asimismo, se separan los objetos que pueden ser peligrosos para las máquinas. En algunos sistemas la selección se hace después del molido. Magnéticamente y sobre esta cinta podremos separar los botes;

- a continuación viene la trituración por molinos, siendo los más clásicos los de martillos, con uno o dos rotores, colocados por lo general horizontalmente, y a veces, verticalmente. Los dos rotores están desplazados uno del otro y no se precisan cribas. También existen molinos de rodillos. Finalmente, otro sistema consiste en un cilindro cuyo fondo tiene muchas perforaciones con las aristas cortantes, unos brazos giran lentamente y terminan haciendo pasar la basura por los orificios calibrados con relación a la trituración. Este sistema consume menos energía, pero algunos elementos de la basura no llegan a pasar por los orificios y su rendimiento es muy bajo;
- seguidamente a la trituración, la selección definitiva. Se puede utilizar una cinta vibrante. Se puede utilizar también un procedimiento a base de bolas: una cinta sale del molino y conduce la basura a cierta altura, proyectándola con rapidez; de esta forma se recogen más cerca de los productos orgánicos y más lejos los productos tales como tapones y los de tamaño grueso, con lo cual se puede recoger por separado los productos adecuados para hacer el compost.

Debido a que los procesos anteriores generalmente son la base de sistemas más sofisticados, en el tema siguiente se explicarán con mayor detalle los sistemas y equipos actuales para la el tratamiento de los residuos sólidos municipales afines a varios métodos.

#### **3.3.2.4. COMERCIALIZACION DEL COMPOST:**

Queda un último argumento contra las industrias de compostaje, y es la dificultad de su comercialización. Es frecuente que varias industrias de este tipo quiebren por no poder solucionar la comercialización. Entre los factores que son precisos observar y analizar para llevar adelante una planta de compostaje se encuentran primordialmente:

- debe instalarse en una región en la que haya necesidad de compost, pues el producto es barato y ligero y no soporta los gastos de transporte a más de 100 km. No debe haber otra industria de compost en un radio de 50 km;
- fabricar buen compost, especialmente de buen aspecto;
- realizar experiencias con el compost para que el agricultor compruebe personalmente los magníficos resultados que se obtienen. Estas pruebas pueden adelantarse a la fase de construcción de la planta, trayendo compost de otras zonas con objeto de comprobar los resultados antes de comenzar la comercialización. Estos resultados serán muy llamativos y naturalmente deben hacerse gratuitos. Es de resaltarse que en las regiones en donde es preciso el compost, las tierras están mineralizadas y les falta materia orgánica, por lo cual al echar el compost los resultados son muy alagüeños, pero debe vigilarse que los agricultores, a la vista de los resultados, dejen de echar abono mineral, pues, como se sabe, ambos se complementan;
- es indispensable visitar a los agricultores en sus casas, mostrarles fotografías de los ensayos efectuados, llevarlos, si es preciso, a comprobarlos y saber convencerlos;

- a los agricultores le gusta discutir el precio, por lo que éste no se puede establecer en forma rígida, es preciso prever rebajas por cantidad o por compras fuera de época. Y lo más importante, que el margen de utilidad en un principio es muy reducido frente a otras inversiones, pero que los proyectos de elaboración de compost deben proyectarse a mediano o largo plazo.

Si todo ello se cumple, lo que no es fácil, la comercialización no ofrece grandes dificultades y el precio obtenido permitirá pagar una parte de los costos de funcionamiento de la planta.

### **3.3.3. INCINERACION:**

La incineración constituye un medio cómodo, eficaz e higiénico de eliminar la basura sin molestias para la vecindad, si la planta está dotada de los adecuados sistemas, bien construida y convencionalmente explotada.

El principio de operación de un incinerador consiste en quemar las basuras de tal forma, que los productos obtenidos estén esterilizados y que los gases de salida no produzcan polución.

Para hallar la solución más económica será conveniente estudiar la posibilidad de instalar un intercambiador de calor con el objeto de recuperar la energía producida en la combustión traducida en producción de calor, agua caliente o electricidad; además, se deberá recuperar la chatarra.

Las materias a quemar son heterogéneas y de composición variable según la época del año y la región; las basuras domésticas tienen un poder calorífico inferior (PCI) suficiente para poner en marcha la incineración. En los últimos años se ha constatado un aumento en el poder calorífico y la inflamabilidad de los residuos sólidos. La medida del PCI está comprendida entre 1.000 y 2.300 kcal/kg (recordemos que el PCI del líquido es del orden de 1.200 kcal/kg). Dado el caso de que el PCI sea muy bajo o la humedad de la basura muy alta (superior al 45 %), será necesario añadir un combustible que refuerce la combustión.

#### **3.3.3.1. PRINCIPIO OPERATIVO**

La incineración de las basuras se realiza con la combustión de los residuos sobre una rejilla, en un espacio cerrado, mantenido en depresión constante para evitar la salida de polvos nauseabundos. El tratamiento puede durar de 2 a 8 horas, según las características del horno y la composición de las basuras, comprendiendo las siguientes fases:

- secado de las basuras,
- inflamación,
- combustión,
- extinción.

Examinemos estas fases para todos los hornos, independientemente de su marca y características.

## **\*\* SECADO:**

Pueden utilizarse varios procedimientos. El secado al aire libre debe prohibirse terminantemente dado que las basuras fermentan. Podría hacerse un secado mecánico, pero las aguas extraídas enviadas a las alcantarillas o canalizaciones, contaminarán las aguas. Queda, pues, el secado en el mismo horno por sí mismo o por los humos de la combustión.

En un horno moderno, la temperatura es del orden de 1,000 a 1,200 grados centígrados con lo que podremos realizar un secado rápido de la basura; en efecto, los gases procedentes de la zona de combustión pasan en contracorriente por encima de las capas de la basura fresca, que acaban de ser introducidas en el horno. Además, la impulsión de aire caliente sobre la rejilla facilita la elevación de la temperatura, eliminando una parte del agua por evaporación.

Generalmente, esta operación se hace sobre la parrilla elemental del horno, las basuras en el extremo de la parrilla quedan listas para inflamarse al contacto con la otra parte del horno en ignición, a pesar del resto de agua que pueden aún contener y que puede ser del 10 al 20 %.

## **\*\* INFLAMACION:**

El producto, en las condiciones anteriores entra seco en la zona de combustión, y a una temperatura de 400 a 500 °C, la cual propicia la inflamación.

## **\*\* COMBUSTION:**

En el horno, y a medida que se produce el avance de la capa de basura, ésta se inflama y comienza la combustión propiamente dicha. El aire para efectuar la combustión es impulsado sobre la parrilla por un dispositivo que regula su caudal en sincronía con la marcha de la combustión, evitando combustiones demasiado rápidas.

Según los fabricantes, la temperatura en la cámara de combustión está comprendida entre 750 y 1,000 °C., según las zonas; esta temperatura está también regulada con el objeto de evitar la vitrificación de la ceniza; vitrificación que haría que estos productos se adhirieran a la parrilla, dificultando enormemente su extracción al final de la combustión.

## **\*\* POSTCOMBUSTION:**

Las masas de basura en ignición dejan pasar a las zonas no aireadas gases no quemados (CO en particular), así como gases orgánicos, de masa molecular elevada. Estos gases no son combustibles, salvo con la condición de hacerles un zincaje, necesitando una temperatura de 1,000 °C. Para evitar en la zona de salida la vitrificación de los polvos silicosos, depositados en la parrilla y en el cambiador de calor, se puede, en algunos casos, añadir aire terciario de postcombustión, que regulará la temperatura de los gases quemados, la cual es muy variable según la naturaleza de los desechos en ignición sobre la parrilla.

## \*\* EXTINCION:

A medida que avanza la combustión de la basura sobre la parrilla, la capa en ignición va disminuyendo su intensidad de combustión como consecuencia de la disminución de materia a quemar, apoyándose progresivamente antes de caer en los extractores para ser evacuada al oportuno relleno sanitario.

### 3.3.3.2. ELEMENTOS PARA SELECCIONAR UN PROCEDIMIENTO:

Para elegir un horno de incineración, existen diversos criterios:

#### - Capacidad.

El primer criterio a tener en cuenta para la elección de un incinerador es el tonelaje diario que deseamos incinerar, el almacenamiento de basura que se desea, las horas de trabajo y días de funcionamiento a la semana. En lo que concierne a pocas toneladas diarias, encontramos en el mercado muchos incineradores con una capacidad entre 50 kg a 1,000 kg/hora. De no ser así hay que pensar en una planta industrial, con capacidad entre 3 y 30 t/hora.

#### - Poder calorífico.

El segundo criterio a tener en cuenta es el poder calorífico de la basura, que puede permitir, según los casos, disminuir los costos de operación. En efecto, el estudio del PCI de la basura permitirá el escoger el tipo de planta que interesa, para conseguir un máximo de rentabilidad en la venta de la energía obtenida que debe producir esencialmente la misma basura quemada.

#### - Gastos de establecimiento.

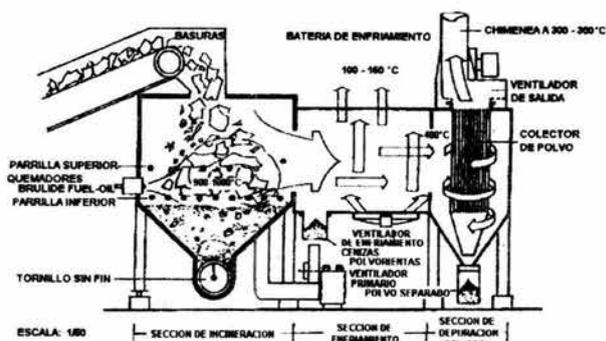
El costo condiciona generalmente la elección a efectuar. Es evidente que este tipo de plantas nunca es rentable, por lo que la administración de la planta deberá sufragar su establecimiento y contribuir posteriormente en forma total o parcialmente con los gastos de funcionamiento.

#### - Formas de explotación.

Es preciso efectuar muy detenidamente un estudio económico de la planta, con sus partidas principales: amortización, mano de obra, gastos de mantenimiento e imprevistos y valoración de los productos o subproductos obtenidos.

Los hornos incineradores de pequeño tonelaje se distinguen del procedimiento clásico, en que utilizan un combustible de reforzamiento para destruir la basura, siendo los más comunes el fuel-oil y el propano. Algunos de estos hornos son estáticos, la basura se deposita sobre una parrilla fija, y luego las cenizas se retiran tras su combustión total; otros utilizan el principio de la rotación, para aumentar la superficie de contacto entre la basura y la parrilla, con el objeto de eliminar los olores y los humos. En tal caso el gas de combustión, antes de ser enviado a la chimenea, debe calentarse a temperatura elevada, para ello va colocado detrás del horno un quemador secundario, con objeto de elevar en grado sumo la temperatura de los humos.

Estos incineradores se pueden utilizar para una capacidad reducida (entre 10 y 30,000 habitantes), y requieren de dos o tres operarios, de diez a quince litros de fuel-oil para el encendido y de aproximadamente 12 kw/h de energía eléctrica.



El horno tiene una capacidad de 1250 kg de basura/hora. La energía calorífica de la basura debe ser de aproximadamente 2,000 kcal/hora. Además de la basura doméstica, el horno puede quemar los residuos comerciales, como papel de embalaje, cartón o madera ligera.

La basura es llevada al horno en forma continua, estando la alimentación controlada automáticamente, en función de la temperatura del horno. Las parrillas son enfriadas por aire, y vibran según un programa preestablecido. Los gases de la combustión son enfriados en un cambiador de calor de aire, y provisto de un colector de polvo de tipo ciclón. Los gases son eficazmente depurados, antes de ser evacuados. El mantenimiento del lecho de cenizas a un nivel determinado, impide el hundimiento de los materiales combustibles.

La evacuación de las cenizas se hace por medio de un tornillo sin fin, funcionando en forma continua, acondicionándolas a un contenedor hermético, en tanto que el polvo del colector es recogido en otro contenedor también hermético.

Figura 3-13 SISTEMA DE INCINERACION CONVENCIONAL

En las plantas industriales de incineración, la diferencia de los distintos procedimientos se basa en la variación en el tipo de parrillas a emplear (en la figura 4-4 del Tema 4 se ilustran y describen detalladamente los tipos de parrillas empleadas en los incineradores).

Uno de los sistemas consiste en parrillas basculantes, compuestas de un cierto número de barrotes arqueados, colocadas en distintas alturas. Gracias al vaivén, accionado hidráulicamente, las basuras se van desplazando de arriba a abajo, y continuamente son volteadas en la zona de incineración.

Otro sistema consta de una parrilla vibratoria que hace remover continuamente la basura en combustión. Cada movimiento de la parrilla hace que una parte de la masa incandescente remonte a una segunda parrilla, con lo que se consigue una nivelación de la capa en combustión. Los barrotos se fabrican con una aleación de acero y cromo, que resiste más de 900 grados, y montados de tal manera que permiten la entrada del aire necesario para la combustión.

En un tercer sistema la parrilla es inclinada, lo que asegura la alimentación del horno, el secado de la basura y su ignición; a continuación de esta parrilla vienen varios planos horizontales de combustión (3 ó 4). Las parrillas horizontales se alimentan de aire para la combustión.

Otro sistema consiste en que el horno lleve un conjunto de cilindros rodantes de 1,50 m de diámetro, con impulsión centrífuga, dispuestos unos tras otros, con una inclinación apropiada.

Cada cilindro está compuesto de su caja auto-portante, que contiene un árbol, cuyo árbol de levas y su rueda dentada de movimiento están colocados al exterior del horno. Un mecanismo nos permite regular la velocidad de cada cilindro (de 1 a 3 vueltas por hora como media).

Lo más moderno que se está fabricando en cuestión de incineradores es el sistema conocido como de "Lecho Fluidizado", en el cuál, los residuos previamente triturados son alimentados por medio de un vórtice de aire que se preserva en el interior del incinerador, logrando así una atmósfera de pequeñas partículas flamables, que al contacto con la temperatura interior del horno se incendian instantáneamente y en su totalidad, y al ser las cenizas de menor densidad, estas son succionadas por la parte superior del incinerador, para su posterior enfriamiento y eliminación.

### 3.3.3.3. TRATAMIENTO DE LOS HUMOS:

En la actual lucha contra la polución atmosférica, las plantas de incineración deben adaptarse a la reglamentación vigente, y no rebasar de 100 mg/Nm<sup>3</sup> el polvo que pueden llevar los humos de salida.

Los eliminadores de polvo se clasifican en dos grupos:

- a) Los mecánicos, cuyo principio es someter las partículas de polvo a una acción selectiva, de manera que se separen del fluido gaseoso que los porta. Estos aparatos son de tipo diverso: cámaras de sedimentación, separador de inercia, ciclón, multitubular y lavadores de gas.
- b) Eléctricos o electrostáticos, de rendimientos muy elevados (99.9%), tienden a generalizarse. Utilizan una elevada tensión eléctrica para ionizar las partículas de polvo.

El aparato está constituido por una serie de placas paralelas, en el interior de las cuales se instalan una serie de hilos que forman los electrodos de descarga: por medio de una fuente de energía de alta tensión se envía la corriente a dichos electrodos, ionizando así las partículas de polvo, las cuales se precipitan sobre las placas. A continuación, y por choque mecánico, se separa el polvo de las placas y por gravedad caen al fondo del aparato donde se recogen ( ver la ilustración de la figura 4-7)

Los vecinos de una planta de incineración se quejan especialmente del polvo y de los olores. En cuanto al polvo, los dispositivos actuales lo eliminan casi por completo, aunque, desgraciadamente, estos dispositivos son extramadadamente caros. Los olores se producen especialmente por la combustión de los plásticos, cuya combustión provoca también corrosiones importantes en los hornos y en las calderas de recuperación de calor.

Los materiales plásticos son un excelente combustible, de elevado poder calorífico (4.000 kcal/kg el PVC y hasta 10.000 el polietileno), que hace aumentar el poder calorífico de la basura. El contenido muy escaso y frecuentemente nulo en las cenizas favorece que dicho poder calorífico sea lo más reducido posible.

El policloruro de vinilo representa del 1 al 2 % de la basura; esta materia contiene el 57 % de su peso en cloro y por tanto puede liberar en la combustión 366 NI (a 0 °C y 1.013 atmósferas) de cloruro de hidrógeno por kg. Se puede formar también cloro libre y fosgeno.

Una temperatura de combustión adecuada y controlada evita la formación de óxido de carbono, e igualmente la formación de gases orgánicos no quemados.

Sin embargo, el cloruro de hidrógeno es un compuesto muy corrosivo para las partes que constituyen el horno, especialmente si contienen dispositivos recuperadores de energía.

Sobre este tema se han realizado diversas experiencias y se ha demostrado que:

- la totalidad del cloro potencial del PVC no se encuentra en los humos, y que la proporción disminuye cuando el PVC de la basura aumenta;
- el PVC es responsable del 50 % del HCl contenido en los humos. Es lógico, ya que numerosas partes de la basura contienen también cloruros.

Es preciso realizar un estudio detenido sobre la difusión de los gases de salida en la atmósfera. Para estos cálculos debemos partir de la hipótesis más perjudicial, con alta concentración de gas calórico, a pesar de lo cual podemos llegar a contenidos escasos de 0.14 a 0.4 mg/m<sup>3</sup>, muy inferior a las normas internacionales. Sin embargo, si el PVC sigue aumentando en las basuras, será necesario efectuar un lavado del gas por vía húmeda y prever un tratamiento de estas aguas con el fin de evitar:

- la destrucción rápida de los elementos por corrosión ácida,
- una transferencia de la contaminación a las aguas residuales.

En consecuencia, la contaminación atmosférica irá en aumento, al aumentar el PVC, como es la tendencia actual, lo que obliga a los investigadores a descubrir nuevos métodos que eliminen la contaminación atmosférica por gas clorhídrico.

#### **3.3.3.4. ESQUEMA BASE DE UNA PLANTA DE INCINERACION:**

Una planta de incineración se puede constituir de acuerdo a las siguientes fases (un diagrama pictórico se puede observar en la fig. 4-3 y en el apéndice B):

- Introducción de basuras, depositadas en una fosa de recepción que asegura el almacenamiento de dos o tres días de recogida. La fosa, por cuanto ocasiona las mayores molestias a la vecindad, debe ser instalada en una depresión en relación con el nivel exterior de la fábrica. En general, el aire preciso para la combustión se toma de la parte superior de la fosa de entrada, lo que evitará que se esparzan los malos olores y que el polvo se extienda en el momento de la descarga. Con ayuda de un puente grúa con cucaracha, la basura es recogida de la fosa e introducida en la tolva de entrada al horno. Es importante el puesto del operario que realiza este trabajo, ya que la regulación del fuego depende de la naturaleza de los desechos introducidos en la parrilla. En razón con el aumento de desechos industriales y embalajes en la basura, en las últimas plantas de incineración instaladas se sitúa un horno independiente para estos productos.
- Combustión de las basuras. Se efectúa en el horno y sobre la parrilla. Al final de la combustión, las cenizas en ignición son extraídas e introducidas en un dispositivo con sifón de agua, lo que evita la introducción del aire exterior en el horno (ya que éste se encuentra en depresión) con lo que quedan apagados. A continuación y con ayuda de un extractor, las cenizas son evacuadas a su relleno sanitario.
- Relleno sanitario o fosa de cenizas. En algunas regiones se venden las cenizas, quitando la chatarra que pueden contener, para ser utilizadas como primera capa en la construcción de carreteras. Cuando esta venta no es posible, no merece la pena quitar la chatarra y es preferible su descarga en fosas adecuadas. Hay que señalar que el peso de las cenizas es aproximadamente el 30 % del tonelaje de basuras tratadas.
- La evacuación del polvo, recogido en la caldera y en los dispositivos de limpieza de los humos se efectúa en fosas especiales o en la de cenizas.
- En las fábricas con recuperación de calor, los humos pasan por las tuberías del intercambiador de calor, produciendo vapor para calefacción urbana y utilización industrial, siempre que las tuberías no sean muy largas, o bien para producción de electricidad.

## **CAPITULO IV**

### **TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y EQUIPOS**

## **TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y EQUIPOS**

En la actualidad, además de las técnicas tradicionales para el manejo de los residuos sólidos municipales ( Disposición final, incineración y composta ) presentadas en el capítulo anterior, existen nuevas técnicas de procesamiento las cuales son empleadas en los sistemas que manejan los desperdicios sólidos, teniendo primordialmente la finalidad de:

- \* mejorar la eficiencia de las operaciones;
- \* la recuperación de los recursos ( materiales aprovechables );
- \* rescatar productos transformables en energía.

El propósito de éste capítulo es describir las más importantes técnicas usadas para el procesamiento de los residuos sólidos. Ya que muchas de las técnicas, especialmente aquellas asociadas con la recuperación de materiales y de energía, están en una situación de cambio con respecto a los criterios de diseño; el objetivo es bosquejarlas en forma general.

Debo enfatizar, que si estas técnicas van a ser consideradas para desarrollar Sistemas para el manejo de residuos sólidos, los modelos para su desarrollo ingenieril y la información de su posible desempeño deben ser obtenidos de los registros de las instalaciones en operación, de las pruebas de campo, de los productores de dichos equipos y de la literatura existente.

Existen cinco técnicas principalmente para el procesamiento de los residuos sólidos y son: (1) la reducción mecánica del volumen (compactación); (2) la reducción química de volumen (incineración); (3) la reducción mecánica de tamaño (trituración); (4) aparatos de separación (manual y mecánica) y (5) el secado y la eliminación de agua ( reducción del grado de humedad).

De éstos, los primeros dos han sido usados para el procesamiento de los residuos sólidos desde principio de siglo. Las siguientes tres técnicas, aún cuando son usados ampliamente en otros campos, no tienen un sólido curriculum de aplicación en el procesamiento de los residuos sólidos. Los diagramas de procesos ( ó Flowsheets ) para residuos sólidos emplean muchas de las técnicas que a continuación se presentaran; en el capítulo cinco se analizarán estos diagramas en forma integral.

### **4.1. LOS OBJETIVOS DE UN PROCESAMIENTO:**

La selección de una o varias técnicas de procesamiento para un sistema que maneja residuos sólidos depende de la finalidad a la que estará direccionado el sistema. Como observación previa, los tres principales objetivos por los que se procesan los residuos son:

**a) Mejoramiento de la eficiencia en los sistemas para el manejo de los residuos sólidos.**

Varias técnicas de procesamiento se encuentran disponibles para mejorar la eficiencia de los sistemas de manejo de residuos sólidos. Por ejemplo, frente a la necesidad de reducir el almacenaje de los residuos, en los medianos y altos edificios de departamentos, tanto la incineración como el empaquetado son usados como un paso previo para su reutilización.

Tal es el caso de los desperdicio de papel que son generalmente enfardados para reducir los requerimientos de traslado y almacenaje. En otros casos, todos los residuos sólidos son empaquetados para reducir los costos de transportación hasta el tiradero. En algunos vertederos los residuos sólidos son compactados para usar eficientemente el espacio destinado a éstos. Si los residuos sólidos van a ser transportados hidráulicamente o neumáticamente, alguna forma de trituración previa es requerida. La trituración es también usada para mejorar la eficiencia de los tiraderos.

**b) Recuperación de materiales para volver a usar.**

Como algo establecido, los elementos que son más susceptibles para su recuperación son aquellos para los cuales existen medios de comercialización y que se encuentran presentes en los residuos sólidos en cantidad suficiente para justificar su separación.

Los materiales que han sido recuperados a partir de los residuos sólidos generalmente incluyen papel, cartón, plástico, vidrio, metales ferrosos, aluminio, y otros residuos de metales no ferrosos. Ya que todos estos materiales pueden ser de suficiente valor económico para garantizar una utilidad si se realiza su separación (dependiendo de las condiciones del mercado), una gran variedad de técnicas han sido desarrolladas para la recuperación por cada tipo de elemento.

**c) Recuperación de energía por medio de los productos transformables.**

Los materiales orgánicos combustibles pueden ser convertidos en productos intermedios y finalmente en energía de varias maneras, incluyendo: (1) incineración o combustión directa en calderas para producir vapor, (2) la pirólisis para producir gas sintético o combustibles líquidos, y (3) la bioasimilación con y sin lodos de aguas negras para generar metano. Lo que es importante tratar es que con algunas excepciones, los materiales orgánicos combustibles deben ser separados de los otros elementos que integran a los residuos sólidos como un primer paso. Tan pronto como estos son separados, un procesamiento posterior es necesario antes de que los materiales puedan ser usados para la generación de energía. Normalmente, estos deben ser triturados y secados antes de usarse. Los sistemas de recuperación de energía son explicados en el capítulo 5.

## **4.2 REDUCCION MECANICA DE VOLUMEN.**

La reducción mecánica de volumen es un factor importante en el desarrollo y operación de la mayoría de los sistemas para el manejo de los residuos sólidos. En la mayoría de las ciudades; camiones equipados con mecanismos de compactación son usados para la recolección de los residuos sólidos. Para incrementar la vida útil de un relleno sanitario, los residuos son normalmente compactados antes de ser depositados. Recientemente, sistemas de compactación de alta presión han sido desarrollados para reducir la necesidad inmediata de crear nuevos rellenos sanitarios y para producir materiales adecuados para otros usos alternativos.

### **4.2.1 EQUIPOS DE COMPACTACION:**

Los equipos de compactación usados en operaciones con residuos sólidos pueden ser clasificados como estacionarios y móviles. En el que los residuos son traídos y cargados dentro de un compactador ya sea en forma manual o mecánica, el compactador se denomina estacionario. Empleando esta definición, los mecanismos de compactación usados para comprimir residuos en un camión recolector son de hecho compactadores estacionarios. En contraste, los equipos de acarreo y transportación usados para colocar y compactar los residuos sólidos en un relleno sanitario son clasificados como móviles.

Los tipos y aplicaciones de los equipos de compactación usados frecuentemente son reportados en la tabla 4-1.

Normalmente los compactadores estacionarios pueden ser descritos de acuerdo a su aplicación como: (1) de carga ligera, como los usados en algunas residencias; (2) comerciales o para industria ligera; (3) para industria pesada; y (4) para estaciones de transferencia. Los compactadores usados en las estaciones de transferencia pueden a su vez ser divididos de acuerdo a la presión de compactación en baja presión, menos de 100 lb/in<sup>2</sup>; y alta presión, más de 100 lb/in<sup>2</sup>.

Cuando son usados grandes compactadores estacionarios, los residuos pueden ser comprimidos: (1) directamente dentro del camión; (2) dentro de contenedores de acero que pueden ser posteriormente movidos manualmente o mecánicamente; (3) dentro de cámaras especialmente diseñadas donde los bloques comprimidos son atados o amarrados por algún medio y posteriormente retirados; o (4) dentro de cámaras donde son comprimidos en forma de bloques compactos, desprendiendolos finalmente para ser descargado y arrastrado fuera de la unidad.

#### **Compactadores de baja presión:**

Generalmente en los compactadores de baja presión se incluyen aquellos equipos usados en edificios de departamentos; en establecimientos comerciales, como son los usados para el embalaje de los residuos de papel y cartón; y los compactadores estacionarios usados en las estaciones de transferencia.

Los Compactadores estacionarios portátiles están siendo utilizados en las operaciones de recuperación de materiales, incrementándose el número de usuarios de estos, especialmente para el manejo de papel y cartón.

Tabla 4-1 EQUIPOS DE COMPACTACION USADOS PARA LA REDUCCION DE VOLUMEN

Localización u Operación	Tipo de Compactador	Observaciones
Puntos de generación de residuos sólidos	Fijo/Residencial Vertical	Apisonador vertical de compactación; puede ser operado mecánicamente o hidráulicamente; normalmente de alimentación manual; los desechos compactados se colocan en cajas de cartón corrugado o en bolsas de papel o plástico; usados en edificios de departamentos con una altura media y alta.
	Rotatorio	Mecanismo apisonador usado para compactar desechos en bolsas de papel o plástico a través de una plataforma rotatoria, la plataforma rota mientras los recipientes son llenados; usados en edificios de departamentos con una altura media y alta.
	En saco o extrusor	El compactador puede ser alimentado por una rampa; de apisonador horizontal o vertical; para bolsa sencilla o bolsas continuas; la bolsa sencilla debe ser remplazada y la bolsa continua debe ser desamarrada y remplazada; usado en edificios de departamentos con una altura media y alta.
	Bajo un contador	Compactadores pequeños usados en residencias y grandes departamentos; los desechos son compactados dentro de bolsas especiales de papel; después que los desechos se dejan caer dentro de la bolsa que se encuentra en la parte interior de una puerta y la puerta es cerrada, estos son rociados para un control de olores; y con el accionamiento de un botón se activa el mecanismo de compactación.
	Fijo/Comercial	Compactador con un apisonador horizontal o vertical; los desechos son compactados en depósitos de acero; los desechos comprimidos son manualmente atados y removidos; usados en algunos edificios de departamentos de altura baja, media y alta, en instalaciones comerciales e industriales.
Recolección	Fijo/Empacador	Vehículos de recolección equipados con mecanismos compactadores.
Estación de Transferencia y/o procesamiento	Fijo/Trailer de transferencia	Transporte en trailer, normalmente cubierto, equipado con un mecanismo de autocompactación.
	Fijo De baja presión De alta presión	Los residuos son compactados dentro de grandes cámaras. Los residuos son compactados dentro en densas pacas u otras formas.
Relleno Sanitario	Equipo desplazable con ruedas o tipo tractor	Equipo especialmente diseñado para lograr la máxima compactación de los residuos.
	Fijo/montado en oruga	Compactadores de alta presión móviles estacionarios usados para reducir el volumen dentro del relleno sanitario.

### Compactadores de alta presión:

Recientemente, algunos sistemas de compactación de alta presión (arriba de las 5,000 lb/in<sup>2</sup>) han sido desarrollados. En la mayoría de estos sistemas, equipos especializados de compactación son usados para producir residuos sólidos comprimidos en bloques de varios tamaños.

A manera de ejemplo, para un sistema específico, el tamaño del bloque completo compactado es de aproximadamente 4 ft x 4 ft x 16 in. , y su densidad es aproximadamente de 1,600 a 1,850 lb/yd<sup>3</sup>. En otro sistema, después de la compactación, los residuos que han sido pulverizados, son extruidos en forma de troncos de aproximadamente 9 in. de diámetro. La densidad lograda finalmente con este proceso está por el rango de 1,600 a 1,700 lb/yd<sup>3</sup>. La reducción de volúmen lograda con estos sistemas de compactación de alta presión varía de acuerdo a las características de los residuos; normalmente el rango de reducción es desde 3 a 1 hasta 8 a 1.

#### 4.2.2. SELECCION DE LOS EQUIPOS DE COMPACTACION:

Los factores que deben ser considerados en la selección de un equipo de compactación son:

1. Las características de los residuos a ser compactados, incluyendo tamaño, composición, contenido de humedad, y la densidad en bulto.
2. El método de movimiento y alimentación de los residuos al compactador.
3. Los métodos de manejo y uso de los residuos compactados.
4. Las características de diseño del compactador.
5. Las características operacionales, incluyendo el requerimiento de energía, las necesidades de mantenimiento especializado y preventivo, la facilidad de operación, la garantía de funcionamiento y confiabilidad, el nivel de ruido, y los requerimientos de controles de contaminación de aire y agua requeridos.
6. Considerar su ubicación incluyendo espacio y peso, acceso, ruido, y otras limitaciones relativas al medio ambiente.

Detalles y factores adicionales que deben ser considerados para aplicaciones específicas deberán ser cuestionadas directamente a los fabricantes de compactadores. Debido a que mucha de la confusión existente concierne al uso y aplicación del denominado "valor del radio de compactación", a continuación lo explico.

Cuando los residuos son comprimidos, su volúmen se reduce. La reducción en volúmen expresado en porcentaje es dada por la siguiente relación:

$$\text{Reducción de volúmen (\%)} = ((V_i - V_f)/V_i) * 100$$

donde  $V_i$  = volúmen inicial de los residuos antes de la compactación, m<sup>3</sup>

$V_f$  = volúmen final de los residuos después de la compactación, m<sup>3</sup>

Mientras que el radio de compactación se define como:

$$\text{Radio de compactación} = V_i / V_f$$

La relación que existe entre el radio de compactación y el porcentaje de reducción de volúmen se muestra gráficamente en la fig. 4-1. Debido a la naturaleza de ésta relación, en esta se puede observar que para lograr más de un 80% de reducción se requiere un desproporcionado incremento en el radio de compactación.

Por ejemplo, para lograr un incremento de 80 a 90% requerimos un incremento en el radio de compactación de 5 a 10. Esta relación es importante al hacer el análisis costo-beneficio entre el radio de compactación y el costo de todo el compactador.

Otro factor importante que debe ser considerado es la densidad final de los residuos después de la compactación.

Algunas curvas típicas para residuos sólidos municipales sin procesar son presentadas en la fig. 4-2. El valor asintótico usado en el desarrollo de estas curvas es de  $1,800 \text{ lb/yd}^3$ , la cual esta acorde con los valores obtenidos por el uso de compactadores de alta presión. Cuando los residuos triturados son compactados bajo las mismas condiciones, la densidad puede ser incrementada en un 35 % más que los residuos sin triturar, aplicando una presión por arriba de las  $100 \text{ lb/in}^2$ . La máxima densidad alcanzada bajo la aplicación de muy altas presiones no se afecta significativamente por el triturado.

Tal vez el hecho más importante que se puede notar en la fig. 4-2 es que la densidad inicial que se ve incrementada a causa de la aplicación de presión depende en gran cantidad de la densidad inicial de los residuos a ser compactados. Este hecho es especialmente importante cuando consideramos los reclamos hechos a los fabricantes de equipos de compactación. El contenido de humedad, el cual varía con la localidad, es otra variable que tiene un efecto importante en el grado de compactación logrado.

En algunos compactadores estacionarios, al abastecimiento de residuos se le añade humedad, usualmente en la forma de agua, durante el proceso de compactación.

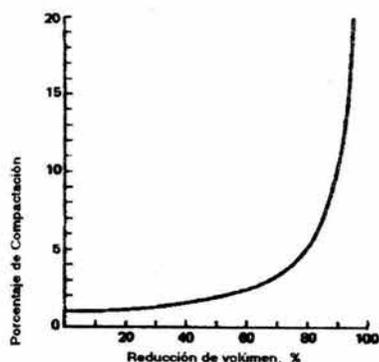


Figura 4-1 RANGO DE COMPACTACION VS. PORCENTAJE DE REDUCCION DE VOLUMEN

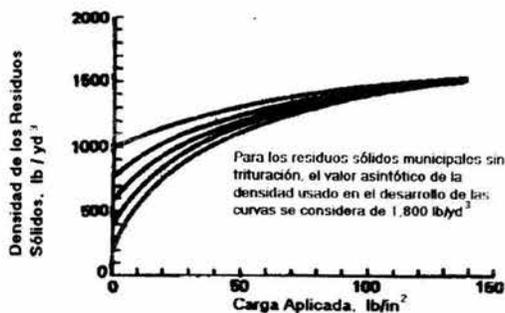


Figura 4-2 DENSIDAD DE LOS RESIDUOS SOLIDOS VS. PRESION APLICADA

### **4.3. REDUCCION QUIMICA DE VOLUMEN.**

Además de la reducción mecánica de volumen; varios procesos químicos han sido usados para reducir el volumen de los residuos sólidos. Hasta los principios de los 70's la quema a cielo abierto fue una práctica empleada en muchos tiraderos. En algunas ciudades, ésta práctica es todavía usada. En los principios de este siglo, la reducción química fue usada para recobrar el sebo de los residuos alimenticios, y en el proceso, el volumen de los residuos era reducido. Desde que cambio el siglo, la incineración ha sido el método más comúnmente utilizado para la reducción el volumen de los residuos químicamente.

Aunque otros procesos químicos como la pirólisis, la hidrólisis, y la transformación química son también efectivos en la reducción de volumen de los residuos sólidos, estos no son considerados en éste capítulo ya que su uso es principalmente para la recuperación de productos transformables, explicados detalladamente en el capítulo 5.

Como la incineración es actualmente usada tanto para la reducción de volumen como para la producción de energía, me limitaré en éste capítulo a mostrar su aplicación para la reducción de volumen; y en el capítulo 5 se estudie su aplicación para la generación de energía.

#### **4.3.1 INCINERACION DE RESIDUOS MUNICIPALES.**

Uno de los más atractivos aspectos del proceso de incineración es que pueden ser usados para reducir el volumen original de los residuos sólidos combustibles de un 80 a un 90 por ciento. En algunos de los más recientes diseños de incineradores, estos operan a altas temperaturas, lo suficiente para producir un material derretido antes del enfriamiento, haciendo posible una reducir en el volumen de los residuos a cerca del 5% o menos.

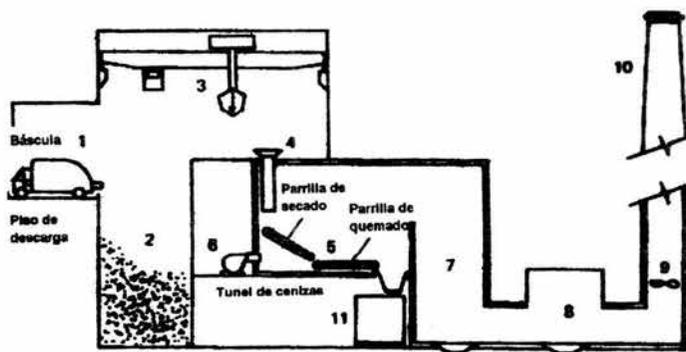
Aunque la tecnología de los incineradores ha avanzado en las dos décadas pasadas, el control de la contaminación atmosférica permanece como el mayor problema para su implementación.

Aún con los más estrictos requisitos de control de contaminación atmosférica que en la actualidad se observan, es posible hacerles frente a estos con el uso de tecnologías existentes y en desarrollo; por lo que la cuestión económica se manifiesta más como problema que las alternativas disponibles.

Además del amplio uso de los incineradores municipales, los incineradores de uso doméstico son también usados por residencias, edificio de departamentos, tiendas, industrias, hospitales y otras instituciones. El diseño de los incineradores de uso doméstico varía con el tipo de servicio y los requerimientos de control atmosférico del lugar.

Debido a que en general, los lineamientos en cuanto a contaminación atmosférica son muy rígidos, se puede esperar que en un futuro los incineradores particulares sean limitados a aquellos que cumplan estrictas normas de control de emisiones a la atmósfera, por lo que el desarrollo de filtros va a determinar su permanencia activa.

Un estudio detallado de las emanaciones producidas por la incineración y la tecnología de filtración disponible en el momento serán indispensable antes de considerar esta opción.



- |                                    |                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Camión recolector               | 7. Cámara de combustión             |
| 2. Fosa de almacenamiento          | 8. Equipo de limpieza de gases      |
| 3. Grúa viajera elevada            | 9. Ventilador de corriente inducida |
| 4. Tolva de cargamiento            | 10. Cañón de chimenea               |
| 5. Parrillas viajeras cargadoras   | 11. Tolva de residuos               |
| 6. Ventilador de corriente forzada | 12. Conducto para cenizas           |

Figura 4-3 DIAGRAMA SECCIONAL DE UN INCINERADOR MUNICIPAL DE INCENDIADO CONTINUO DE MASAS

#### 4.3.2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE INCINERACION

La operaciones básicas incluidas en la incineración de los residuos sólidos están identificadas en la fig. 4-3. La operación comienza con la descarga de los residuos sólidos de los camiones recolectores (1) dentro de un depósito de almacenaje (2). El tamaño de las plataformas de descarga y el depósito de almacenaje está en función del número de camiones que deben descargar simultáneamente. La profundidad y ancho del depósito de almacenaje están determinados tanto por el porcentaje de residuos recibidos que son cargados como por el rango de quemado. La capacidad normal de almacenaje es en promedio la necesaria para el volumen de un día. La grúa viajera (3) es usada para cargar lotes de residuos dentro de la tolva de carga (4).

El operador de la grúa puede seleccionar la mezcla de los residuos para lograr algo de homogeneidad en el contenido de humedad de la carga.

Piezas grandes o artículos no combustibles son también removidos de los residuos. Los residuos sólidos provenientes de la tolva de carga caen sobre los cargadores automáticos (5) dirigiendolos hacia donde estan los inflamadores masivos (mass-fired). Diversos tipos de mecanismos de carga (automática) son normalmente usados. Sus características son descritas en la tabla 4-2; algunos cargadores representativos son esquematizados en la fig. 4-4. Otros métodos de incendiado y alimentación usados para el procesamiento de residuos sólidos son explicados en el capítulo 5.

**Tabla 4-2 OPERACIONES DE LOS CARGADORES MECANICOS DE ALIMENTACION CONTINUA USADOS EN LOS INCINERADORES DE RESIDUOS SOLIDOS**

Tipo de cargador mecánico	Descripción de la operación
De parrillas viajeras	Consistente en un alimentador de parrillas de movimiento continuo y uno o más parrillas con quemador. Las parrillas de alimentación están localizadas directamente debajo de una tolva de cargamiento de la cual los desechos caen sobre la parrilla. Los desechos son parcialmente secados mientras permanecen en la parrilla alimentadora.
De parrillas reciprocantes	Los desechos son movidos a través del horno de la tolva mientras que las parrillas están aparentemente fijas, excepto por los movimientos alternativamente cambiantes de las rejas intermedias del cargador mecánico. La acción de las rejas del cargador ponen los desechos por encima de éstas y entonces caen estos hacia adelante a la siguiente reja cargadora y así sucesivamente. El grado de quemado es ajustado por el controlamiento de la velocidad de las rejas del cargador.
De parrillas de balancin	Su operación es similar a las reciprocantes, pero los desechos son movidos a través del horno por la acción giratoria de las parrillas.
De parrillas de tambor	Relativamente nuevo diseño. Los desechos son quemados mientras son movidos por una serie de tambores rotatorios.

El aire requerido para la combustión de los residuos sólidos puede ser introducido desde la parte inferior del enparrillado (sistema de aire bajo el fuego) por medio de ventiladores de corriente forzada (6) o por arriba del enparrillado (sistema de aire sobre el fuego) para controlar el rango de quemado y la temperatura del horno. La parte más caliente del fuego es por encima del enparrillado de incineración. El aire caliente se eleva por encima de la entrada hacia los residuos de elevada humedad, en la parte alta del enparrillado de secado eliminando la humedad de dichos residuos para permitir su incineración en seco al momento de su descenso por las parrillas.

Debido a que muchos residuos orgánicos son térmicamente inestables, varios gases son apartados del proceso de combustión que se lleva a cabo dentro del horno en donde la temperatura es alrededor de 1,400°F ( 760 °C ). Estos gases y pequeñas partículas orgánicas pasan a una cámara secundaria, normalmente llamada "cámara de combustión" (7), y arden a una temperatura por arriba de los 1,600 °F ( 871 °C ). El olor producido por la mezcla de compuestos, normalmente es eliminado a una temperatura por arriba de 1,400 a 1,600 °F.

Algunas cenizas volátiles y otras partículas pueden ser llevadas a través de la cámara de combustión. Para satisfacer las normas locales de control de contaminación del aire, un espacio debe ser considerado para establecer los equipos limpiadores y purificadores de aire (8).

Un ventilador de corriente inducida (induced-draft fan) (9) puede ser requerido para asegurar el que circule aire suficiente para compensar las principales pérdidas a través del equipo limpiador de aire, así como para suministrar aire al mismo incinerador; también puede ser hecho mediante un ventilador de corriente forzada (forced-draft fan).

Los productos finales del incinerador son gases limpios que son descargados por el cañón de la chimenea (10). Las cenizas y los materiales no combustibles de las parrillas caen dentro de tolvas de residuos (11) localizadas por debajo del enparrillado donde son apagadas con agua. Las cenizas residuales que se asientan en la cámara de combustión son removidas por medio de un canal para cenizas residuales (12). Los restos de la tolva de almacenaje pueden ser llevados a un relleno sanitario o a una Planta de recuperación de recursos (Resource Recovery Plant). Las cenizas residuales provenientes del canal de cenizas y los residuos de la limpieza de los equipos de aire son mandados a un relleno sanitario.

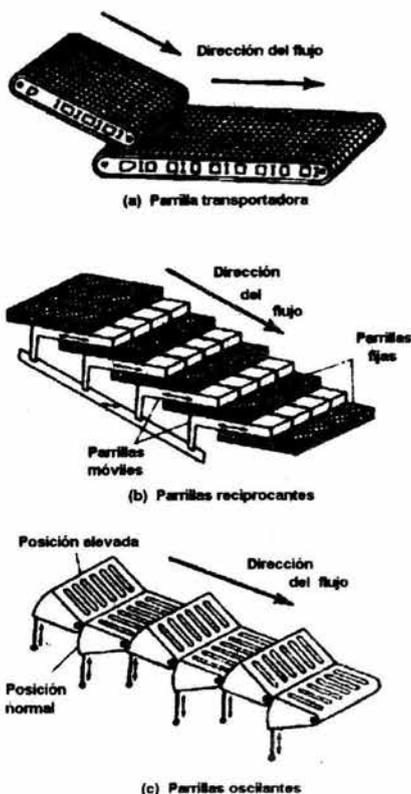


Figura 4-4 ALIMENTADORES CONVENCIONALES DEL HOGAR EN LOS INCINERADORES DE INCENDIADO DE MASAS

### 4.3.3. CONTROL DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES AL AIRE

En la mayoría de los incineradores, es de mayor importancia la emisión de partículas que la emisión de gases y olores, en lo que a control de la contaminación se refiere. Normalmente el tamaño de las partículas que se observan en las emisiones de la mayoría de los incineradores varía desde 5 micrómetros hasta 120 micrómetros. Aproximadamente un tercio de las partículas tienen un diámetro menor a los 10 micrómetros. En cuestión de tamaño, éstas partículas pueden ser clasificadas como polvos finos, como se muestra en la fig. 4-5. Para controlar la emisión de estas partículas, varias técnicas de diseño y equipos han sido desarrollados. Las características de algunas instalaciones de control de emisiones representativas y sus equipos son reportados en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3 INSTALACIONES Y EQUIPOS PARA EL CONTROL DE EMISIONES EN INCINERADORES MUNICIPALES.**

Tipo	Descripción
Cámara de concentración	Una gran cámara usualmente localizada inmediatamente después de la cámara de combustión ( ver fig. 4-3 ) es utilizada para la eliminación de grandes partículas volátiles de ceniza y como operación de pretratamiento para los subsecuentes procesos de eliminación.
Colectores deflectores	Deflectores contruidos de tabique o metal que pueden ser utilizados en modalidad húmeda o seca. Normalmente localizados después de la cámara de combustión. Partículas de 50 µm o mayores pueden ser eliminadas o por su estrellamiento en estos, o por su reducción de velocidad, o bien por acción centrífuga. Su eficiencia depende se su diseño y ubicación.
Fregadores	La ceniza volátil se impactan sobre gotitas de agua siendo atrapadas por estas y posteriormente removidas. El método de eliminación húmeda de cenizas volátiles depende del equipamiento que se va a usar y del diseño del incinerador
Separador ciclónico	Separación en seco de las partículas volátiles de las cenizas por medio de la acción centrífuga en la cuál las partículas arrojadas o estrelladas constantemente sobre las paredes del colector.
Precipitador electrostático	Las partículas volátiles de las cenizas son cargadas por medio de un electrodo. Las partículas cargadas son eliminadas sobre una superficie de recolección situada dentro de un campo eléctrico de alta intensidad. Una vez en la superfice colectora, las partículas pierden la carga y se adhieren ligeramente. Pueden ser movidas por ligeras punciones.
Filtro de malla tejida (fabric filter)	Los gases de la combustión son filtrados a través de bolsas de filtración elaboradas de diversos materiales

Los rangos de operación de las instalaciones y equipos reportados en la tabla 4-3 son también mostrados en la figura 4-5. Un típico filtro de malla tejida colectora de polvos y un precipitador electrostático son mostrados en la fig. 4-6 y 4-7 respectivamente. La eficiencia de varios métodos de control de emisiones está condensada en la fig. 4-8.

#### **4.4 REDUCCION MECANICA DE TAMAÑO.**

Reducción de tamaño es un término aplicado a la conversión de los residuos sólidos como son riginalmente recolectados en piezas pequeñas. El objetivo de la reducción de tamaño es el de obtener un producto final que sea razonablemente uniforme y considerablemente menor en tamaño en comparación con la forma original.



Figura 4-5 CUADRO DE CLASIFICACION DE PARTICULAS

Es importante hacer notar que la reducción de tamaño no necesariamente implica una reducción de volumen. En algunos casos, el volumen total del material después de la reducción de tamaño puede ser mayor que el volumen original. En la práctica, los términos triturado, desintegración, aplastamiento, molienda, desgarrado, hacer trizas, etc. son términos usados alternadamente para describir las operaciones mecánicas de reducción de tamaño dependiendo del tipo de residuo sólido de que se trate.

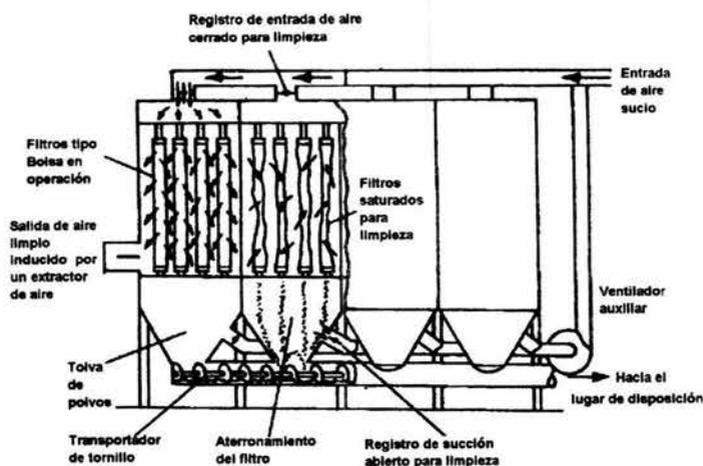


Figura 4-6 COLECTOR DE POLVOS DEL TIPO FILTRO DE MALLA TEJIDA

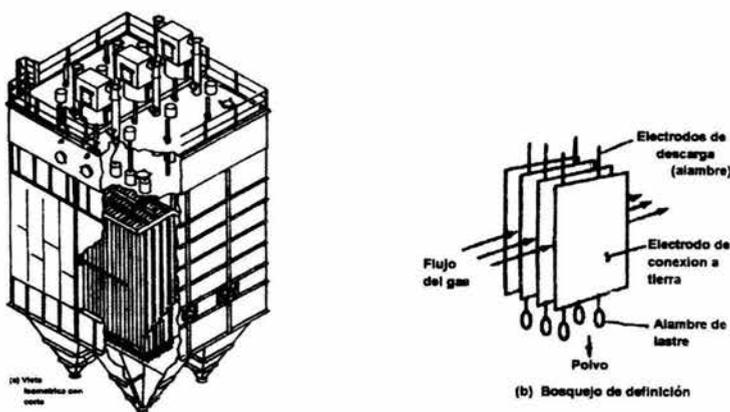


Figura 4-7 DESCRIPCIÓN DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO (a) VISTA ISOMÉTRICA CON CORTE; (b) DETALLE DE UNA CELDA DEL PRECIPITADOR

La reducción de tamaño es un importante factor no solo en el diseño y operación de los sistemas para el manejo de residuos sólidos, sino también en la recuperación de materiales es importante para su futuro reuso y transformación en energía. Por ejemplo, alguna forma de reducción de tamaño es requerida para transportar a los residuos sólidos por medio de un líquido.

Para lograr una mayor densidad con una baja presión de compactación, los residuos son triturados antes de ser embalados. La disposición de los residuos triturados en los rellenos sanitarios sin el uso de un recubrimiento diario es otra importante aplicación de la reducción de tamaño, así como para la fabricación de compost.

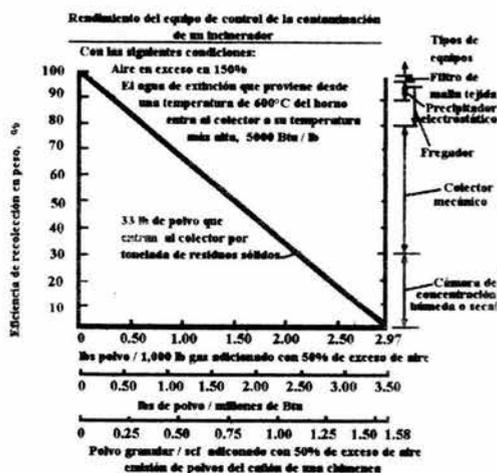


Figura 4-8 EFICIENCIAS DE COLECCIÓN VS. LAS EMISIONES DE POLVOS POR EL CAÑÓN DE LA CHIMENEA.

#### 4.4.1. MECANISMOS DE MOLIENDA:

Los métodos de trituración de basura son muy numerosos, pero siempre actúan en base a mecanismos que efectúan esta operación ya sea por tracción, compresión, cizallamiento o bien combinando operaciones como se muestra en la fig. 4-9.

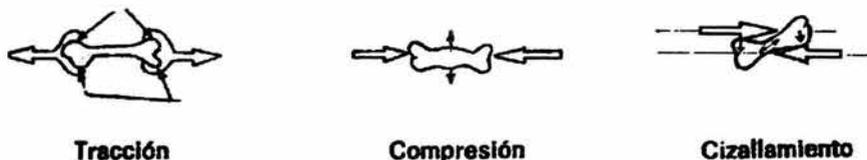


Figura 4-9 MECANISMOS DE MOLIENDA

Los tipos de equipos que han sido usados para la reducción de tamaño y para homogeneizar los residuos sólidos, son enlistados en la tabla 4-4. Los distintos sistemas mencionados en la tabla 4-4 y algunos otros sistemas se encuentran representados en la secuencia de las figuras de la 4-10 a la 4-17.

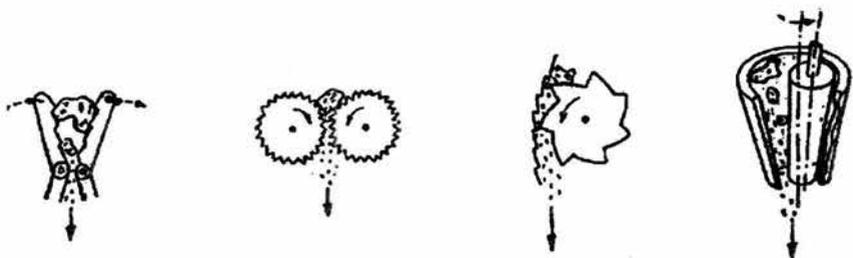


Figura 4-10 MOLIENDA POR APLASTAMIENTO



Figura 4-11 DIVERSOS TIPOS DE MOLIENDA

En la molienda por desintegración, un distribuidor gira a gran velocidad; particularmente adaptado para las materias duras.

La molienda por cizallamiento es especialmente apta para la trituración de madera y carrocerías de vehículos.

El sistema de molienda por desgarramiento es muy vulnerable para ciertos tipos de basuras, por lo que no es recomendable. Solo es apto para la trituración de las materias fibrosas: papel y cartón.

En la molienda por rodaje se tiene un aparato de grandes dimensiones (diam. de 6m) en el cual el rotor gira a 5 ó 6 vueltas por minuto. Las basuras son presionadas contra la parte inferior, perforada con orificios de diams. de 4 ó 5 cm. Después de varias vueltas, los materiales que no han pasado a través de la malla son rechazados al exterior.

El tromel tiene de 70 a 100 cm de diámetro, puede ser circular, octagonal, hexagonal. Gira a unas 11 vueltas por minuto. Las basuras van descendiendo hacia la boca exterior de salida, por la cual sale únicamente lo que no ha pasado por los orificios del tromel. Esta operación se puede realizar por vía seca o por vía húmeda.

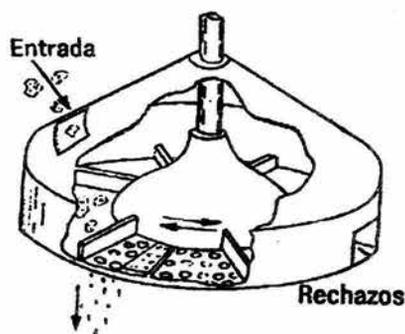


Figura 4-12 MOLIENDA POR RODAJE  
(SISTEMA DORR OLIVER)

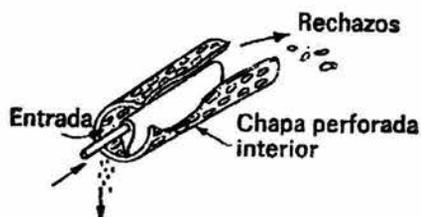


Figura 4-13 MOLIENDA POR TROMEL

En la molienda por discos; los discos entre los cuales se aplasta la basura giran a gran velocidad y no admiten más que materiales con dimensiones de unos 500 mm de diámetro. Se efectúa un molido fino y precisa disponer de una potencia considerable.

La molienda por centrifugación está basada en el uso de un rotor que gira a gran velocidad (5.000 r.p.m.). Las basuras mezcladas con un 90% de agua, forman un conjunto en el cual los productos removidos se proyectan unos contra otros, o contra las paredes del estator, a gran velocidad: 1.500 m/min.

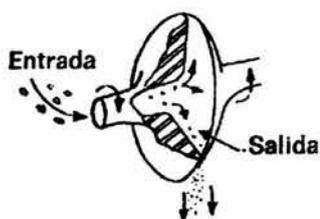


Figura 4-14 MOLIENDA POR DISCOS

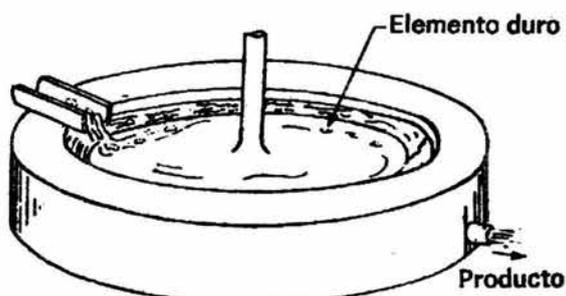


Figura 4.15 MOLIENDA POR CENTRIFUGACION

La molienda por martillos es el procedimiento más usado para el molido de las basuras domésticas. Los martillos pueden estar fijados sobre el rotor en forma oscilante o bien fijos. Los desechos pueden ser proyectados por los martillos sobre una parrilla perforada que define la finura del molido, o bien sobre los dientes de un segundo rotor paralelo al primero, definiendo la finura del número de dientes. Los productos que no se pueden moler se proyectan al exterior por efecto balístico.

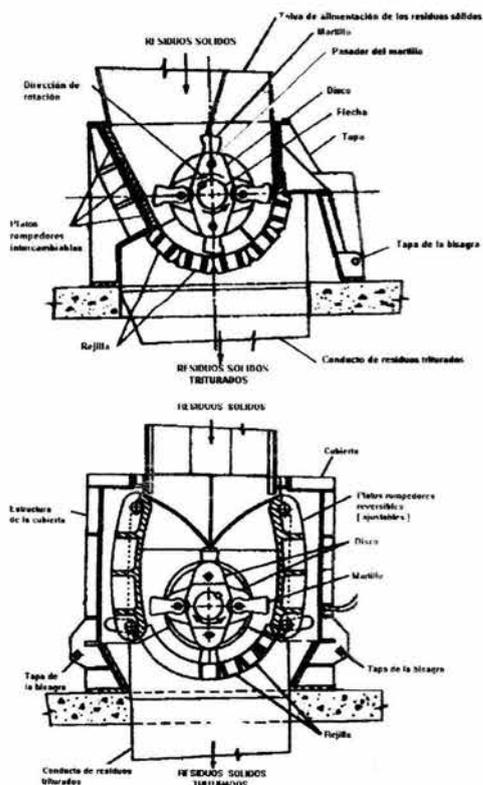


Figura 4-16 MOLIENO DE MARTILLOS USADO PARA LA REDUCCION DE TAMAÑO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS. a) DEL TIPO DE UN SOLO SENTIDO ; b) DE TIPO REVERSIBLE

En el sistema de hidropulpadora, los residuos sólidos y agua reciclada son introducidos en la hidropulpadora.

A través de la acción de las cuchillas de corte montadas en un motor de alta velocidad ubicadas en el fondo de la unidad, los materiales pulpables (amasables) y frágiles son convertidos en una suspensión de un 2.5 a 3.5 en porcentaje de contenido de sólidos.

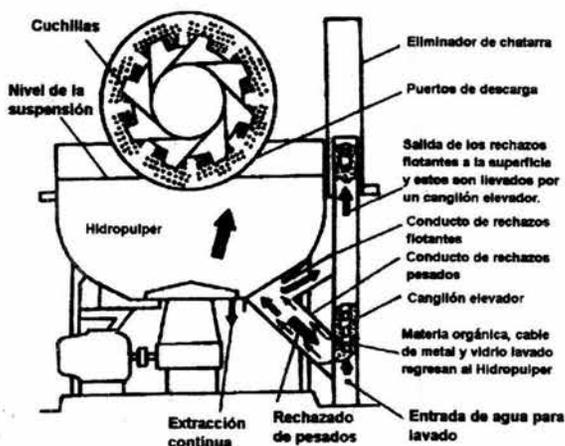


Figura 4-17 CORTE TRANSVERSAL DE UNA HIDROPULPADORA USADA PARA RESIDUOS SOLIDOS

El metal, las latas, y otros materiales no pulpables o frágiles son expulsados por un lado del tanque de la hidropulpadora (ver fig. 4-17). Los materiales expulsados pasan hacia abajo y llegan a un conducto que está conectado a un elevador de cangilones. Así pues, como el material asciende en el elevador, se le proporciona un lavado preliminar a dichos residuos. La suspensión sólida se remueve y descarga fuera a través del fondo del tanque de la hidropulpadora, bombeándose a la siguiente operación del proceso.

#### 4.4.2. MOLIENDA SECA:

Según hemos visto, los mecanismos que se pueden emplear son numerosos y determina cada uno variados procedimientos. Podemos sin embargo, clasificarlos en dos grupos:

- Molienda seca.
- Molienda por vía húmeda.

Los métodos por vía seca se basan principalmente en dos tipos esenciales:

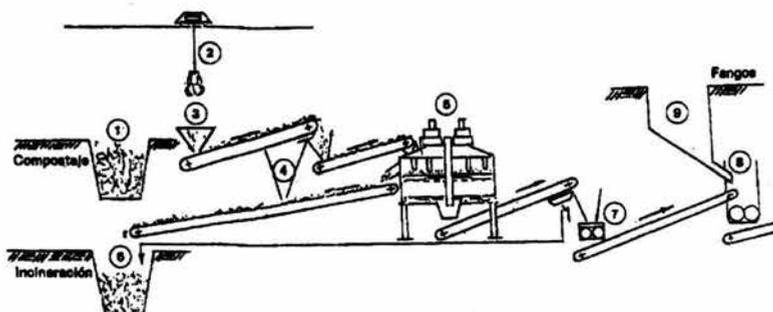
- Molienda por rodaje ( Sistema Dorr Oliver).
- Molienda por martillos ( Sistema Gondard ó Tollemanche y Martin).

#### 4.4.2.1. PROCEDIMIENTO DORR OLIVER:

La basura, después de pasar por el separador magnético, se introduce uniformemente en el tambor del Dorr Oliver. Este tambor está constituido por un cilindro vertical de acero y de doble fondo. El fondo superior está perforado y con dientes; sirve, en combinación con los brazos articulados, para desgarrar y homogeneizar la basura, eliminando periódicamente los rechazos. El fondo superior recoge las materias orgánicas y las va vertiendo hacia una cinta transportadora.

Este sistema requiere poca energía, pero reporta elevados gastos de mantenimiento. En la fig. 4-18 se observan dos modalidades del procedimiento Dorr Oliver.

#### ESQUEMA DEL SISTEMA DE COMPOST



#### SISTEMA DE FERMENTACION

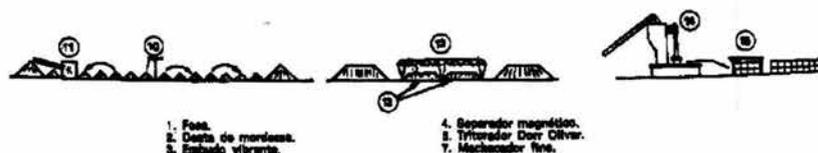


Figura 4-18 PROCEDIMIENTO DORR OLIVER

#### 4.4.2.2. PROCEDIMIENTO GONDARD:

Se trata de un molino monorotor a martillos, accionado por un motor de 150 CV. El molino posee una chimenea de 9.5 m de altura, que ejerce una triple función:

- regulariza parcialmente la alimentación;
- asegura la evacuación de los productos que no son triturables;
- crea una contrapresión que facilita el molido de los elementos ligeros y evita que suba el polvo.

En la figura 4-19 se observa el esquema de un molino vertical de martillos usados en el sistema Gondard.

El conjunto carcasa, molino y chimenea de un sistema Gondard mide 13.5 m de altura y pesa 16 ton. En la parte superior de la chimenea lleva acoplado un compartimiento que recibe los productos que no se pueden moler, los cuales se evacuan por una rampa con abertura regulable desde el exterior.

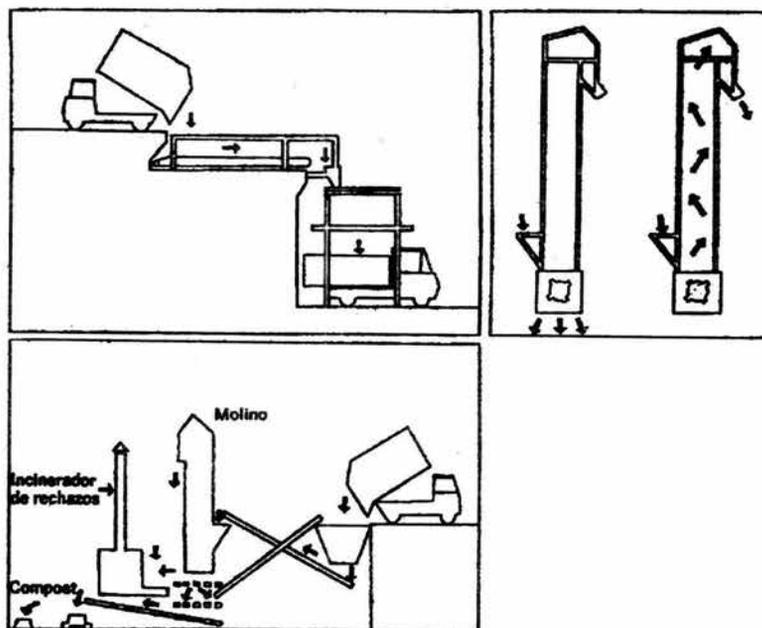
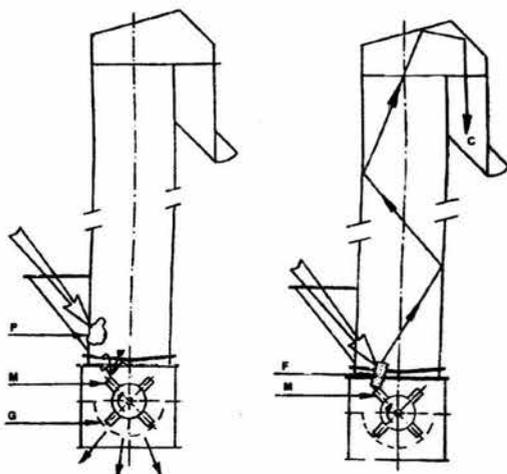


Figura 4-19 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA GONDARD CON MOLINO VERTICAL DE MARTILLOS

Sobre el rotor del molino, una parrilla intercambiable permite obtener un producto tanto más fino cuanto más reducidos sean los espacios entre los barrotos que constituyen la parrilla. Las basuras son introducidas en el molino y proyectadas violentamente contra las placas de choque que guarnecen el interior del molino.

Esta acción provoca inmediatamente la rotura de los elementos fácilmente pulverizables, los restantes suben por la chimenea y caen sobre los martillos, hasta que son suficientemente reducidos y pueden pasar por la parrilla.



*Los productos triturables, tales como vidrio, carbón, legumbres, etc., son pulverizados por los martillos M y pasan por los orificios de la rejilla G cuando se reducen a la finura deseada.*

*Los productos no triturables, tales como el metal F, los plásticos, etc., se proyectan violentamente por los martillos M y son evacuados por el conducto C.*

**Figura 4-20 DOS EJEMPLOS DE MOLINO VERTICAL DE MARTILLOS**

Lo que no se puede moler es separado balísticamente por los martillos en el compartimiento situado en la parte superior de la chimenea. Lo anterior se observa en la figura 4-20.

Los inconvenientes de la molienda en seco son los siguientes:

- a) Energía absorbida importante.  
Las basuras tienen un porcentaje importante de materiales duros, cuya fragmentación exige una energía considerable (150 CV).
- b) Desgastes elevados.  
En consecuencia de lo anterior y también por contener la basura gran porcentaje de polvo abrasivo.
- c) Fragmentos de plásticos.  
Los plásticos se acumulan sobre todo en la superficie, por su baja densidad, lo que produce un efecto negativo en la estética del vertedero.

d) Fragmentación de papel.

Los papeles y cartones son quebrados en pequeños trozos, conservando su naturaleza primitiva, por lo que dificultan el compactaje del vertedero durante el primer mes. Así mismo, estos trozos de papel y cartón pueden ser desplazados del vertedero por el viento, lo que constituye otra molestia.

e) Ruido importante.

En el punto bajo, 90 db a 5 metros.

#### **4.4.3. MOLIENDA POR VIA HUMEDA. FERMENTACION ACELERADA.**

Los procedimientos por vía húmeda son poco numerosos. Se subdividen en dos grupos:

- Procedimiento para compostaje ( Sistema DANO-SOCEA).
- Procedimiento para vertedero controlado ( Sistema VICKERS) el cuál se presentará al final del capítulo ya que representa un sistema totalmente integrado.

Los dos procedimientos se pueden fundir en uno solo:

- el primero por aumento del caudal y simplificación del tratamiento con lo que se puede obtener un producto que sirva para el recubrimiento;
- el segundo puede completarse con una instalación de compostaje, por la vía de fermentación lenta.

##### **4.4.3.1. SISTEMA DANO-SOCEA.**

La parte esencial de estos sistemas la constituye un bioestabilizador, compuesto de un tambor rotativo de eje inclinado y velocidad variable, en el que se produce fermentación aerobia. La figura 4-21 muestra el diagrama de un bioestabilizador.

Las basuras mezcladas con aguas residuales, o aguas limpias, se maceran y se fragmentan, en la primera parte del aparato, por efecto de la rotación y al chocar unas contra otras, y también contra las aristas vivas situadas en el interior del cilindro. Avanzan así progresivamente y pasan a la segunda zona, en la que comienza la fermentación como consecuencia del aire que se insufla. La temperatura se eleva como consecuencia de la acción de las bacterias aerobias, hasta 60 ó 70 grados, a cuya temperatura quedan destruidos los microbios patógenos. En fin, en la última parte del aparato, se asegura la separación del compost y de los rechazos por cribado. El ciclo completo exige de 4 a 5 días.

El material obtenido es muy pesado, exige un gasto importante de energía y es de costo elevado. En el caso de no desear obtener compost, y destinarlo a vertedero controlado, el ciclo se reduce a dos días. La capacidad de tratamiento es de 10 ton/h.

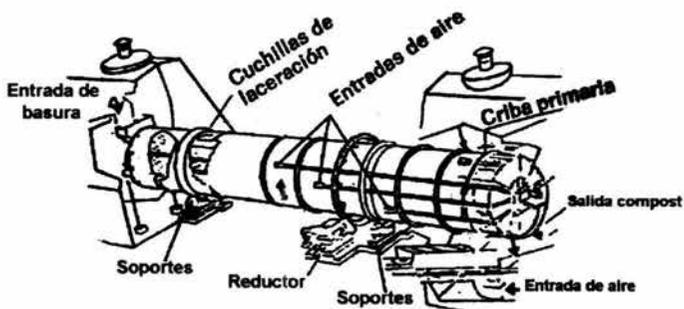


Figura 4-21 BIOESTABILIZADOR

#### 4.5. SEPARACION POR COMPONENTES:

La separación por componentes es una operación necesaria en la recuperación de recursos a partir de los residuos sólidos en donde energía y productos transformables están presentes para ser recuperados mediante el procesamiento de estos residuos.

La separación requerida puede ser realizada manualmente o mecánicamente. Cuando es usada la separación manual, un preprocesamiento de los residuos no es necesario; en la mayoría de las técnicas mecánicas, sin embargo, alguna forma de reducción de tamaño es requerida como primer paso.

Las técnicas y equipos usados para la separación por componentes de los residuos sólidos municipales están listados en la tabla 4-5 junto con la información relativa a su aplicación.

##### 4.5.1 CLASIFICACION MANUAL:

La separación manual de los elementos que constituyen a los residuos sólidos puede ser realizada en la fuente en donde éstos son generados, o en la estación de transferencia, o en la estación de procesamiento centralizado, o por último, en el sitio de disposición final (relleno sanitario). El número y tipo de componentes salvables o clasificables dependen de la localidad y el mercado de reventa que éste presente.

Normalmente los componentes incluidos son: periódico, aluminio, y vidrio proveniente de las fuentes domiciliarias; cartón y papel de alta calidad, metales, y madera de fuentes comerciales e industriales; metales, madera y elementos voluminosos de valor, concentrados en las estaciones de transferencia y en los sitios de disposición final.

Tabla 4-5 TECNICAS DE SEPARACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

Técnica	Material seleccionado	Requerimientos de preprocesamiento	Observaciones
<b>Separación en la fuente</b>			
Clasificación Manual	Papel, materiales ferrosos y no ferrosos, madera	Ninguno	Usado para separar papel corrugado, y papel de alta calidad, metales, y madera en comercios e industrias y periódicos en casas; económicamente factible si los precios del mercado son adecuados.
<b>Separación centralizada</b>			
Recogida y clasificación manual	Periódico y papel corrugado	Ninguno	Puede ser una alternativa económica de separación en la fuente, dependiendo del costo de la jornada.
Separación neumática	Materiales combustibles	Trituración	Usado para concentrar metales y vidrio en una fracción pesada lo mismo que materiales combustibles formando una fracción ligera.
Separación inercial	Materiales combustible	Trituración	Igual que la separación inercial
Tamizado	Vidrio	Ninguno o bien trituración, separación neumática	Puede ser usado anterior al triturado para separar el vidrio y anterior a la clasificación neumática por la misma razón. Puede ser usado para una fracción rica en vidrio a partir de la fracción pesada.
Flotación	Vidrio	Trituración, separación neumática	Por el control en la contaminación del agua puede ser de alto costo.
Clasificación óptica	Vidrio	Trituración, separación neumática y tamizado	Puede ser usado como una alternativa de la flotación para separar el vidrio de los materiales opacos; también es usado para separar el cristal del vidrio de color.
Separación electrostática	Vidrio	Trituración, separación neumática separación magnética y tamizado	Experimental
Separación magnética	Metal ferroso	Trituración, desulpado húmedo	Probado en numerosas aplicaciones a gran escala

#### 4.5.2. SEPARACION NEUMATICA:

La clasificación neumática ha sido usada por varios años en operaciones industriales para la separación de varios componentes de una mezcla seca. Dentro del medio de los residuos sólidos y de los sistemas de recuperación de energía, la clasificación neumática es usada para separar la materia orgánica denominada "fracción ligera" (light fraction), de los materiales inorgánicos más pesados, los cuales son identificados como la "fracción pesada" (heavy fraction). Prácticamente hablando, esto incluye la separación de productos de papel, materiales plásticos, y otros materiales ligeros, así como materiales orgánicos provenientes de residuos corrientes triturados. La operación de varios tipos de clasificadores neumáticos y algunos de los factores que deben ser considerados para su selección son presentados a continuación.

#### 4.5.2.1. EQUIPOS PARA LA SEPARACION NEUMATICA:

En uno de los más simples de los diversos tipos de clasificador neumático, los residuos sólidos procesados son vertidos dentro de un conducto vertical (ver fig. 4-22a). El aire que se mueve hacia arriba desde la base del conducto es usado para transportar los materiales ligeros hacia la cima del conducto. Ya que el flujo de aire ascendente es insuficiente para transportar a los materiales pesados contenidos en los residuos, estos caen hacia el fondo. El control en el porcentaje de la separación entre las fracciones pesadas y las ligeras es realizado por el manejo de algunas variables, como son: la variación en la carga de residuos, la proporción de flujo de aire, y el área de la sección transversal del conducto. Un mecanismo de alimentación con una cámara de aire comprimido es requerida para introducir los residuos triturados dentro del clasificador.

Otro tipo es el "clasificador neumático en zig-zag". La pequeña unidad experimental, mostrada en la fig. 4-22b, consiste en una columna vertical con deflectores internos continuos dispuestos en zig zag, a través del cuál el aire es conducido a alta velocidad. Los residuos triturados son introducidos por la parte alta de la columna que controla la proporción de entrada, y el aire es introducido por la base de la columna. Como los residuos caen dentro de la corriente de aire, las fracciones más ligeras son fluidizadas y movidas ascendentemente fuera de la columna mientras que las fracciones pesadas caen hasta el fondo.

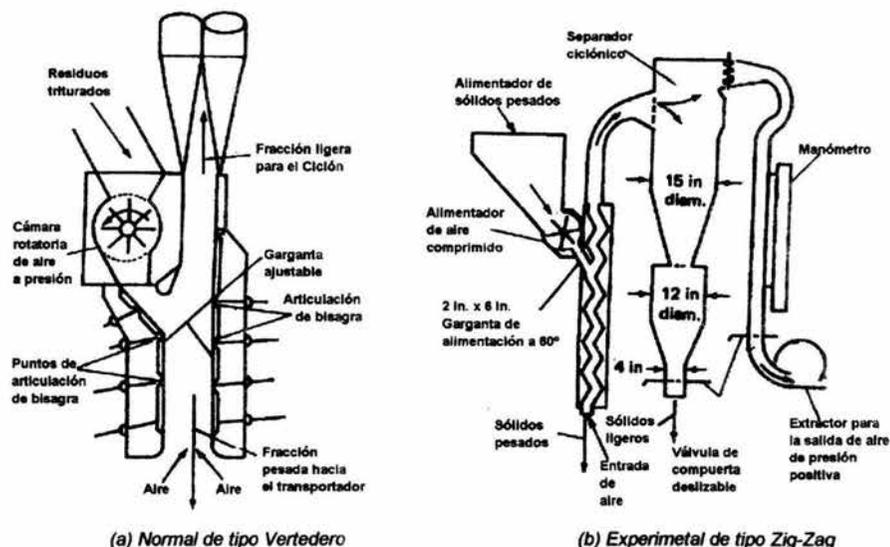
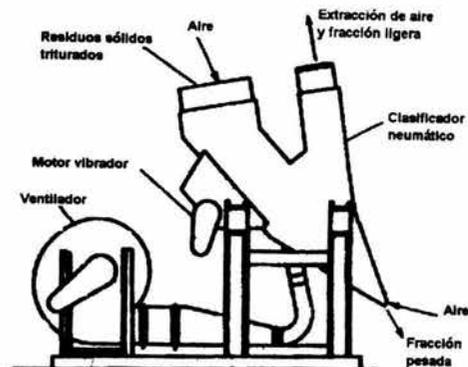


Figura 4-22 CLASIFICADORES NEUMATICOS. (a) Tipo vertedero; (b) Tipo Zig-Zag; (c) Tipo vibratorio de boca abierta.

En teoría, cada cambio de dirección causado por el zig zag crean turbulencias en la corriente de aire, la cuál, en su momento, causa el desplome de los residuos y permite que materiales amasados sean fragmentados. La mejor separación es llevada a cabo a través de un diseño idóneo que consiste en manejar una adecuada cámara de separación, la proporción en el flujo de aire, y la influencia del rango de alimentación.

Todavía otro tipo de clasificador neumático es mostrado en la figura 4-22c. En ésta unidad la separación de la fracción ligera es realizada por la combinación de tres acciones. La primera es la vibración, la cual ayuda a estratificar en componentes pesados y ligeros el material que alimentará al separador. La agitación tiende a fijar las partículas más pesadas (o densas) en la base y las ligeras en la parte superior, al ser conducidos los residuos triturados hacia la parte baja del separador.



(c) Vibratorio de boca abierta

La segunda acción sobre los materiales es un efecto inercial en el cual el aire empuja a los residuos a través de la entrada de alimentación dándoles una aceleración inicial a las partículas más ligeras, mientras que los residuos viajan descendientemente del separador a medida que estos están siendo agitados.

La tercera acción que completa la función de separación es la inyección de aire fluidizado con dos o más altas velocidades, las pequeñas masas fluyen por las cortinas atravesando la cama. Este flujo de aire cambia la dirección de las partículas más ligeras, moviéndolas en el interior hasta colocarlas en posición para ser seleccionadas y transportadas fuera de la unidad por una succión de aire. El volumen del aire de escape es aproximadamente 3 veces mayor que el aire fluidizado.

Ha sido reportado que la separación resultante es menos sensible al tamaño de las partículas que en un clasificador vertical convencional, de cualquiera de sus diseños, ya sea recto o en zig zag. Una ventaja del separador mostrado en la fig. 4-22c es que no se requiere el mecanismo de alimentación de la cámara de aire. Los residuos son alimentados por gravedad directamente dentro de la entrada del separador.

Los principales componentes de un sistema de clasificación neumático son mostrados en la fig. 4-23. Aunado al separador neumático, son requeridos uno o más transportadores para desplazar los residuos procesados a la tolva de cargado y dentro del clasificador neumático.

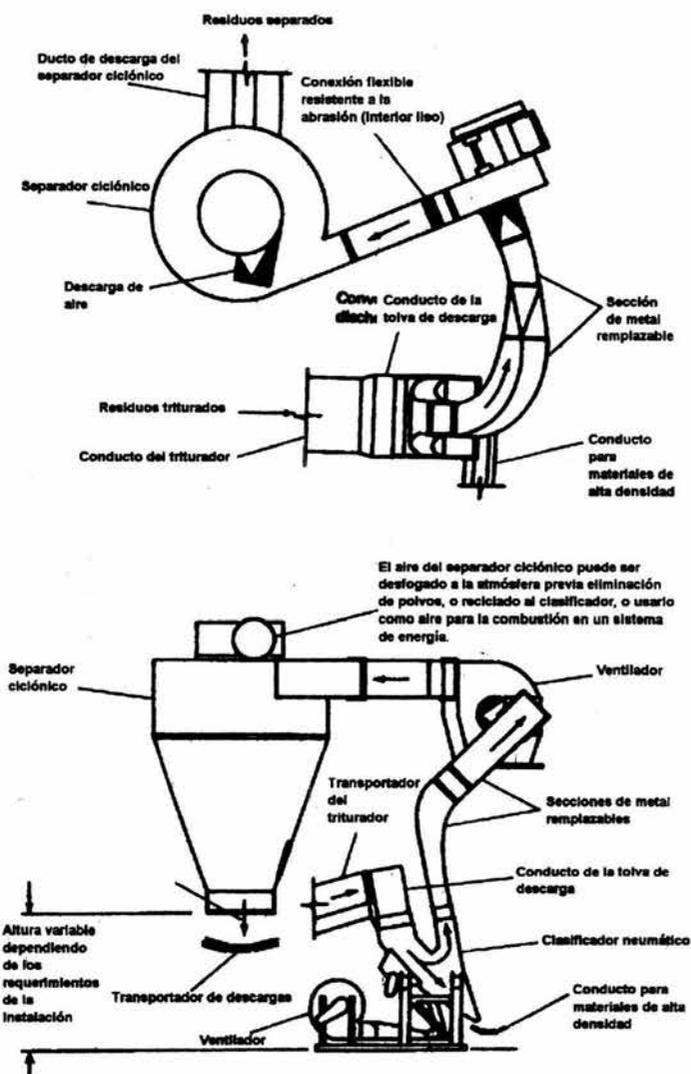


Figura 4-23 SISTEMA DE CLASIFICACION NEUMATICA ESTANDAR PARA RESIDUOS SOLIDOS

Siguiendo al clasificador neumático, se encuentra un separador ciclónico usado para separar las fracciones ligeras de la conducción de aire. Antes de ser descargado a la atmósfera, el aire conductor es pasado a través de una instalación colectora de polvos. Alternativamente, el aire proveniente del separador ciclónico puede ser reciclado para el clasificador con o sin la eliminación de polvos.

El aire utilizado en la operación de clasificación neumática puede ser aportado por bombas o ventiladores de baja presión. Las fracciones pesadas que son removidas por el clasificador neumático son arrastradas, o bien a un tiradero, o a un posterior sistema de recuperación de recursos.

Las partículas ligeras pueden ser almacenadas en barriles o conducidas a otro triturador para la siguiente reducción de tamaño antes de almacenarse o tal vez, utilizarse como combustible o material de compost. Las velocidades del aire necesarias para transportar diversos materiales se encuentran reportadas en la tabla 4-6.

**Tabla 4-6 VELOCIDADES DEL AIRE DENTRO DE DUCTOS NECESARIAS PARA TRANSPORTAR DIVERSOS MATERIALES.**

Material	Velocidad del aire en ft/min.
Polvo grueso	2,000
Astillas y viruta de madera	3,000
Aserrín	2,000
Polvo del cáñamo	2,000
Residuos finos de hule	2,000
Hilaza	1,500
Limadura metálica	2,200
Polvo de grafito	5,000
Rebaba de latón	4,000
Carbón en trozo	4,000

Nota: ft / min x 0.3048 = m / min

#### **4.5.3. SEPARACION MAGNETICA:**

El método más común de recuperación de fragmentos ferrosos de los residuos sólidos triturados requiere de un sistema de recuperación magnético.

Los materiales ferrosos usualmente son recobrados ya sea después de triturados y antes de la separación neumática de los residuos, o bien, después de su triturado y clasificación neumática.

En algunas instalaciones, los sistemas magnéticos colgantes han sido usados para recuperar los materiales ferrosos antes de la trituración (esta operación es conocida como "escalado").

Cuando los residuos son quemados en los incineradores municipales, la separación magnética es usada para remover el material ferroso de los residuos del incinerador.

Los sistemas de recuperación magnética también han sido usados en los rellenos sanitarios.

La localización específica donde se realizará la recuperación de los materiales ferrosos dependerá de las metas que se quieran lograr; como pueden ser: la reducción del desgaste y desgarrado en el procesamiento y del mismo equipo de separación; el grado de pureza del producto que se quiera lograr; y la eficiencia requerida para su recuperación.

#### 4.5.3.1 EQUIPOS PARA LA SEPARACION MAGNETICA:

Por varios años, varios tipos de equipos han sido utilizados para la separación magnética de los materiales ferrosos.

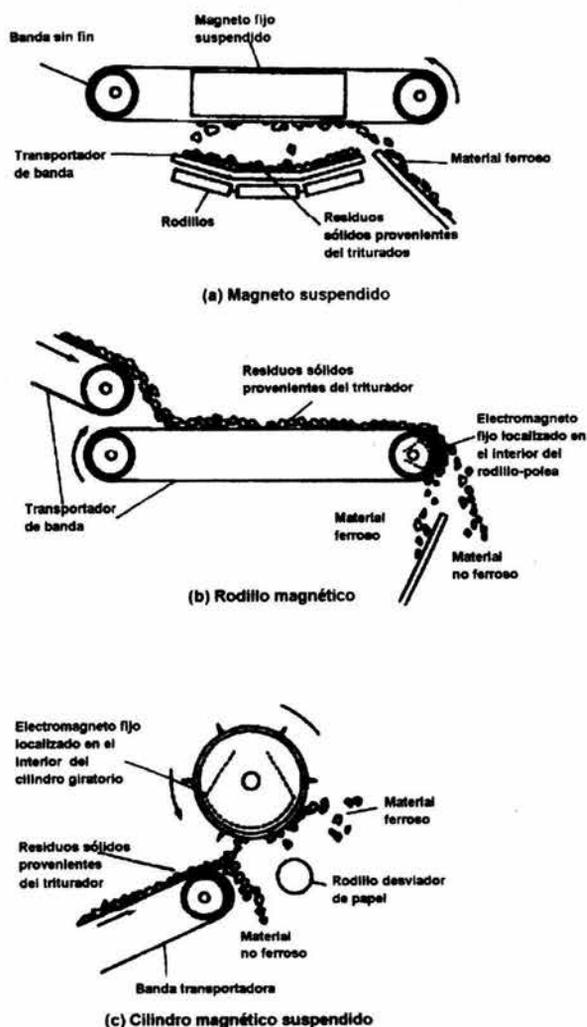
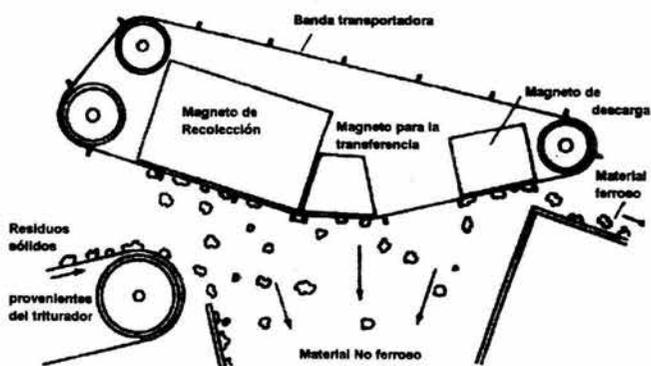
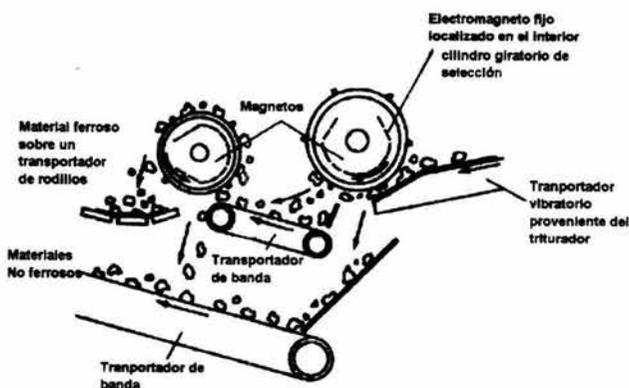


Figura 4-24 SEPARADORES MAGNETICOS CONVENCIONALES

Los tipos más comunes son el magneto suspendido (ver fig. 4-24a), la garrucha magnética (ver fig. 4-24b), y el tambor magnético suspendido (ver fig. 4-24c). Dos de los sistemas de separación magnética comúnmente usados junto con la trituración de los residuos sólidos son mostrados en la fig. 4-25.



(a) Separador magnético tipo banda



(b) Separador magnético de doble cilindro

Figura 4-25 SISTEMAS DE SEPARACION MAGNETICA ESTANDAR USADOS CON RESIDUOS SOLIDOS TRITURADOS

En un típico sistema de múltiples etapas por banda diseñado para operar al final de un transportador (ver fig. 4-25a), son empleados tres magnetos. El primer magneto es usado para captar el metal. El imán de traslado es usado para conducir el material captado a lo largo de la banda así como para agitarlo.

Cuando el material captado por éste alcanza el área donde no hay magnetismo, caen en dirección opuesta libremente y cualquier material no ferroso atrapado entre el metal y la banda también cae. El metal es entonces jalado hacia la banda por el magneto final y es descargado en otro transportador, o bien, dentro de un contenedor de almacenamiento.

Para superar algunos problemas recientes debido al desgaste de las bandas, un diseño especial de bandas de gran calibre de acero inoxidable han sido desarrolladas.

Cilindros separadores suspendidos han sido usados en un gran número de instalaciones de recuperación de recursos. En donde un tambor simple es instalado al final de un transportador, la trayectoria de descarga de los residuos sólidos triturados es usada para ayudar a disolver enredos de materiales no magnéticos y también mejorar la recuperación de materiales ferrosos.

Para lograr la mayor limpieza posible en el material recuperado sin una segunda trituración o separación neumática, una instalación con dos tambores como en la mostrada en la fig. 4-25b puede ser usada. El primer tambor magnético es usado para recoger el material ferroso de los residuos triturados y lanzarlo hacia adelante a un transportador intermedio.

La mayoría de los materiales no magnéticos caen a un transportador de desalojo localizado en la parte inferior del primer separador. Debido a que se reduce la carga en el transportador intermedio, el segundo tambor separador puede ser menor y puede ser colocado más cerca al transportador. Para garantizar que no ocurran trabamientos o apuntalamientos, el segundo tambor rota en dirección contraria al flujo del material.

#### **4.5.4. TAMIZADO:**

El tamizado involucra la separación de una mezcla de materiales de diferentes tamaños en dos o más porciones por medio de una o más superficies para tamizado ( tamices, mallas o cribas ), las cuales son usadas como calibradores de "pasa" o "no pasa". El tamizado puede ser realizado tanto en seco como en húmedo, siendo este último lo más reciente y comúnmente usado en los sistemas de procesamiento de residuos sólidos. El tamizado tiene varias aplicaciones en los sistemas de recuperación de recursos y de energía. Los tamices han sido usados antes y después de un triturado y después de una clasificación neumática, en varias etapas, distribuyendo tanto la fracción ligera como la pesada.

##### **4.5.4.1. EQUIPOS PARA EL TAMIZADO:**

En estos días los más comunes tipos de tamices o cribas usadas para la separación de los componentes de los residuos sólidos son los del tipo vibratorio y los tamices de tambor rotatorio (ver fig. 4-26). Normalmente estos han sido usados para la eliminación de vidrio y materiales relacionados con la trituración de los residuos sólidos. Sin embargo, su aplicación potencial se ha llegado a conocer actualmente en forma más completa.

No existen todavía datos viables acerca del comportamiento de estos sistemas; serán los fabricantes quienes aporten mayor información al respecto. Debido a las actuales especificaciones de los grandes tambores tamizadores rotatorios y que estos han observado un franco incremento, he seleccionado un de ellos para su presentación.

Una gran criba rotatoria de 10 ft de diámetro y 45 ft de largo es un ejemplo de éstas cribas. La criba, similar a la mostrada en la figura 4-26, está conformada con perforaciones circulares de 4.75". Los residuos sólidos sin triturar, como se reciben, están alimentado a los tamices.

Se anticipa que el 40% del material pasara a través de las perforaciones. Esta fracción de tamaño reducido, la cual contendrá una gran cantidad de botes de aluminio y en su mayoría residuos de vidrio, serán pasados a través de un triturador primario e iran directo a un clasificador neumático.

La fracción de mayor tamaño (aproximadamente el 60% de lo alimentado) vá a una trituración primaria y luego a otro clasificador neumático donde las fracciones ligeras son separadas. Las fracciones ligeras de ambos clasificadores serán llevadas a un relleno sanitario. Las fracciones pesadas serán llevadas a una instalación de recuperación de materiales.

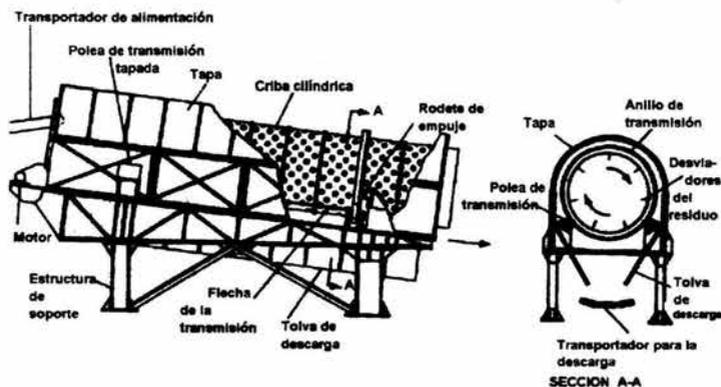


Figura 4-26 TAMIZADOR TIPO ROTATORIO USADO PARA LA SEPARACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.

#### 4.5.5. OTRAS TECNICAS DE SEPARACION:

Debido a que son muy poco conocidas las nuevas técnicas de separación, los siguientes sistemas se presentan solo con finalidad ilustrativa.

#### 4.5.5.1. SEPARACION INERCIAL:

Los métodos inerciales se fundamentan en principios de balística y en los principios de separación por gravedad, lograndose con estos separar los residuos sólidos triturados en partículas ligeras (orgánicas) y pesadas (inorgánicas). El modo de operación de los tres diferentes tipos de separadores inerciales son mostrados esquemáticamente en la fig. 4-27. Estos tipos de equipos son ampliamente usados en Europa.

#### 4.5.5.2. FLOTACION:

En el proceso de flotación, la alimentación que está constituida en gran proporción de vidrio, como resultado del tamizado y obtención de la fracción pesada de los residuos de un clasificador neumático después de una separación magnética, son sumergidos en agua en un recipiente adecuado. Los fragmentos de vidrio, piedras, ladrillos, huesos, y materiales plásticos densos que se hunden hasta el fondo son retirados con correas rascadoras para su posterior procesamiento.

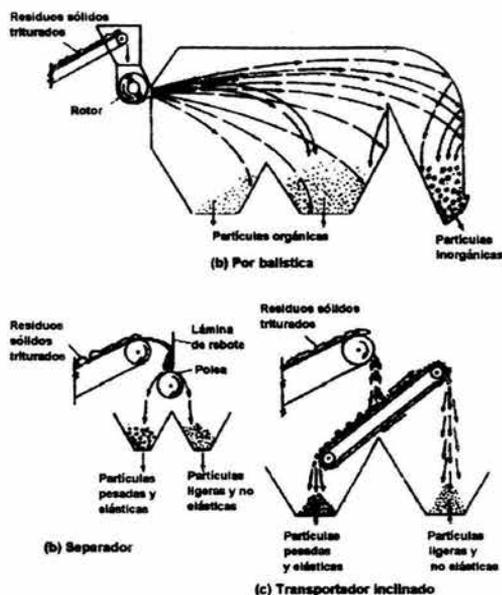


Figura 4-27 SEPARADORES INERCIALES CONVENCIONALES;  
(a) BALISTICO; (b) SEPARADOR; (c) TRANSPORTADOR INCLINADO

Las sustancias orgánicas ligeras y otros materiales que flotan son separadas de la superficie. Estos materiales pueden ser acarreados a un relleno sanitario para su disposición o retornados al punto de partida de una planta y cruzar a través de las operaciones dentro de un nuevo ciclo para residuos sólidos. Aditivos químicos han sido también usados para mejorar la captura de sustancias orgánicas ligeras y finos materiales inorgánicos.

#### 4.5.5.3. CLASIFICACION OPTICA:

La clasificación del vidrio, el cuál se encuentra mezclado con partículas opacas tales como piedras, ceramicas, tapas de botellas, y encorchados puede ser realizado ópticamente por la identificación de las propiedades de transparencia del vidrio. La clasificación óptica por color puede ser usada para separar cristal de una mezcla de vidrio de diversos colores. El vidrio de colores puede ser también clasificado en productos ambar y verde. Un típico clasificador óptico es mostrado en la fig. 4-28.

Funcionalmente, cuatro operaciones básicas están involucradas: (1) las partículas son alimentadas mecánicamente, (2) las partículas son inspeccionadas ópticamente, (3) el resultado de la inspección es analizada electrónicamente, y (4) tipos predeterminados de partículas son retirados por un preciso chorro de aire de duración limitada.

Analizando la fig. 4-28 notamos que las partículas de vidrio molido están alimentando a la tolva por medio de una banda vibratoria que es usada para controlar el rango de alimentación dentro del canal en forma de embudo. El canal es usado para dirigir a las partículas a la unidad de inspección para su evaluación.

La unidad de inspección compuesta por una fuente de iluminación y un sensor que es usado para examinar a las partículas libres que caen.

Cuando una partícula inadecuada es detectada, una señal es producida electrónicamente disparandose una ráfaga de aire comprimido de la "boquilla del eyector" causando que la partícula sea separada de la corriente principal (ver fig.4-28).

El grado de separación logrado con un clasificador óptico del tipo mostrado en la fig. 4-28 está usualmente en función del rango de alimentación.

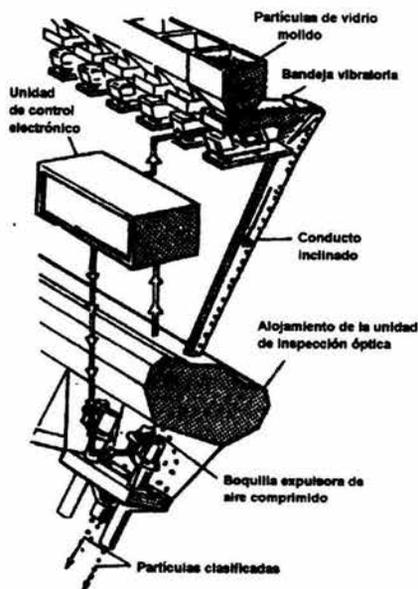


Figura 4-28 UNIDAD CLASIFICADORA DE VIDRIO

#### **4.5.5.4. SEPARACION ELECTROSTATICA:**

Un campo electrostático de alto voltaje puede ser usado para separar vidrio de las fracciones pesadas de los residuos clasificados neumáticamente que están libres de fragmentos de fierro y aluminio, funcionando de la siguiente manera: Un medidor de alimentación vibratorio almacena la carga en un tambor rotatorio cargado negativamente, y un electrodo positivo cercano al tambor y al alimentador induce una carga en las pequeñas partículas. Los no conductores como el vidrio y cerámicos, mantienen la carga; los metales y materiales cristalinos, como las rocas, la pierden rápidamente. El tambor conserva a los no conductores, y y los materiales remanentes son desalojados.

#### **4.6 SECADO Y ELIMINACION DE AGUA**

En diversos sistemas de recuperación de energía por medio de residuos sólidos y de incineración, la fracción ligera triturada se encuentra presecada para disminuir su peso por medio de la eliminación de cierta cantidad de humedad, dependiendo de las especificaciones del proceso. Cuando el fango proveniente de las plantas tratadoras de aguas negras va a ser incinerado o usado en una mezcla combustible, alguna forma de eliminación de agua es requerido.

##### **4.6.1 SECADO**

A través de los años una amplia variedad de secadores han sido desarrollados. Antes de considerar cualquiera de éstos diseños, sin embargo puede ser de ayuda el revisar cómo el calor puede ser aplicado a un material para ser secado. Normalmente, esto se realiza por uno o más de los siguientes métodos:

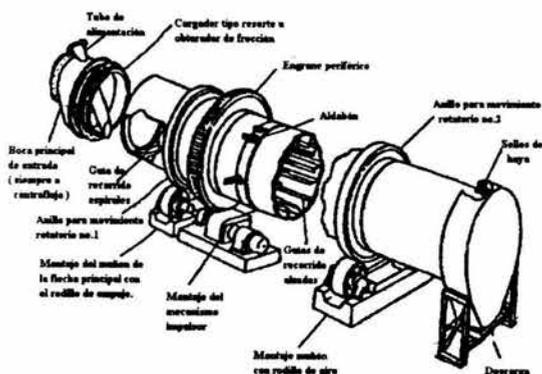
1. Convección, en el cuál el medio de calentamiento, normalmente, o aire, o los productos de la combustión, se ponen en contacto directo con el material mojado.
2. Conducción, en donde el calor es transmitido indirectamente por contacto del material mojado con una superficie calentada.
3. Radiación, en donde el calor es transmitido directamente y únicamente del cuerpo calentado hacia el material mojado por la radiación de calor.

##### **4.6.1.1. SECADORES CONVECTIVOS**

De los anteriores métodos, la convección es uno de los más usados para el secado industrial. Las características principales de un secador convectivo son reportadas en la tabla 4-8. Los cilindros rotatorios han sido usados con efectividad para el secado de los residuos sólidos.

En su forma más simple, un secador de tambor rotatorio está compuesto por un cilindro rotatorio, con una ligera inclinación respecto a la horizontal, a través del cuál el material a ser secado y el gas secador pasan simultáneamente (ver fig. 4-29).

Mientras el tambor está rotando, el material a secar es transportado continuamente de un lado al otro por la acción ascensional de la trayectoria interna. Cuando el material cae por gravedad en la misma trayectoria, éste también es roto lograndose un mejor secado.



**Figura 4-29 SECADOR CILINDRICO ROTATORIO DE CALENTAMIENTO DIRECTO A CONTRACORRIENTE**

El secado del material en un secador directo rotatorio está pensado para suceder en las siguientes etapas:

1. Calentando el material mojado con su contenido de humedad a una temperatura estable de secado, la cuál aproximadamente será la temperatura de rocío propia del agente secador.
2. Secado sustancial del material a esta temperatura.
3. Calentamiento del material hasta una temperatura de descarga establecida que garantiza la evaporación de la humedad remanente al final de la etapa.

Normalmente, el tiempo de duración dentro del tambor varía de 30 a 45 minutos. Una válvula ajustable de descarga puede ser usada para controlar el tiempo de secado o el tiempo de retención del material o el agente secador.

La descarga final del secador está acoplada con un alojamiento el cuál tiene un ventilador de succión que es usado para pasar los gases cargados de vapor dentro de un extractor de polvos y un dispositivo de control para el aire antes de ser descargado a la atmósfera. El material seco es retirado por la parte inferior.

## **4.6.2 ELIMINACION DE AGUA**

El problema de los fangos en las plantas de tratamiento de aguas residuales se ha vuelto crítico para muchas comunidades en las cuales el uso de camas de secado, lagos, o el rociado en la tierra ya no es práctico y económicamente factible. En la mayoría de los casos alguna forma de eliminación de agua ha sido adoptada para reducir el volúmen de líquido.

Una vez eliminada el agua, los fangos pueden ser mezclados con otros residuos sólidos. La mezcla resultante puede ser (1) incinerada para reducir el volúmen, (2) usada para la producción de subproductos recuperables, (3) usada para la producción de compost, (4) enterrada en un relleno. La centrifugación y la filtración son dos de los métodos generales actualmente usados para eliminar el agua en una planta de tratamiento de fangos.

### **CENTRIFUGACION.**

Escurredoras, decantadores y centrifugadores horizontales han sido usados para eliminar el agua a los residuos fangosos. Aunque es posible producir un fango razonablemente denso ( del 10 al 15 porciento ) por medio de la centrifugación, varios problemas han sido detectados. Los dos más críticos son: (1) El alto costo de operación y mantenimiento asociado a éstas unidades, y (2) el retiro de minúsculas partículas en el filtrado.

### **FILTRACION.**

Tanto la filtración al vacío como a presión han sido usadas para eliminar el agua de los fangos. La filtración al vacío es más usada en los E.U. mientras que la filtración a presión es común en Europa e Inglaterra. Para mayores detalles de los sistemas de eliminación de agua, al estar fuera del alcance del presente trabajo, será necesario consultar bibliografía acerca de aguas residuales y su tratamiento.

## **4.7 EL SISTEMA VICKERS PARA LA ELIMINACION DE BASURA**

### **4.7.1. PRINCIPIO:**

Se trata de un sistema húmedo que tiene la ventaja de que con la misma instalación y sin reforma alguna, puede producirse o no compost. En este sistema se añade agua para reducir la resistencia de los papeles, cartones y otras materias fibrosas. La basura se encuentra mezclada con el agua en el interior del tambor rotativo, de forma que los productos se reducen por efecto de frotamiento.

Después de tres cuartos de hora de paso continuo, desde la entrada a la salida del cilindro, las basuras se encuentran fragmentadas y reducidas a un tercio de su volumen, y separadas en dos materiales:

- 60 % de productos convertibles en compost,
- 40 % de productos no convertibles y no fragmentables: botellas, recipientes diversos de plástico, metales, caucho, trapos, etc.

Este sistema permite el tratamiento de 10 t/h.

#### 4.7.2. VENTAJAS DEL PROCEDIMIENTO:

- Poco consumo de energía:

Se pueden tratar 10 ton/hora con 80 Hp, mientras que para la misma carga, un molino Gondard requeriría 150 Hp. Su funcionamiento regular, por otra parte, no precisa intensidades de sobrecarga, tan importantes como en el molino de martillos. Un comparativo consumo de corriente para diversos sistemas es presentado a continuación:

Vickers: variaciones de intensidad: 64 a 84 Amp.

Gondard: variaciones de intensidad: 200 a 400 Amp.

Vickers: intensidad en vacío: 20 Amp.

Gondard: intensidad en vacío: 60 Amp.

Debo remarcar que en el sistema Vickers los materiales duros y de gran tamaño no son fragmentados.

- Gastos de Mantenimiento:

La fragmentación se hace << dulcemente >> por aceleración. Los materiales son removidos por el agua, lo que disminuye considerablemente los desgastes. En efecto, la masa en movimiento se fragmenta más por frotamiento de los materiales entre sí que por acción mecánica. Esta fragmentación no necesita ninguna ayuda dinámica de masas metálicas. Por tanto, se comprende que las piezas no sufren desgaste en el interior de la máquina.

- Importante reducción de volumen:

El método por vía húmeda permite obtener una reducción de volumen superior al que se obtiene es seco, ya que por este sistema, aún aunque los papeles y cartones desmenuzados en pequeños trozos conserven su propiedad primitiva de hacerse esponjosos, no se logra la misma compactación en seco que si estos productos se han humedecido.

La reducción de volumen es función de los factores:

\* relativos a la naturaleza de las basuras; y

\* relativo a las máquinas.

Cuanta más materia orgánica contenga, mayor reducción de volumen se obtiene. Cuanto más finas sean las mallas, más aumenta el rechazo y menos reducción tendremos posteriormente.

- Funcionamiento silencioso:

El conjunto de piezas en rotación no produce ruidos importantes, solamente aquellos producidos por la basura al chocar entre sí o con las paredes, siendo muy reducidas al ser en vía húmeda, y por tanto muy inferior a las de vía seca.

- Funcionamiento sin molestias:

El tratamiento de la basura se practica mecánicamente y no necesita la menor intervención de personal para su manipulación. Si las basuras se tratan al ritmo de su llegada, o con un almacenamiento máximo de 24 horas, no se deben producir malos olores ni ninguna otra molestia. La planta puede ser instalada al lado de una aglomeración urbana, pues no ocasiona molestia alguna.

- Producción de productos particularmente apropiados para un vertedero controlado:

Los fragmentos de papel y polvo son absorbidos en una masa húmeda y homogénea, por lo que no pueden ser arrastrados por el viento.

Los plásticos, especialmente los de PVC, que no son desgarrados, son eliminados con los rechazos, salvo en el caso de que puedan pasar por la malla. No se producen por tanto, los inconvenientes que representan éstos en los sistemas de vertedero con trituración, como podrían ser:

- retención de los mismos en las telas metálicas que cercan los vertederos;
- amontonamiento en superficie;
- molestias y averías al situarse en los radiadores de las máquinas;
- dificultad de cultivar o sembrar el terreno del vertedero una vez cerrado.

- Posibilidades de compostaje:

Un pulverizador puede ser el punto de partida de una fábrica de compost, o bien mixta: compostaje-incineración.

#### **4.7.3. INCONVENIENTES:**

- Utilización de agua:

El tratamiento por vía húmeda precisa la adición en el cilindro de una cantidad de agua en la proporción de 400 a 500 l/ton de basura a tratar.

- Formación de cordones:

Estos se forman de los restos de trapos, alfombras, gomas de caucho, etc., que se anudan entre sí debido al movimiento rotatorio del cilindro. Pueden llegar a significar el 5% de la carga.

#### 4.7.4. DESCRIPCIÓN DEL PULVERIZADOR:

Se compone esencialmente de un tambor de acero que mide 9.15 m de largo y 2.43 m de diámetro, que reposa sobre guías de acero, lo que le permite girar sobre su eje.

Cuatro motores eléctricos proporcionan la fuerza de rotación cuya transmisión se comunica por mediación de dos neumáticos que ruedan sobre pistas adosadas al cilindro.

Este sistema de transmisión facilita un funcionamiento regular y exige un mínimo de mantenimiento.

En el interior del tambor existen placas de acero en forma de segmentos, soldadas a la pared y dispuestas de manera que obligan a la basura a avanzar por el interior del cilindro según un ritmo o caudal preestablecido.

En el extremo de salida, un cilindro de chapa perforada y colocado en el interior del otro, y concéntrico con él, desempeña la función de malla de cribado de las materias pulverizadas y de las sustancias duras.

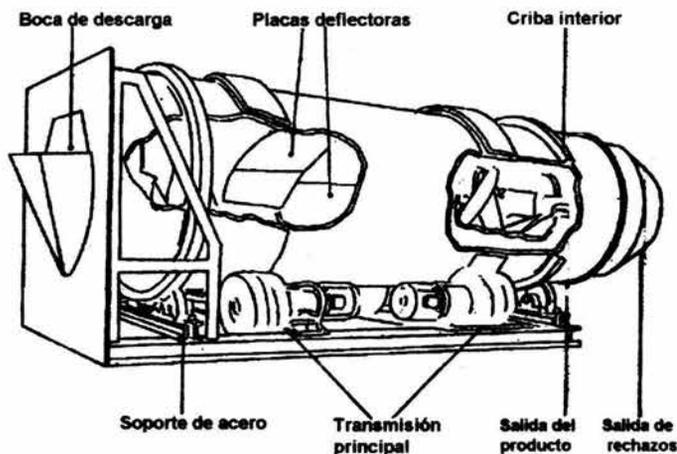
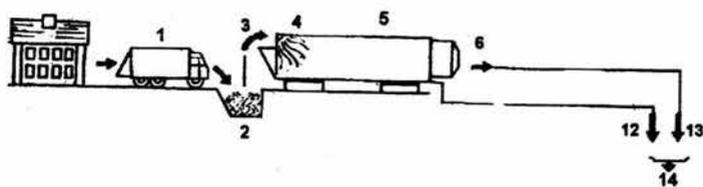
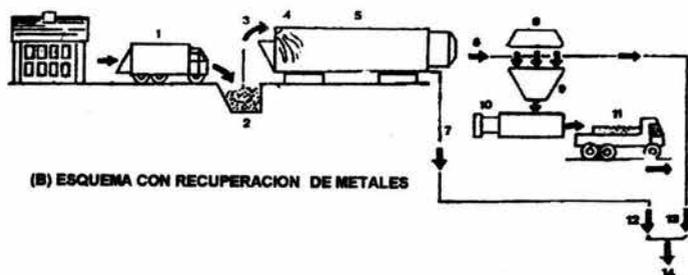


Figura 4-30 PULVERIZADOR VICKERS SEERDRUM MARK III

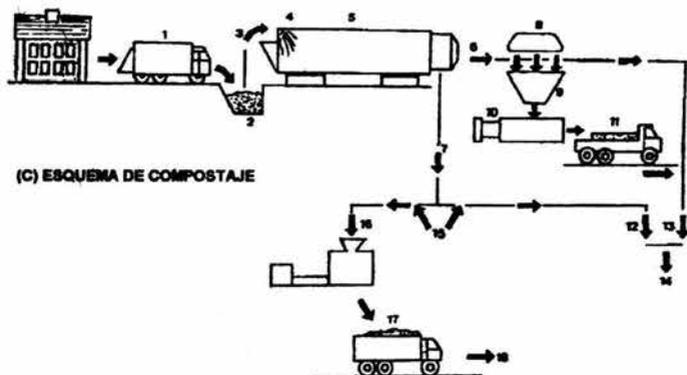
(A) ESQUEMA SIMPLIFICADO



(B) ESQUEMA CON RECUPERACION DE METALES



(C) ESQUEMA DE COMPOSTAJE



1. Recogida de basura
2. Tolva de recepción
3. Alimentación mecánica
4. Agua
5. Tratamiento continuo
6. Rechazos

7. Producto
8. Separador mag.
9. Rechazos ferreos
10. Prensa
11. Envío a fundir
12. Producto

13. Rechazos
14. Al relleno sanitario
15. Dirección opcional
16. Granulador
17. Retirada del producto
18. Al campo

Figura 4-31 DIFERENTES TIPOS DE INSTALACIONES CON SISTEMA VICKERS

## **FUNCIONAMIENTO:**

La basura se introduce por el extremo que forma la boca de carga, por medio del método elegido, y al mismo tiempo se introduce agua por medio de una bomba, con el caudal apropiado según la entrada de basura.

La rotación del tambor hace avanzar a la basura, que es sometida a un efecto de mezcla y amasamiento de los productos blandos. Los objetos metálicos y especialmente los botes y botellas, son separados de sus etiquetas y del resto de comida que pueden contener. Según va avanzando la masa se produce una trituración por el choque de la basura entre sí y con las paredes del cilindro.

Al final, y por la boca de salida, quedan separados los productos en dos partes, con el cilindro interior perforado y a través de los agujeros se obtiene 1/3 del total, y los rechazos o productos más gruesos, 2/3, salen por la boca posterior.

### **4.7.5. TIPOS DE INSTALACION:**

Podemos considerar tres grupos de instalación según el destino de los productos ( ver fig. 4-31 ):

- Esquema simplificado.
- Con recuperación de metales.
- Con fabricación de compost.

Las primeras dos instalaciones pueden ser más o menos mecanizadas, y la tercera debe ser siempre muy mecanizada.

El grupo de mecanización está ligado a las circunstancias locales:

- Situación.
- Tonelaje.
- Prestigio.
- Presupuesto disponible.

**En general, hay que tener siempre presente que la << REGLA DE ORO >> para el tratamiento de las basuras es la *simplicidad*.**

#### **4.7.5.1. ESQUEMA SIMPLIFICADO:**

Las instalaciones pueden estar situadas al aire libre. Estéticamente es aconsejable proveerlas de una nave muy ligera que las recubra y proteja del viento y de la lluvia.

Bastará construir una nave, que puede ser prefabricada, de 200 a 250 m cuadrados. Pueden introducirse distintas variantes, especialmente en lo que concierne a la alimentación.

Una pala cargadora, sobre neumáticos, sigue siendo la solución más sencilla, la cual puede ser también utilizada para tirar de los remolques de rechazo y para mantener nivelado el vertedero. Una pala de 50 Hp puede bastar para tratar de 30 a 40 t/día.

La carga del Pulverizador mediante cinta transportadora es una solución cara, máxime cuando la pala sigue siendo necesaria para los demás trabajos.

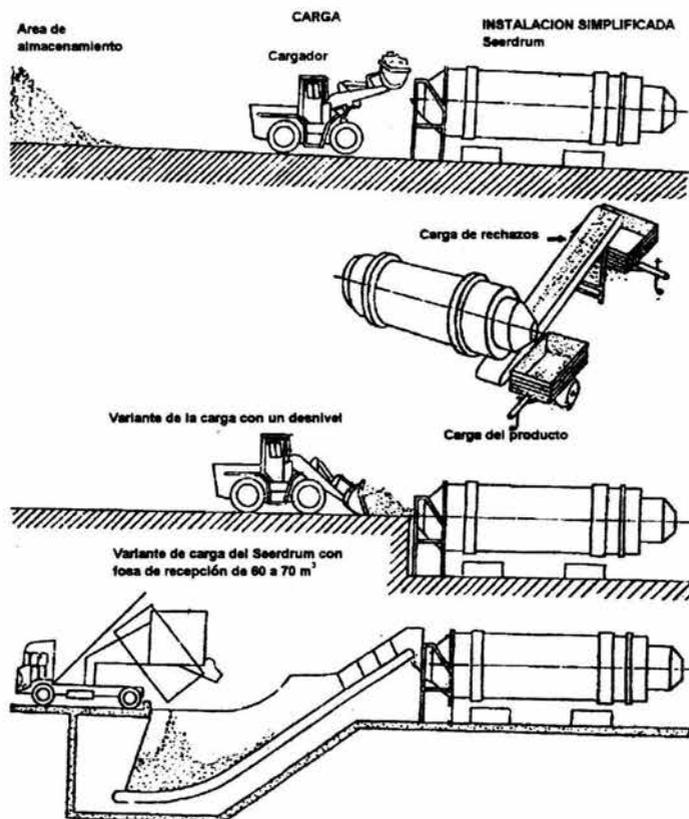


Figura 4-32 ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UN SISTEMA VICKERS

#### 4.7.5.2. VERSION CON FABRICACION DE COMPOST:

Componen la instalación los siguientes elementos (ver fig. 4-33):

1 puesto de carga con fosa de recepción, y carga por cinta transportadora o por puente grúa.

- 1 Pulverizador.
- 1 transportador de productos.
- 1 transportador de rechazos.
- 1 separador magnético.
- 1 granulador de partículas.

El último será optativo, según que el compost pueda admitir o no productos duros, por ejemplo, trozos de vidrio.

La instalación deberá ser completada para una fermentación lenta con:

- aire de fermentación,
- material de aireación.

Se puede asimismo separar las partes metálicas de los rechazos, si económicamente es compensable; lo anterior no tiene efecto alguno en el vertedero controlado.

#### 4.7.6 PRODUCCION.

La producción de un pulverizador Vickers está directamente ligado a:

- el objetivo de la instalación; y
- la naturaleza de la basura.

Si el objetivo final es mandar a un relleno sanitario, puede estar equipado con cribas de malla. Si el objetivo final es fabricar compost, la criba de malla deberá ser más pequeña.

Evidentemente es factor fundamental en la naturaleza de la basura la relación volumétrica

$$K = \text{producto} / \text{rechazo}$$

Crece y decrece la "K" en el mismo sentido de la densidad, que generalmente, está ligada a la proporción que haya de materias orgánicas.

#### 4.7.7. EQUIPOS OPCIONALES:

- CARGADOR:

La pala sobre neumáticos es muy aconsejable para efectuar la carga del Pulverizador, y se utilizará también para arrastrar los remolques de los rechazos y mantener el vertedero controlado.

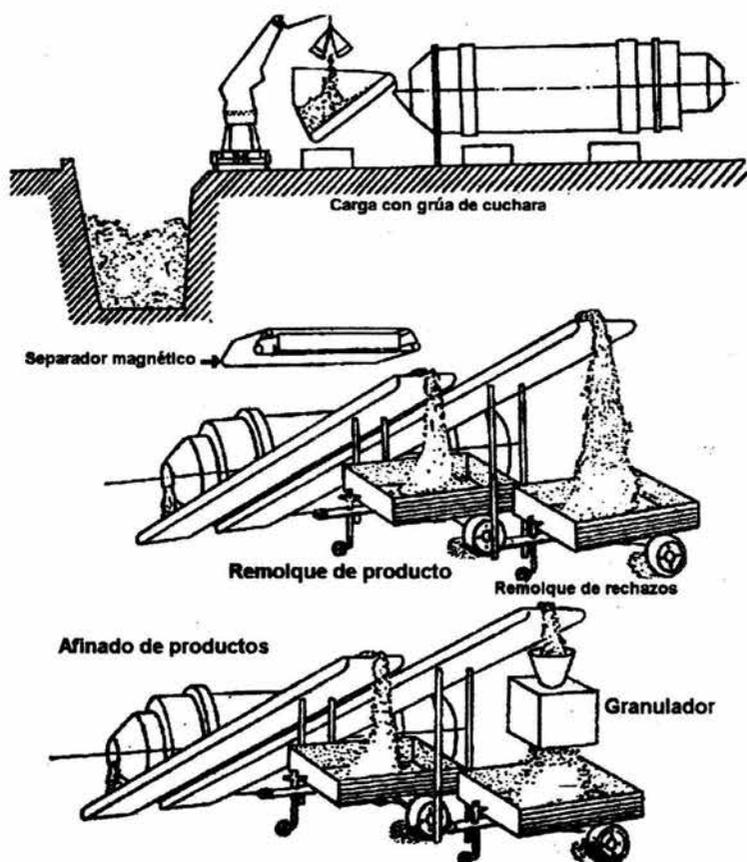


Figura 4-33 SISTEMA VICKERS EN SU VERSION PARA ELABORAR COMPOST

- TRANSPORTADOR DE ALIMENTACION:

La basura se vacía en una tolva por medio de una banda transportadora a la boca de carga del Pulverizador. La cinta debe poder pararse y volver a ponerse en marcha con la carga total sobre la tolva. La cinta será concebida de tal forma que los objetos metálicos u objetos duros no puedan introducirse entre piezas móviles. Los motores de la cinta deben estar protegidos en el caso de que se produzca un atasco por la basura. El material a tratar será basura doméstica e industrial con una densidad de 100 a 400 Kg / m<sup>3</sup>.

Figura 4-34 PALA  
MECANICA  
DE 50  
A 100 HP.



- BANDA TRANSPORTADORA DE RECHAZOS:

Los rechazos son de diversa naturaleza: madera, plásticos, vidrios, partes metálicas, alambres, trapos, y con dimensiones que no pasen de  $0.5 * 0.5 * 0.5$  m. La cinta transportadora debe ser lo suficientemente profunda especialmente en la entrada y el acceso a la tolva de rechazo. Se debe estudiar la estanqueidad de la cinta para evitar la caída de escombros o desechos al suelo. Las superficies de frotamiento deben ser lisas, evitándose cualquier aspereza.

- SEPARADOR MAGNETICO:

Se situará encima del transportador de rechazos, permitiendo extraer los botes de conservas, recipientes diversos, cápsulas, alambres, etc., siendo generalmente del tipo electroimán. Se puede considerar cualquiera de los mostrados en la fig. 4-24 o 4-25.

- PRENSA PARA CHATARRA:

Las partes metálicas extraídas por el separador magnético, caen en una tolva que alimenta una prensa hidráulica, dispuesta específicamente para estos materiales.

- HORNO DE INCINERACION:

Es aconsejable añadirlo a la instalación, especialmente cuando se produzca compost. Es recomendable un incinerador de pequeña capacidad y sin tiro forzado.

- CINTA TRANSPORTADORA DE PRODUCTO TRITURADO:

El producto a transportar podrá alcanzar una humedad de hasta el 60%, y mezcla triturada de vidrio, cerámica y otras partículas ferrosas y no ferrosas, de diámetro inferior a 40 mm, por lo que la banda deberá ser resistente a este tipo de productos desde el punto de vista mecánico y químico.

El producto tiende a adherirse a la banda y en los laterales, por lo que el conjunto debe presentar superficies especialmente lisas. El producto tendrá una densidad de 600 a 900 Kg / m<sup>3</sup>.

**- EVACUACION DEL PRODUCTO:**

La evacuación del producto y de los rechazos se puede efectuar con remolques basculantes hidráulicos. Estos remolques deben ser intercambiables de preferencia.

**CAPITULO V**

**RECUPERACION Y TRANSFORMACION**

**DE LOS RESIDUOS SOLIDOS**

**EN SUBPRODUCTOS Y**

**EN ENERGIA.**

## RECUPERACION Y TRANSFORMACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN SUBPRODUCTOS Y EN ENERGIA.

Los residuos sólidos, o más bien, la selección de los residuos sólidos depende de las condiciones locales, pudiendo ser estos una valiosa fuente de materias primas para la industria; combustible para la producción de energía; y un material que puede ser usado para el mejoramiento de la tierra. A continuación delinearé las aplicaciones de las técnicas y equipos estudiados en el capítulo 4 enfocadas a la recuperación de recursos, a los productos de ellos transformados, y a la energía que se puede obtener de éstos.

La información está presentada en las siguientes secciones: (1) procesamiento de materiales y sistemas de recuperación, (2) recuperación de productos por conversión química, (3) recuperación de productos por conversión biológica, (4) recuperación de energía por medio de la conversión de productos. La secuencia para la presentación de ésta información está indicada en la figura 5-1, la cuál es el típico diagrama de flujo utilizado para la recuperación de recursos, la transformación de productos, y la producción de energía a partir de los residuos sólidos.

El término *sistema de primer-propósito* (front-end system) denota los procesos (reducción de tamaño, separación, etc.) usados para la recuperación de materiales y la preparación de los componentes individuales para subsecuentes transformaciones.

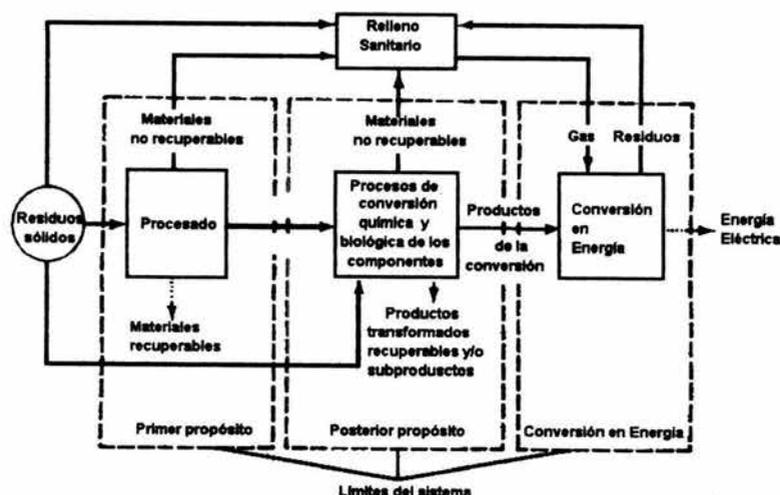


Figura 5-1 TÍPICO DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA RECUPERACION DE RECURSOS TRANSFORMACION DE PRODUCTOS Y DE ENERGIA A PARTIR DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

El término *sistema de posterior-propósito* (rear-end system) denota los procesos químicos y biológicos (incineración con recuperación de calor, composteo, etc.) y las instalaciones auxiliares relacionadas, usadas para la transformación de los residuos sólidos procesados en varios productos.

## **5.1. SISTEMAS DE RECUPERACION Y PROCESAMIENTO DE MATERIALES.**

Varios tipos de técnicas de procesamiento y equipos fueron discutidos en el capítulo anterior. En este capítulo el objetivo es mostrar cómo los procesos se pueden combinar en un diagrama de flujo, alternando la recuperación de materiales y la preparación de residuos combustibles para su posterior procesamiento.

### **5.1.1 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES.**

El papel, hule, plástico, textiles, vidrio, metales ferrosos, y materiales orgánicos e inorgánicos son los principales materiales recuperables contenidos en los residuos sólidos municipales. En cualquier situación dada; la decisión para recuperar cualquiera de estos materiales está usualmente basada en una evaluación económica y las consideraciones potenciales de venta en el mercado local. En la valoración económica de la recuperación de materiales, las especificaciones de los materiales pueden ser de suma consideración. La razón es que aunque los residuos se puedan separar en varios componentes, no existan los mercados para éstos debido a que no reúnen las especificaciones necesarias. Las especificaciones típicas de los materiales son presentadas en la tabla 5-1.

#### ***Materias Primas.***

Las especificaciones típicas para ocho diferentes materiales derivados de los residuos sólidos municipales están reportados en la tabla 5-1. Detalles específicos, como son la pureza del producto, su densidad, y las condiciones de envío, deben ser conciliadas con cada comprador potencial. Siempre que sea posible, es también benéfico desarrollar una escala de especificaciones de productos y precios de productos. De esta manera, los costos de procesamiento necesarios para alcanzar productos de alta calidad pueden ser evaluados con respecto a los máximos precios obtenidos en el mercado para los productos de alta calidad.

#### ***Fuentes combustibles.***

Existen dos formas para obtener energía a partir de los residuos sólidos municipales : (1) por el quemado directo de los residuos produciendo calor, y (2) por la transformación de desperdicios en combustible auxiliar (aceite, gas, pellets, etc.) el cual puede ser almacenado y usado localmente o transportado a mercados energéticos distantes. Las especificaciones para el uso directo de residuos para la producción de vapor son normalmente no tan restrictivas como aquellas observadas para la producción de combustibles. Sin embargo, como las técnicas de incendiado y almacenamiento mejoran, las especificaciones para el uso directo pueden llegar a ser en el futuro más severas.

**Tabla 5-1 ESPECIFICACIONES TÍPICAS DE LOS MATERIALES QUE AFECTAN SU SELECCION Y EL DISEÑO DE LAS OPERACIONES DE PROCESAMIENTO**

Categoría de los reusables y los materiales que los constituyen. componentes	Especificacion típica de los
<b>Materias Primas</b>	
Papel y cartón	Fuente; calidad; no revistas; no cinta adhesiva cantidad, almacenamiento, y puntos de entrega.
Hule	Estandares de revulcanizado; especificaciones para otros usos seencuentran bien definidas.
Plásticos	El tipo (ejem. ABS, PVC); su grado de limpieza.
Textiles	El tipo de material, su grado de limpieza.
Vidrio	La cantidad de cristal despedazado, su color, sin etiquetas ni metal; su grado de limpieza; libre de contaminantes metálicos; calidad, almacenamiento, y su lugar de entrega.
<b>Materiales ferrosos</b>	Fuente (doméstica, industrial, etc), grado de limpieza; grado de contaminación con estaño, aluminio, y plomo; cantidad, forma de envío, y lugar de entrega.
Aluminio	Tamaño de la partícula; grado de limpieza; densidad; cantidad, forma de envío, y lugar de entrega.
<b>Metales no ferrosos</b>	Varian de acuerdo a las necesidades locales y el mercado.
<b>Fuente Combustible</b>	
<b>Orgánicos combustibles</b>	Composición, capacidad en BTU; contenido de humedad; limites de almacenaje; cantidades aseguradas; venta y distribución de la energía y/o subproductos.
Papel desperdicio	Varian de acuerdo a las necesidades locales y el mercado.
<b>Mejoramiento de la tierra</b>	
<b>Organicos</b>	Regulaciones locales y estatales; métodos de aplicación; control de emigración de gas metano; control de lixiviados; señalamiento final de uso-en-tierra.
<b>Inorgánicos</b>	Regulaciones locales y estatales: señalamiento final de uso-en-tierra

### **Aprovechamiento en la tierra.**

La aplicación de desperdicios hacia la tierra es una de las técnicas más antiguas usadas en el manejo de los residuos sólidos. La tecnología de la disposición o vertido en la tierra se ha desarrollado hasta el punto en que las comunidades pueden ahora planear proyectos para el mejoramiento de la tierra usando residuos sin temor a desarrollar problemas de salud.

Algunas especificaciones típicas para el mejoramiento de la tierra están listadas en la tabla 5-1. Los residuos orgánicos usados para rellenos o para el mejoramiento de la tierra, requieren un mayor control que los desperdicios inorgánicos. En el mejoramiento de la tierra se usan uno o ambos tipos de residuos no debiendo comenzar su vertido hasta que haya sido designado el lugar en que finalmente se realizará el vertido.

### **5.1.2 SISTEMAS DE PROCESAMIENTO Y DE RECUPERACION.**

Una vez que la decisión de recuperar materiales y/o producir energía ha sido tomada, los diagramas de flujo de los procesos deben ser desarrollados tanto para la separación de los componentes deseados, para su procesamiento, y para los materiales combustibles; los anteriores diagramas están sujetos a determinadas especificaciones de acuerdo a los materiales.

#### **5.1.2.1 DIAGRAMAS DE PROCESOS.**

Dos diagramas de proceso propuestos para un sistema de primer resultado para la recuperación de componentes específicos, y la preparación de materiales combustibles para su uso como fuente combustible están presentados pictóricamente en la fig. 5-2 y esquemáticamente en la fig. 5-3. En ambos casos han sido adoptados diagramas de operaciones para procesos en seco.

El principal avance de los procesos secos frente a los húmedos es su menor costo. Los procesos húmedos requieren el uso de un hidropulper. Otra ventaja es que los equipos comunmente usados en la industria para el procesamiento de minerales pueden ser adaptados para usarse en estas aplicaciones.

En ambos diagramas de flujo, un clasificador neumático sigue a una trituración primaria; y el separador ciclónico elimina el aire de las fracciones ligeras. Adicionalmente, el diagrama de flujo mostrado en la fig. 5-3 incluye lo siguiente: (1) un secador antes del separador neumático usado para satisfacer el contenido de humedad especificado para la fracción ligera, (2) un paso de tamizado después del separador neumático para eliminar algunos de los componentes pesados de la fracción ligera, y (3) un segundo paso de triturado. El procesado de la fracción ligera resultante en el diagrama de la fig. 5-3 puede ser conveniente para usarse como suspensión directa de quemado en una caldera de vapor.

Los metales ferrosos, el vidrio, y el aluminio son removidos de la fracción pesada en ambos diagramas de flujo. Es también importante notar que hay un residuo que debe ser eliminado en ambos diagramas.

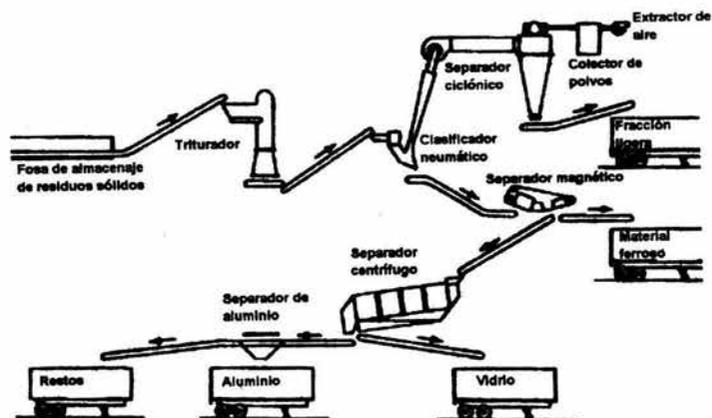


Figura 5-2 DIAGRAMA DE PROCESO PICTORICO DE UN SISTEMA DE RECUPERACION

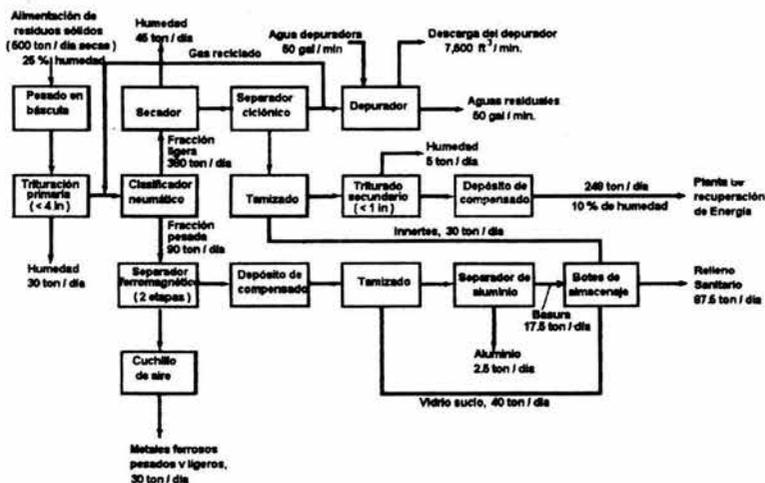


Figura 5-3 DIAGRAMA DE FLUJO PARA UN SISTEMA DE RECUPERACION DE MATERIALES

Ambos diagramas son flexibles en términos de poder adicionar equipos o u bien, optar por procesos alternativos de procesamiento para encontrar mejoras en las especificaciones de los materiales. De una revisión a las figs. 5-2 y 5-3, es evidente que una considerable variedad de diagramas de flujo pueden ser preparados. Los diagramas de flujo que involucran una separación manual de componentes específicos de los residuos son también comúnmente usados.

### 5.1.2.2 DISEÑO Y TRAZADO DE SISTEMAS.

El diseño y trazado de una instalación física que equivalga al diagrama de flujo de procesamiento, constituye un aspecto importante en la implementación y exitosa operación de dicho sistema. El trazado recomendado para el sistema mostrado en la fig. 5-3 está dado en la fig. 5-4. Existen factores importantes que deben ser considerados en el diseño y trazado de semejantes sistemas, incluyendo: (1) un eficiente proceso de ejecución, (2) confiabilidad y flexibilidad, (3) una operación sencilla y económica, (4) estético, y (5) con controles ambientales. De estos factores, el primero es el más importante en cuanto a la obtención de una planta que funcionará correctamente.

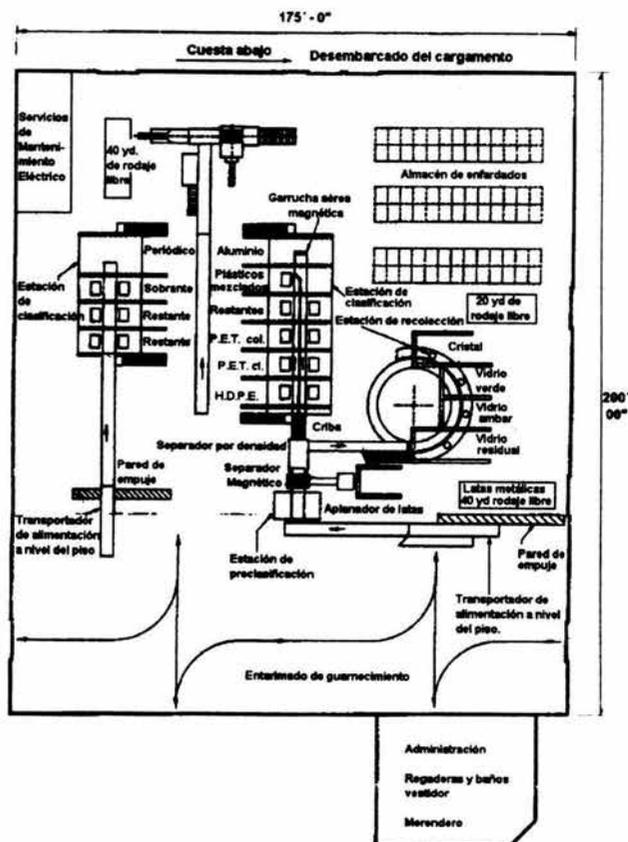


Figura 5-4 LAYOUT DE UNA PLANTA DE RECUPERACION DE RECURSOS

Aunque si bien son varios los caminos para evaluar el rendimiento de los procesos, tal vez el mejor de ellos es aquel que relaciona el grado de separación obtenido de los diversos componentes. Para lograr una óptima ejecución con respecto a la separación de los componentes, una planeación cuidadosa asegura que las cargas de diseño para los diversos procesos no sean excedidas. Ya que los residuos sólidos son recolectados en la mañana, una adecuada capacidad de almacenamiento debe ser prevista en las instalaciones de procesamiento ya que la razón de alimentación en el proceso deberá ser uniforme y no sujeto a oleadas de residuos.

El primer paso en el diseño de las instalaciones de procesamiento deberá ser el decidir la cantidad de materiales a ser procesados. Cuando los residuos procesados están destinados para usarse como combustible, el diseño de las cantidades usualmente dependerá de la cantidad de fuerza motriz continua que deba ser desarrollada por la compañía. Una vez que esto ha sido decidido, las unidades individuales son dimensionadas de acuerdo a los rangos de carga, los cuales están determinados en la base a las características de los residuos sólidos y los procesos de separación a ser usados.

### 5.1.2.3 BALANCE DE MATERIALES Y RAZONES DE ABASTECIMIENTO.

Un importante aspecto en el diseño de cualquier sistema de recuperación de materiales comprenderá la estimación de las cantidades de los materiales que pueden ser recuperados y el apropiado diseño de las razones de carga. La información y los datos que pueden ser usados para la estimación de las cantidades requeridas están presentadas en la tabla 5-2 y 5-3.

Tabla 5-2 FRACCION LIGERA Y PESADA DE LOS COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DESPUES DE LA TRITURACION Y LA CLASIFICACION NEUMATICA

Componente	Porcentaje en peso*	Fracción en peso, porcentaje		Comentario	
		Ligera	Pesada		
Residuos alimenticios	16	16	-	Componentes que se asume integran la fracción ligera después de la trituración. Después de la clasificación neumática la fracción ligera contendrá de un 2 a un 8 por ciento en peso de los componentes debidos a la fracción pesada.	
Papel	40	40	-		
Cartón	4	4	-		
Plástico	3	3	-		
Textiles	2	2	-		
Hule	0.5	0.5	-		
Piel	0.5	0.5	-		
Recortes de jardinería	12	12	-		
Madera	2	2	-		
Vidrio	8	-	8		Componentes que se asume integran la fracción pesada después de la trituración. Después de la clasificación neumática la fracción pesada contendrá de un 6 a un 20 por ciento en peso de los componentes debidos a la fracción ligera.
Latas de hojalata	6	-	6		
Metales no ferrosos	1	-	1		
Metales ferrosos	2	-	2		
Fangos, cenizas, ladrillo, etc.	4	-	4		
Total	100	79	21		

\* La humedad perdida durante la trituración no está considerada

Los componentes que normalmente caracterizan a las fracciones ligeras y pesadas después de la trituración y clasificación neumática están identificados en la tabla 5-2. Los datos de esta tabla corresponden a los citados en la tabla 2-1.

Debe ser notado que el contenido de humedad que puede ser perdido durante la trituración no ha sido considerado en la tabla 5-2. La humedad típica contenida en los residuos sólidos varía de un 15 a un 40%, dependiendo de la localización geográfica y de la estación del año. Bajo circunstancias normales, del 5 al 25% de la humedad inicial puede ser perdida durante la trituración.

**Tabla 5-3 CANTIDADES ESTIMADAS DE RECUPERACION PARA VARIOS COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS USANDO EQUIPO MECANICO**

Fracción o Componente	Porción recuperable de componentes originales, porcentaje		Observaciones
	Rango	Estandar	
Fracción ligera	80-95	90*	La porción recuperable variará de acuerdo a la composición de los residuos sólidos municipales y de las características de estos residuos después de la trituración.
Fracción pesada	90-98	96!	
Metal ferroso	65-85	85	Ciertas cantidades de la fracción ligera y pesadas estarán también junto con estos elementos dependiendo de las especificaciones del proceso y del equipo usado.
Vidrio	50-90	80	
Aluminio	55-90	70	

\* Cantidades variables de la fracción ligera serán retenidas por la fracción pesada (ver tabla 5-2)

! Cantidades variables de la fracción pesada serán ganadas por la fracción ligera (ver tabla 5-2)

Las cantidades recobrables de metales ferrosos, vidrio, y aluminio, junto con la información sobre la recuperación de materiales pesados desde la fracción ligera, son reportados en la tabla 5-3.

Para seleccionar los procesos adecuados para cada componente, los porcentajes de cargas esperadas deben ser conocidos. Las razones de carga para la mayoría de los procesos están expresados en toneladas por hora. En la determinación de los porcentajes de cargamento para el diseño, un cuidadoso análisis deberá ser hecho para determinar el número actual de horas por día que el equipo estará operando.

#### 5.1.2.4. LIMITACIONES DE LOS EQUIPOS.

En general, ha sido encontrado por experiencia que en las operaciones de procesamiento de primer-propósito, más equipos fallan y se dan otros problemas operativos que en los sistemas de posterior-propósito y de transformación de energía. El transporte de los residuos sólidos sin procesar ha dado molestias especialmente. los transportadores son constantemente dañados por los residuos sólidos que caen sobre de ellos, especialmente por aquellos que contienen alguno de los componentes pesados generalmente encontrados en los residuos municipales.

Estos problemas también se han desarrollado en los puntos de transferencia (por ejemplo, donde los residuos son descargados de un transportador dentro de instalaciones de tamaño reducido). Alambres y cuerdas en los residuos se anudan en los equipos, y los derrames de residuos y sobrecarga son comunes.

Ataduras y acufamientos de los sistemas transportadores han sido también un constante problema. Debido a la naturaleza abrasiva de muchos de los componentes encontrados en los residuos sólidos, el rango de deterioro de muchos de los equipos de procesamiento han sido mayores que lo anticipado, esto a su vez, ha inducido muy largos tiempos muertos por su reparación.

Como resultado de estas y otras limitaciones de los equipos, muchos diseñadores de sistemas recomiendan ahora la instalación de dos o más trenes de procesamiento independientes, especialmente donde se requiere producir una potencia continua.

Dondequiera que sea posible, cuando los sistemas de separación de materiales ya han sido diseñados, es recomendable hacer visitas a estas instalaciones en actual operación, para obtener de primera mano la información de rendimiento y requerimiento de mantenimiento. Ya que la mayoría de las firmas en este campo no tienen una larga historia, es recomendable que el equipo seleccionado pueda ser reparado con partes y componentes estándar, los cuales, en caso de ser necesario, puedan ser reconstruidos o fabricados localmente. La disponibilidad de un distribuidor local es también importante.

**Tabla 5-4 PROCESOS QUIMICOS USADOS PARA LA TRANSFORMACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS**

Proceso	Producto transformado	Preprocesamiento requerido	Observación
Incineración con recuperación de calor	Energía en forma de vapor	Ninguno	Mercados para el vapor deben estar disponibles; probado en numerosas aplicaciones a gran escala las regulaciones para la calidad del aire podrían prohibir su uso.
Incendiado con combustible suplementario	Energía en forma de vapor	Trituración, separación neumática, y separación magnética.	Si se desea invertir el menor capital posible, las calderas existentes tiene la capacidad de ser modificadas; las regulaciones para la calidad del aire podrían prohibir su uso.
Incineración por medio de una cama fluidizada	Energía en forma de vapor	Trituración, separación neumática, y separación magnética.	Los incineradores de cama fluidizada pueden ser usados también para los fangos industriales
Pirólisis	Energía en forma gas o aceite	Trituración, separación magnética.	Tecnología provada solamente en aplicaciones piloto; aún aunque la contaminación es mínima, las regulaciones para el control atmosférico podrían prohibir su uso.
Hidrólisis	Glucosa	Trituración, separación neumática	Tecnología a nivel de laboratorio solamente
Transformación química	Aceite, gas, acetato celulósico	Trituración, separación neumática	Tecnología a nivel de laboratorio solamente

## **5.2. RECUPERACION DE SUBPRODUCTOS POR TRANSFORMACION QUIMICA.**

Los productos que por transformación química pueden ser derivados de los residuos sólidos incluyen al calor, a una variedad de aceites, gases, y otros elementos relacionados con componentes orgánicos. Los principales procesos de transformación química que han sido usados para la recuperación de productos utilizables a partir de la transformación de los residuos sólidos están reportados en la tabla 5-4.

Todavía otros procesos están bajo desarrollo o bien están siendo propuestos. Con excepción de los procesos de incineración y de la pirólisis, algunas instalaciones a gran escala han estado operando con cualquiera de los otros procesos. Incluso, en el caso de la pirólisis, la mayoría de las experiencias de gran escala son en la industria petrolera y en la industria del procesamiento de la madera; por esta razón, la mayoría de la información presentada en ésta sección versa principalmente sobre incineración y pirólisis. Es considerado también un proceso combinado de incineración-pirólisis.

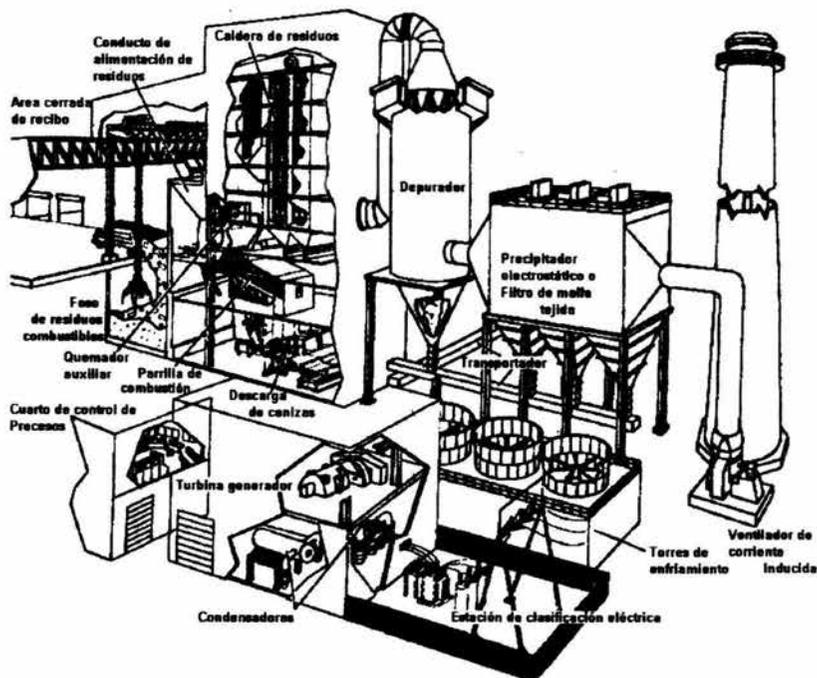
### **5.2.1 INCINERACION CON RECUPERACION DE CALOR.**

El uso de los procesos de incineración para la reducción de volumen fué tratado en el capítulo anterior. El calor contenido en los gases producto de la incineración de los residuos sólidos puede ser recuperado por su adecuada transformación en vapor. Adicionalmente, el bajo nivel de gases remanentes después de la recuperación del calor puede también ser usada para precalentar el aire necesario para la combustión, realizando un precalentamiento del agua, o de los residuos sólidos combustibles.

Normalmente, la transformación del calor contenido en los gases de la combustión en vapor se lleva a cabo (1) por la instalación de un sistema de calentamiento de residuos en el cual los tubos de la caldera están localizados fuera de lo convencional haciendo cámaras de combustión de hileras refractarias, (2) en incineradores de residuos sólidos construidos con cámaras de combustión con paredes de agua, y (3) en calderas industriales con paredes de agua diseñadas especialmente (ver fig. 5-5).

En los incineradores existentes, pueden ser instaladas calderas que seran calentadas con residuos extrayendo el calor de los gases de la combustión sin la necesidad de introducir un exceso en la cantidad de aire o humedad. Normalmente, los gases del incinerador serán enfriados desde un rango de 1800 a 2000 °F a un rango de 600 a 1000 °F antes de su descarga a la atmósfera. Aparte de la producción de vapor, el uso de un sistema de caldera es benéfico debido a la reducción del volumen de gas que debe ser procesado en los equipos de control de la calidad del aire.

En los incineradores de paredes de agua, las paredes de las cámaras de combustión están alineadas con los tubos de la caldera los cuales están ordenados verticalmente y soldados entre ellos en secciones continuas (ver fig. 5-5). Como se muestra, los tubos están en el interior y están aislados del exterior para reducir las pérdidas de calor por radiación. El agua puesta en circulación a través de los tubos absorbe el calor generado en las cámaras de combustión.



**Figura 5-5 CORTE A TRAVES DE UN COMBUSTOR DE INCENDIADO DE MASAS CON PAREDES DE AGUA USADOS PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA POR MEDIO DE R.S.M.**

en lugar de materiales refractarios, no solo son útiles para la generación de vapor, sino también extremadamente efectivas para el control de la temperatura del horno sin la introducción de aire en exceso, sin embargo, están sujetas a corrosión por el ácido clorhídrico producido por el quemado de algunos compuestos plásticos.

Los residuos sólidos preparados con anterioridad, pueden también ser incendiados directamente en grandes calderas industriales que son normalmente usadas para la producción de energía con carbón pulverizado o aceite.

Aunque el proceso con carbón no está adecuadamente comprobado, parece que aproximadamente del 15 al 20 porciento del calor de entrada pueden ser debido a los residuos sólidos preparados. Junto con el petróleo como combustible, alrededor del 10 % del calor de entrada puede ser de residuos sólidos.

### 5.2.1.1 METODOS DE INCENDIADO.

Dependen del nivel de procesamiento, del volúmen, de la suspensión, del furgón esparcidor (spreader-stoker), y de los sistemas de encendido de doble vórtex que son usados en los incineradores y las calderas de residuos sólidos. El encendido de masas es usado cuando los residuos sin procesar están dispuestos para ser quemados (ver fig. 5-6 y la discusión de la incineración del capítulo anterior). Normalmente en parrillas reciprocantes, o en un transportador de parrilla en forma de tambor, los residuos son llevados al hogar de la caldera (ver tabla 4-2).

El encendido de una suspensión (suspension firing) es usado con residuos procesados (normalmente después de un triturado, seguido por una clasificación neumática seguida de una trituración secundaria). En el encendido de una suspensión, el combustible procesado de residuos sólidos es enviado dentro del hogar de la caldera donde es secada y encendida mientras cae. Las parrillas de quemado normalmente se encuentran en el fondo del horno para encargarse de las partículas de lento quemado. Un transportador de parrillas viajeras eliminan las cenizas del fondo del horno (ver fig. 5-5).

Para el quemador con furgón esparcidor, el combustible procesado de residuos sólidos es alimentado dentro por un transportador de parrillas e incinerado mientras viaja a través del horno. Normalmente una larga rejilla ocupa el 100% de la sección transversal del área del horno; esto es necesario porque el tamaño de la partícula debida al encendido con furgón esparcidor es normalmente más grande que aquellas incendiadas en suspensión. Una corriente forzada y aire por encima del fuego, los cuales podrían ser suministrados a través de las rejillas y las paredes, podrían ser también usados para esparcir el combustible de residuos sólidos procesados. Al final de la rejilla, un transportador es usado para remover las cenizas.

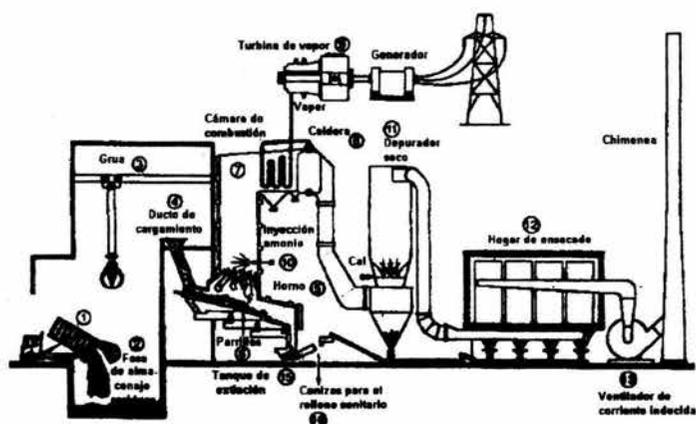


Figura 5-6 CORTE A TRAVES DE UN COMBUSTOR ORDINARIO DE INCENDIADO DE MASAS (MASS-FIRED) Y ALIMENTACION CONTINUA USADO PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA A PARTIR DE LOS R.S.M.

El sistema de incendiado por doble remolino tiene una cámara de combustión de forma de cono doble con un extremo cerrado y el otro extremo abierto para extraer los gases calientes de la combustión del interior de la caldera. Los quemadores están alojados dentro de una caja donde el combustible y el aire para la combustión entran tangencialmente. La mezcla aire-combustible vuela en espiral hacia el extremo cerrado debido a un remolino exterior antes de viajar hacia el extremo abierto debido al un remolino interior. Grandes partículas combustibles son recirculadas por una fuerza centrífuga en el fondo dentro del remolino exterior para completar el quemado. Las cenizas y escorias son colectadas en el fondo de la cámara de combustión.

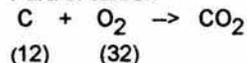
### 5.2.1.2 CALCULOS DE LA COMBUSTION.

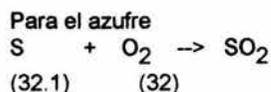
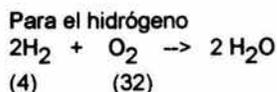
Para efectuar una adecuada incineración, esta debe ser abastecida con el aire suficiente para cumplir los requisitos de (1) combustión primaria y secundaria y (2) agitación para el mezclado del aire y de los residuos sólidos. En la práctica, en donde quemadores convencionales revestidos con refractarios son usados, ha sido encontrado que un exceso de aire de 100 a 200 % debe ser suministrado para cumplir con los requerimientos de combustión y agitación y para controlar las escorias y las acumulaciones de otros materiales en las paredes refractarias. El gran flujo de gases resultantes hace costoso el uso de tal incinerador debido a la capacidad requerida de los equipos de control ambiental. En contraste, cuando los sistemas de transformación de calor son usados, ha sido encontrado que de un 50 a un 100% de exceso de aire es adecuado. De este modo, incluso aunque las calderas son más caras, el tamaño reducido y el costo de los equipos de control de contaminación del aire compensará en la mayoría de los casos el costo inicial.

En el capítulo 2 (ver tabla 2-9), fué observado que los principales elementos de los residuos sólidos son carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. Pequeñas cantidades de otros diversos elementos pueden ser encontrados contenidos en las cenizas. Bajo condiciones ideales, los productos gaseosos derivados de la combustión de los residuos sólidos municipales incluirían dióxido de carbono, agua, oxígeno, nitrógeno y dióxido de azufre. En realidad, diferentes secuencias de reacciones son posibles, dependiendo de la naturaleza exacta de los residuos y de las características operativas del incinerador. Como consecuencia, una variedad de sulfuros y compuestos nitrogenados son también encontrados en los gases descargados por el incinerador. De cualquier modo, con la finalidad de ilustrar el proceso químico de la combustión, será asumido que el proceso de incineración sea ideal.

Para determinar la cantidad de aire que debe ser suministrado para una completa combustión de los residuos sólidos, es necesario determinar los requerimientos necesarios para la oxidación del carbón, hidrógeno y el azufre contenido en los residuos. Las reacciones básicas son las siguientes:

Para el carbón





Si suponemos que el aire seco contiene 23.15% de oxígeno en peso, entonces la cantidad de aire requerido para la oxidación de una kilo de carbón deberá ser igual a 11.52 kilos (desarrollando una regla de tres igual a  $((32/12)(1/0.2315))$ ). Las correspondientes cantidades para el hidrógeno y el azufre son 34.56 y 4.31 kilos respectivamente.

En los cálculos de la combustión, los requerimientos de oxígeno para la oxidación del hidrógeno usualmente están basados en el valor neto del hidrógeno disponible. El valor neto del hidrógeno está calculado por la sustracción de un octavo del porcentaje de oxígeno del porcentaje total del hidrógeno inicialmente presente en la muestra. Este cálculo está basado en la suposición de que el oxígeno en la muestra se combinará con el hidrógeno de la muestra para formar agua.

El calor liberado por el proceso de combustión está en parte almacenado en los productos de la combustión y en parte se transfiere por convección, conducción y radiación tanto en las paredes del incinerador como en el combustible entrante. Si la composición elemental de los residuos sólidos es conocida, la energía contenida por estos puede ser estimada usando la forma modificada de la ecuación de Dulong dada al presentar la composición química de los residuos sólidos en el capítulo 2. Con frecuencia el contenido de energía de los residuos sólidos está basado en el análisis de los valores de calentamiento de los compuestos individuales de los residuos (ver tabla 2-11).

### 5.2.1.3 GASES Y TEMPERATURA DE LOS GASES DE COMBUSTION.

Aunado al conocimiento de las cantidades de aire requerido y de la cantidad de calor disponible, es también importante conocer la composición y temperatura de los gases de combustión generados con diversas cantidades de aire en exceso. Este es un factor importante en el diseño de un sistema de recuperación de calor y también para el control de olores, por ejemplo, para algunos residuos, si la temperatura de combustión baja por debajo de 1400 a 1600 °F, los gases emitidos de la pila pueden ser olorosos debido a su incompleta combustión. Un estudio más detallado de los rangos de quemado de los diversos componentes de los residuos sólidos y de los gases producto de su incineración se pueden encontrar en bibliografía especializada en incineración.

### 5.2.2 PIROLISIS

De las diferentes alternativas de los procesos de transformación química, excluyendo a la incineración, éste ha sido el que ha recibido la mayor atención.

### 5.2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

Debido a que la mayoría de las sustancias orgánicas son térmicamente inestables, estas pueden, calentándose en una atmósfera libre de oxígeno, ser divididas a través de una combinación de agrietamientos térmicos y reacciones de condensación en fracciones gaseosas, líquidas y sólidas. La Pirólisis es el término usado para describir estos procesos. En contraste con el proceso de combustión, el cual es altamente exotérmico, el proceso de pirólisis es altamente endotérmico. Por ésta razón, el término *destilación destructiva* es normalmente usado como un término alternativo para la pirólisis.

En la actualidad variados tipos de reactores están siendo evaluados para ésta aplicación. Dependiendo del tipo de reactor usado, la estructura física de los residuos sólidos a ser pirolizados pueden variar desde procesar residuos crudos sin triturar hasta la más fina porción de polvo de los residuos sobrantes después de dos etapas de trituración y clasificación neumática (ver Fig. 5-3).

### 5.2.2.2 PRODUCTOS FINALES DE LA TRANSFORMACION.

Las características de los tres mas importantes componentes resultado de una pirólisis son:

1. Una corriente de gas conteniendo principalmente hidrógeno, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, y otros varios gases, dependiendo de las características orgánicas de los materiales que son pirolizados.
2. Una fracción que consiste en un alquitrán y/o una corriente de aceite que es líquido a temperatura ambiente y ha sido hallado por contener químicos tales como ácido acético, acetona y metanol.
3. Un carbon de leña compuesto casi por carbón puro más algún material inerte que puede haber entrado en el proceso.

Para la celulosa ( $C_6H_{10}O_5$ ), la siguiente expresión ha sido sugerida para ser la representativa de una reacción pirolítica:



En la ecuación anterior, el alquitrán líquido y/o compuesto aceitoso normalmente obtenido, está representado por la expresión  $C_6H_8O$ . Ha sido encontrado que la distribución de las fracciones del producto varían dramáticamente con la temperatura a la cuál la pirólisis es llevada a cabo. Los datos representativos de los productos como una función de la temperatura de operación están reportados en la tabla 5-5. Las características típicas de la fracción gaseosa y del alquitrán están dadas en la tabla 5-6 y 5-7 respectivamente. La energía contenida de los aceites fruto de la pirólisis ha sido estimada para situarse aproximadamente en 10,000 Btu/lb. Bajo condiciones de máxima gasificación, ha sido estimado que la energía contenida por los gases producidos podría ser de aproximadamente 700 Btu/ft<sup>3</sup>.

**Tabla 5-5 RENDIMIENTO DE LOS PRODUCTOS DE LA PIROLISIS**

Temperatura °F	Residuos* lb.	Gases lb.	Ácidos Piroleñosos y brea+ lb.	Carbón de leña lb.	Masa calculada en lb.
900	100	12.33	61.08	24.71	98.12
1200	100	18.64	18.64	59.18	99.62
1500	100	23.69	59.67	17.24	00.59
1700	100	24.36	58.70	17.67	00.73

\* En la base a como son recibidos, excepto los metales y el vidrio que han sido removidos  
+ Incluye a todos los condensables; las cuentas hechas incluyen de un 70 a un 80% de agua  
Nota: lb x 0.4536 = kg

**Tabla 5-6 GASES DESARROLLADOS POR LA PIROLISIS**

Gas	Porcentaje en volúmen			
	900°F	1200°F	1500°F	1700°F
H <sub>2</sub>	5.56	16.58	28.55	32.48
CH <sub>4</sub>	12.43	15.91	13.73	10.45
CO	33.50	30.49	34.12	35.25
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.45	2.18	2.24	2.43
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3.03	3.06	0.77	1.07
Contabilidad	99.74	100.00	100.00	99.99

Nota: 0.555(°F - 32) = °C

**Tabla 5-7 ANALISIS PRELIMINAR DEL CARBON DE LEÑA PIROLITICO**

Características	Porcentaje en volúmen			
	900°F	1200°	1500°F	1700°F
Material volátil	21.81	70.67	79.05	77.23
Cenizas	7.71	14.28	12.82	14.47
Btu / lb	12,120	12,280	11,540	11,400

Nota: Btu / lb x 2.326 = kJ / kg

En resumen, parece que mientras el proceso de pirólisis tiene grandes promesas, queda mucho por ser conocido. Información y datos antecedentes deben ser reunidos por la naturaleza de los problemas que puedan ser encontrados para cuando los procesos estén operando continuamente en un período sostenido de tiempo. Por ejemplo, ¿serán superables los problemas de control de la corrosión por el aire contaminado?

En vista del número de las plantas pilotos de procesamiento, actualmente en operación y por iniciar operaciones, es posible que las respuestas a algunas de éstas cuestiones lleguen a estar disponibles para el año 2000.

### 5.2.3 INCINERACION-PIROLISIS.

Un reciente progreso en la transformación química de los residuos sólidos es la combinación de los procesos de incineración y la pirólisis desarrollado por Unión Carbide. El sistema, en su totalidad desarrollado alrededor de estos procesos es conocido como el Sistema Purox.

#### 5.2.3.1 DESCRIPCION DEL PROCESO PUROX.

Este puede ser mejor descrito refiriendonos a la fig. 5-7. Los residuos sólidos son alimentados a través de una esclusa de carga localizada en la parte superior del reactor. Oxígeno puro es inyectado dentro de la zona de combustión desde el fondo del horno donde este reacciona con los residuos de carbón carbonizados de la zona de pirólisis.

La temperatura generada en el interior es suficientemente alta para derretir el vidrio, el metal y otros materiales formando un residuo fundido. El material fundido se desborda continuamente de la parte principal del reactor en un tanque de apagado por agua donde éste forma un material duro de forma granular. Los gases calientes formados por la reacción del oxígeno y el carbón carbonizado ascienden a través de los residuos que descenden. En la porción media del horno vertical, la materia orgánica es pirolizada bajo una atmósfera esencialmente reductora para producir una mezcla de productos gaseosos. Como los productos gaseosos calientes continúan su flujo ascendente, estos secan los residuos sólidos entrantes por la parte alta del horno.

Cuando la mezcla de gases dejan el horno, estos contienen vapor de agua, una neblina aceitosa formada por la condensación del alto cocimiento de orgánicos, y cenizas volátiles en menor cantidad. Un sistema de limpieza de gases es usado para eliminar la neblina de aceite y las cenizas sólidas volátiles.

El gas resultante, después de la limpieza, es pasado a través de un condensador. El gas seco producido es comparable con las características de la combustión del gas natural.

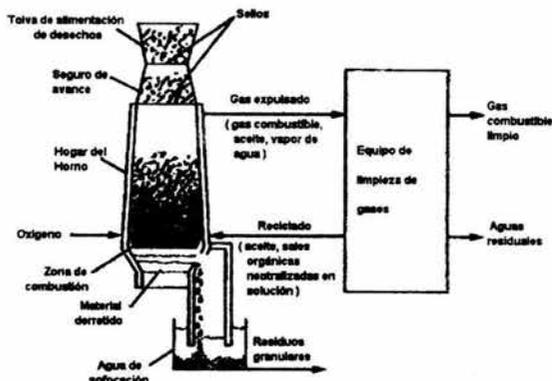


Figura 5-7 CORTE A TRAVES DE UN REACTOR DE INCINERACION-PIROLISIS (UNION CARBIDE CORPORATION)

### 5.2.3.2 PRODUCTOS FINALES DE LA TRANSFORMACION.

Los productos gaseosos transformados y recuperados por este proceso están reportados en la tabla 5-8. Como se muestra, la mezcla gaseosa está compuesta principalmente por  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , e  $\text{H}_2$ . Es de esperarse que ésta composición variará de acuerdo a las características de los residuos sólidos. En términos de la eficiencia de la transformación, está estimado que normalmente alrededor del 75% de la energía contenida en los residuos sólidos combustibles es recuperable cuando es usado el reactor de incineración-pirólisis mostrado en la fig. 5-7.

Donde existen los mercados adecuados, puede llegar a ser más rentable mejorar el gas de bajo BTU obtenido por este proceso hasta la calidad del gas natural para gaseoducto (960 a 980  $\text{Btu}/\text{ft}^3$ ) a diferencia de emplearlo directamente para la producción de energía eléctrica. Normalmente esta mejora sería realizada por un proceso de metanización (ver fig. 5-8). Como se muestra en el diagrama simplificado dado en la fig. 5-8, el proceso completo estaría compuesto por una secuencia de cuatro pasos u operaciones básicas: (1) alimentar el gas a compresión y trasladarlo a transformación, (2) quitar el gas ácido, (3) metanización, y (4) recuperación del azufre.

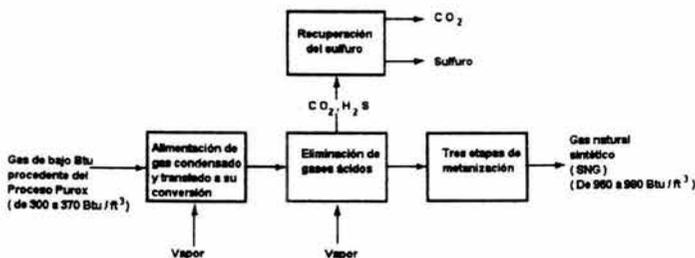


Figura 5-8 DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO PARA LA CONVERSION DEL GAS DE BAJO BTU DEL PROCESO PUROX EN GAS NATURAL DE CALIDAD PARA ENVIAR POR GASEODUCTO.

En el primer paso, el gas de bajo Btu es comprimido a una calibración desde 2 hasta 300  $\text{lbs}/\text{pg}^2$ . El paso de transformación del monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es realizada en un reactor catalítico de cama asegurada.

La transformación de cambio del  $\text{CO}$  al  $\text{CO}_2$ :

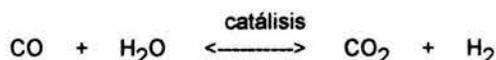


Tabla 5-8 COMPOSICION DE LOS GASES PRODUCIDOS POR EL PROCESO PUROX.

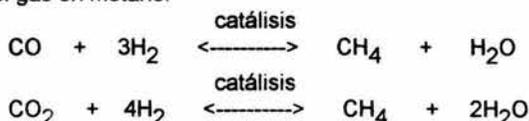
Componente	Porcentaje en volúmen*	Componente	Porcentaje en volúmen*
CH <sub>4</sub>	5	CO	40
CO <sub>2</sub>	23	H <sub>2</sub>	26
Orgánicos superiores	1	Nitrógeno	1
Valor térmico, Btu / ft <sup>3</sup>			345-370

\* En base seca

Nota: Btu / ft<sup>3</sup> × 37.259 = kJ / m<sup>3</sup>

Esta reacción es necesaria para lograr las razones de monóxido de carbono-hidrógeno necesarios para la metanización. En el segundo paso, el volúmen de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) son removidos por fregado a su paso por un chorro de gas enfriador. En el tercer paso, el gas fregado es alimentado en una serie de tres reactores de metanización donde el hidrógeno gaseoso reacciona con los óxidos de carbono para formar metano.

La conversión para transformar el gas en metano:



En el cuarto paso, el azufre básico es recuperado por la condensación del flujo del gas CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S usando el proceso Stretford.

## 5.2.4 OTROS PROCESOS DE TRANSFORMACION QUIMICA.

Adicionalmente a los varios procesos de incineración y de pirólisis bajo investigación y/o en construcción, una variedad de otros procesos de carácter público o privado están siendo evaluados. Por ejemplo, la transformación hidrolítica de la celulosa en glucosa, seguida por la fermentación de la glucosa en alcohol etílico, han sido demostrados a una escala piloto. Nada más definitivo puede ser afirmado de estos procesos hasta que suficientes datos, bien documentados, lleguen a estar disponibles.

## 5.3. RECUPERACION DE SUBPRODUCTOS POR TRANSFORMACION BIOLOGICA.

La transformación biológica de productos que pueden ser derivados de los residuos sólidos comprenden el compost, el metano, varias proteínas y alcoholes y una variedad de otros compuestos orgánicos intermedios. Los principales procesos que han sido usados están reportados en la tabla 5-9. El composteo y la digestión aeróbica, los dos más desarrollados procesos hasta la actualidad, fueron descritos en detalle en el cap. 3.

Tabla 5-9 PROCESOS BIOLÓGICOS USADOS PARA LA TRANSFORMACION DE RESIDUOS SÓLIDOS.

Procesos	Productos transformados	Preprocesamiento requerido	Comentarios
Composteo	Material parecido al humus	Trituración y clasificación neumática	La falta de mercados es su principal defecto; tecnológicamente probado en aplicaciones a gran escala
Digestión Anaeróbica	Gas metano	Trituración y clasificación neumática	Con tecnología a nivel de laboratorio
Transformación biológica en proteína	Proteína y alcohol	Trituración y clasificación neumática	Con tecnología a nivel de laboratorio
Fermentación biológica	Glucosa	Trituración y clasificación neumática	Usada aunadamente con el proceso hidrolítico

### 5.3.1 ALGUNOS PROCESOS BIOLÓGICOS FUNDAMENTALES:

Para ayudar a entender los procesos de transformación biológica, presentaré algunos fundamentos relacionados con los sistemas microbióticos y su mecanismos de relación necesarios para la transformación de residuos sólidos.

#### 5.3.1.1 TIPOS DE MICROORGANISMOS.

La clase general de microorganismos que son de interés con respecto a la transformación de residuos sólidos, ya sea por su masa celular o bien por algún derivado de su metabolismo celular son los llamados *protistas*. Los microorganismos de esta clasificación pueden ser unicelulares o multicelulares, pero sin presentar un núcleo diferenciado (esto significa carecer de núcleo) ni plastidios típicos.

Específicamente los protistas de mayor interés en la transformación de residuos sólidos son las bacterias, los hongos, las levaduras y los actinomicetes. Los protozoarios y las algas son otros protistas comunes, pero no son de primera importancia.

Normalmente la bacteria es una simple célula en forma de: esfera o coccus, de bastones, o de espirales. La forma esférica varía de 0.5 a 4 micrómetros de diámetro; como bastoncitos rectos son de 0.5 a 20 micrómetros de longitud y de 0.5 a 4 micrómetro de ancho; los helicoidales o espirales pueden ser mayores de 10 micrómetros de longitud y de aproximadamente 0.5 micrómetros de ancho. La bacteria es de naturaleza ubicua y se le encuentra en medios ambientes aeróbicos (en presencia de oxígeno) y anaeróbicos (en ausencia de oxígeno).

Debido a la gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden ser usados por las bacterias para sostener su desarrollo, las bacterias son usadas extensamente en gran variedad de operaciones industriales para acumular productos intermedios y productos finales de su metabolismo.

Pruebas a un gran número de diversas especies de bacterias indican que están compuestas por aproximadamente 80% de agua y 20% de materia sólida, de esta última el 90% es orgánica y el 10% es inorgánica. Una fórmula empírica aproximada de un pedazo de estos organismos es  $C_5H_7NO_2$ . Tomando como base ésta fórmula, aproximadamente el 53% en peso del organismo es carbono. Los compuestos que constituyen la porción inorgánica incluyen:

$P_2O_5$  (50 por ciento),  $CaO$  (9 por ciento),  $Na_2O$  (11 por ciento),  $MgO$  (8 por ciento),  $K_2O$  (6 por ciento), y  $Fe_2O_3$  (1 por ciento).

Ya que todos estos compuestos deben ser derivados del medio ambiente, una escasez de éstas sustancias limitaría, y en algunos casos alteraría, el crecimiento de las bacterias.

A los hongos se les considera por ser protistas multicelulares, no fotosintéticos y heterotrópicos. La mayoría de hongos tienen la capacidad para crecer bajo condiciones de baja humedad en donde no se favorece el crecimiento de bacterias. Además, los hongos pueden tolerar relativos bajos niveles de pH. El valor óptimo de pH para la mayoría de las especies de hongos se establece alrededor de 5.6 de pH, pero el rango viable es de 2 a 9 en pH. El metabolismo de estos organismos es esencialmente aeróbico, y crecen en largos filamentos compuestos de unidades celulares nucleadas llamadas "hifas", variando su ancho de 4 a 20 micrómetros.

Debido a su capacidad de degradar una gran cantidad de compuestos orgánicos por encima de un amplio rango de condiciones ambientales, el hongo ha sido usado extensamente en la industria para la fabricación de valiosos compuestos, como son los ácidos orgánicos (ej. cítrico, glucónico), varios antibióticos (ejem. penicilina, griseofulvina), y enzimas (ejem. celulosa, proteosa, amilasa).

Las levaduras son hongos que no pueden formar filamentos (micelo) y son por tanto unicelulares. Algunas levaduras forman células elípticas de 8 a 15 micrómetros por 3 a 5 micrómetros mientras otras son esféricas, variando su tamaño de 8 a 12 micrómetros de diámetro. En términos de operaciones en procesamiento industrial, las levaduras pueden ser clasificadas como "salvajes" y "cultivadas". En general, las levaduras salvajes son de un mínimo valor, pero las levaduras cultivadas son usadas extensamente para fermentar el azúcar obteniendo alcohol y dióxido de carbono.

Los ascomicetes son un grupo de organismos de propiedades intermedias entre las bacterias y los hongos. Con respecto a su forma, estas son similares a los hongos, excepto que el ancho de sus células es de solo 0.5 a 1.4 micrómetros. En la industria, este grupo de microorganismos son ampliamente usados para la producción de antibióticos. ya que su característica de crecimiento es similar, los ascomicetes son generalmente agrupados en el grupo de los hongos.

### **5.3.1.2 PROCESOS ASIMILIATORIOS Y DESASIMILIATORIOS.**

Para continuar su crecimiento y adecuado funcionamiento, los microorganismos deben de tener una fuente de energía y carbono para sintetizar nuevo material nuclear. Elementos inorgánicos tales como el nitrógeno y el fósforo y rastros de otros elementos como son el azufre, potasio, calcio y magnesio, son también nutrientes vitales para la síntesis celular. Dos de las más comunes fuentes de células de carbono para los microorganismos son el dióxido de carbono y la materia orgánica. Si un organismo obtiene células de carbono a partir del dióxido de carbono, éste es llamado autótrofo; si usa el carbón orgánico, éste es llamado heterótrofo.

La energía también es necesaria para la síntesis del nuevo material celular. Para los organismos autótrofos, la energía puede ser suministrada por el sol como en la fotosíntesis, o por una reacción inorgánica de óxido-reducción. Si la energía es suministrada por el sol, el organismo es llamado autótrofo fotosintético. Si la energía es suministrada por una reacción inorgánica de óxido-reducción, es llamado autótrofo quimiosintético. Para los organismos heterótrofos, la energía necesaria para la síntesis celular es suministrada por la oxidación de la materia orgánica.

Bajo éste contexto, los procesos desasimilatorios (o catabólicos) pueden ser considerados como aquellos procesos asociados con la producción y/o captura de energía, mientras que los procesos asimilatorios (o anabólicos) son aquellos asociados con la producción de tejido celular. Bajo las bases de ésta compleja clasificación, la mayoría de las fermentaciones industriales (tanto aeróbica como anaeróbica) son desasimilatorias, en donde esos complejos compuestos (normalmente orgánicos) son degradados a compuestos simples o moléculas con una recurrente liberación de energía. Los procesos de asimilación biológica actualmente son usados en la formación de moléculas orgánicas complejas que no pueden ser sintetizadas económicamente por técnicas convencionales de química orgánica. La mayoría de los antibióticos caen en ésta categoría.

La razón para distinguir entre procesos desasimilatorios y asimilatorios, los cuales siempre ocurren simultáneamente, es que frecuentemente las condiciones óptimas para cada uno de los procesos puede ser totalmente diferente. Con frecuencia tales consideraciones afectan el diagrama del proceso y el diseño de la instalaciones de procesamiento.

### **5.3.1.3 METABOLISMOS AEROBICOS Y ANAEROBICOS.**

Los microorganismos que no pueden crecer o sobrevivir en la ausencia de oxígeno son llamados precisamente aerobios. Similarmente los anaeróbicos son aquellos organismos que no pueden sobrevivir o son inhibidos en la presencia del oxígeno. Los organismos capaces de crecer tanto en presencia del oxígeno como sin este son llamados anaeróbicos facultativos. Muchos organismos facultativos poseen tanto el sistema metabólico aeróbico como el anaeróbico y pueden cambiar de uno a otro sistema como respuesta a la presencia del oxígeno. Otros organismos facultativos tienen solo un sistema metabólico anaeróbico pero son insensibles a la presencia de oxígeno. Los procesos aeróbicos y anaeróbicos son tratados a mayor detalle en el capítulo 3 en lo relacionado al composteo.

#### **5.3.1.4 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES.**

Para crecer y funcionar adecuadamente, los microorganismos deben tener todos los nutrientes necesarios para sintetizar y mantener sus tejidos celulares. Estos normalmente incluyen una fuente de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, sales inorgánicas, azufre, fósforo, y rastreadores de otros micronutrientes. Debido a que estas cantidades varían con respecto al microorganismo en cuestión, es conveniente una evaluación detallada para cada aplicación.

#### **5.3.1.5 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES.**

Los requerimientos ambientales más importantes incluyen: la temperatura, el contenido de humedad, el pH, y la ausencia de toxicidades. El rango de temperaturas por encima de las cuales los microorganismos han sido encontrados varía desde -5 a 80°C. El límite inferior está en juego por el punto de congelación del agua, el cual es más bajo por los contenidos de las células. El límite superior es normalmente establecido por las características de los componentes que constituyen el tejido celular. Por ejemplo, la mayoría de las proteínas y los ácidos nucleicos son destruidos en un rango de temperatura de 50 a 90°C.

Para la mayoría de los organismos usados en la transformación de los residuos sólidos, el rango de temperatura óptimo para su crecimiento es mucho menor. Los microorganismos que crecen mejor en un rango de temperatura de 20 a 40°C son llamados mesófilos y son el grupo más grandes grupo en la naturaleza. Aquellos que crecen mejor en el rango por abajo de los 20°C son llamados psicrófilos y aquellos que se desarrollan mejor por encima de los 45°C son llamados termófilos.

Estas distinciones no son tan rígidas, y muchos microorganismos no se identifican en algún grupo ya que se pueden adaptar a cualquiera de los tres rangos de temperatura.

Ya que el agua es esencial para el crecimiento de los microorganismos, el contenido de humedad de los residuos sólidos a ser transformados debe ser conocido, especialmente en los procesos en seco, como en el composteo, es éste usado. En diversas operaciones del composteo, se hace necesario el adicionar agua para obtener una óptima actividad bacteriana.

La concentración del ión hidrógeno expresado como pH dentro y fuera del microorganismo no es un factor significativo para el crecimiento de éste mientras esté en un rango de 6 a 9, lo cual representa más de un millar de diferencias en la concentración del ión hidrógeno. Sin embargo, cuando el pH vá por encima o debajo de este rango, se presenta que la disociación molecular de los ácidos o bases débiles pueden entrar a la célula más fácilmente que el hidrógeno y los iones hidroxilos, y, por la modificación interna del pH, se daña la célula.

### **5.3.1.6 OTROS PROCESOS BIOLÓGICOS.**

Algunos otros procesos biológicos que han atraído la atención incluyen la transformación de residuos sólidos en proteínas y/o glucosa y la recuperación de gases (biogás) de los rellenos sanitarios existentes y de los recientemente diseñados.

### **5.4 RECUPERACION DE ENERGIA DEBIDO A LA TRANSFORMACION DE LOS PRODUCTOS.**

Una vez que han sido derivados los productos transformados a partir de los residuos sólidos por uno o varios métodos químicos o biológicos de acuerdo a lo listado en la Tabla 5-4 y 5-9, el siguiente paso implica su almacenamiento y/o uso. Si va a ser energía lo que se va a producir con estos productos, entonces un paso adicional de transformación es requerido. El propósito de este apartado es: (1) el presentar los diagramas básicos disponibles para efectuar esta transformación, y (2) presentar los datos de eficiencia de los componentes usados en los diversos diagramas de proceso de transformación.

#### **5.4.1 SISTEMAS DE RECUPERACION DE ENERGIA.**

Los principales equipos involucrados en la recuperación de energía a partir del calor, el vapor, los diversos gases y aceites, y de otras transformaciones de productos son: (1) las calderas para la producción de vapor; (2) las turbinas de vapor y gas para generar fuerza motriz; y (3) los generadores eléctricos para la transformación de dicha fuerza motriz en electricidad. Los diagramas típicos para los sistemas de transformación de energía alternativas son mostrados en la figura 5-9.

##### **5.4.1.1 COMBINACION DE TURBINA-GENERADOR DE VAPOR.**

Tal vez el más común de los diagramas para la producción de energía eléctrica incluye el uso de una combinación de Turbina-Generador de vapor, mostrado en la fig. 5-9a.

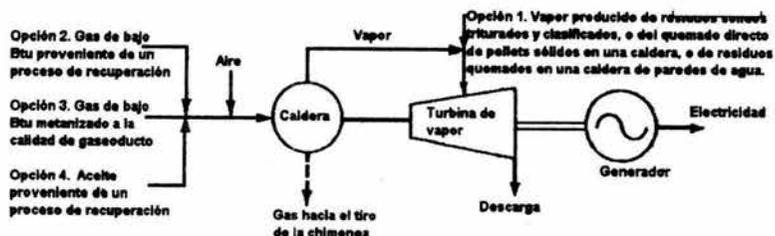
Cuando los residuos sólidos van a ser usados como la fuente combustible de base, cuatro modos de operación están claramente identificados.

En el primero, el vapor es producido en la incineración al procesar los residuos sólidos, ya sea través de los pelets sólidos de combustible, o a través de los residuos sólidos sin procesar.

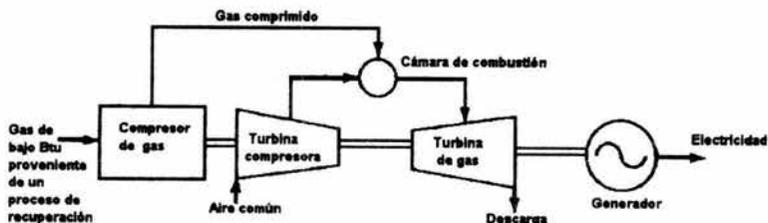
En el segundo, las calderas son usadas para la producción de vapor a través de la transformación del combustible de bajo Btu generado de los residuos sólidos.

En el tercer, el vapor es producido en una caldera incendiada con gases de bajo Btu que han sido metanizados.

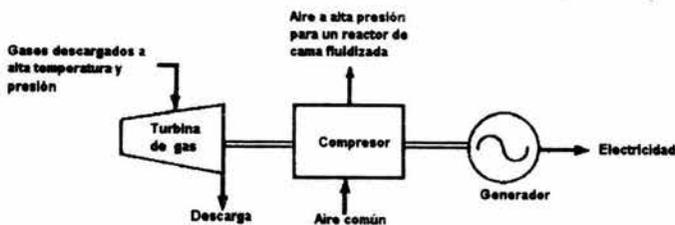
En el cuarto, el vapor es producido en una caldera incendiada con aceite y otros compuestos producidos de los residuos sólidos. Si los aceites o combustibles de bajo Btu derivados de los residuos sólidos son usados, puede ser necesario proveer una fuente suplementaria de combustible.



(a) Opción con la combinación Turbina - Generador de vapor



(b) Opción con la combinación de compresor de gas - Turbina - generador de gas



(c) Opción con una Turbina de gas - Compresor - Generador

Figura 5-9 ALTERNATIVAS DE SISTEMAS PARA LA RECUPERACION DE ENERGIA. (a) OPCION CON LA COMBINACION TURBINA-GENERADOR DE VAPOR. (b) OPCION CON LA COMBINACION COMPRESOR DE GAS-TURBINA DE GAS-GENERADOR. (c) OPCION CON TURBINA DE GAS-GENERADOR COMPRESOR DE GAS.

#### 5.4.1.2 COMBINACION DE TURBINA-GENERADOR DE GAS.

En la fig. 5-9b y 5-9c son mostrados dos diagramas en los cuales ambos emplean una combinación de Turbina-generator de gas. En la fig. 5-9b, el gas de bajo Btu es comprimido a una alta presión así que éste puede ser usado con más efectividad en la turbina de gas.

En el tipo de diagrama mostrado en la fig. 5-9c, los gases de escape a alta presión y alta temperatura son empleados. El compresor es usualmente movido por la rueda de álabes de la turbina y este es usado para comprimir el aire que mantendrá algunas otra parte de el proceso, como la combustión de un reactor de cama fluidizada.

#### 5.4.2 VALORACION DE LOS PROCESOS TERMICOS.

En la producción de energía, es una práctica común el considerar la mayor eficiencia de transformación en términos de la proporción de calor como se expresa en la ecuación. 5-1:

$$\text{Proporción de calor (Btu/kWh)} = \frac{\text{Calor suministrado por el combustible (Btu)}}{\text{la energía generada (kWh)}} \quad (5-1)$$

Cuando se emplea ésta ecuación, es de mucha ayuda el recordar que el valor teórico para el equivalente mecánico del calor es igual a 3,413 Btu/kWh.

De ésta manera, si la eficiencia total de la planta es del 20 por ciento, la proporción de calor sería igual a 17,065 Btu/kWh [(3,413 Btu/kWh) / 0.2]. Datos comunes de las plantas de energía se encuentran presentados en la tabla 5-10. Para un propósito comparativo, los valores para los sistemas de recuperación de energía de los residuos sólidos fluctúan de 15,000 a 30,000 Btu/kWh.

Tabla 5-10 CONTRIBUCION ESTANDAR DE CALOR DE UNA PLANTA REPRESENTATIVA DE GENERACION.

Tipo de calentamiento	Valor de calentamiento de la Planta	Eficiencia térmica de la Planta
Instalaciones productoras de vapor completamente estacionarias, promedio	25,000	0.14
Instalaciones productoras de vapor de Estación central, promedio	11,500	0.30
Instalación productora de vapor de Estación central de gran magnitud	8,500	0.40
Instalación industrial productora de vapor sin reducido condensante	35,000	0.10
Instalación industrial productora de vapor con reducido condensante	20,000	0.17
Instalación productora de Energía por vapor mediante "Derivados"	4,600-6,000	0.70-0.75
Instalación Diesel	11,500	0.30
Instalación con motor de gas natural	14,000	0.24
Instalación con motor de gasolina	16,000	0.21
Instalación con motor productor de gas	18,000	0.19

Nota: Btu / kWh x 1.055 = kJ / kWh

#### 5.4.3 FACTORES DE EFICIENCIA.

Para valorar la eficiencia de transformación en los diagramas propuestos dados en la fig. 5-9, los datos de eficiencia deben ser conocidos de cada componente por separado. Los valores representativos para las calderas, reactores pirolíticos, turbinas de gas, combinación Turbina-Generador de vapor, generadores eléctricos, y plantas relacionadas para éste uso así como los factores de pérdidas están dados en la tabla 5-11.

**Tabla 5-11 EFICIENCIA TERMICA ESTANDAR, APROVECHAMIENTO DE PLANTA Y LOS FACTORES DE PERDIDA PARA LOS EQUIPOS INDIVIDUALES Y SUS PROCESOS USADOS PARA LA RECUPERACION DE ENERGIA POR MEDIO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.**

Componente	Eficiencia *		Observación
	Rango	Estandar	
Caldera-incineradora	40-68	63	Por incendiado de masas, ver fig. 4-3 y 5-10
Caldera			
Combustible sólido	64-72	70	Por incendiado de masas, ver fig. 5-6 y 5-10
Combustible sólido	60-76	72	Residuos sólidos procesados
Gas de bajo Btu	60-80	75	El quemador debe ser modificado
Incendiado por aceite	66-85	80	Los aceites producidos por los residuos sólidos deben ser suavizados para reducir su corrosividad
Reactor para Pirólisis			
Convencional	65-75	70	
Purox	70-80	76	
Proceso de Metanización	80-90	85	Conversión de gas de bajo Btu a calidad de gas natural
Turbinas			
Por combustión de gas			
Ciclo simple	8-12	10	
Regenerativas	20-26	24	Incluye necesariamente accesorios
Por expansión de gas	30-60	40	
Sistema de turbina-generador de vapor			
Menores a 12.5 MW	24-30	29!	Incluye condensador, calentadores, y todos los demás accesorios necesarios, pero no incluye a la caldera
Mayores de 25 MW	28-32	31.6!	
Generador Eléctrico			
Menores a 10 MW	88-92	90	
Mayores de 10 MW	94-98	96	
<b>Aprovechamiento de la planta y factores de pérdida</b>			
<b>Concesión de una Estación de servicio</b>			
Instalación de turbina-generador de vapor	4-8	6	
Proceso Purox	18-24	21	
Proceso de metanización	18-22	20	
Pérdidas de calor incalculables	2-8	5	

\* Valor teórico para el equivalente mecánico del calor = 3.413 Btu / kWh

! La eficiencia varía de acuerdo a la presión de descarga. Normalmente el valor dado está basado en una presión de descarga en el rango de 2 a 4 pulgadas de HgA.

La proporción de calor = 10,800 Btu / kWh [(3.413 Btu / kWh) / 0.316]

Nota: Btu / kWh x 1.055 = kJ / kWh

### **Calderas.**

Las variables más importantes que afectan la eficiencia de las calderas usadas en unión con la incineración de los residuos sólidos incluyen: el calor específico de los residuos sólidos, el contenido de humedad, la temperatura de salida de los gases, y la configuración del sistema de transferencia de calor.

Aunque todas estas variables tenderán a estar en una situación específica, los datos presentados en la fig. 5-10 y la tabla 5-11 pueden ser usados como una guía en la estimación de la eficiencia de la caldera. Como se nota en la fig. 5-10, las curvas dibujadas están basadas en los residuos sólidos de celulosa con un 50 por ciento de exceso de aire usado en el proceso de combustión. En el reporte de la eficiencia de la caldera se asume que incluye las pérdidas por el calor latente y por radiación, el calor sensible, y las pérdidas de carbono no quemadas. Para calderas de quemado de combustibles convencionales, eficiencias en el orden del 85 por ciento son lo común.

#### **Reactores Pirolíticos.**

Los datos típicos para los reactores tanto convencional como para el reactor de incineración-pirólisis del proceso Purox descrito anteriormente están presentados en la tabla 5-11.

#### **Turbina de gas.**

Los datos de la eficiencia térmica de las diversas turbinas de gas están dados en la tabla 5-11. Los valores de eficiencia incluyen una disminución por los incidentes fortuitos.

#### **Sistema de vapor de Turbina-generador.**

Los datos reportados en la tabla 5-11 para el turbogenerador de vapor están de acuerdo con la más moderna práctica y reflejan todas las disminuciones necesarias por condensadores, calentadores, y otros incidentes. Usando el factor de eficiencia típico reportado de 31.6 por ciento, el correspondiente factor térmico sería de 10,800 Btu/kWh. Si la eficiencia de un 75 por ciento fuera logrado en una caldera, el máximo factor térmico sería alrededor de 14,400 Btu/kWh. Esto concuerda bien con el valor dado en la tabla 5-10 para las plantas de vapor de estación-central.

### **5.4.4 OTROS USOS Y FACTORES DE PERDIDA.**

En cualquier instalación en donde la energía se está produciendo, cierta ración deben ser producida para las estación o para las necesidades del mismo proceso sin dejar de considerar las incontables pérdidas de calor en el proceso. Normalmente, las disminuciones de la energía auxiliar varían de un 4 a un 8 por ciento del total de la energía producida. Las pérdidas en los procesos térmicos usualmente varían de un 2 a un 8 por ciento. Ambos valores deben ser considerados en la estimación de la proporción de calor neta cuando es usada la ecuación 5-1.

En la actualidad existen diversas plantas instaladas que tienen como finalidad el producir energía tomando como fuente principal los residuos sólidos. En todas ellas se busca optimizar al máximo los procesos, así como el obtener el mayor beneficio posible.

Por la magnitud de estas instalaciones que albergan sistemas de primer-propósito, sistemas de posterior-propósito y complejos sistemas de transformación en energía, los recursos que se encuentran ahí provienen generalmente de la Administración Pública con alguna participación privada. Uno de tantos ejemplos que se pueden mencionar se encuentra redactado en el capítulo 7 bajo el inciso "Hacia un sistema integral para el manejo de los residuos sólidos".

**CAPITULO VI**

**RECICLAJE Y**

**REUTILIZACION DE LOS**

**RESIDUOS SOLIDOS.**

## RECICLAJE Y REUTILIZACION DE LOS DESECHOS SOLIDOS.

### 6.1 PANORAMA DEL RECICLAJE.

En la naturaleza existe una interacción continua entre los seres vivos y el medio ambiente, produciendo una *circulación ininterrumpida de materia*, de elementos químicos como carbono, agua, azufre, nitrógeno, fósforo, etc. entre estos medios inertes o inorgánicos (biotopos) y las comunidades vivas (biocenosis).

En cada ecosistema (biotopo + biocenosis) existen conjuntos de seres vivos con necesidades y actividades complementarias, de forma que unos son productores, otros consumidores y otros reductores y transformadores, lo que permite que se reciclen permanentemente los principales *elementos* necesarios para la vida, que haya una circulación cíclica de la materia.

En cuanto a la energía, el ciclo es abierto, tomándose del Sol y degradándose en su mayor parte en forma de calor. Por tanto, en la naturaleza, y dentro de ella en los diferentes ecosistemas, los desechos son constantemente reutilizados, es decir que **no existe lo que no posee utilidad**, y todo es reciclado.

Durante siglos las sociedades, básicamente rurales, habían producido alimentos de fácil asimilación y descomposición y bienes duraderos a base de materias primas naturales (madera, cuero, algodón, lana, etc.) aprovechando la energía en cantidades reducidas. El residuo así generado era escaso y fácilmente reciclable para la naturaleza. Las sociedades urbanas, desde la antigüedad han producido una gran cantidad de residuos difíciles de reciclar, no tanto por su composición, sino por su cantidad.

El desequilibrio natural del ser humano -productor y consumidor- y no reciclador o reductor y transformador, llega al máximo en nuestras sociedades actuales, netamente productoras de residuos e incapaces de reciclarlos y devolverlos al medio sin agredirlo, observando con temor que "A mayor producción, más residuos".

Las consecuencias debidas a la alta producción de residuos de toda índole, son cada vez más palpables: establecimiento de modelos económicos de duración limitada, asociados al agotamiento más o menos próximo de los recursos; ya sean minerales, energéticos o productivos; tierra agrícola, forestal y masas de agua, que, generan paralelamente daños irreparables en los ecosistemas a gran escala: contaminando la tierra, el agua, el aire, envenenando a animales y vegetales, etc. y repercutiendo sensiblemente en la salud humana, así como en sus modelos de vida.

## ¿Qué es reciclar?

El reciclaje o reciclamiento puede definirse como "la circulación de materiales dentro de un sistema cerrado cuyo propósito es optimizar la utilización de recursos y minimizar la producción de desechos". En otras palabras es separar materiales de desperdicio y reintroducirlos al sistema de producción para transformarlos en nuevos empaques y productos de utilidad para el ser humano. De este manera se recobran artículos y materiales que de otra forma terminarían considerados como basura.

Con todo lo anteriormente expuesto a lo largo de éste trabajo, no es difícil desprender sencillas sentencias que justifican las modernas tendencias para reciclar cuanto elemento sea posible:

- El reciclado permite la conservación o ahorro de energía.
- Sin la práctica del reciclaje se requiere casi 20 veces más combustible para producir aluminio de un yacimiento vírgen que de sus desperdicios; y se necesita mas o menos el doble de energía para fabricar acero y papel de las fuentes naturales que de sus desechos.
- El reciclado permite la conservación o ahorro de materias primas y recursos naturales.
- El reciclado permite la disminución del volumen de residuos que hay que eliminar.
- El reciclado permite la protección del medio ambiente.

En los tiempos modernos, las políticas gubernamentales han recurrido al apoyo de los programas de reciclado por tres razones básicas:

- Por razones altruistas, para la protección y conservación del medio ambiente,
- Por imperativos económicos, debidos a los altos costos en el manejo de los residuos sólidos,
- Por consideraciones legales, atendiendo a la demanda pública de generar métodos alternativos en vista del alarmante crecimiento de los depósitos de basura sin control alguno.

En la proximidad del siglo XXI, la sociedad postindustrial solo tiene tres caminos viables para actuar con respecto a los desechos sólidos:

### **VERTIRLOS - DESTRUIRLOS - RECUPERARLOS**

Con el vertido o la destrucción de los desperdicios (principalmente en los procesos de transformación química como es la incineración) el pensar que se eliminan es algo ficticio, ya que solo una parte pueden ser transformados y el restante (generalmente residuos inútiles y perjudiciales para el entorno) se esconden en los Rellenos sanitarios, o bien, en los Depósitos controlados para desechos peligroso.

Lo ideal en un sistema de desechos sería ni verterlos ni destruirlos (sin fines de transformación en otros subproductos o en energía), sino recuperarlos al máximo, actividad que hoy por hoy es una tarea de gran envergadura junto con los movimientos ecologistas que pregonan el "No producir más basura superflua o indeseable".

### 6.1.1 EL SIMBOLO DE NUESTRO TIEMPO

Ir de compras es agradable. El comprar es vital. El ir de compras hace que la economía siga su rumbo. Sin embargo, no todos los productos son medio-ambientalmente compatibles. Se dificultan y escasean los recursos naturales, se contamina el aire y el agua, más y mayores tiraderos (vertederos), ruido, destrucción de la naturaleza, y mayores riegos para nuestra salud son las consecuencias de los productos nocivos para la naturaleza y el ambiente.

Muchos ciudadanos están enterados de esto y existe un incremento en la tendencia a luchar en contra de esto. Pero ¿ cómo identificar lo bueno, durable, inofensivo, los productos ambientalmente sanos ?. ¿ Cómo distinguir entre una ruidosa y una silenciosa cortadora de pasto ?, ¿ entre una pintura con elementos contaminantes y otra que no los contiene ?, entre un empaque ambientalmente nocivo y otro que no lo es ?.

En Alemania encontraron la respuesta a estas preguntas: el *MEMBRETE AMBIENTAL*. En 1977, por iniciativa del Ministro Federal del Interior, la Agencia Federal del Medio Ambiente y los Ministros del Medio Ambiente de los estados federal de Alemania fué introducida dicho membrete, el cuál consiste en un emblema semejante al de la ONU ( al que se le llama el "**Angel Azul Ambiental**" (fig. 6-1a).

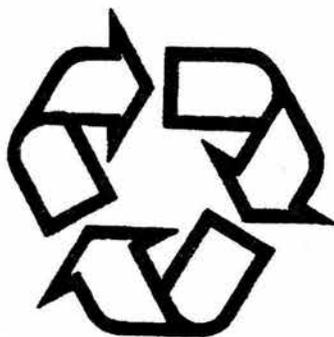
El membrete ambiental está considerado como un instrumento de la política ambiental orientado al Mercado de consumo. Se le considera como un incentivo para los productos con las mejores características ambientales relativas a sus propiedades. Los criterios de evaluación para su expedición son determinados por el "Jury Umweltzeichen" ( Jurado ambiental ).

Básicamente, el criterio que un producto debe cumplir para obtener el membrete ambiental será el poseer un alto nivel de inofensividad, comparado con todas las características de otros productos similares. Lo anterior conlleva una valoración de todos los aspectos esenciales relacionados con la protección del medio ambiente. Un producto es juzgado en dos aspectos:

- Las diversas "fases" en el ciclo de vida de un producto (ejem. desde su manufactura hasta su uso y extinsión en un tiradero), en el sentido del "principio de la cuna a la tumba"; y
- Los daños ambientales causados por el producto en los diversos sectores del medio ambiente ( ejem. sustancias peligrosas; emisiones contaminantes en el aire, en el agua y en la tierra; el aspecto de los residuos; etc. )



Figura 6-1 a) MEMBRETE AMBIENTAL



b) SIMBOLO DEL RECICLAMIENTO

Este membrete no pretende indicarle al consumidor que el producto es 100% ideal o no contaminante; es parte de un esfuerzo real y comprometido por partes de las autoridades para indicar que el producto está inmerso en un proceso de mejoramiento con la finalidad de proteger al ser humano y el mundo que lo rodea.

Gracias al esfuerzo y dedicación de esta agencia alemana, surgió el *SIMBOLO* que representa en la actualidad al *RECICLAJE* ( ver fig. 6-1b), símbolo que se encuentra registrado bajo la norma internacional **ISO 7000-1135**, el cuál indica que el producto que lo tenga impreso es susceptible de algún tipo proceso de reciclamiento, sin especificar éste.

En México, por la falta de información, este símbolo es motivo de grandes controversias y confusiones por parte del público consumidor, ya que en muchos casos se cree que si un producto presenta este símbolo, esto quiere decir que el producto es "ecológico", o lo que es lo mismo, es biodegradable e inofensivo a la naturaleza; mientras que la realidad es que " el empaque " es el susceptible de reciclado, y no el producto contenido en él. Cabe enfatizar que un residuo puede ser o no reciclable dependiendo de la tecnología para reciclar con que cuente el país, o de que exista un mercado para dichos residuos.

### **6.1.2 LA RECUPERACION DE LOS MATERIALES INERTES DE LA BASURA.**

Casi la mitad de la bolsa de la basura esta constituida por materiales no-fermentables a los que llamamos inertes, la mayor parte de los cuales son o han sido envases o embalajes. Algunos envases, los retornables, pueden volver al ciclo comercial sin más que lavarlos adecuadamente ( determinados envases de vidrio retornan hasta 90 veces), otros deben sufrir transformaciones más complejas para ser reciclados.

**Los envases y los embalajes son la causa principal del crecimiento de las basuras.**

Estos materiales representan casi el 80% de la fracción inerte de la basura, o lo que es lo mismo, cerca del 40% del bote de la basura está constituido por restos de los embalajes y envases, y llega a significar el 75% del total del mismo en los barrios comerciales de las grandes ciudades.

Algunas industrias potentes, con inversiones elevadas realizadas en los últimos años, tienen como objetivo la fabricación exclusiva de envases, como es el caso del vidrio, o fabrican productos (plástico y cartón) cuyo destino es cada vez en mayor cantidad el sector del embalaje y del envase. La complejidad, el volumen de facturación y la enorme cantidad de intereses que presiden este sector, permite que envases y embalajes hayan pasado de ser meros protectores de los productos a ser los componentes fundamentales de muchos de ellos, desde el punto de vista de su estrategia comercial. Ante la perfección en la presentación y acabado de muchos envases, hay que reconocer que se compra el envase más que el contenido.

### **El reciclado de los envases, la política oficial y la CEE**

Las consecuencias que este desmedido y antiecológico crecimiento de los envases ha traído consigo, han sido el enorme despilfarro de materias primas, energía, aumento de la generación de residuos (contaminación, costes de recogida y tratamiento, etc.) e incluso, apoyada por la publicidad, la manipulación del consumidor, que es deslumbrado a menudo por el elemento contenedor, desconociendo el contenido.

En algunos casos, como en la fabricación de aerosoles y su introducción como algo maravilloso en el consumo doméstico, las consecuencias son más graves. Al despilfarro energético que significa tirar a la basura un metal casi noble: el aluminio (cuesta 16.000 kWh fabricar una Tm) hay que añadir los daños que los clorofluorocarburos propulsores ocasionan a la capa de ozono estratosférico.

Como se ha podido comprobar en los EEUU, el Reino Unido, etc, los aerosoles cuentan con potentes asociaciones de fabricantes capaces de elaborar extensos informes apoyados con informes "científicos" negando o minimizando sus riesgos.

Conscientes de los riesgos ecológicos que el consumo desmesurado e irracional de envases suponía, la Comunidad Económica Europea (CEE), a través de los "Programas de acción de las Comunidades Europeas en materia de medio ambiente" de los 1973, 77, 83, destacaba el interés de reciclar y de la reutilización de los diferentes materiales contenidos en los desechos.

Por fin en 1985 se elaboró la "Directiva del Consejo relativa a los envases para alimentos líquidos", en la que se obliga a todos los países de la CEE, al rellenado y reciclado de los envases de estos productos a partir de 1987, fecha de su entrada en vigor.

En otros países como Finlandia, Suecia, Noruega y sobre todo Dinamarca, hace ya varios años que existe una rígida reglamentación para disminuir el envase superfluo y costoso, a la vez que se fomenta el uso del retornable.

**Tabla 6-1 PORCENTAJE DE DEVOLUCION/REICLADO POR MATERIAL**

País	Vidrio	Aluminio	Hojalata	Plástico	Cartón	Plazo en años
Holanda	100	100	100	-	100	10
Italia	60	40	40	40	60	3
Francia	50	25	50	30	--	5
Alemania	55	40	40	90	--	2

En estos países existen fuertes impuestos para los envases no-retornables de refrescos (bebidas carbónicas, cervezas, aguas de mesa, etc.) agravándose en los casos de envases de vidrio aligerado, hojalata, aluminio y plástico. En la CEE se elaboraban los primeros estudios y trabajos experimentales de gran envergadura sobre el rellenado y reciclado de envases.

## 6.2 ESCENARIO DEL RECICLAJE: METAS Y PRIORIDADES

En todo proceso productivo se dan o pueden darse procesos de reciclaje que evitan o podrían evitar los residuos. ¿Porqué estos procesos no están más extendidos de forma que abarquen todos los ciclos de producción y consumo? . Esta situación puede explicarse debido a varios factores:

- Bajos precios de las materias primas, en un principio abundantes por su origen colonial.
- Grandes y poderosos intereses económicos y políticos ligados a la industria extractiva y a los transportes (minería y ferrocarriles en un principio, energía y automóviles actualmente).
- Orientación del poder industrial y las subvenciones oficiales hacia la investigación y fabricación de nuevos productos que reporten grandes beneficios a corto plazo, independientemente de su verdadera utilidad, de las características de las materias primas de partida, del consumo energético, etc.
- Progresiva especialización, dentro de los ciclos productivos, en la reducción de costos del producto principal, olvidando y despreciando los subproductos de la fabricación, salvo en casos realmente excepcionales ( como lo que sucede en Japón ).
- Existencia de un modelo económico y político basado en la constante expansión del mercado, que obliga a la creación de falsas necesidades para dar salida a una producción creciente, que necesita fabricar objetos de baja duración y difíciles de reparar y reciclar, despreciando el impacto ambiental y la salud de los trabajadores.
- Existencia de modelos educativos que perpetúan la ilusión de un crecimiento ilimitado en el que el agotamiento de los recursos y el problema de los residuos son total o parcialmente ignorados. En el mejor de los casos y por presión popular, se ha evolucionado hacia planteamientos en los que el residuo es considerado como un mal inevitable y su eliminación un costo añadido al proceso productivo (vertederos de residuos industriales y urbanos, depuradoras de agua, filtros atmosféricos, residuos radiactivos, etc).

Ante esta situación, no existe otra alternativa posible que considerar el problema de los residuos en su raíz, porque la estrategia debe ir hacia no producirlo, antes que hacia recuperarlo y esto antes de ir a destruirlo o abandonarlo. Ante la imposibilidad de devolver a su lugar de origen y reciclar allí los residuos producidos a causa de la distancia, los costos, los nuevos productos residuales sintéticos y radiactivos, etc., debe establecerse un programa integral que observe plazos bien definidos como se observa en la tabla 6-2.

**Tabla 6-2 METAS A ALCANZAR A CORTO Y MEDIANO PLAZO EN UN PROGRAMA DE RECICLAMIENTO.**

<b>Metas a Corto Plazo</b>	<b>Metas a largo plazo</b>
Propuesta y consumación del Programa de reciclamiento	Lograr las metas y superar sus desviaciones
Definir los elementos a reciclar para ser recolectados	Afianzamiento del procesado a corto plazo y de la capacidad del mercado
Convenios garantizados de mercadeo	Continuar la investigación de métodos para reducir costos
Capacidad productiva segura	Expansión de la lista de elementos a reciclar
Diseñar e iniciar una campaña pública de educación/promoción	Identificar mercados anexos
Planear e implementar la primera fase de un programa de dispersión comunitaria	Monitorear la efectividad del programa
Planear e implementar la primera fase de un programa de acopio en contenedores a nivel residencial	Examinar la necesidad de una legislación obligatoria e implementarla de ser necesario.
Iniciar un servicio especial de asistencia técnica pública encaminado al sector comercial	
Seleccionar comunidades para expandir el programa de acopio en contenedores	
Determinar la necesidad del programa y contratar personal administrativo	
Desarrollar e instituir un sistema de recopilación de registros	

### **6.2.1 EL SISTEMA EDUCATIVO**

La educación y la investigación, dada la trascendencia como reproductoras de la ideología dominante, deben partir de una nueva concepción ecológica del mundo, en la que los recursos sean considerados como algo integrante de un todo limitado y gravemente alterado.

Se debe comenzar por aclarar conceptos, definir objetivos y establecer prioridades respetando la ecología, comenzando incluso por un cambio de lenguaje: cambiar "producción de petróleo, carbón, etc." por "consumo y destrucción"; "crecimiento" por "agotamiento de recursos"; "nivel de vida" por "nivel de consumo", etc.

Se debe incorporar al nuevo sistema educativo el conocimiento de los impactos ambientales que producen, entre otros, los desechos más próximos a los lugares de residencia y trabajo, así como el estudio de cómo evitarlos, no produciéndolos o reciclándolos.

Se debería introducir un modelos de comprensión del mundo en el que la relación fabricación-consumo-desecho-salud fuera una herramienta crítica actualizada constantemente y al alcance de todos.

### **6.2.2 DOS SOLUCIONES PARA LA BASURA: DESTRUIRLAS O RECUPERARLAS**

La eliminación es algo ficticio, pues se basa en el relleno sanitario o la incineración, y estos sistemas no eliminan sino que esconden o transforman las basuras en algo inútil y perjudicial para el entorno.

El relleno sanitario es un enterramiento técnicamente preparado para evitar en teoría el máximo de contaminación, de acuerdo a lo expuesto en el capítulo tres. Este es un objetivo rara vez alcanzable, y en realidad se convierte en un camuflaje del problema.

La incineración no es otra cosa que transformar las basuras mediante un complicado, costoso y muchas veces peligroso sistema, en escorias y gases, necesitándose de nuevo rellenos para las escorias y grandes sumas de dinero para eliminar parte de la contaminación y aprovechar energéticamente los gases. De lo anterior se desprende que la eliminación no existe, por lo que el único camino ecológico viable es la recuperación.

### **6.2.3 MEJOR QUE SEPARAR ES NO MEZCLAR: RECOGIDA SELECTIVA.**

El problema más grave y además común a todas las plantas tratadores de residuos, está en la dificultad de separar algo tan heterogéneo, mezclado y compactado como las basuras que llegan en los grandes camiones compactadores. Como ya se vió en el capítulo tres, la fase de recogida es la más costosa y suele llevarse el 80% e incluso más del total del presupuesto de limpieza, razón por la que se ha desarrollado un floreciente mercado de todo tipo de ingenios para la recogida.

De éstos, los más caros y abundantes son los camiones, de los cuales hoy existen más de 60 modelos diferentes en todo el mundo ( ver fig. 3-4 ).

Lógicamente, mezclar los componentes de la basura en un mismo recipiente, comprimirlos fuertemente en el camión de recogida mediante complicados mecanismos (a costa de elevar el precio del camión, el gasto de energía y la producción de ruidos) para luego intentar separarlos hasta llegar al mismo estado en que se hallaban antes de ser recogidos, es algo absurdo técnicamente y además el resultado es dudoso desde el punto de vista de la calidad de los elementos recuperados.

Por ello la **recogida selectiva**, o recogida por separado de determinados componentes de la basura, ha sido y sigue siendo una alternativa a la que tienden muchas personas e instituciones ( en los depósitos establecidos por la comunidad ( fig. 6-2 y posteriormente en centros de acopio de residuos sólidos), dado que, al menos en teoría, soluciona casi todos los problemas.

Separar los componentes de la basura para su recogida y reciclaje posterior no es más caro ni más complicado, ni más molesto ni se necesita más espacio para realizarlo. Simplemente es necesaria una educación adecuada de las personas, comenzando por la escuela, y sobre todo una voluntad política que desee y apoye de verdad la participación pública en la solución de los problemas, dentro de un mínimo respeto a la Naturaleza.

- \* Botellas de vidrio y frascos sin tapa.
- \* Latas de refresco de preferencia comprimidas.
- \* Periódicos exclusivamente



Figura 6-2 DEPOSITO PARA REALIZAR LA RECOGIDA SELECTIVA A NIVEL INSTITUCIONAL Y RESIDENCIAL.

Separar los componentes de la basura en las fuentes que la producen significa **repartir** sobre cada fuente una parte del problema que la generación de **sus basuras** ocasiona, contribuyendo mediante la suma de todos los **esfuerzos separadores** a recuperar la mayor parte de los componentes, muchos de los cuales son vendidos directamente, por lo que al final la cantidad de basura realmente inservible y molesta queda reducida al mínimo.

Un Plan de Recogida Selectiva y Reciclaje de las basuras implica desarrollar programas intensivos de educación ambiental para despertar la conciencia del vecino y este tenga la necesidad de separar.

Una vez explicado el objetivo, se debe estar en condiciones de entender y recoger correctamente la participación popular en la separación de los componentes de la basura y complementar esta separación con los elementos mecánicos apropiados, porque la recogida, tratamiento y comercialización ha de adecuarse a la respuesta de los vecinos.

La clave de la participación popular y su decisiva consolidación y estabilización en el tiempo, dependerá de *la coherencia del proceso seguido y de la comprensión del mismo*.

La estrategia a seguir debe ser clara, transparente, flexible, imaginativa y basada en la plena aceptación de la importancia de la participación de unos vecinos sensibilizados y cultos. Los beneficios sociales, ecológicos y económicos de tal magnitud que hace de esta solución la antítesis de las duras, antiecológicas y pobres soluciones ingenieriles del enterramiento o la incineración, e incluso en la mayoría de los casos, de las plantas de reciclaje existentes.

### **6.2.3.1 COMO EMPEZAR A DEJAR DE HACER BASURA**

El hogar es el lugar más importante para empezar a trabajar en la separación de desperdicios. Los pasos a seguir son:

1. Platicar con la familia
2. Disponer de contenedores o bolsas para separar los desperdicios.
3. Definir qué se va a hacer con los desperdicios (transformación - venta)
4. Iniciar la separación de desperdicios
5. Hacer composta casera
6. Buscar la cooperación de otras familias

El trabajo colectivo es más efectivo que el individual, ya que la actividad se enriquece con las aportaciones de sus miembros. Si no se sabe hacia donde canalizar los desperdicios, existe un directorio de Centros de Acopio a nivel Area Metropolitana que se puede consultar en el Instituto Nacional de Ecología ( INE ) donde se podrá localizar algunos lugares de compra y venta.

Existen también algunas empresas de reciente creación dedicadas a recoger los desperdicios de grupos organizados (por ejemplo, la empresa Impulsora de Sistemas Internacionales Reciclables, S.A.). Generalmente, estas empresas no pagan por los desperdicios que recogen, ya que sus gastos de operación los cubren con la venta de los residuos a intermediarios o recicladores.

En general, se piensa que el establecimiento de un centro de acopio es una tarea sencilla y que resulta altamente rentable. La experiencia de varias asociaciones de colonos (por ejemplo Colonos de Ciudad Satélite A.C.) ha demostrado que esto no es así, y que hay muchos aspectos que deben ser tomados en cuenta, tales como:

- \* Ubicación del centro de acopio;
- \* Instalaciones adecuadas de acuerdo a la cantidad de desperdicios a recibir;
- \* Equipo;
- \* Financiamiento;

- \* Promoción y respuesta comunitaria;
- \* Operación cotidiana;
- \* Compactación de los volúmenes de desperdicios;
- \* Transporte;
- \* Conocer los mecanismos de intercambio o de compra-venta de desperdicios;
- \* Prevenir la competencia desleal;
- \* Manejo de productos y envases difíciles e incosteables.

Se puede fracasar en esta experiencia si no se maneja bien cada uno de estos puntos. En todo caso recomiendo empezar especializándose en un solo tipo de desperdicio (papel, vidrio, aluminio o alguna clase de plástico), a fin de poner a prueba todo el proceso.

Por último, es de suma importancia generar una ideología ecologista, en donde se prefiera el comprar materiales reciclables, favorecer el uso de productos reutilizables y por último comprar productos hechos de material reciclado.

### 6.3 EL VIDRIO

El envase de vidrio, inventado por los egipcios 40 siglos antes de Cristo, comenzó a usarse habitualmente en el Renacimiento Italiano. Desde hace mucho tiempo es el paradigma del envase ideal, es muy valorado por los consumidores y por razones técnicas que avalan los beneficios de este material. Sin embargo su utilización en el mercado de los envases está dejando de crecer, permanece estabilizado su porcentaje respecto al total de los envases utilizados y en algunas áreas el consumo desciende a pesar de los estudios realizados.

El proceso de fabricación consiste en la fusión a alta temperatura (1,500 °C) de los tres componentes básicos del vidrio: arena (elemento vitrificante), carbonato de sodio (fundente que favorece la fusión), y caliza (estabilizante que le permite alcanzar su gran resistencia a los agentes atmosféricos.)

Se utiliza en promedio 1,240 kg. de materias primas por tonelada de vidrio producido. Fundidas éstas en el horno, se obtienen el vidrio, que sale del mismo por un canal distribuidor ("feeder"). Ahí se forma la gota de vidrio fundido que, introducida en el molde preparador, se transforma mediante soplado o prensado-soplado, en el envase definitivo. Este será sometido a un enfriamiento programado (se molda a 900 °C) en túneles de recocido y posteriormente pasará por los controles de calidad.

El vidrio es un material muy valioso para el envasado, debido a su tupida estructura iónica, cuyos huecos intersticiales son de menor tamaño que la mayoría de las moléculas gaseosas, y por ello en condiciones normales impide el paso de cualquier gas.

El vidrio es además muy resistente a la oxidación y corrosión ambientales y no presenta tampoco alteraciones electroquímicas, aunque tiene los inconvenientes de la fragilidad y el elevado peso.

### 6.3.1 LAS VENTAJAS DE LA FABRICACION DE VIDRIO A PARTIR DE CALCIN.

El vidrio recuperado (llamado también calcín) se fragmenta mediante molido o mejor aún mediante estampación, pues así se evita el desgaste de las muelas por abrasión. Alcanzando un tamaño de grano reducido, se depura y limpia de restos metálicos, corchos, etc. recuperándose el calcín para su fusión, directamente o junto con las materias primas antes citadas, con lo que se rebaja el punto de fusión de ellas.

La separación del vidrio por colores es un proceso costoso pero necesario si se requiere obtener un vidrio de un color preciso. Así el vidrio "blanco" (incoloro) solo es posible obtenerlo si se selecciona las botellas incoloras antes de su fragmentación, ya que en caso de mezclarse aun en pequeñas proporciones con otras de color, la masa fundida se contaminará y no se obtendrán envases de vidrio totalmente incoloros.

Tabla 6-3 CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS EN LA FABRICACION DEL VIDRIO

Elemento	Kg/Tm de vidrio
Sílice (arena)	700
Carbonato cálcico (caliza)	280
Carbonato sódico (sosa)	230
Aditivos (estabilizadores, colorantes)	30
Total	1,240

Tabla 6-4 CONSUMO DE ENERGIA EN LA FABRICACION DE VIDRIO

Proceso	TEP*/Tm de vidrio fabricado
Extracción de materias primas, elaboración y preparación	0.083
Fusión de materias primas, fabricación de envases y transporte	0.218
Total	0.301

Tabla 6-5 CONSUMO DE ENERGIA AL RECICLAR EL VIDRIO

Operación	TEP*/Tm de vidrio fabricado
Transporte de vidrio recuperado	0.002
Tratamiento (fragmentación y depuración)	0.004
Fusión, fabricación y transporte	0.215
Total	0.221

\* Abreviatura de "Tonelada equivalente de petróleo". Se utiliza para comparar la cantidad de energía que contiene un material, como carbón, plástico, agua embalsada, etc. con la que contiene una tonelada de petróleo, es decir que el petróleo se considera como patrón de medida, la unidad. Un Tep = 11,678.8 kWh.

La fusión del calcín se consigue a temperaturas mucho más reducidas, por lo que el ahorro energético es considerable. El vidrio fragmentado y depurado de impurezas, para ser fundido necesita temperaturas más bajas, a lo que hay que añadir el ahorro energético que supone no extraer las materias primas.

En transporte del vidrio recuperado y su tratamiento para introducirlo en el horno se consumen 0.006 Tep por Tm de vidrio, frente a 0.083 en el caso de extracción y preparación de materias primas.

Así pues, el ahorro energético obtenido en este primer proceso a base de calcín es del 92.8% respecto a la extracción de materias primas. En la fusión del calcín también se ahorra energía por necesitarse temperatura de fusión menos elevada, aunque en el proceso de formación (fabricación propiamente dicha) de la botella y su transporte, no se obtiene ahorro. En este segundo proceso de fusión y fabricación se consume en promedio 0.218 Tep por Tm de vidrio en el caso de utilizar materias primas (arena, caliza y sosa) y 0,0215 Tep por Tm si se emplea vidrio recuperado o calcín. El ahorro es por tanto del 3.4%. En conjunto, el consumo de energía por uno u otro proceso se cifra en 0.301 Tep por Tm en el caso de utilización de calcín. El ahorro energético obtenido es del 26.6%.

### **Los excesivos tipos de envases de vidrio dificultan su reemplazo.**

Todo esfuerzo encaminado al fomento del aprovechamiento del vidrio y quizás incluso al de su consumo como envase muy valioso, debe pasar por una normalización de los envases, sobre todo de las botellas. Las botellas que se fabrican anualmente se reparten entre un elevado número de modelos existentes que, a falta de normalización, dificultan mucho tanto su llenado (el líquido asciende por el cuello a diferentes alturas según el modelo), como su posible reutilización de forma generalizada.

Desde el punto de vista de su recuperación podemos clasificar los envases de vidrio en tres grandes grupos. En el primero se encuentran los envases normalizados, fabricados para ser utilizados como retornables y que van destinados, por volumen de litros envasados, fundamentalmente al sector vinos, cervezas, refrescos y aguas de mesa.

En menor cantidad y proporción respecto al total envasado del sector, se encuentran la leche, algunas bebidas aromáticas y otros. Estos envases generalmente tienen un diseño según la marca comercial y una capacidad entre los 10 litros (garrafas) de agua mineral y los 3 c.c. de minúsculos recipientes, generalmente de perfumería.

En el sector de mayor consumo, el de vinos, se llegó a crear una botella internacional: la conocida como retornable de 6 estrellas, para vinos comunes de mesa, de capacidad nominal de 1.000 c.c., que ha sido masivamente utilizada en países muy consumidores de vino, como España y Francia. Esta botella era y es utilizada para envasar vino de mesa de diferentes marcas comerciales y permite que el comerciante la acepte vacía a cambio de otra llena, independientemente de la marca.

Por otra parte, según las normas europeas sobre envases retornables, las botellas de 6 estrellas deberían ser reemplazadas por otras que cumplan las normas de exactitud de llenado, indicación de rellenable, etc., por lo que nos encontramos en un momento clave para definir una botella rellenable de acuerdo con estas normas de la CEE y que sea aceptada por el sector del vino.

Al no existir una única gama de botellas dentro de su capacidad, y variar dentro de las de igual contenido, la altura, diámetro, etc. como ya se ha señalado, estas botellas presentan el inconveniente de su diferente capacidad dentro de un aparente igual tamaño, lo que dificulta al consumidor su diferenciación. Actualmente sólo la de 0,750 litros está dentro de las normas de la CEE.

En los otros sectores de bebida, salvo rara excepción, cada marca comercial y sector ha tendido a fabricar un tipo específico de envase de vidrio retornable (cerveza, refrescos, leche, agua mineral, etc.).

Al crecer el consumo de bebidas junto con la aparición de otras nuevas, la enorme diversidad de tipos de envases retornables hizo que muchos comerciantes vieran en el envase retornable un inconveniente por el gran espacio que ocupaba y la dificultad de clasificación y devolución del mismo. Por esto los grandes comercios han ido vetando los productos con envases retornables para sus estanterías y hoy es muy difícil encontrarlos en muchos supermercados.

Al no existir una ordenación, normalización, garantías de depósito, etc. adecuada a la nueva realidad y que facilitara a toda la cadena de producción-distribución-consumo el uso de envases retornables allí donde su utilización fuera posible, han ido apareciendo nuevos envases no-retornables, apoyados muchas veces por intensas campañas publicitarias que inducían al consumidor a solicitar el envase más que el contenido.

Sin rechazar, por su evidente idoneidad, determinados envases no-retornables, sí se puede afirmar que al no realizarse en su momento ciertos cambios en el envase retornable, se dio paso al predominio de la fabricación de envases y de la distribución en detrimento de los intereses del entorno ambiental ( mayor producción de residuos, más gastos de energía y materias primas, etc.) y del consumidor (obligación de comprar los envases desechables.)

El segundo grupo lo constituyen los envases que sin ser expresamente fabricados para ser usados como retornables, son, en una proporción variable y no conocida con exactitud, utilizados varias veces tras su recogida y lavado para posteriormente utilizarse en envasados de otros tipos de productos de tipo "casero o mucroindustrial". En menores cantidades se recuperan, lavan y reutilizan también envases de perfumes los cuales son rellenados con sustancias que imitan a las fragancias originales.

El tercer grupo lo constituyen los envases no-retornables, fabricados para este fin (en algunos casos con las palabras "NO RETORNABLE" en la etiqueta o en el propio vidrio) y que van a parar a la basura, a excepción hecha de los señalados antes.

Al elevado número de tipos diferente de envases en relación con la capacidad hay que añadir las otras posibles clasificaciones por la forma de las botellas, el peso y el color. La combinación de todas ellas eleva a varias decenas e incluso supera el centenar el número total de tipos diferentes de envases de vidrio, además hay una nueva denominación de los envases, en relación con la forma europea sobre el nuevo concepto de "preenvasado".

Un producto está preenvasado cuando se encuentra acondicionado en un envase, de la naturaleza que sea, fuera de la presencia del comprador, de tal manera que la cantidad de producto contenido en el envase tenga un valor previamente elegido y no pueda ser modificado sin alterar el envase".

Se trata de la botella recipiente-medida, que además de ser un envase es un instrumento de medida al llevar grabadas dos indicaciones: la capacidad nominal y la altura en milímetros a la cual esta capacidad nominal se adquiere.

La falta de una normalización operativa y útil del envase de vidrio, la presión de los fabricantes a favor del envase de vidrio desechable y la comodidad para los grandes comercios, han sido decisivas para evolucionar el consumo del vidrio retornable hacia el desechable y de forma más acusada aún hacia otros tipos de envases desechables diferentes al vidrio, tal vez por otras razones como facilidad de transporte y almacenaje, ausencia de roturas, cierto aire de modernidad, "economía", etc.

Esta evolución se refleja fundamentalmente, aparte de en otras deseconomías y costos ambientales, en un mayor tonelaje de residuos sólidos difíciles de recuperar y reciclar, como veremos al estudiar la situación general del aprovechamiento de nuestros residuos a través de las recogidas selectivas y plantas de reciclaje.

### **6.3.2 LA RECUPERACION DEL VIDRIO.**

Tenemos tres canales fundamentales para recuperar los envases de vidrio. El primero es el retorno de los envases para su relleno, a través del propio fabricante-ensador. Los otros dos son la recuperación para su posterior lavado, al margen del fabricante-ensador, y la recuperación de envases enteros o rotos, para que, previa fragmentación y limpieza adecuada, se vuelvan a fundir para fabricar nuevos envases (reciclados).

El sector que contribuye de forma más importante a la recuperación de vidrio es el de los recuperadores de botellas para su lavado y retorno fuera de los canales comerciales citados en este apartado sobre el envase retornable. Este sector recupera y lava las botellas y envases de vidrio recolectados en contenedores especiales que evitan al máximo los golpes entre elementos para obtener un máximo de botellas en perfecto estado.

El segundo canal es la recuperación por medio de un sistema de recogida de chatarra de vidrio por contenedores urbanos. El tercer sector lo constituye el conjunto de plantas de tratamiento de basura. Por último un conjunto de sistemas diversos de recuperación de vidrio, integrado por bodegas, fábricas, distribuidores, hostelería, ayuntamientos, recuperadores particulares, etc. forman un sector disperso.

El vidrio nuevo procedente de fases industriales anteriores al consumo (manipulado, transporte, embotellado, etc.) también se recupera y recicla pero en forma discreta.

Las posibilidades de aumentar la recuperación de vidrio son muy grandes, aunque de esta cantidad, habría que restar un porcentaje irrecuperable por razones de tratamiento de basuras, dificultad de separación, excesiva fragmentación, etc. De la cantidad restante, debería recuperarse el máximo en forma de botella entera para su retorno mediante lavado.

La normalización de envases, el lavado correcto, etc, garantizaría el retorno de un buen número de envases recuperados, disminuyendo el volumen de envases fabricados. Aun con ello los fabricantes de vidrio podrían utilizar masivamente el calcín proveniente de los envases que se rompen, junto a los que no podrán retornar para su relleno. No existe limitación técnica a la utilización masiva de calcín en la fabricación de nuevos envases, siempre que se efectúe en la chatarra recogida una adecuada selección de los colores para poder fabricar vidrio nuevo incoloro y de color, según la demanda.

Veamos ahora la recogida selectiva del vidrio, es decir, habiendo sido separado del resto de los componentes de la basura, ya sea para su rotura y fundido, o para su lavado y retorno.

Por ser el vidrio un material que el consumidor conoce y valora, es fácilmente recuperable por medio de su recogida selectiva. Por otro lado es un material caro y de casi total inalterabilidad, si bien a su dureza hay que añadir su fragilidad (menor en los envases más gruesos y caros como las botellas de cava) por lo que ha sido y es apetecible su recuperación. En el capítulo cuatro se presentaron técnicas para su separación.

Además, desde el punto de vista del tratamiento integral de las basuras en las plantas de reciclaje, al igual que los voluminosos y los artículos tóxicos como pilas eléctricas, drogas o medicamentos, aunque por otros motivos, el vidrio debe ser separado al máximo de la basura antes de pasar a la fermentación de la materia orgánica. El vidrio triturado posee unas características de densidad, granulometría, etc. que complican enormemente su separación total del compost y la contaminación de este por vidrio reduce su calidad y posibilidades de venta.

La recuperación de envases para su lavado y relleno (botellas casi en su totalidad) que sin ser fabricados ni utilizados en principio por los primeros envasadores para su retorno (a diferencia de los llamados "envases retornables") son, no obstante, recuperados y vueltos a introducir en el ciclo de consumo, tuvo su origen en los establecimientos de hostelería, ropavejeros y en el triaje en vertederos de basuras, y hoy diversas pequeñas empresas, cooperativas y particulares desempeñan esta labor de forma semi-marginal en la mayoría de los casos.

Este sistema "puerta a puerta" de recogida de envases en el origen de la generación de los mismos, es el más ventajoso de cuantos existen, y si se organiza bien permite alcanzar altos rendimientos.

Las dos ventajas principales son el conjugar la retirada del envase sin mezclar con la basura (es decir relativamente limpio) con la de facilitar la evacuación de los residuos al productor de los mismos.

Los establecimientos que generan gran cantidad de envases, según nuestras investigaciones, de no tener un contenedor urbano de recogida de vidrio a la salida del local o muy próximo a él, no separan los envases del resto de la basura, o si lo hacen, los depositan junto a ésta. Por tal razón, los recuperadores de botellas, si actúan correctamente, pueden incluso, a cambio de un buen servicio de recogida, no abonar cantidad alguna o cantidades simbólicas (tanto fijo estimado, ciertos presentes, etc.).

Lo recuperado en tiraderos y otros lugares ajenos a la generación de los mismos, son cada vez un menor porcentaje, debido al vallado, control y clausura de muchos tiraderos incontrolados y a las dificultades que los restos de suciedad adheridos a los mismos presentan luego para su lavado.

Una vez recuperados los envases por los profesionales de la recuperación del vidrio, suelen ser clasificados, salvo los recuperados en tiraderos o por otros sistemas poco profesionalizados. Esta primera clasificación se realiza en función del destino de las botellas hacia una u otra planta de lavado.

De esta primera manipulación de las botellas surge el primer rechazo en forma de botella defectuosa, que se rompen, o que no son demandadas por los lavadores de botellas debido a su difícil venta posterior.

Estas botellas se rompen y se venden como calcín para fabricar nuevos envases. En esta primera etapa ya surge el problema de la gran variedad de botellas existentes.

Si un recuperador quiere recoger botellas de los establecimientos generadores, estos exigen que retiren todas y no solo los modelos que son comprados por los lavadores de botellas por lo que se ve obligado así a convertirse también en un recuperador de vidrio para calcín.

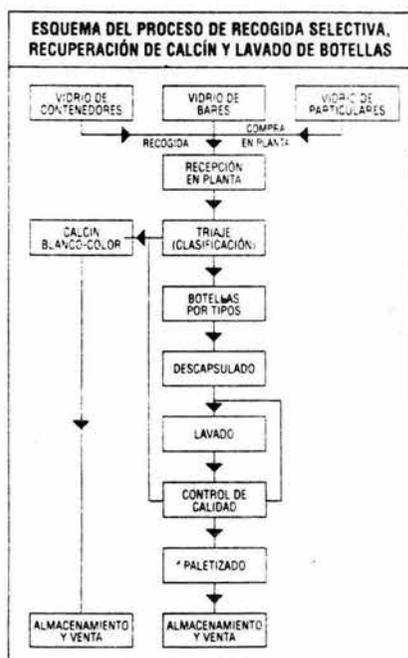


Figura 6-3 ESQUEMA DEL PROCESO DE RECOGIDA SELECTIVA, RECUPERACION DEL CALCIN Y LAVADO DE BOTELLAS

Para mejorar el rendimiento estas botellas que se rompen se clasifican según colores.

La segunda y más exhaustiva clasificación de las botellas se lleva a cabo en las propias plantas de lavado y antes de entrar en la máquina de lavar, debido al proceso que sufre la botella para su lavado (descapsulado que exige regular la máquina según tipos de botellas, cantidad de suciedad, clase de cola en la etiqueta, etc) y sobre todo a la necesidad de empaquetado final por tipos iguales (peletizado) para el suministro a bodegas.

Es evidente que la organización de la recogida de botellas para su lavado y rellenado por el propio fabricante-ensavador, ha de resultar más económica que la a veces compleja recuperación, clasificación, transporte y lavado de la botella recuperada pero no expresamente producida para este destino.

Las botellas retornables estandarizadas y de propiedad del envasador, cuentan con cajas estandarizadas de recogida por tipos, el resto (cervezas, cavas, aguas, etc.) queda perfectamente clasificado en origen por modelos y tipos. Por otro lado, el mismo servicio de transporte que lleva el envase lleno, recoge el vacío.

Este sistema es el más coherente con el ahorro a todos los niveles, es y ha sido el más utilizado en numerosos sectores de consumo masivo y vuelve a ser potenciado en Europa a través de la estandarización comunitaria de los envases ( es el sistema más acorde con la Directiva 85/339/CEE ). El costo energético es muy bajo en comparación con el fabricación de nuevos envases. El gasto de energía para el transporte y lavado de una Tm de envases es de 0.007 Tep aproximadamente, lo que representa un consumo 43 veces menor que el de fabricación de nuevas botellas.

Por otra parte la duración de estos envases es muy grande siendo las roturas y sustituciones del orden del 1 al 2%. La capacidad de retorno no está claramente estudiada y según empresas, tipos de botella y fuentes consultadas, varía grandemente. Las eficiencias mayores, de 80 a 90 rotaciones, se consiguen generalmente en las pequeñas y medianas empresas embotelladoras de vino de ámbito comarcal, que mantienen sistemas de recogida muy bien organizados y recorren poco trayecto:

Las botellas de gaseosa, que deben resistir una presión superior a la atmosférica, deben equilibrarla mediante un envase más resistente (casos de cava y vinos espumosos) y alcanzan también un elevado número de rotaciones (de 60 a 70). Los refrescos alcanzan de 40 a 50 rotaciones y al parecer son las grandes firmas de vinos las que obtienen el menor número de rotaciones para sus envases (de 15 a 17).

Los envases recuperados, al no tener organizada su recuperación presentan mayores gastos de energía en su recogida, lavado y embotellado y por tanto más tiempo, espacio y mano de obra necesarios, lo que se traduce en costos totales monetarios mayores. Para compensar estos costos, los profesionales de la recuperación, a pesar de los ahorros de todo tipo que producen (materias primas, energía, contaminación, etc.) no cuentan con más ayuda que su ingenio y duras jornadas de trabajo en condiciones que rayan lo aceptable.

El costo energético de recogida, selección, lavado y peletización por Tm, se calcula en el orden de 0.010 Tep, y el transporte al embotellador una vez lavadas se calcula en 0.002 Tep. En total 0.012 Tep por Tm de botellas recuperadas.

## **6.4 EL PAPEL Y EL CARTON**

El componente fundamental del papel y el cartón es la celulosa, compuesto orgánico (es decir constituido básicamente por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno) en forma de polisacárido (polímero o agrupación de moléculas de glucosa). Las fibras de celulosa necesarias para la fabricación del papel pueden provenir de diferentes vegetales: algodón (el 90% o más de celulosa), madera (oscila alrededor del 60% según la especie), esparto y paja de cereales (50%), etc. El resto de los componentes de estos vegetales es básicamente lignina, grasas, resinas, ceras, sales minerales o cenizas, etc. La lignina es el cemento natural que une las fibras de celulosa en la madera y alcanza, según la especie, del 20 al 30% de la misma.

La selección del material de partida, sea madera (de las diferentes especies) u otro vegetal o bien papel y cartón recuperado, se efectúa en función del tipo del producto final que se desea obtener. Los papeles de alta calidad suelen exigir una pasta de celulosa muy pura y limpia. Hoy el grueso de las pastas se obtienen de madera (pasta virgen) o del propio papel ya elaborado (pastas de recuperación).

### **6.4.1 LA FABRICACION DE PAPEL Y CARTON.**

Para obtener las pastas papeleras es preciso separar la celulosa de los otros componentes de la madera, sobre todo de la lignina. Para ello se utilizan métodos o sistemas mecánicos, químicos o mixtos y así se denominan las pastas obtenidas, con las que se procede a fabricar papel y cartón. La celulosa tiene la propiedad de establecer puentes de hidrógeno mientras se seca, gracias a lo cual se produce la lámina de papel a partir de la pasta. Este enlace se deshace de nuevo en agua, lo que permite la recuperación de la celulosa en los procesos de reciclaje.

En la fabricación del papel intervienen otros productos además de la celulosa, los más corrientes son las resinas y colas para aumentar la consistencia, la resistencia a la humedad y a las tintas, las sales de aluminio para fijar estas resinas a la celulosa, las cargas (inertes) como el coalín, carbonato cálcico, etc, que aumentan el peso y proporcionan opacidad y consistencia, los colorantes para dar tonalidad si se desea.

Las pastas mecánicas se obtienen utilizando procedimientos mecánicos para desgarrar las fibras celulósicas y muchas fábricas dan altos rendimientos de pasta respecto a la madera utilizada hasta el 99% y el 100%. El alto rendimiento, junto a la menor contaminación del proceso mecánico, son la razón del rápido aumento de la producción mundial de estas pastas. La madera utilizada se somete a un primer descortezado y troceado para facilitar la posterior trituración. Esta la hace una muela que gira a gran velocidad rompiendo eficazmente el cemento o lignina.

La pasta se obtiene sin necesidad de procesos muy contaminantes (al contrario de lo que ocurre en las pastas químicas) pero el consumo de energía es muy elevado y no a todas las maderas son adecuados. Solo en el Abeto se obtienen los altos rendimientos señalados.

El pino pinaster contiene excesiva resina, y el industrial pino insignis da rendimientos más bajos que el abeto. El eucalipto tampoco sirve para fabricar pastas mecánicas. En las pastas químicas la madera también se descortezada y se fragmenta en trozos, para facilitar el tratamiento posterior a base de medios químicos que consiguen disolver la lignina que mantiene unidas las fibras de la madera.

Los dos métodos utilizados en la fabricación de estas pastas son el ácido (pasta química al bisulfito) y el alcalino (pasta química al sulfato, o a la sosa, que se utiliza para las pastas de paja).

El método del bisulfito está siendo abandonado debido a la dificultad de recuperación de sus lejías negras residuales y a la consiguiente contaminación. Así pues, el grueso de las pastas químicas producidas y consumidas lo forman las elaboradas por procedimientos alcalinos (pasta química al sulfato). Una vez descortezada y troceada la madera, se cuece en un reactor con sulfuro sódico y sosa cáustica, con objeto de separar la lignina por disolución.

Obtenida la pasta celulósica, se lava con abundante agua y se blanquea con un producto oxidante como oxígeno u ozono para evitar contaminaciones excesivas. Las aguas residuales (licor, o lejía negra) resultantes de la cocción, son muy contaminantes y deben ser tratadas, depuradas y recicladas para recuperar el sulfuro sódico la sosa cáustica y el óxido cálcico.

También se producen gases contaminantes ( $\text{SH}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , etc.) que deben ser depurados. Otros tipos de pastas utilizan en parte procesos químicos y físicos (semiquímicas) así como la de paja y otras.

En las pastas de paja, la materia prima de la que se extrae la celulosa es la paja de los cereales. Su empleo está disminuyendo a pesar del buen tipo de papel que da. La disminución de la extracción de paja de los campos ( hoy en los rastrojos queda mayor proporción de paja de antes, debido al corte más elevado de las cosechadoras) y ciertos problemas técnicos y de contaminación que suele presentar su utilización, han llevado al abandono de esta fuente de celulosa.

### **Las ventajas de la utilización del papel viejo en la fabricación de pasta de papel.**

El papel viejo presenta la ventaja de contar con las fibras de celulosa ya separadas de la lignina, lo que facilita enormemente el trabajo. Este consiste en deshacer el papel en agua, produciéndose la eliminación de los puentes de hidrógeno que se formaron entre las moléculas de celulosa durante la fabricación del papel (secado).

La pasta celulósica así obtenida se somete a diversos procedimientos para eliminar las impurezas (plásticos, adhesivos, tintas, etc.) según vaya a ser su destino la fabricación de papel, cartón, etc.

Lo estrictamente correcto sería decir que según el tipo de madera utilizada en la fabricación de un determinado tipo de papel, su sustitución por papel recuperado evita el gasto y la contaminación correspondiente aunque no todos los tipos de papel puedan elaborarse al cien por cien con pasta de recuperación.

No obstante, es posible calcular aproximadamente los costos de producción si consideramos en base a la cifra de  $3.2 \text{ m}^3$  de madera por Tm de pasta fabricada, y que el consumo de energía en la fabricación de una tonelada de papel oscila entre 0.4 y 0.7 toneladas equivalentes de petróleo (Tep) si se parte de madera, y de 0.15 a 0.25 si se parte de papel recuperado. Las diferencias dentro de cada proceso, con la misma materia prima, dependen del tipo y calidad del papel fabricado y del proceso de fabricación empleado.

El ahorro en el consumo de agua es el más espectacular por el elevado volumen necesario para fabricar una tonelada de pasta a partir de madera, respecto al necesario para obtener la misma cantidad a partir del papel recuperado. En el primer caso y dependiendo de la calidad del papel fabricado, puede oscilar entre  $450$  y  $280 \text{ m}^3$  por Tm de papel. Utilizando papel recuperado, la Tm de papel fabricado sólo necesita  $2 \text{ m}^3$  de agua. Sin embargo, hoy sólo los cartones industriales y algún tipo de papel para embalaje se fabrican al 100% con pasta de recuperación.

Al ahorro del agua hay que añadir también el evitar contaminación, fundamentalmente por las lejías negras, que aun depuradas y recicladas para la recuperación del sulfuro sódico, la sosa y el óxido cálcico, siguen presentando elevadas DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y otras sustancias tóxicas en pequeñas cantidades. La contaminación atmosférica ( $\text{SH}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , partículas sólidas, metil mercaptano, sulfuro de dimetilo, etc.) producida por los gases quemados en la incineración del licor negro, también se evita en la fabricación de pastas de recuperación. Sin embargo, cuando se procede al destintado de papeles viejos para la fabricación de papeles de cierta calidad (impresión, prensa, etc.) también se producen residuos peligrosos, entre ellos metales pesados, que hay que recuperar y eliminar.

#### **6.4.2 COMO SE FABRICA PAPEL RECICLADO**

Para fabricar papel reciclado son necesarios varios pasos. A grosso modo explicaré los pasos a seguir ( Fig. 6.4 ). El primero, seleccionar la materia prima: se clasifican todos los papeles recuperados de los que se dispone y se hace una mezcla diferente dependiendo del tipo de papel que se quiera obtener (prensa, papel de oficina, de embalaje, etc.).

El siguiente paso es llevar todo el material a un *pulper*, un depósito donde el papel es triturado y mezclado con agua para conseguir una desintegración en fibras. Tras la separación de las fibras que componen el papel, deben eliminarse todos los cuerpos extraños que quedan dentro de la pasta: trozos de plástico, grapas, cuerdas, etc.

La masa que se consigue está compuesta únicamente por el agua y el papel manchado de tinta. A partir de ahí, se inicia el destintado de la pasta mediante un sistema llamado flotación, que no utiliza blanqueantes químicos.



Figura 6-4 PROCESO DE RECICLADO DEL PAPEL

Luego, se introduce la pasta en un depósito, donde se le añade detergente para provocar la aparición de espuma. Gracias a una reacción de tensión, las partículas de tinta se pegan a las burbujas de la espuma. Las burbujas, convertidas en transportadoras de tinta, suben a la superficie, donde un aspirador las absorbe. De esta manera, sin utilizar productos químicos, se consigue darle de nuevo al papel usado su color natural, eliminando la tinta.

Una vez que la pasta está completamente limpia de tinta, pasa a la fase final, que es igual en todas las papeleras, fabriquen o no papel reciclado. La pasta se deposita en la máquina de papel, y ahí va perdiendo el agua que contiene hasta que se forma la hoja de papel. Esta hoja saldrá lista para ser impresa de nuevo.

### 6.4.3 PAPELES ECOLOGICOS

Se llama papel ecológico a una gran variedad de papeles que son totalmente diferentes, tanto en sus materias primas como en su fabricación. Los tres grandes tipos son:

**Papel reciclado:** se hace con papel usado de postconsumo, es decir el que ya ha sido impreso. Se considera el menos dañino para el medio ambiente y es el único que ha recibido la etiqueta ecológica alemana o *Angel Azul* ( ésta etiqueta será descrita al final del capítulo).

**Papel reutilizado:** fabricado con recortes tanto de imprenta como de bobinas que no han sido impresas. Estos sobrantes o recortes siempre han sido utilizados por las empresas papeleras. Son ecológicos pero no reciclados.

**Papel blanqueado sin cloro:** hecho con pasta virgen, procedente directamente de madera. Sin embargo, su componente ecológico radica en que en su proceso de blanqueo no se utilizan los derivados del cloro, que son muy contaminantes. Se sustituyen por los derivados del oxígeno, mucho más limpios.

## 6.5 LOS PLASTICOS

Este residuo de alto valor, relativamente sencillo de recuperar y reciclar y tan abundante o más que el vidrio en las basuras, paradójicamente no es objeto de una recogida selectiva y prácticamente la mayoría del que se recupera de la basura viene de las plantas de tratamiento de basuras. Aunque dentro de la misma industria se recuperan cantidades apreciables de plástico, en conjunto el nivel de recuperación es muy bajo.

La explicación de esta situación se encuentra en varias causas. El envase de plástico generalmente nunca es retornable, como las botellas ( las experiencias de retorno con el plástico de PET llevadas acabo en Alemania se han abandonado por ahora a causa de su ineficiencia y costo, aunque en México la industria refresquera ha puesto en circulación envases de plástico de tipo retornable, observandose con el tiempo un deterioro considerable en el envase, generalmente por rayado ) y como la baja densidad eleva el costo, es imprescindible su rotura para el transporte a los centros de reciclaje.

Además está su diversidad en "familias", que exige una superación absoluta antes de ser reciclado complicando su recogida selectiva. Su correcto reciclaje exige el lavado y uso de aditivos para obtener granzas de alta calidad, lo cual exige una cierta capacidad técnica, hoy difícil de encontrar en muchas industrias recicladoras.

Por último, el plástico reciclado obtenido de los envases alimentarios y embalajes, con el que se suele obtener una granza de buena calidad, no puede volver a emplearse en la fabricación de nuevos envases para alimentos por razones sanitarias y debe usarse para otro tipo de artículos. Además gran parte del plástico presente en la basuras es del tipo film, muy difícil de recuperar.

No obstante este residuo tiene por delante un gran futuro en lo que a recuperación se refiere, debido a su creciente uso, elevado precio y problemas de eliminación que presenta. Pero el sector deberá organizarse potenciando las recogidas selectivas y el nivel técnico de los procesos recicladores.

### 6.5.1 ¿DE DONDE PROVIENE EL PLASTICO QUE SE ENCUENTRA EN LOS RESIDUOS SOLIDOS?

De acuerdo con el Instituto Mexicano del Plástico Industrial (IMPI), el consumo de plástico está orientado principalmente al sector de los envases que ocupan 47% del volumen total. Lo preocupante es que este tipo de material tiene una utilización muy corta (de menos de un año) y en él se centran parte de los principales problemas que los plásticos provocan al ambiente.

Las películas plásticas (bolsas) representamos menos del 4% del total de los desechos sólidos generados; sin embargo, son la parte más visible en los tiraderos a cielo abierto y causan problemas en el manejo de la basura por ocupar grandes volúmenes debido a su baja densidad.

¿Cuántos tipos de plástico existen?

Los plásticos abundan en el mercado debido a su gran versatilidad. Existen alrededor de 31 tipos diferentes, de los cuales a continuación, las tablas 6-5 a la 6-9, se enlistan los 6 plásticos más comunes y algunas de sus aplicaciones más importantes:

*Tabla 6-6 POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEbd):*

Botellas para varias aplicaciones
Película para empaque
Película para invernaderos
Aislante para cables y conductores
Juguetes pequeños que se venden por novedad y en gran cantidad

*Tabla 6-7 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEad):*

Empaques para medicamentos	Tapas y tapones
Botella para leche y yogurt	Bolsas para basura
Envases para diferentes usos	Bandejas
Artículos de cordelería	Botes para basura
Cajas para el transporte de botellas	Cubetas
Recubrimientos de sobres para correo	Cubetas
Bidones para aceite y gasolina	

*Tabla 6-8 POLIPROPILENO (PP):*

Película para empaque (como metalizados para botanas, chocolates, dulces y confitería).	Empaques para sopas cigarros; frutas y verduras bizcochos; carnes frías, etc.
Video cassette	Portafolios
Sacos de rafia	Lapiceros
Tapas y tapones	Six pack
Jeringas desechables	Hileras
Mangos de herramientas	Popotes
Cintas para audio y video	

Tabla 6-9 CLORURO DE POLIVINILO (PVC):

Botella PVC para aceite comestible	Lapiceros
Botella PVC para otras aplicaciones	Juguetes
Blister pack para medicamentos	Tapas y tapones
Blister pack para otras aplicaciones	Cintas adhesivas
Empaques para pilas, pastillas, etc.	Cortinas para baño
Envolturas y empaques para alimentos	Tarjetas de crédito
Calzado tenis o sandalias	Pañales desechables
Plastilatas (corcholatas)	Película p/ empaque
Mangueras para jardín	

Tabla 6-10 POLIESTIRENO (PS):

Una de sus presentaciones es la conocida como unicele, poliestireno expansible, que es utilizado entre otras cosas como:
Charola de espuma de poliestireno para frutas, carnes y otros alimentos
Envases térmicos para bebidas frías y calientes.
Artículos navideños
Empaques para protección contra golpes de artículos de muchas industrias: automotriz, farmacéutica, maquinaria, vinos y licores

En la figura 6-5 se presenta el Sistema de Codificación para Envases plásticos, proporcionada por el Instituto Mexicano del Plástico Industrial (1991).

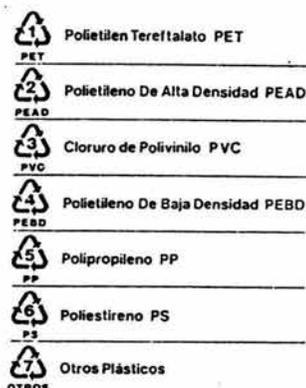


Figura 6-5 SISTEMA DE CODIFICACION DE ENVASES PLASTICOS.



Figura 6-6 EL PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS.

## 6.5.2 LA FABRICACION Y EL CONSUMO DE PLASTICOS

Para la fabricación de productos plásticos, de base se parte del petróleo bruto, que al ser refinado da plásticos y carburantes, como se muestra en la figura 6-6, entrando ambos en competencia, por lo que el aumento de la producción de plásticos implica producir menos combustibles o aumentar la importación y destilado del petróleo bruto. Aunque el plástico también se obtiene del carbón, esta vía es hoy una alternativa potencial más que real.

En el caso de polietileno, el plástico de uso doméstico mas común, hace falta destilar 18.7 Tm de petróleo bruto para obtener 3.74 Tm de nafta, de las que finalmente se producirá una tonelada del preciado polímero. La importancia de reciclar el plástico cobra así una dimensión inexistente en otros materiales y ayuda considerablemente a justificar a toda costa su reciclado.

Por otra parte los plásticos, de constitución muy próxima a la de los carburantes, tiene un poder calorífico muy elevado, por lo que sus desechos pueden convertirse en combustibles de alta calidad, aunque esto puede ocasionar graves riesgos ambientales debido a la síntesis de dioxinas y otras sustancias peligrosas que se emitirían a la atmósfera en algunos casos de no existir estrictos y costosos filtros en la incineración. Debido también a estos inconvenientes, los residuos plásticos deberían ser reciclados al máximo.

Los plásticos producidos, en la práctica, se agrupan según su destino o características en cuatro grandes grupos: comerciales, termoestables, técnicos y varios. En las basuras domésticas y en muchas de las industriales, prácticamente sólo vamos a encontrar los comerciales; muy raramente encontraremos los técnicos ( ABS, poliamidas, etc. ). Los termoestables (formica, baquelita, etc.) y de otros tipos (poliuretanos, etc.), que se hallan sobre todo en los residuos urbanos voluminosos. no son fácilmente reciclables o no lo son en absoluto.

Por estas razones nos centraremos en los seis tipos que hay entre los comerciales al estudiar sus posibilidades de ser reciclados, dado que son prácticamente todos los plásticos contenidos en la bolsa de basura. Estas resinas se caracterizan porque durante su fabricación y transformación mantienen sus características químicas inalteradas, por lo que al reciclar los residuos que se recuperan obtenemos de nuevo un producto capaz de ser utilizado otra vez como primera materia. Los termoestables, por el contrario, presentan la característica contraria y prácticamente no puede hablarse de reciclado de los mismos o al menos mediante los procedimientos aplicados a los termoplásticos.

**El polietileno de baja densidad (PE bd)** se obtiene a partir del etileno (monómero) y su densidad es 0.930 g por cm<sup>3</sup>. Según hayan sido las condiciones de presión y temperatura del etileno y la cantidad de monómero (etileno) utilizado, la cadena y peso molecular del polietileno obtenido será de mayor o menor longitud. El polietileno es sólido, incoloro, de translúcido a opaco, inodoro e insípido, no es tóxico, es muy oxidable durante el procesado, es moldeable con todas las técnicas aptas para los termoplásticos: extrusión, inyección, soplado, vacío, estirado, calentado, compresión, etc.; puede ser cortado, fresado, taladrado, etc. y coloreado con facilidad. Sus filmes y hojas son permeables a varios gases (dióxido de carbono, oxígeno, etc.).

En su transformación deben utilizarse antioxidantes, lubricantes y, según su uso, estabilizantes térmicos y para la radiación ultravioleta. Su poder calorífico es muy alto: 46,000 kilojulios por kilogramo (kJ/kg.). Es el tipo de plástico que más se consume en las casas y su aplicación máxima la encuentra en la fabricación de film agrícola, sacos y bolsas.

**El polietileno de alta densidad (PE ad)** se obtiene también a partir de etileno (sistemas Ziegler y Phillips). Su densidad es algo más elevada: de 0.940 a 0.960 g/cm<sup>3</sup>; es sólido, incoloro, inodoro y no es tóxico; es más rígido y resistente a los agentes químicos; permite la esterilización y es muy impermeable a los líquidos y vapores; también posee buenas cualidades de moldeo y se transforma, utilizando los mismos aditivos, por los mismos sistemas.

Como primera materia se presenta en polvo fino, hojas, filmes, filamentos, tubos, granulados, etc. Su poder calorífico es de 46,000 kJ/kg.. Es el plástico más recuperado de las basuras domésticas, debido a ser fácilmente identificable y abundar en los envases. En las plantas de reciclaje, su recuperación suele ser manual y en algunas se separa por colores. El precio que alcanza es alto y es quizás el plástico más demandado de los procedentes de las basuras por parte de los recicladores.

La producción de estos dos polímeros anda cerca del máximo posible y dadas las complejidades, costos de instalación y tiempo que implica construir nuevas fábricas, el esfuerzo reciclador está bastante justificado.

**El polipropileno (PP)** se obtiene a partir del propileno. De sus varios polímeros, el isofáctico es el de mayor interés comercial. Tiene bastantes similitudes con el polietileno y puede copolimerizarse con él. Su densidad es algo menor: 0.900 gramos por cm<sup>3</sup>, es opaco y más resistente al calor, es más duro pero más sensible a la oxidación. Tiene buenas propiedades mecánicas (resiste muy bien la flexión en capas finas) y puede transformarse en objetos de consumos mediante las mismas técnicas que sirven para el PE. Su poder calorífico es igual al del PE: 46,000 kJ/kg..

El mayor consumidor de este plástico es el mercado del automóvil, pero crecen en importancia otras aplicaciones, por ejemplo en envases gracias a diversas técnicas de fabricación que reducen el grosor de la capa y aumentan la resistencia y propiedades de barrera frente al vapor de agua, los olores y sabores. Una de las limitaciones de este plástico es su fotodegradabilidad, por lo que es muy importante su aditivación adecuada con estabilizantes a la luz. También se utilizan cargas minerales (talco) para aumentar su ya elevada rigidez, lo cual puede influir decisivamente en el proceso reciclador.

**El poliestireno (PS)** se obtiene a partir del estireno. Es más denso que los anteriores: de 1,050 a 1,070 g/cm<sup>3</sup>. Es más rígido, duro y frágil; posee muy buenas propiedades ópticas: gran capacidad de transmisión de la luz; tiene gran estabilidad dimensional, baja absorción de agua y su conductividad térmica es muy reducida.

Estas últimas propiedades hacen que en forma de espuma sea un material aislante de muchas aplicaciones. Se mezcla y copolimeriza bien y se puede moldear utilizando casi todos los sistemas existentes, en especial extrusión, inyección y soplado. Su poder calorífico es también muy elevado y equivalente a los anteriores: 46,000 kJ/kg..

Es uno de los plásticos más antiguos y su consumo, prácticamente estancado, es el menos elevado de todos debido a que su uso ha ido decayendo en los últimos años. Por tanto su presencia en la basura no aumentará presumiblemente en los próximos años y en su variante expandido no es fácilmente recuperable. El sector del envase, sobre todo de yogures, es el máximo consumidor.

Debido a su fragilidad se han desarrollado PS de choque, con resistencia elevada hasta niveles del PEad. Es muy apreciado por su aspecto brillante y perfecto acabado, y es utilizado también como capa externa de materiales compuestos termoformables, pero esto complica las cosas al reciclarlo.

**El cloruro de polivinilo (PVC)** se obtiene a partir del cloruro de vinilo y sus propiedades dependen directamente de las condiciones y método de polimerización y de los aditivos empleados. Su densidad es la más elevada: 1,330 g/cm<sup>3</sup>.

Su poder calorífico es más reducido: 19,000 kJ/kg.. Es muy resistente al ataque de ácidos y bases, sin embargo es inestable ante el calor y la radiación ultravioleta, por lo que es preciso añadir estabilizantes térmicos (sales de ácidos orgánicos con metales) y para la luz.

Según los usos, deberán utilizarse determinados tipos de estabilizantes; así los térmicos a base de estaño le dan más transparencia y se emplean para envases de aceite, pero no de agua por dar cierto sabor.

El PVC es el segundo en orden de consumo dentro de los termoplásticos comerciales, y sus propiedades de transparencia e irrompibilidad le hacen superior al PS en el mundo del envase, sector que emplea el grueso del PVC de consumo doméstico. Es rígido o flexible según la cantidad de plastificante incorporado.

**El polietilentereftalato (PET)** se obtiene mediante la policondensación entre el dimetiléster del ácido tereftálico y el etilenglicol. Al igual que el poliestireno y el polipropileno, mediante su orientación el PET adquiere propiedades de resistencia superiores, disminuyendo el peso del artículo fabricado. Es muy resistente al impacto y lo atraviesa bien la luz. Es muy resistente a los agentes químicos y al paso del agua y gases. Puede moldearse bien por extrusión, soplado y termoconformado.

Una característica que le hace especialmente apreciado por la industria es su capacidad de reforzarse con fibra de vidrio, cargas minerales y otros agentes, obteniéndose un material (RPET) con mejores propiedades.

Aunque su consumo es reducido todavía en comparación con los anteriores plásticos, su demanda en relación con su producción hace que el mercado exterior tenga que cubrir la diferencia. Esta situación unida a su implantación en otros países, como los EEUU, hace pensar en su próxima presencia de forma creciente en nuestras basuras y más cuando sus propiedades como envases de bebidas carbónicas de gran volumen parece ser que son superiores a sus competidores. Sin embargo, el futuro fulgurante que se augura a este plástico en el mercado del envase tampoco está del todo claro.

Si bien sus cualidades físicas son muy importantes (gran transparencia, brillo, resistencia al impacto, etc.) su costo energético es casi el doble del PVC (3.5 frente a 2 Tep por Tm de botella terminada, según un estudio realizado) y depende al 100% de la petroquímica (frente al 44% del PVC). Otro factor determinante es que la energía necesaria para fabricar el PVC es eléctrica en el 35% frente al 19% en el PET (según el mismo estudio) es decir que su producción depende más del precio de la energía.

### **6.5.3 LOS AHORROS OBTENIDOS AL RECICLAR LOS PLASTICOS.**

Según diversas fuentes, el consumo energético en la fabricación del plástico varía según el tipo de plástico. Para el PE se calcula en 2.10 Tep/Tm y para el PVC en 1.70 Tep/Tm. La energía total consumida va de 1.7 a 2.5 Tep/Tm. En estas cifras se incluye el petróleo (o carbón) utilizado como materia prima así como la energía necesaria para la fabricación.

Por lo contrario, en la producción de granza de recuperación se necesita, según la experiencia práctica y consultas a empresas recicladoras, entre 0.08 y 0.17 Tep/Tm, dato que coincide algunas fuentes bibliográficas. Al reciclar se consume menos agua que en la fabricación de granza virgen y también menos sustancias tóxicas. Sin embargo en algunos procesos de recuperación que se llevan a cabo en algunos países y que se han podido conocer directamente; como es el caso de la separación del aluminio de las tapas de los yogures mediante la utilización de sosa, la contaminación del agua es elevada y se debe depurar antes de verterla.

Si se cuidan aspectos contaminantes como el citado, el balance ecológico, económico y estratégico (falta de petróleo) de la producción de granzas de recuperación es muy positivo frente a la producción de granza virgen. Pero el balance técnico, la calidad del producto y los usos potenciales son menores, y de no conocerse bien el proceso de aditivación necesario para cada tipo de plástico, como veremos más adelante, puede obtenerse un rendimiento inferior al deseado y posible.

### **6.5.4 LAS LIMITACIONES TECNICAS PARA RECICLAR LOS PLASTICOS.**

Hoy es técnicamente posible reciclar gran variedad de plásticos: todos los comerciales (PE, PP, PS, PVC y PET) y también otros de tipo técnico y gran consumo como las poliamidas o el policloruro de vinileno. Incluso existen métodos para reciclar los termoestables y especialmente los reforzados.

Algunas claves de recuperación ya se han señalado y fundamentalmente se centran en la recogida selectiva de los plásticos respecto al resto de los residuos en la separación posterior por tipos de plásticos. Las otras claves son el conocimiento técnico, tanto del proceso en sí como de la naturaleza del plástico que se está tratando, su compatibilidad con otros plásticos y su destino final.

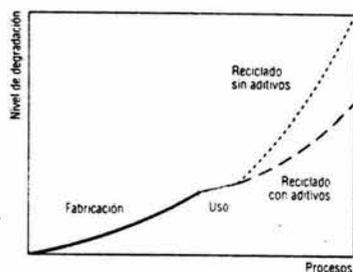
En la *degradación molecular* de los plásticos por efecto de la luz (radiación ultravioleta), el calor, los agentes químicos, mecánicos, etc., las roturas y reticulaciones de las cadenas moleculares se traducen en una gran merma de sus cualidades. En la primera fabricación o fabricación de materias primas y debido a las condiciones de la misma (exigencias mecánica, térmicas, etc.) se produce la primera degradación, lo que exige la correcta formulación posterior en función del uso que vaya a tener.

En la segunda transformación o consumo (fabricación de objetos) vuelve a sufrir una nueva degradación que se corrige en parte con la aditivación adecuada. En la fig. 6-6 se presenta un gráfica que presenta en forma empírica los niveles de degradación del plástico.

"A título de ejemplo, los trabajos de Vogler han puesto de manifiesto que después de sufrir 20 transformaciones, el poliestireno reduce su peso molecular a la mitad y como consecuencia se produce una reducción de aproximadamente al 60% de sus resistencia mecánica.

En el PE ad y en PE bd, el reprocesamiento repetido produce una reticulación de las moléculas, lo que se refleja en una disminución de sus índices de fluidez; no obstante sus propiedades mecánicas apenas varían. Esto indica que es perfectamente tolerable la utilización de una pequeña cantidad de material recuperado. Sin embargo esta cantidad dependerá de la utilización final, lo que supone una limitación".

**PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PLÁSTICO**  
Comparación entre la degradación normal durante los procesos de fabricación, el uso y el reciclado con o sin aditivos



**Figura 6-7 PROCESO DE DEGRADACION DEL PLASTICO**

El plástico sufre una tercera degradación durante su uso como objeto útil, y la cuarta cuando se abandona, que puede ser muy grande si se mezcla con la basura y permanece largo tiempo con ella. En los casos de compostaje sin separación previa de los plásticos, la degradación aumenta debido al calor, pues se alcanza hasta 70°C en el montón de la composta.

Por todo ello, el reciclador debe conocer el "historial" técnico del plástico a reciclar (fases de transformación, uso que tuvo, aditivos que tienen su porcentaje exacto) y tras el conocimiento del destino que tendrá la granza por él fabricada, reformular de nuevo el polímero corrigiendo los déficits de estabilizantes, plastificantes, etc. que haya lugar.

Normalmente el consumidor de granza recuperada intenta subsanar en parte los problemas de la degradación molecular mezclando la granza con material virgen o fabricando artículos con menores requerimientos técnicos, mecánicos y estéticos, como bolsas de basura, perchas, envases industriales, postes, etc. Un correcto proceso de aditivación, si bien no evita que la degradación continúe, contribuye a mantenerla dentro de unos límites.

Las incompatibilidades entre familias de plásticos ( cada tipo de plástico posee unas características propias) exige una selección rigurosa de los mismos antes de proceder a reciclarlos. En la tabla 6-11 se presenta métodos simples para la identificación de los diversos tipos de plásticos de mayor distribución.

Tabla 6-11 METODOS DE IDENTIFICACION DE PLASTICOS

MÉTODOS PARA IDENTIFICAR LOS PLÁSTICOS MÁS CORRIENTES						
TIPO DE PLÁSTICO	PRUEBAS FÍSICAS (para masas)				PRUEBAS DE COMBUSTIÓN	
	Corte en tiras finas	Sonido al caer sobre una superficie dura	Rayado con la uña	Un trocito sobre agua	Llama	Olor al apagarse
Poliétileno de baja densidad (PEbd)	consistentes	apagado	fácil	flota	azul pálido con borde amarillo	de vela al apagarse
Poliétileno de alta densidad (PEad)	consistentes	apagado	escaso	flota	azul pálido con borde amarillo	de-vela alapagarse
Poliestireno (PS)	consistentes	metálico	imposible	se hunde	produce mucho hollín	el del estireno
Acrlionitrilo butadieno estireno (ABS)	consistentes	metálico	imposible	se hunde	produce mucho hollín	el del estireno mas olor a goma
Polipropileno (PP)	consistentes	apagado	imposible	flota	gotas derretidas azul pálido	algo a vela al apagarse
Cloruro de polivinilo rígido (PVC)	consistentes	apagado	imposible	se hunde	arde lentamente sin llama	muy agrio
Cloruro de polivinilo flexible (PVC)	consistentes		fácil	se hunde	ahuma	muy agrio
Celofán					se quema rápidamente	parecido al del papel
Termoestables	virutas pequeñas	variable	imposible	se hunde	dificultad para quemarse	a pescado o a fenol

Nota importante: Usar mechero o cerillos, pero tener cuidado de no quemarse y realizar esta prueba al aire libre, ya que algunos plásticos se derriten en gotas inflamadas.

fuelle: British Plastics Federation

Una mezcla indiscriminada de diferentes tipos de plástico puede producir no solo una granza de pésima calidad sino incluso averías importantes en la máquina extrusionadora (diferentes puntos de fusión, plasticidad, etc). Sin embargo, las mezclas entre diferentes tipos de plástico pueden ser posibles incluso beneficiosas. En unos casos se da la circunstancia de que un tipo de plástico añadido a otro en una exacta proporción, mejora las propiedades de ambos por separado. Así el butadienoestireno añadido al poliestireno recuperado, da un plástico reciclado antichoque utilizado para la fabricación de tacones para calzado, perchas, etc.

En otras ocasiones se puede y deben añadir determinados aditivos a las mezclas de los residuos plásticos para mejorar su compatibilidad y obtener artículos incluso de superior calidad.

Se está experimentando con añadir componentes no plásticos como aire, serrín, papel, metal, vidrio, a los residuos plásticos recuperados. Se han obtenido resultados alentadores en espumas resistentes a choques, por inyección de aire en mezclas de PE, PVC y PS. Esta alternativa es muy importante para residuos complejos, en los que haya grandes dificultades para separar el plástico.

### 6.5.5 LA RECUPERACION DE LOS RESIDUOS PLASTICOS.

En la fabricación de objetos a partir de las primeras materias plásticas, se producen determinados residuos susceptibles de ser reciclados en la propia fábrica y otros fuera de la misma, en las instalaciones apropiadas.

Ya hemos señalado que las posibilidades de recuperación mediante reciclado quedan reducidas prácticamente a los termoplásticos. De ellos los residuos más recuperados y reciclados son los de polietileno de alta y baja densidad, y en menor cantidad de los de poliestireno, polipropileno y cloruro de polivinilo. También se recuperan los residuos de la fabricación de plásticos de tipo técnico (ABS, PC, etc.). En la tabla 6-10 se pueden apreciar algunos métodos para la identificación de los plásticos más comerciales.

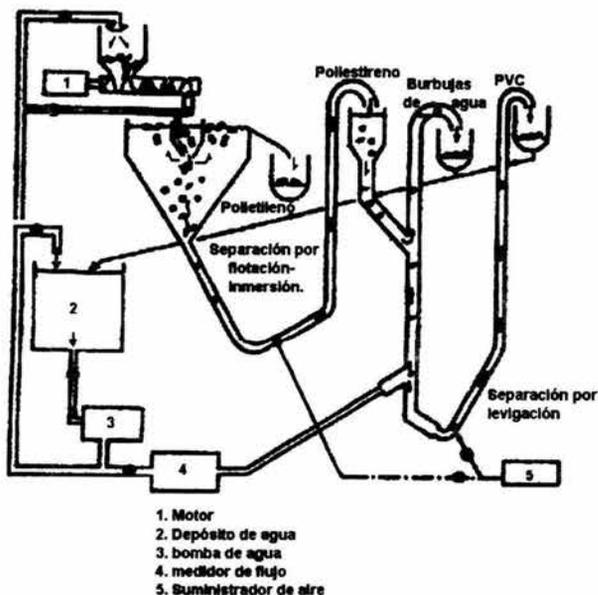


Figura 6-8 ESQUEMA DE UN SEPARADOR DE PLASTICOS

Una vez fabricados los objetos y tras un ciclo de vida mas o menos corto, se convierten en residuos. Los depositados en la basura son en parte recuperados y posteriormente reciclados en instalaciones del mismo tipo que las usadas para reciclar los residuos procedentes de su fabricación.

El residuo industrial más apreciado es el recorte o "scrap", normalmente recuperado en la propia fábrica pero también puede ser plástico transformado en materiales de consumo (defectuosos, manchados, fuera de coloración, etc.) o en fase de semielaboración (film, plancha, etc. en bruto).

También existen otros objetos que no son residuos de fabricación ni recortes, como bobinas de plástico, contenedores, cajas, etc. que se producen como residuo de la actividad industrial de las fábricas de transformados de plástico o de otras fábricas que consumen objetos de plástico. Igualmente existen otros residuos plásticos de origen diverso que se recuperan, uno de los cuales es la película de usos agrícolas (invernaderos, laminas para cultivos, etc.).

Existen también algunos industriales que están recuperando lodos muy contaminantes del proceso de fabricación de ciertos plásticos técnicos de alto valor como el ABS, mediante secado y separación de elementos no válidos. Estas recuperaciones de residuos industriales son muy importantes debido a que normalmente son vertidos al entorno, contaminando mucho.

En cuanto a la recuperación de los plásticos de la basura, que se hallan en una proporción media del 8%, si bien se encuentran bastante concentrados, al estar mezclados entre sí y con el resto de la basura, su recuperación es bastante difícil. La recuperación mayor se lleva a cabo en las plantas de tratamiento de basura que elaboran compost.

La mayoría de los elementos plásticos que se recuperan son envases de PE, dado que la película es muy difícil de separar en cantidad y limpiezas suficientes para que compense el tiempo y el trabajo invertido. En algunas instalaciones se recupera película por procesos técnicamente complicados y en otras con mayor participación del triaje manual. También se ha empezado a recuperar el PET. Algunos envases, como los de aceite, no suelen ser recuperados ya que se exige luego un lavado correcto para su reciclado y es difícil venderlos de otro modo. En general el plástico recuperado en las plantas de reciclado es muy reducido.

La demanda de plástico recuperado es alta, pero el costo de recuperación también es elevado y como el criterio presente en la recuperación de residuos en las plantas de tratamiento de basuras es exclusivamente el económico, la recuperación que se obtiene está por debajo de la logable considerando otras ventajas.

La segunda fuente de recuperación de residuos plásticos son los tiraderos de basura, en algunos de los cuales se realiza la selección de diversos materiales, entre ellos el plástico, aunque no existen datos de ningún tipo del número de personas, lugares y cantidades recuperadas. Existen también otras fuentes difusas y diversas: talleres, empresas de distribución, comercios, etc., que recuperan pequeñas cantidades.

## **6.5.6 SITUACION ACTUAL Y POSIBILIDADES DE AUMENTO DEL PLASTICO RECICLADO**

La mayoría de los recuperadores de plástico no transforman en granza el material recuperado, razón por la cual al vender el residuo se ven obligados a abandonar la fase más rentable del proceso. Uno de los motivos de esta situación se debe a que los recuperadores son pequeños microempresarios o personas particulares que recuperan de diferentes sitios cantidades modestas de plásticos junto con otros materiales que no serían suficientes para alimentar una pequeña instalación de reciclado, o son instalaciones de tratamiento de basuras centrados en los problemas que estas presentan (elaboración y venta del compost, vertido del rechazo, etc.), aunque ya he señalado la existencia de plantas que reciclan los residuos recuperados.

Otra razón importante es la situación de predominio de la demanda de residuos sobre la oferta, lo que hace que se paguen precios elevados por el plástico recuperado sin apenas trabajo añadido, y así muchas plantas y recuperadores no seleccionan por colores ni trituran, lavan ni tan siquiera prensan o embalan. Instalar una planta para reciclar en un mercado de proveedores escaso, con un material mal o nada preparado (lo que exige labores previas de clasificación, limpieza, etc.) y un mercado de granza virgen sujeto a grandes altibajos en función del precio del petróleo, constituye ciertamente un acto de valentía poco frecuente.

Hay también razones técnicas importantísimas: las exigencias ineludibles que deben satisfacerse en los procesos recicladores para producir una granza de calidad capaz de ser utilizada sin temor por el transformador (correcta aditivación, selección de mezclas, etc.) requiere un mínimo nivel teórico y técnico que sustituya a la hasta hoy más abundante intuición o conocimiento exclusivamente práctico del reciclar que tienen la mayoría de los industriales establecidos.

Los procesos que siguen las instalaciones recicladoras de plásticos existentes, son básicamente iguales en su mayoría; los cuales son:

**La trituración o molido** de los residuos plásticos aumenta su densidad aparente, lo que es positivo tanto para reducir el espacio de almacenamiento como el transporte. Cuando la densidad del material de partida es alta, el granulado ya está preparado para la fabricación de nuevo plástico. Algunos industriales venden el plástico en esta fase de triturado.

Buena parte de los residuos industriales se obtienen limpios, por lo que no es preciso el lavado, pero en otros casos vienen mezclados con aluminio y papel, por lo que son precisos procesos especiales de separación. Los residuos plásticos de la basura o de la agricultura necesitan ser lavados, por lo que una vez triturados, se introducen en cubas llenas de agua y por medio de agitadores mecánicos se va desprendiendo la suciedad.

En la mayor parte de los casos el triturado no es suficiente y es preciso aumentar todavía más su densidad con la compactación, que puede hacerse por diversos métodos.

En el caso de las película, una vez molidas en trozos de aproximadamente  $1 \text{ cm}^2$  se calientan y se aglomera el material en grumos. En otros casos, el plástico triturado se funde y se extrusiona en un macarrón que se corta en la llamada granza.

Una vez en forma de granza o de grumos, el material ya está dispuesto para su transformación en productos comerciales, bien sea mezclándolo con materiales vírgenes o utilizando granza reciclada al 100%. La mayoría de las industrias recicladoras trabajan con plástico industrial limpio y sólo algunas también con película agrícola y residuos urbanos.



Figura 6-9 PROCESO DE RECICLAJE DE RESIDUOS PLÁSTICOS

La actividad industrial que recicla el plástico está presidida por la escasez de material para reciclar, la precaria técnica de los procesos recicladores (desconocimiento en muchos casos de las características y composición química del material a reciclar, de las técnicas de aditivación y mezclado, etc.), y por la competencia constante con la granza virgen, que debido a las oscilaciones del precio del petróleo llega acercarse en precio al de la recuperada. A causa de estos problemas se trabaja en muchos casos en condiciones indebidas y se producen granzas de inferior calidad a la que podría conseguirse.

La falta de preparación técnica se suple con ingenio y grandes dosis de imaginación, y la falta de recursos económicos y difícil del mercado se suple con un trabajo excesivo. La mayoría de los industriales están preparados para duplicar la producción en caso de disponer del material para trabajar y no creen fuera a haber problemas de mercado en cuanto a ventas de la granza obtenida.

El destino del plástico reciclado que he podido conocer, es decir, de la mayoría de las granzas de recuperación obtenidas, es su transformación en diferentes tipos de envases (bolsa de basura, garrafas, bidones, carcasas de garrafones de vidrio, botellas para envasar, lejía, barquillas de fruta y verdura, etc.), juguetería, perchas, macetas, tacones de zapatos y algunas piezas de adorno, etc.

En menor cantidad también se fabrican con gran proporción de granza virgen ciertas piezas y objetos para la industria y algunas ocasiones recubiertas de plástico virgen y otros materiales. Sin embargo, si bien el plástico reciclado puede utilizarse en la fabricación de casi todos los objetos que se producen con granza virgen -excepto envases para alimentación y la mayoría de las piezas industriales- su utilización debe hacerse con un conocimiento técnico estricto.

El plástico recuperado debe analizarse para saber el nivel de aditivos que contienen, y en función del destino que tendrá la granza recuperada, seleccionar el material de partida y equilibrar (reponiendo) los estabilizantes, antioxidantes, etc. que sean necesario para obtener una granza lo más parecida la granza virgen empleada para el mismo destino.

Un aumento de la recuperación del plástico no podría ser totalmente absorbido por el mercado de objetos de plástico actual, dado que la alimentación y gran parte de la pieciería industrial no lo demandaría aunque fuera barato y de calidad, y por que el volumen de fabricación de los demás objetos de plástico tiene un limite difícil de aumentar. Debería dirigirse hacia la fabricación de otros objetos que hoy se producen a base de materiales más escasos, no reciclables o de potencial utilización para fines más cualificados, como la madera, ciertos metales, etc. países de gran tradición recicladora como Italia, Japón, los EEUU, etc.

Así lo están haciendo y en ellos se produce una amplia gama de artículos para la construcción, jardinería, obras públicas, agricultura, etc. a base de granzas de recuperación. Recientes investigaciones realizadas en los EEUU, Alemania Federal, Francia, etc. apuntan a posibles usos de plásticos de basura recuperado y troceado (sin cribar) como material para firmes de carreteras, mezclas con alquitranes, etc.

La coextrusión es una ingeniosa aplicación de la granza de recuperación, ya experimentada en otros países que permite la fabricación con varias capas de distintas calidades de plástico, de forma que el reciclado queda en la capa intermedia (la externa e interna es virgen) o en la exterior (la interior virgen), con lo que se evitan los problemas derivados de la radiación ultravioleta, los contactos con agentes químicos, líquidos, etc. Esta alternativa requiere la sustitución de los equipos actuales, lo que implica una inversión cuantiosa.

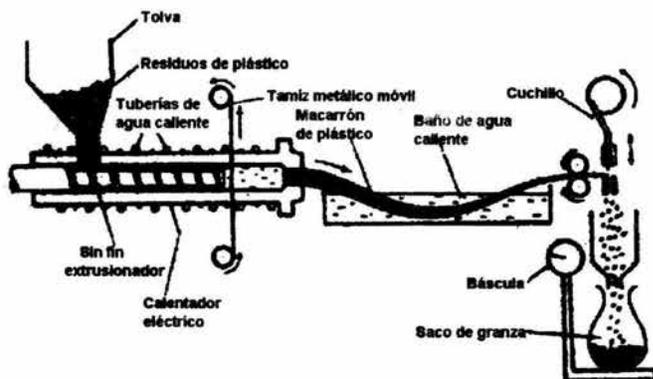


Figura 6-10 EXTRUSION Y GRANULADO DE RESIDUO PLASTICO

## **6.6 EL HULE NATURAL ( CAUCHO ).**

Este residuo lo forman prácticamente las cubiertas de neumáticos, y en mínima proporción elementos como guantes de latex y condones, por lo que la presencia en la basura de materiales o base de cauchos (gomas) es prácticamente insignificante. La mayor fuente de residuos de cauchos es la industria que trabaja con este material, pero es reciclado en gran medida por las propias industrias o por otras del sector dedicadas a la fabricación de objetos de goma.

### **6.6.1 EL PROBLEMA DE LOS NEUMATICOS.**

A pesar de estar constituidos por hule natural (caucho) y acero en su mayor parte y generarse como residuo en lugares muy concretos (expedios de llantas, industria de recauchutado, "talacheras", talleres de vehículos, etc.) su aprovechamiento es escaso y decreciente., mientras que su producción es terriblemente alarmante. Es difícil darles un destino. Son objetos excesivamente pesados y grandes para ser tratados en las instalaciones de tratamiento de basuras, en las que producen distorsiones debido a su tamaño, composición y elevado volúmen.

También produce grandes problemas en las trituradoras de basura debidoa al entramado de alambres de acero que poseen la mayoría, y en los vertederos, debido a su elasticidad es casi imposible su compactación, teniendo tendencia a desplazarse hacia la superficie y allí, debido a su forma, sirven de cobijo para numerosos animales perjudiciales (insectos, roedores, etc.)

En las plantas de reciclaje de basuras deben ser apartados antes de entrar en el proceso de selección, dado que son excesivamente grandes y nada se puede obtener de ellos como no sea avería en los equipos. Y en las plantas de incineración de basuras y debido a su elevado poder calorífico (entre 7.000 y 8.000 kcal/kg.) pueden llegar a provocar graves desperfectos en el recubrimiento refractario de los hornos.

Debido a todos estos inconvenientes los neumáticos son evitados o se cobra un canon de recogida extra, cuando no son rechazados por la mayoría de los servicios de recogida de basuras y se abandonan en vertederos, descampados y otros lugares inapropiados, donde de forma incontrolada se queman para hacerlos desaparecer para recuperar el entramado metálico y venderlo como chatarra.

Los humos producto de la combustión de los neumáticos estan compuestos por partículas sólidas de gran tamaño, compuestos azufrados, etc. por lo que su combustión al aire libre es muy contaminante, desagradable e incluso puede provocar accidentes de circulación al formar nieblas sobre las carreteras próximas.

Pero la concentración en cuanto a su producción hace relativamente sencillo y no excesivamente caro su recogida, existe un mercado de los productos de recuperación que podría ampliarse con nuevas utilizaciones, y debido a su alto poder calorífico, podrán servir de combustible tomando ciertas precauciones.

### **6.6.2 LA RECUPERACION Y POSIBILIDADES DE AUMENTO.**

La cantidad de cubiertas que se recuperan es difícil de estimar prácticamente sólo las que no tienen estructura metálica sino textil son en parte recicladas por los recuperadores. Estos además recogen con agrado los residuos de grano pequeño de las industrias del caucho ) de las rebabas que se generan en la fabricación de cubiertas y otros objetos, y el polvo producido en las labores de recauchutado de las cubiertas y de otros orígenes.

Hasta hace poco ha estado funcionando una gran instalación criogénica de reciclaje de cubiertas en España (Valladolid) para obtener goma en polvo para su aplicación en diversos usos en el ámbito de la construcción y obras públicas (pista de atletismo, asfaltado de carreteras y otras vías públicas, etc.). El procedimiento seguido era congelar las cubiertas con nitrógeno líquido y golpearlas para que liberasen la estructura metálica o textil del caucho, recogándose éste en forma de polvo y el nitrógeno en forma de gas.

La industria de fabricación de neumáticos utiliza una pequeña parte de caucho regenerado o de polvo de goma (del 10 al 25% dependiendo de la finura del polvo) para la fabricación de cubiertas de menores requerimientos técnicos como para maquinaria agrícola, carretillas, etc.; sin embargo, no demuestra interés por elevar el porcentaje de caucho regenerado debido a los inconvenientes que ella misma señala en cuanto a reducirse la calidad del producto entre otros. También la industria de piecería utiliza cierta cantidad de recuperado, que cuando el polvo es muy fino puede llegar al 20 o 25% del total.

La mayoría de estos neumáticos son de estructura metálica y al encontrarse desgastados, aproximadamente el 50% corresponde a caucho y el resto a acero. La mayoría de los recicladores tienen establecidos sus propios circuitos de recuperación (talleres, almacenistas, etc.) y normalmente recogen las cubiertas en su totalidad; a cambio del servicio no abonan nada por el material, pero luego tienen graves problemas con las cubiertas de alma de acero, que no recuperan y se ven obligados a deshacerse de ellas, por lo cual muchos prefieren comprar residuos de goma ya troceados (rebabas), recortes, trozos de goma de otros procesos, etc. y sobre todo el polvo de las fábricas de recauchutado.

En México, la industria del revulcanizado ha crecido gracias a nuevas y más novedosas técnicas que han permitido el poder reciclar cierto tipo de neumáticos, los cuales anteriormente debían ser utilizados utilizando una cámara de hule, debido a su limitada resistencia y porosidad, mientras que a estos años, se pueden localizar neumáticos "recubiertos" de sello hermético con la rueda sin necesidad de la cámara.

Curiosamente, la industria de transformados de caucho acude al mercado exterior en busca de residuos de caucho sin endurecer (desvulcanizado).

### **6.6.3 COMO SE RECICLA EL CAUCHO.**

La reutilización (sin alteraciones químicas estructurales) de las cubiertas y neumáticos ha sido y es el más sencillo y tradicional proceso para reciclarlas.



### **6.6.2 LA RECUPERACION Y POSIBILIDADES DE AUMENTO.**

La cantidad de cubiertas que se recuperan es difícil de estimar prácticamente sólo las que no tienen estructura metálica sino textil son en parte recicladas por los recuperadores. Estos además recogen con agrado los residuos de grano pequeño de las industrias del caucho ) de las rebabas que se generan en la fabricación de cubiertas y otros objetos, y el polvo producido en las labores de recauchutado de las cubiertas y de otros orígenes.

Hasta hace poco ha estado funcionando una gran instalación criogénica de reciclaje de cubiertas en España (Valladolid) para obtener goma en polvo para su aplicación en diversos usos en el ámbito de la construcción y obras públicas (pista de atletismo, asfaltado de carreteras y otras vías públicas, etc.). El procedimiento seguido era congelar las cubiertas con nitrógeno líquido y golpearlas para que liberasen la estructura metálica o textil del caucho, recogándose éste en forma de polvo y el nitrógeno en forma de gas.

La industria de fabricación de neumáticos utiliza una pequeña parte de caucho regenerado o de polvo de goma (del 10 al 25% dependiendo de la finura del polvo) para la fabricación de cubiertas de menores requerimientos técnicos como para maquinaria agrícola, carretillas, etc.; sin embargo, no demuestra interés por elevar el porcentaje de caucho regenerado debido a los inconvenientes que ella misma señala en cuanto a reducirse la calidad del producto entre otros. También la industria de piecería utiliza cierta cantidad de recuperado, que cuando el polvo es muy fino puede llegar al 20 o 25% del total.

La mayoría de estos neumáticos son de estructura metálica y al encontrarse desgastados, aproximadamente el 50% corresponde a caucho y el resto a acero. La mayoría de los recicladores tienen establecidos sus propios circuitos de recuperación (talleres, almacenistas, etc.) y normalmente recogen las cubiertas en su totalidad; a cambio del servicio no abonan nada por el material, pero luego tienen graves problemas con las cubiertas de alma de acero, que no recuperan y se ven obligados a deshacerse de ellas, por lo cual muchos prefieren comprar residuos de goma ya troceados (rebabas), recortes, trozos de goma de otros procesos, etc. y sobre todo el polvo de las fábricas de recauchutado.

En México, la industria del revulcanizado ha crecido gracias a nuevas y más novedosas técnicas que han permitido el poder reciclar cierto tipo de neumáticos, los cuales anteriormente debían ser utilizados utilizando una cámara de hule, debido a su limitada resistencia y porosidad, mientras que a estos años, se pueden localizar neumáticos "recubiertos" de sello hermético con la rueda sin necesidad de la cámara.

Curiosamente, la industria de transformados de caucho acude al mercado exterior en busca de residuos de caucho sin endurecer (desvulcanizado).

### **6.6.3 COMO SE RECICLA EL CAUCHO.**

La reutilización (sin alteraciones químicas estructurales) de las cubiertas y neumáticos ha sido y es el más sencillo y tradicional proceso para reciclarlas.

Cortadas y troceadas dan diferentes piezas para uso industrial y doméstico. En la actualidad se obtienen así suelas para el calzado, tiras de goma (tanto de cubiertas como de cámaras) para tapicería, arandelas, bolas, etc. para los aparejos de pesca de los barcos, latiguillos desbrozadores de remolcha, piezas para protección antigolpes, etc. Este mercado es reducido pero estable y podría aumentarse. Las cubiertas que se utilizan son las de estructura textil y los restos que se producen suelen reciclarse.

En otros países como Italia se recupera con gran calidad la goma de cubiertas de alma de acero; aquí se podrían recuperar con el procedimiento de criogenación.

La regeneración del caucho requiere dos fases: primero el neumático se tritura o muele con un cilindro estirado o con otro sistema, hasta dejarlo reducido al mínimo grano posible: de 1 a 2 mm o menos. A continuación se mezcla con diversos productos (aceites minerales, desvulcanizadores, etc.) y se introducen en un autoclave para desvulcanizarlo. El producto obtenido es el caucho reciclado, material blando y pegajoso equivalente al caucho virgen del que se parte para la fabricación de neumáticos y otros objetos.

Por último se realiza el proceso de regeneración o vulcanización del caucho reciclado, similar al utilizado para la fabricación normal a partir del caucho virgen (del 5 al 10%), azufre y otros productos en calderas de vapor de agua, donde se procede la vulcanización. El material obtenido, en forma de planchas, es transformado en diversas piezas, como alfombrillas de automóviles, loderas, piecería, suelas, etc.

Debido al buen comportamiento ante los cambios de temperatura, otras aplicaciones del polvo de goma obtenido de las cubiertas usadas son la construcción de pistas y pavimentos, la impermeabilización como aditivo del asfalto en carreteras y autopistas, etc. Los recubrimientos realizados con asfalto a los cuales se le ha añadido polvo de caucho presentan unas características de resistencia a todos los agentes (mecánicos y térmicos) netamente superiores a las de los asfaltos convencionales.

## **6.7 LOS TEXTILES.**

Los residuos y desperdicios de la actividad textil, fundamentalmente de la hilatura de algodón y otras fibras, confección, etc., son cuidadosamente reciclados por parte de empresas especializadas que se clasifican y lavan un material apto para hilados y otros productos como el papel de gran calidad (impresiones especiales, billetes de banco, etc.).

Curiosamente fue en China, hace más de 2.000 años, donde se obtuvo por vez primera papel a partir de trapos de algodón. Actualmente y según datos del BIR (Bureau International de la Recuperation), del total de tejidos fabricados en el mundo anualmente, las fibras de recuperación (residuos de hilados, ropas, etc.) aportan el 13%. Sin embargo, el residuo textil (trapos, ropa usada, etc.), presente en las basuras o desechado en los hogares posee características diferentes y es reciclado por vías distintas, que básicamente son la reutilización de la ropa en los mercados de segunda mano y la transformación en diversos productos para la industria.

En la actualidad los movimientos más fuertes lo registra la prendería y trapos (desperdicios y desechos de trapos, ropas, cuerdas, cordeles, etc.), en el cual posiblemente se estén incluyendo ciertas partidas que no son propiamente desperdicios, aunque el grueso de ellas corresponde a ropa y trazo usado. Una parte de ellas se importan con destino a la elaboración de trazo industrial de limpieza, y la otra, constituida por ropas usadas en buen estado y obtenidas a bajo precio, tras su clasificación y a veces limpieza, es objeto de nueva exportación, junto con ropa recuperada, o bien se comercializa nacionalmente.

En el otro capítulo de residuos textiles, el correspondiente a desperdicios y desechos (incluidas las hilachadas) de fibras naturales y artificiales (algodón, seda, cáñamo, yute, sisal, etc.), se observa por el contrario un aumento de las importaciones en los últimos años.

### **6.7.1 LA RECOGIDA SELECTIVA DE ROPA Y TRAZOS.**

Los grupos de recuperadores, que trabajan para los almacenistas de trazo y ropa, colocan carteles indicadores del día y hora de las recogidas selectivas de ropa, calzado, bolsos, juguetes, etc. y anuncian que es para "ayudar al Tercer Mundo", "trabajadores en paro" o "en solidaridad con los más pobres", o solamente se anuncian como "se compran cosas viejas". Las respuestas suelen ser aceptables y la ropa es recogida y llevada normalmente a pequeños depósitos para su selección. El sistema de recogida y transporte es eficaz, sin apenas gastos de infraestructura. La ropa seleccionada de buena calidad se mercadea a buen precio, mientras que en algunos países de Europa, la ropa en buen estado es exportada a África sobre todo, y el resto sirve para trazo de limpieza y otras aplicaciones.

Otras organizaciones que tradicionalmente recuperan ropas sin ánimo de lucro son instituciones benéficas como Cáritas, Cruz Roja y ciertas instituciones religiosas. También existen organizaciones de mercado contenido social, cooperativas, etc. que suelen vender parte de lo recogido en rastros y el resto a recuperadores.

### **6.7.2 LAS DIFERENTES FORMAS EN QUE SE RECICLAN LOS TEXTILES.**

En general, el proceso que suele seguir la mayoría de los recuperadores es seleccionar lo recogido y separar las prendas vendibles como ropa de segunda mano a rastros, para la exportación, etc. De los tejidos restantes se eliminan los constituidos por ciertas fibras como nylon, impermeables, poliéster, etc. y el resto se recicla.

El objetivo es obtener trazo de limpieza y en menor medida "cotton" y borra mediante deshiladoras. En la confección del trazo se produce, aproximadamente, el 25% de restos (el 20% se destina a fabricar borras y el 5% constituye el rechazo). Para obtener el trazo de limpieza es preciso eliminar primero los botones, cremalleras y otros añadidos extraños al tejido, y en segundo lugar separar las diferentes capas que forman la prenda (forros, etc.).

Con este trapo algunos talleres confeccionan balas y las venden para limpieza o para la fabricación del "cotton". En otros casos se continúa el proceso y este trapo es troceado y lavado, formándose con él trapo de limpieza para talleres, empresas de mantenimiento industrial, etc. Los residuos de esta manipulación del trapo son vendidos para la fabricación de borra.

En los últimos años y con la aparición de los rollos de celulosa y el aumento de la producción del algodón, la venta del trapo de limpieza industrial ha descendido. Pero el papel (celulosa) no es muy apto para la limpieza de grandes superficies engrasadas, absorción de líquidos, etc., y se prefiere el algodón. Este se fabrica a partir de los trapos y residuos de las prendas seleccionadas (forros, restos, etc.) mediante un proceso deshilachador ( ver fig. 6-12 ), que da un material rizado de gran poder absorbente y limpiador, fácil de introducir por oquedades y adaptable a múltiples requerimientos de limpieza. Es el más apreciado elemento de limpieza en muchas industrias y talleres, y varios industriales del trapo consultados manifiestan su deseo de fabricar algodón a partir del trapo.

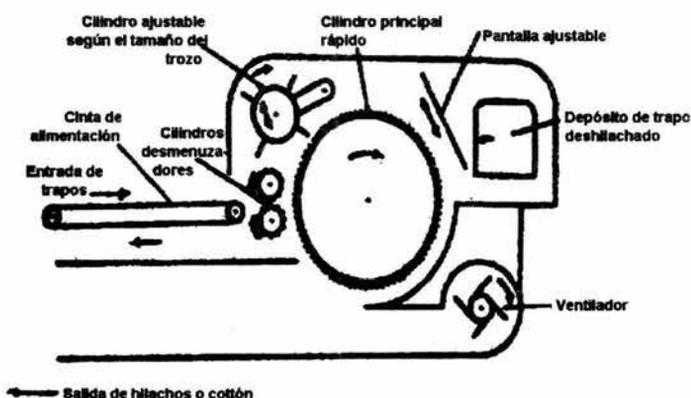


Figura 6-11 DESHILACHADORA DE TRAJOS

Por último y el más delicado proceso reciclador de tejidos es la fabricación de borras. Algunas fábricas las obtienen a partir del trapo recuperado, pero las de calidad se obtienen exclusivamente del recorte de confección y de los residuos de las fábricas de hilaturas de algodón, residuos que prácticamente se aprovechan en su totalidad y poseen alto valor.

También existen industrias dedicadas exclusivamente a la recuperación de restos de hilaturas de algodón, las cuales, tras su clasificación y limpieza, se vuelven a vender a los fabricantes para volver a hacer hilados e incluso papel-moneda.

La utilización del trapo y algodón industrial es una alternativa al consumo de celulosa, que por otra parte son materiales bien apreciados por los usuarios. Debería fomentarse la recuperación de los residuos textiles para la producción de algodón.

El simple examen del mercado y los precios que lo regulan nos dicen abiertamente lo necesario que es potenciar la correcta clasificación e incluso la elaboración del algodón por parte de los recuperadores, para que la actividad recicladora obtenga los mayores beneficios económicos. En la ropa clasificada, los criterios que rigen para su valoración son, de menor a mayor, los siguientes: gordo (abrigos, chaquetas, mantas), punto, color (vestidos, camisas, batas), vaquero de algodón, blanco de algodón, fundas de colchón, y lana. El precio de la lana es unas tres veces superior al de su anterior, las fundas de colchón.

## **6.8 LAS CHATARRAS METÁLICAS.**

Los residuos originados en el proceso de producción, transformación y uso del acero constituyen las chatarras férricas, que forman el grupo mayoritario de las chatarra metálicas (así llamadas para distinguir la chatarra de vidrio o calcín); han pasado a ser muy valoradas para la producción y uso del acero, del que forman parte en una proporción cercana al 45%, debido a los ahorros obtenidos con su empleo y a su escasez a escala mundial. El ahorro energético es enorme: 62% respecto a la producción con mineral de hierro. También se ahorra en el consumo de agua y se evita mucha contaminación.

Sin embargo en función de la calidad, la mejor chatarra para la industria siderúrgica es justamente la que cada fundición produce y ésta es precisamente la que más va a disminuir con el colado continuo del acero. La chatarra de transformación es la segunda en aceptación y calidad; y la recogida, debido al desconocimiento de su origen, estado de presentación (hierros viejos mezclados con otros materiales), etc. es la de menor calidad y aceptación aunque desde el punto de vista de recuperación es la más importante.

La chatarra recogida en un año determinado proviene del hierro que se ha fabricado años atrás, según los ciclos de consumo de cada artículo férreo. Por lo tanto depende del hierro consumido en años anteriores y del ritmo de situación, de 10, 15, 20, años según los artículos, que va parejo con el nivel de desarrollo económico del país. Estos objetos sustituidos, anticuados, se convertirán en "chatarra recogida" en función de los precios del momento y los costes de su recuperación.

En la actualidad el potencial de esta chatarra es muy grande, piense sólo en los automóviles retirados por su antigüedad, o bien, por los actuales programas ecológicos que encontramos en todo el Mundo, y dependerá de la capacidad del sector para proceder a su recogida, procesamiento y clasificación adecuados para obtener las cualidades aceptables de chatarra deseadas por la siderurgia.

Aparte del automóvil, los objetos de consumo doméstico que se fabrican a base de hierro son esencialmente electrodomésticos, mobiliario y envases. Los primeros, una vez acabada su vida útil, o por lo menos cuando así lo considere el usuario del objeto que abandona, se convierten -los de más tamaño- en los llamados "voluminosos" y suelen ser recogidos por servicios especiales municipales o por recuperadores de chatarras para su reventa de segunda mano, desguace o reutilización de piezas.

Los de menor tamaño suelen ser recogidos por los servicios de recogida de basura. Respecto a los envases, son depositados en la bolsa de basura y recogidos como tal por los servicios correspondientes. No es elevada la presencia de objetos férricos en la basura y los análisis de composición dan cifras en torno al 3% para los férricos y próximos al 1% para los no-férricos.

Lógicamente no existen datos ni estimaciones al respecto de las chatarras férricas recuperadas de las basuras, lo que nos ha obligado a estimar, una vez más, la cantidad de chatarras recuperadas.

La única fuente bastante real de datos, son las plantas de tratamiento de basuras, con una recuperación media de chatarras férricas del 1,13% del peso total de la basura tratada.

La chatarra férrica, por el sencillo sistema de separación magnética es el material más fácil de recuperar y por ello alcanza la cifra mayor de todos los materiales recuperados (a excepción del compost) a pesar de encontrarse en la menor proporción de todos: alrededor de 3%, con lo que se alcanza una tasa de recuperación del 40%. Pero dado el escaso precio existente para la lata férrica, en algunas plantas se han abandonado en parte o del todo su recuperación.

La recuperación y posterior reciclaje de las chatarras metálicas no-férricas constituye un complejo entramado de procesos comerciales e industriales debido a la importancia y escasez de muchos de los metales recuperados. No existen datos de las cantidades recuperadas pero puede decirse que se realizan grandes esfuerzos debido a los altos precios de estos residuos en el mercado, teniéndose que acudir a la importación para cubrir la gran demanda existente.

La importación de residuos de cobre y sus aleaciones; de aluminio, de zinc y los movimientos que se observan en la mayoría de los metales raros (cobalto, bismuto, manganeso, berilio, cromo, germanio, vanadio, galio, hafnio, indio, renio y talio), cuyos residuos son generalmente importados algunas veces a precios muy elevados por existir una escasez de los productos, tanto en forma natural, como en desperdicios.

Es en este sector de los metales raros y de alto valor, donde el reciclaje se muestra como una alternativa cada vez más consolidada para poder garantizar el consumo creciente de estos metales. El oro y el platino se recuperan cada vez más de los equipos electrónicos y otros aparatos desechados. La plata se extrae habitualmente de las películas fotográficas (negativos, radiografías, etc.) y de muchos líquidos utilizados en los laboratorios fotográficos (para detalles sobre su recuperación, ver el libro *Work from Waste*, citado en la bibliografía).

Según la Oficina Internacional de las Estadísticas del Metal, de Londres, las chatarras de recuperación aportan el 36% del cobre que se ofrecen en el mercado (el 64% restante tiene su origen en la extracción minera), el 45% del plomo y el 24% del aluminio. Para el zinc el 23% según el Grupo Internacional de Estudios del Plomo y del Zinc, de Londres.

Los ahorros energéticos alcanzaron al obtener estos metales de la recuperación en lugar de la minería, según las fuentes citadas son del 96% para el aluminio, el 87% cobre, 63 zinc y 60% para el plomo.

Sin embargo, estos metales no tienen, salvo excepciones, presencia en las basuras, dado el reducido porcentaje con el que están presentes en los objetos que se desechan y su alto valor. Nadie va a tirar bronce, latón o níquel a la basura. Sólo el aluminio y el plomo se encuentran con relativa frecuencia. El primero en forma de envases (aunque se consume muy poco excepto en los aerosoles y tapas de las latas de bebida) y como elemento en los electrodomésticos y muebles (voluminosos). El segundo en forma de baterías eléctricas. Del estaño integrado en la hojalata (en proporción del 0,75%) puede recuperarse la mitad de esa cantidad.

En las plantas de tratamiento las cifras de separación de metales no-férreos son reducidas: 0,09% del total, cifra en la que está incluido el hierro cuando no se ha separado por vía magnética y va asociado a otros metales. Hoy se están incorporando a las plantas de reciclaje de basura los procedimientos avanzados de separación de metales no-férricos utilizados en la gran industria de la recuperación. El más espectacular es el de corriente en remolino (eddy current) que aprovecha los diferentes grados de conductividad de los metales, para separarlos al someterlos a campos electromagnéticos.

## 6.9. OTROS MATERIALES

Como se indicó al principio de este capítulo, es posible, en teoría, reciclar cualquier material que se produzca en la naturaleza, los problemas sustanciales para poder lograrlo son: la tecnología para su recuperación (al estado original) y los mercados adecuados para hacer rentable las inversiones en plantas recicladoras.

En la actualidad la tecnología se está inclinando al estudio de procesos de reciclado de productos de muy alto nivel contaminante, así como de alta producción para su consumo. Un ejemplo palpable son las llantas de los vehículos de autotransporte, los cuales ya se analizaron.

Dentro de los recientes avances en lo que a reciclado se refiere podemos encontrar trabajos relacionados con:

- \*baterías y pilas eléctricas, las cuales producen un elevado grado de contaminación por estar constituidas ya sea por ácidos y álcalis, mercurio, plomo, etc., los cuales se filtran fácilmente al subsuelo en los rellenos sanitarios al oxidarse y perforarse la cápsula metálica que los contiene.
- \*residuos de construcción y demolición
- \*lámparas fluorescentes
- \*material fotográfico y de artes gráficas
- \*residuos de jardinería
- \*artículos electrodomésticos
- \*residuos peligrosos caseros

Así también se puede observar que a nivel industrial, existen diversas industrias que debido, ya sea a imposiciones legislativas en materia ecológica, o bien, por convencimiento propio, han comenzado a desarrollar técnicas para eficientar al máximo su producción, disminuyendo senciblemente sus residuos, así como la reutilización y en algunos casos, el reciclado de residuos de materias primas para la elaboración de subproductos, en algunos casos de menor calidad, pero al fin útiles para ciertos sectores de la población.

Por lo anterior me es imposible continuar presentando casos específicos de procesos actuales y en investigación de reciclado de materiales, por lo que en la bibliografía se presentan algunas referencias para aquella persona que se interese por un material específico.

Lo que si es interesante presentar como corolario de los procesos de reciclado es una gráfica obtenida en 1989 en los Estados Unidos en donde se muestra claramente sus índices de reciclamiento por material debido al precio de compra que este presenta, observando que el aluminio es hoy por hoy el material de mayor reciclamiento en el mundo.

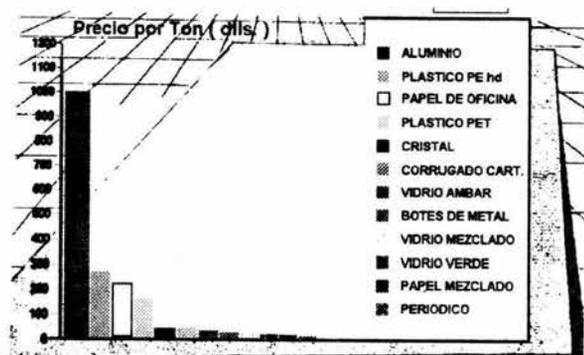


Fig. 6-12 Precios de compra promedio para los materiales susceptibles de reciclado en 1989 en E.U.A.

**CAPITULO VII**

**ESTRATEGIAS MODERNAS**

**PARA EL EFICIENTE**

**MANEJO DE LA BASURA.**

## ESTRATEGIAS MODERNAS PARA EL EFICIENTE MANEJO DE LA BASURA.

### 7.1 LOS AVANCES EN EL APROVECHAMIENTO DE LAS BASURAS EN EUROPA Y EEUU

La OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) estimaba que en 1991 sus países miembros (Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, España, EEUU, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Irlanda, Islandia, Italia, Japón, Luxemburgo, Noruega, Nueva Zelanda, Portugal, Reino Unido, Suecia, Suiza y Turquía) producían unos 420 millones de toneladas de basura urbana, de los cuales unos 140 millones correspondían a residuos de envases y embalajes. La CEE genera el 36% de estos residuos, lo que significa que más de 50 millones de Ton. de vidrio, metales, plásticos, papel y cartón, maderas, etc. se convierten en residuos como consecuencia del empleo masivo de envases y embalajes. De estos 50 millones, casi el 20% se recicla (la mayoría corresponde a papel y cartón) y el resto se incinera o se deposita en vertederos. En las tablas 7-1 y 7-2 se pueden observar el caso particular de los residuos de envases.

Dice la Comisión de la CEE, en el comunicado COM(88)71 *Des normes plus strictes sont proposées pour l'incineration des déchets municipaux*, que la incineración de basuras urbanas, 27 millones de Ton. en 1988, produce las siguientes toneladas de contaminantes peligrosos: 28,000 de cenizas, 570 de plomo, 31 de cadmio, 68 de mercurio, 144,000 de ácido clorhídrico y 1,150 de ácido fluorhídrico, y afirma que "también se pueden producir dioxinas y sustancias organocloradas cuando las condiciones de combustión en el horno no son las apropiadas".

La EPA (Agencia de Protección Ambiental de los EEUU) reconoció en su informe del 28 de Abril de 1992, que las últimas investigaciones señalan que las dioxinas, además del cáncer, ya conocido, provocan en los seres humanos alteraciones en los sistemas inmunitario y reproductor con dosis incorporadas por el cuerpo humano cien veces inferiores a las asociadas al cáncer. Por otro lado, en la página 3 del documento COM(92)9 final *Explanatory Memorandum*, la Comisión Europea admite que "no existe ningún método seguro para garantizar que se respete el límite legal establecido para las emisiones de dioxinas". Sobre la contaminación del suelo y subsuelo, es decir las aguas subterráneas, apenas existen estudios y se desconoce en la mayoría de los países sus graves consecuencias ambientales.

Tabla 7-1 RESIDUOS DE ENVASES Y EMBALAJES EN LA OCDE

Región generadora	Millones de Tm	%
CEE	50.5	36
Países europeos de la OCDE	6.0	4
Norteamérica	62.0	44
Asia / Pacífico	21.5	15
Total	140.0	100

Fuente: Informe de la OCDE de 1991

Ante esta peligrosa situación, la mayoría de los países afectados han ido desarrollando con gran rapidez una serie de instrumentos y medidas muy variadas, que se pueden dividir básicamente en tres grupos: instrumentos fiscales, instrumentos técnicos, y acuerdos y medidas económicas.

*Tabla 7-2 RESIDUOS DE ENVASES Y EMBALAJES GENERADOS Y RECICLADOS EN LA OCDE*

Sector de procedencia	Millones de Ton generados	% total	Millones de Ton reciclados	% reciclado
Doméstica	25	49.5	2.5	10
Servicios	15	29.7	2.5	17
Industrial	10.5	19.8	4.5	43

Fuente: Informe de la OCDE de 1991

### 7.1.1 INSTRUMENTOS FISCALES.

El **depósito-consigna**, establecido desde hace muchos años, ha aumentado su importancia e importe. En trece países se cobra al consumidor cierta cantidad, que recupera a la devolución del envase. Se aplica normalmente a envases rellenables, pero en algunos países, como Suiza y Alemania, también a los de un solo uso y según el tipo de envase y objetivo (cumplido o no) de reciclaje y relleno.

Las tasas sobre materias primas y envases tienen por objetivo reducir su consumo y la contaminación correspondiente, y quedan exentas de ellas las materias primas secundarias o recicladas. Se aplican en EEUU a los envases que contengan sustancias peligrosas, y en Noruega, Finlandia, Suecia, Dinamarca, Canadá e Italia a los envases no rellenables (por envases de 10 a 106 centilitros). En Italia se aplica también a las bolsas de plástico.

Las tasas de vertido e incineración se aplican desde 1987 en Dinamarca, y desde 1991 sólo para vertederos en Alemania. Francia ha elaborado una propuesta en 1992 para tasar lo anterior. Los fondos se dedican a promocionar el reciclaje y el uso de materias primas recuperadas, saneamiento de vertederos, etc.

### 7.1.2 INSTRUMENTOS TECNICOS.

Están prohibidos los envases de PVC en Suiza, Suecia y Austria, y en Holanda y en países nórdicos en el año 2000; las latas para cerveza en los grandes comercios de Munich; los envases no-retornables para diversas bebidas según el país, en Dinamarca y Suecia; el empleo de materiales peligrosos en la fabricación de envases en Bélgica, Holanda y países nórdicos para el año 2000; el vertido controlado y la incineración de residuos de envases y embalajes en Alemania.

En cuanto a la reducción de la generación de residuos de envases, en el año 2000 Holanda producirá el 10% menos que la cantidad de residuos producidos en 1986, y en Australia el 50% de los producido en 1986.

En Canadá, un Protocolo nacional estableció que en relación a 1988 los residuos de envases deberán reducirse el 20% en 1992, el 35% en 1996 y el 50% en el 2000, la mitad mediante la reducción en origen y relleno, y la otra mitad reciclando. En Suiza los objetivos de reducción para 1993 serán, en relación con las cantidades de 1988 el 55% para vidrio, 153% PET, 33% aluminio y 42% hierro. En Bélgica se ha acordado la eliminación de sustancias peligrosas y la reducción de residuos aunque sin cuantificar, y en Dinamarca la reducción del PVC en los envases será del 52% en 1993 y el 83% en el 2000.

En los países nórdicos, el Consejo Nórdico estableció en 1990 un programa de medidas cuyos objetivos para el 2000 son reducir el volumen de envases y embalajes en 15%, aumentar el 75% los envases reciclables para bebidas y el 25% de los detergentes, teniendo que aprovecharse el 80% de todos los envases y quedando prohibida la utilización de PVC y otros materiales peligrosos en la fabricación de envases.

Los objetivos cuantitativos de reutilización y reciclaje, son acuerdos voluntarios o impuestos por la legislación, según los países. Las leyes alemanas obligan a la recogida de entre el 80% y el 90% de todos los residuos de envases y embalajes para ser reciclados, como mínimo entre el 64% (del papel y cartón, plástico y materiales compuestos) y el 72% (vidrio, hojalata y aluminio) del total de embases y embalajes usados en 1995. Las leyes italianas obligan a reciclar en 1993 el 50% del vidrio y latas, y el 40% de los envases de plástico para bebidas. En Bélgica se han desarrollado acuerdos voluntarios en Flandes, con el objetivo de reciclar el 28% de la basura doméstica en 1995 y el 46% en el 2000; en Bruselas y Valonia los acuerdos voluntarios están hechos para pasar a ser ley y establecen los siguientes objetivos de reciclaje: 80% de metales, 75% de vidrio, 30% de plásticos y 25% de papel en 1995, y llegar al 80% de metales y vidrio, y al 60% de plásticos y papel en el 2000. En Holanda el 50% de los residuos de envases y embalajes deberán recoger selectivamente el 90% de estos residuos y reciclar el 60% según acuerdo voluntario establecido entre el gobierno y sectores industriales y comerciantes; obligatoriamente se deberá recoger por separado los residuos orgánicos fermentables, y proceder a su compostaje en todas las poblaciones el 1 de enero de 1994. El gobierno del Reino Unido ha manifestado que para el año 2000 se deberá reciclar o compostar el 25% de los residuos domésticos.

### **7.1.3 ACUERDOS Y MEDIDAS ECONOMICAS.**

Los acuerdos pueden derivarse de un marco legal, impositivo, como en Alemania y Austria, o totalmente voluntario, como en Holanda, Bélgica, Suecia y ocho estados de EEUU. Francia promueve el acuerdo según la base legal existente y posteriormente lo eleva al rango legal (Decreto de abril de 1992). Los acuerdos se establecen para fomentar la reducción y la recuperación mediante el relleno y el reciclaje, de forma que las responsabilidades jurídicas y costos económicos se repartan entre los productores de materiales, envasadores, distribuidores, consumidores y administraciones central y local. El de mayor envergadura es el establecido en Alemania en 1991, en el Reglamento conocido como Decreto Töpfer. Pero el acuerdo holandés contiene objetivos que no considera el caso alemán.

Cada país maneja de manera particular a los numerosos elementos que constituyen los desechos sólidos municipales, por lo que las políticas antes mencionadas son un ejemplo de uno de los campos más preocupantes del mundo industrializado. Hay que considerar la importancia económica y política de cada país para observar como se une por imperativo ecológico el nuevo binomio de **recuperación + reciclaje** al tradicional producción + distribución.

La actual unanimidad prácticamente conseguida entre instancias gubernamentales (CEE, algunos gobiernos y hasta sectores industriales) sobre las tres erres como solución al problema de los residuos: **Reducir, Recuperar y Reciclar**, podría extenderse hasta alcanzar las propuestas de muchos movimientos ecologistas e incluir dos erres más:

**Reutilizar y Re-pensar**, algo cada vez más aceptado por las administraciones de los países más desarrollados para algunos productos, así como la Reingeniería de los productos y sus embalajes, que cada vez con más aínco los departamentos de diseño industrial se esfuerzan por elaborar productos con especificaciones "**ecológicas**".

## **7.2 EVOLUCION DE LA LEGISLACION MEXICANA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES**

En la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos (1917) se establece que, "bajo criterios de equidad social y productividad, se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolas a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente".

Sin embargo, tuvieron que pasar 54 años antes de que se elaborara la primera Ley Federal para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y cinco más para que se formularan los tres primeros reglamentos que la hicieron aplicable. Y ninguno de ellos incluyó el concepto de residuos sólidos.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (LGEEPA), define por primera vez en 1988 los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo, ya sea por residuos municipales, industriales o peligrosos; y da inicio a la reglamentación para su manejo adecuado.

Un resumen de los artículos de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente se puede observar en la tabla 7-3

La Ley define diversos aspectos relativos al manejo y disposición final de los residuos sólidos, tal como aparece resumido en el cuadro anterior. Se han publicado hasta el momento 19 NOM (voluntarias) y están en elaboración tres NOM (obligatorias) en lo que se refiere a residuos sólidos, las cuales se presentan en la tabla 7-4.

Tabla 7-3 LGEEPA sobre residuos sólidos.

Artículo	Contenido
6	El servicio de limpia y la regulación del manejo y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos le competen a las entidades federativas y a los municipios.
9	La Sedesol es responsable de expedir las NOM para el manejo y disposición final de cualquier residuo, en coordinación con la Secretaría de Salud. El Departamento del Distrito Federal es responsable de proponer la expedición de disposiciones que regulen el manejo y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos, observando las NOM; y de establecer los sitios para su disposición final.
134	La generación de residuos sólidos municipales (RSM) e industriales debe ser racionalizada, incorporando técnicas para su reuso.
135	Lo anterior debe ser considerado para la operación de los sistemas de limpia y la disposición final de los RSM en rellenos sanitarios, al otorgar autorizaciones para la instalación y operación de confinamientos o depósitos de residuos.
136	Debe evitarse que los residuos acumulados o infiltrados en los suelos sean factores contaminantes y los alteren nocivamente en su proceso biológico o su aprovechamiento, provocando riesgos y problemas de salud.
137	Los sistemas de manejo y disposición final de los RSM quedan sujetos a la autorización de gobiernos estatales o municipales.
138	La Sedesol celebrará acuerdos de coordinación y asesoría con las autoridades para implantar y mejorar sistemas de manejo de RSM, incluyendo la elaboración de inventarios y fuentes generadoras.
139	Todo depósito de material contaminante en el suelo se sujetará a lo que disponga esta Ley.
141	La Secofi promoverá la fabricación y utilización de empaques y envases cuyos materiales reduzcan la generación de residuos sólidos.
142	No se autoriza la importación de residuos para su disposición final en territorio nacional. El tránsito de residuos no peligrosos por el territorio con destino a otra nación se autorizará sólo cuando el país de destino lo consienta.

**Tabla 7-4 NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE RESIDUOS MUNICIPALES**

Clave	Nombre	D.O.F.
NOM-AA-032-1976	Determinación del fósforo total. Método del fosfovanadeomolibdato.	28-v-1976
NOM-AA-031-1976	Determinación del azufre.	2-VIII-1976
NOM-AA-016-1984	Determinación de humedad.	10-XII-1984
NOM-AA-018-1984	Determinación de cenizas.	10-XII-1984
NOM-AA-024-1984	Determinación de nitrógeno total.	10-XII-1984
NOM-AA-025-1984	Determinación de PH-Método potenciométrico.	10-XII-1984
NOM-AA-092-1984	Determinación de azufre.	10-XII-1984
NOM-AA-091-1985	Terminología de residuos sólidos.	15-III-1985
NOM-AA-015-1985	Muestreo. Método de cuarteo.	18-III-1985
NOM-AA-019-1985	Peso volumétrico in situ.	18-III-1985
NOM-AA-022-1985	Selección y cuantificación de subproductos.	18-III-1985
NOM-AA-052-1985	Preparación de muestras en el laboratorio para análisis.	18-III-1985
NOM-AA-021-1985	Determinación de materia orgánica.	8-VIII-1985
NOM-AA-033-1985	Determinación del poder calorífico superior.	8-VIII-1985
NOM-AA-061-1985	Determinación de la generación.	8-VIII-1985
NOM-AA-067-1985	Determinación de la relación carbono/nitrógeno.	8-VIII-1985
NOM-AA-094-1984	Determinación del fósforo total.	4-XI-1985
NOM-AA-068-1986	Determinación del hidrógeno a partir de materia orgánica.	14-IV-1986
NOM-AA-080-1986	Determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica.	14-VII-1986

La ley federal de Metrología y Normalización, del 16 de julio de 1992 replantea toda la normatividad vigente, al hacer necesario aplicar un análisis costo-beneficio que sustente a las NOM vigentes. Ante esto las anteriores NOM que existían para el manejo de los residuos sólidos municipales se convierten en Normas Mexicanas (NMX), las cuales son normas de referencia optativas.

#### **NORMAS OFICIALES MEXICANAS PROGRAMADAS EN RELACION CON LA GESTION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.**

- Condiciones que debe reunir el sitio destinado a relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos municipales\*
- Requisitos para el diseños de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias\*
- Condiciones para el control de la operación de un relleno sanitario.
- Procedimientos para la clasificación, separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos generados en hospitales y establecimientos que presten atención médica.
- Requisitos para la impermeabilización de celdas de un confinamiento controlado

\*Anteproyectos de NOM publicados el el DOF el 22-06-94

El Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental publicó el seis de mayo de 1994, su Programa nacional de Normalización en el cuál están planeadas para su elaboración, revisión y posterior publicación cinco NOM relacionadas con la gestión de los residuos sólidos municipales.

### **7.3 LEGISLACION DE LA GESTION AMBIENTAL.**

#### Ordenamiento ecológico.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su sección II, capítulo V, establece en el artículo 19 los criterios a considerar por el ordenamiento ecológico y, en el artículo 20, que el ordenamiento ecológico será considerado en la regulación del aprovechamiento de los recursos naturales, de la localización de la actividad productiva secundaria y de los asentamientos humanos.

La instrumentación jurídica del ordenamiento ecológico se encuentra actualmente en integración, mediante la realización de proyectos relativos a la determinación de criterios ecológicos para actividades agrícolas, pecuarias, portuarias y petroleras.

## Impacto Ambiental.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su capítulo V sobre Instrumentos de la Política Ecológica, establece disposiciones relativas a la evaluación del impacto avance en el establecimiento de la normatividad ecológica en materia de residuos industriales peligrosos y no peligrosos.

### **PERSPECTIVAS AMBIENTALES**

Impulsar nuestras potenciales, combatir las deficiencias y satisfacer las necesidades más elementales deben ser las metas para elevar la productividad y el bienestar de la sociedad.

Es tiempo de integrar y poner en práctica -con el concurso de todos los sectores de la sociedad- lo que se constituirá en el marco de acción no tan sólo para el próximo bienio, sino para el fin del presente siglo y el inicio del XXI.

De ahí que deba aprovecharse la oportunidad que brinda la integración del presente informe sobre el Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, para plantear algunos elementos de política y estrategia que podrían servir de guía para establecer acciones programáticas a emprender en los años por venir, con objeto de lograr un desarrollo sustentable.

#### **7.3.1 NUEVO ESQUEMA DE REGULACION ECOLOGICA:**

La urgencia de atender los problemas ambientales del país propició en el pasado que la política ecológica no considera de manera explícita y sistemática los riesgos a la salud y los ecosistemas de la misma forma como lo hizo con los costos de la protección ambiental y la conservación de los recursos naturales.

En este sentido, la gestión ambiental se había orientado principalmente a solucionar aquellos problemas que causaban intensa preocupación a la sociedad o que eran considerados prioritarios, en relación con el cumplimiento de la legislación ambiental.

Las bases en las que se ha sustentado la normatividad ecológica hasta ahora incluyen: la frecuencia de servicios requeridos para atender los problemas ambientales; la percepción pública de la importancia de las normas para el personal técnico; los compromisos adquiridos internacionalmente y las tendencias mundiales; la convivencia de establecer conductas sectoriales de beneficio ecológico; las ventajas de gestionar servicios ambientales en los estados y municipios y la concertación con asociaciones industriales y sectores productivos, en consideración con el posible beneficio a la productividad sustentable al subsector en cuestión.

La experiencia ha demostrado que -pese a haberse obtenidos resultados importantes en cuanto a la aplicación del sistema normativo vigente- en algunos casos ha habido repercusiones en cuanto a costos significativos para la sociedad, sin que se haya logrado una mejoría sustancial de las condiciones ambientales.

En virtud de lo anterior, se necesita replantar la manera de enfocar los problemas ambientales y diseñar una estrategia basada en el establecimiento de prioridades y metas que beneficien a la sociedad y a los ecosistemas, con los menores costos sociales posibles, distribuidos a través de la gestión ambiental correspondiente.

Muchos son los problemas ambientales y en el corto y mediano plazos ni la sociedad ni las autoridades están en posibilidades de atenderlos todos al mismo tiempo y con igual eficacia.

Con las recientes reformas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y con los cambios habidos en diversos órganos del gobierno -que dieron origen a la creación de la Sedesol como órgano formulador de la política ecológica del país (y con ella al Instituto Nacional de Ecología y a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente)- se sentaron las bases para transitar hacia una política de planificación sustentada en el análisis de los riesgos de los ecosistemas y de las salud, originados por los problemas ambientales y los beneficios asociados con su solución.

Con el propósito de instrumentar esta política ecológica de manera congruente con las necesidades políticas y económicas del país, se planteó como prioridad el siguiente objetivo:

Integrar un nuevo esquema de regulación ecológica, basado en el establecimiento y evaluación permanente de prioridades y metas ecológicas nacionales.

A este respecto, se ha iniciado la integración de un marco conceptual y programático para que la conducción de la política ecológica nacional tenga una base de sustentación construida mediante una calificación sistemática y permanente de los riesgos ecológicos que generan las actividades productivas y de los costos que para la sociedad implica el cumplimiento de la normatividad ambiental y de la política ecológica nacional.

Para tal efecto, se encuentran en proceso de identificación los problemas ambientales que serán sometidos a evaluación de riesgos. De allí podrá procederse a jerarquizar y establecer metas de atención a corto, mediano y largo plazos, con base en el análisis costo-beneficio-efectividad.

Aunque a ello, se han establecido las estrategias a seguir para alcanzar las metas fijadas, identificando para cada problema los factores involucrados, los requerimientos normativos, presupuestales y tecnológicos; así como los instrumentos económicos y de mercado, de coordinación y concertación necesarios para diseñar y poner en marcha los planes de acción para solucionar los problemas ambientales de primer orden.

Así pues, dentro de este esquema, los instrumentos normativos y programáticos que se apliquen deberán ser de alto beneficio para el ambiente y tener el menor costo posible para la sociedad. Deberán, además, incorporar los instrumentos económicos y los mecanismos de mercado que hagan eficiente el cumplimiento de la legislación ambiental y la realización de programas de protección al ambiente.

El aprovechamiento sustentable de los recursos naturales será, a su vez, un punto nodal del nuevo esquema de regulación ecológica propuesto; mismo que tendrá como base al fortalecimiento de la gestión ambiental por parte de las entidades federativas y los municipios, mediante la instrumentación de acciones de desconcentración y descentralización.

Dada la importancia de evaluar el desempeño de la gestión ambiental, a nivel nacional se ha iniciado la integración de un conjunto de indicadores ambientales que orienten la toma de decisiones y el proceso productivo del país hacia un desarrollo sustentable.

Dichos indicadores incluyen la selección de series de bases de datos sobre parámetros que permitan determinar el impacto de la gestión en la calidad ambiental y el estado de los recursos naturales; integrar la preocupaciones ambientales en las políticas sectoriales; y más concretamente, incorporar las consideraciones ambientales en las políticas económicas.

#### **7.4 BASES PARA UNA ESTRATEGIA DE DESARROLLO SUSTENTABLE.**

La política ecológica de México tiene profundas raíces en los valores más arraigados de la sociedad; en las características de su territorio y de sus recursos; en las prioridades y aspiraciones nacionales. Asimismo, refleja los compromisos adquiridos al suscribir convenios internacionales o ser partícipe de la integración de propuestas de acción para promover el desarrollo sustentable.

Ejemplo de los anterior son los compromisos políticos y jurídicos relacionados con los cinco principales productos de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo, realizada en 1992 en Río de Janeiro, Brasil:

- 1.- Declaración de Río
- 2.- Agenda XXI
- 3.- Declaración no Vinculante de Principios sobre Bosques.
- 4.- Convención Marco sobre Cambio Climático
- 5.- Convención Marco para la Protección de la Diversidad Biológica.

Se abre la posibilidad de actuar al unísono, gobierno y sociedad, para estructurar los programas de acción que llevarán al cumplimiento de dichos compromisos y, con ello, a progresar hacia el logro de las metas fijadas.

Tales programas se inscribirán en dos grandes rubros: las políticas generales de nuestro país y la problemática y prioridades del ambiente y el desarrollo en México, cuyos aspectos esenciales de base se refieren a continuación.

#### **AREAS PRIORITARIAS PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE:**

- 1 Atmósfera y cambio climático.
- 2 Recursos hidrológicos.
- 3 Océanos, mares y zonas costeras.
- 5 Diversidad Biológica.
- 6 Agricultura sustentable y desarrollo rural.
- 7 Biotecnología.
- 8 Erosión y desertificación.

#### **9 Residuos municipales.**

La reducción de la generación de residuos y su reciclado constituyen el eje de la política nacional en la materia, así como la participación de la iniciativa privada y de los grupos sociales organizados en la gestión de los desechos sólidos municipales.

#### **10 Residuos peligrosos.**

Al igual que ocurre con los municipales, la política relacionada con los residuos peligrosos está centrada en reducir su generación, en primer término, lo que se suma al reciclaje, tratamiento y disposición final ambientalmente adecuado (confinamiento). El combate al tráfico ilegal de residuos peligrosos constituye otro aspecto de gran importancia, para cuya instrumentación deben establecerse mecanismos apropiados.

#### **11 Productos químicos tóxicos.**

A partir de estos grandes lineamientos se trabaja en estructurar lo que será el Programa México XXI, que contará con la participación de todos los sectores de la sociedad e integrará el programa de acciones que nuestro país desarrollará para cumplir con los compromisos contraídos en la Cumbre de la Tierra.

### **7.5 EL MANEJO DE LA BASURA Y SUS PRIORIDADES: UNA POLITICA AMBIENTAL**

Un programa nacional de control de los desechos debe orientarse alrededor de cuatro ejes principales:

- limitar la producción de los desechos.
- conocer y controlar sus movimientos y la evolución de sus características;
- asegurar, cuando es posible, su valorización o su destrucción;

- “ conseguir mejoras en las condiciones de almacenamiento y en el vertido de los desechos residuales, que deben ser estrictamente limitados.

Estos corresponden a los principios básicos de la política comunitaria en materia de medio ambiente (acción preventiva, reducción desde la fuente).

La política curativa llevada a cabo desde hace mucho tiempos, ha logrado avances importantes a lo largo de la historia optimizando la recolección. Pero concentró los flujos sin distinción por razones de racionalidad económica, sin preocuparse de su destino final, del centro de tratamiento o del vertido. considerando que debe absorber todo y resolver así el problema de manera definitiva.

Hoy en día, esta política se topa con sus propios límites. Los volúmenes crecen y se reducen las posibilidades de descarga. Hay que atacar el mal por la raíz y llevar a cabo, con prioridad, una política de prevención, con el fin de disminuir el volumen y la nocividad de los desechos producidos.

### **Las medidas propuestas**

#### **Limitar la producción y la nocividad**

- “ promover las tecnologías limpias;
- “ desarrollar los ecoproductos. Todo productor deberá estudiar los medios de eliminación de un producto antes de su puesta en el mercado y proveer a los usuarios dicha información.

#### **Conoce y controlar extensión y evolución**

- “ Se propone obligar a los principales productores de desechos a realizar un diagnóstico auditor de su "gestión-desechos"; tomando como tiempo límite 10 años para la totalidad).
- “ Se pretende efectuar un control eficaz de los transportes transfronterizos de desechos.
- “ Implantación de un observatorio nacional de desechos que cuenta con relevos regionales, que permita la recolección y la síntesis de las informaciones estadísticas necesarias para la definición y evaluación de las políticas "desechos".

#### **Aumentar la valorización**

- “ Desarrollar la valorización "materias primas o energéticas de los desechos urbanos" (objetivo mínimo: para todas las aglomeraciones de más de 100 000 habitantes, por lo menos 15% de los desechos urbanos entregados a los circuitos de recuperación).

- Crear el mayor número de plantas de desechos en los próximos cinco años, contemplando la necesidad de instalar una planta en cada ciudad que sobrepase una población de 500 000 habitantes.
- Imponer al productor restricciones con respecto a la selección de los desechos industriales banales.

El objetivo propuesto de un Plan Nacional para el Medio Ambiente es elevar la tasa global de reciclado de las materias primas industriales (exceptuando el cascajo) de un tres por ciento (en 1994) a un treinta por ciento (en el año 2000)). Este plan pretende además incitar la realización de esfuerzos particulares en ciertos casos como el vidrio, los materiales plásticos (en el que la tasa de reciclado + recuperación no rebasa 10%), el cascajo, los productos que integran grandes cantidades de metales pesados (pilas de mercurio, cadmio...) y los solventes... Así mismo, se hará un esfuerzo para reciclar mejor la materia orgánica de los desechos urbanos o agroalimentarios, con el fin de contribuir a la conservación de la calidad de los suelos.

#### **Asegurar un tratamiento óptimo:**

- Instrumentando planes departamentales de recolección y de tratamiento de los desechos domésticos, y planes de eliminación regional o interregional de los desechos industriales. En ambos casos, se favorecerían el reciclado y la valorización, limitando el uso de la descarga de la que no puede ser ya tratado o destruido.
- Respetando estrictamente las normas de funcionamiento de las instalaciones de tratamiento.
- Desarrollando la investigación y la dinamización del sector de las eco-industrias. Se emprenderá un programa de investigación y desarrollo técnico "control de los desechos" con los industriales de este sector.

#### **Un nuevo concepto de almacenamiento:**

Establecido con claridad y precisión la función de la descarga en un proceso de gestión de los desechos: almacenamiento de los residuos que resultan de un tratamiento previo de los desechos cuando se les extrae la parte valorable o reducir su nocividad.

En el plan reglamentario, esto conlleva a:

- reducir las cantidades de desecho tóxicos y de materia orgánica de los desechos urbanos (recolección selectiva de los desechos tóxicos, compostaje de los desechos verdes...);
- restringir algunas categorías de los desechos industriales admisibles en descarga de clase I (los desechos de la descontaminación);

- “ reforzar las condiciones de explotación de los vertidos (capacitación del biogas, estancamiento artificial para los vertidos de la clase II.);
- “ hacer obligatoria la cobertura por un seguro o por una garantía bancaria de los gastos que resulten de una completa rehabilitación de los sitios explotados.

El objetivo perseguido, a un plazo de diez años, es de minimizar los tiraderos a cielo abierto como sistema de disposición final, observado en el interior de la República Mexicana y en la zona Metropolitana disponer los desechos en rellenos sanitarios y en plantas de tratamientos.

Se realizará un esfuerzo importante en esos diez años a fin de eliminar los múltiples tiraderos (explotados sin autorización por los municipios) y reabsorber los antiguos depósitos y baldíos industriales contaminados, herederos del pasado.

**El conjunto de estas medidas van acompañados de un cierto número de acciones con mira a:**

- “ Sensibilizar a los actores (industriales, colectividades, consumidores) de la necesidad de una política coherente y global de dominio de los desechos, para que se adhieran a las acciones puestas en obra, tanto en el desarrollo de eco-productos y recolecciones selectivas, como en la necesidad de instalaciones de tratamiento.
- “ Desarrollar acciones educativas en todas las etapas de la escolaridad e incluso en la universidad, integrando la noción de gestión de los desechos en los programas, y realizando y difundiendo documentos pedagógicos.

**Para financiar este programa se necesita:**

- “ Aplicar una cuota sobre los vertidos, pagada por el gestor público privado. Esta se basaría en la cantidad de desechos y la categoría a la que pertenecen.
- “ Crear un impuesto departamental sobre los desechos domésticos, pagado por los contribuyentes. Este impuesto alimentaría un fondo administrado por el consejo general para efectuar las inversiones necesarias para la realización del esquema departamental de los desechos de origen doméstico. Los municipios podrían obtener la exoneración parcial o total por su administración si participan en el esquema departamental, si organizan clasificaciones selectivas y recuperación y si tratan sus desechos en un centro autorizado.
- “ Se ha considerado el pago de otra cuota por los industriales, sobre los productos susceptibles de producir desechos para los cuales los sistemas de reciclado deben ponerse en marcha imperativamente (ejemplos: botellas PVC, llantas, cascajo...).

## 7.6 HACIA UN SISTEMA INTEGRAL PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.

Entre los perjuicios que desarrollan nuestra sociedad industrializada, uno de los mayores es la proliferación de la basura doméstica en las ciudades.

El volumen del desecho que deben ser evacuado se ha vuelto tan importante, que la extensión de los tiraderos no pueden considerarse ya como una solución aceptable. Además del aspecto estético, para la gente consciente, cada día es mayor la cantidad de basura tirada en las cercanías de las ciudades. Este descuido representa un peligro real para la salud de las poblaciones ya que provoca olores, plagas y enfermedades. No se puede olvidar tampoco, que los tiraderos atraen a la parte más pobre de la población, quien se instala en estos lugares insalubres para vivir, y desde luego, forma un sector social inadaptado.

La basura tiene la particularidad de representar una cierta riqueza para quien sabe aprovecharla. Por ejemplo, en varios países, se le incinera con el fin de lograr la energía necesaria para la calefacción y la fuerza eléctrica. Considerando el bienestar del pueblo, un desarrollo urbano equilibrado, mejores condiciones de sanidad y la preservación ecológica, se buscó una solución alternativa al problema de la basura doméstica, de tal manera que no represente ningún atentado contra la salud y la ecología, después de ser concentrada en los lugares para ellos destinados.

He llegado a la conclusión que no existe sistema individual capaz de solucionar tajantemente el problema de la basura. Pasando por alto la selección previa de los sistemas tradicionales de tratamiento por lo que adopto, en el marco de un tratamiento global, una solución adaptada a cada tipo de desecho.

El impresionante crecimiento de volúmenes de desechos por tratar, la diversidad de los materiales recolectados, la complejidad cada vez mayor de su naturaleza, son problemas que sólo pueden resolver soluciones tecnológicas globales e innovadoras.

En adelante, la eliminación de los desechos ya no será el resultado de una operación única, sino dependerá de intervenciones complementarias o alternativas.

La valorización de los desechos para: **REDUCIR, REUSAR, RECICLAR, RECUPERAR** (transformar), y **RE-PENSAR** primordialmente en los elementos que producen la basura, para que desde la raíz se combata su producción (REINGENIERIA del producto), en estas cinco premisas se resumen lo que he llamado el "ciclo virtuoso" del desecho.

Un caso ejemplar y único que considero resume adecuadamente mis opiniones y muestra vivencialmente los alcances de un adecuado estudio económico-ingenieril es el de BAYONE, un distrito del sureste de Francia que desarrolló un complejo industrial aplicando todas las técnicas existentes de valorización para sus desechos, bajo un sistema denominado TREBOL.

Cabe recalcar que éste tipo de sistema se constituye como un paliativo si no se encuentra inmerso en una Política Ambiental acorde con la realidad que se desarrolle, ya que al ser nula o casi nula la participación de todos los sectores de la sociedad en su promoción y desarrollo, es inminente su fracaso a mediano plazo, o hasta que los fondos económicos lo mantengan con vida.

### **El Sistema Trébol.**

#### **Seleccionar-Tratar-Transformar.**

La coherencia de este sistema reside en una acción doble: económico y ecológica. Consiste en recuperar los desechos al máximo con el fin de obtener un mínimo de residuos. Este sistema no propone por ende una solución única de tratamiento, sino tratamientos adaptados a cada tipo de desecho para, si es posible, valorizar la mayor parte y destruir lo que queda. Todo ello, por supuesto, en el mismo lugar. La selección permite reducir desde la primera fase el volumen de los desechos por tratar. Se clasifican los diferentes tipos de productos y se tratan a través de varias operaciones que eliminan su carácter nocivo y contaminante.

Según sea el caso, el tratamiento puede ser el compostaje, la incineración general o específica. Para dar valor agregado a los residuos se les hace pasar de la categoría de "desecho" a la de "sub-producto".

### **LA SELECCION.**

Esta consiste en separar en fracciones finas, medianas y grandes la totalidad de los desechos recibidos.

El flujo de desechos pasa por una criba primaria, con capacidad de 20 toneladas por hora, en la cual mallas de tamaños diferentes sirven de tamiz. Al pasar por la criba, las diferentes materias se recogen y se someten a tratamientos específicos.

\* Los pedazos de vidrio, las piedras y las fracciones finas e inertes se eyectan por vibración sobre una mesa densimétrica para ser evacuados directamente hacia las descargas.

\* Las chatarras y los plásticos de pequeñas dimensiones son separados, los primeros mediante una selección magnética, los segundos mediante un sistema de rebote y adherencia. Después, las chatarras se transforman, los plásticos de baja calidad son incinerados y los otros almacenados.

\* Los desechos voluminosos, tales como grandes pedazos de cartón y otros embalajes, se separan manualmente y posteriormente se compactan para ser vendidos. Las bolsas de basura aún llenas, se abren y regresan al sistema general de la criba primaria de selección. En esta etapa, la selección ha permitido disociar los desechos recuperables combustibles o susceptibles de ser transformados en abono.



## **LOS TRATAMIENTOS.**

Para hacer desaparecer toda característica contaminante de los desechos restantes, el sistema Trébol ofrece varios tipos de tratamientos, adaptados a la naturaleza de cada desecho. Los productos fermentescibles se transforman en compost, los fragmentos combustibles se incineran, los desechos hospitalarios reciben una incineración específica y los inertes se ponen finalmente en un relleno sanitario.

### **EL COMPOSTAJE.**

Consiste en provocar la fermentación en higienizadores, o torres de fermentación, de las materias orgánicas que provienen de la selección. Mezcladas con los lodos de las estaciones de depuración, y humidificadas, estas materias bajan progresivamente por la torre, sufriendo una fermentación tal que, durante una semana, la masa continuamente aereada puede alcanzar de modo natural temperaturas superiores a los 60°C. La fermentación destruye los germenos patógenos (higienización) y al final del proceso, se obtiene un compost bruto.

### **LA INCINERACION.**

Los "rechazos" combustibles se queman en un horno principal con capacidad de 2.5 toneladas por hora. La temperatura de los gases alcanza por lo menos 850°C durante dos segundos, temperatura necesaria para una perfecta combustión.

Después de enfriarse en una caldera, los gases se tratan mediante un sistema de neutralización y de desempolvamiento, en vía seca y a baja temperatura, lo que asegura a la salida de la chimenea una calidad conforme a las últimas normas europeas. Los residuos del tratamiento de los humos que concentran algunos productos nocivos, se almacenan en cajas anti-contaminantes selladas.

El balance global de los tratamientos se traduce en la producción de un mínimo de residuos que son todos mineralizados. Los últimos residuos se reducen al 15% del volumen inicial y al 5% del volumen entregado. Actualmente, ninguna otra solución puede, por sí sola, lograr tal resultado.

## **TRANSFORMACION-VALORACION.**

### **EL COMPOST.**

A la salida de los higienizadores, el compost bruto pasa por la criba. Será un verdadero compost después de madurar en una área de 3000 m<sup>2</sup>. Sus características le permitirán ser clasificado en categoría A y comercializado bajo la marca NF.

## **EL VAPOR.**

Antes de su entrega, el vapor se evacua parcialmente en un turbo-alternador de 900 kW, en contra-presión (pasa de 22 bars a 1.3 bar) y puede ser transformado en parte en electricidad. De esta manera, el "Complejo de Valorización de los Desechos" se autoalimenta de energía y vende en caso necesario, su excedente de producción.

Las chatarras brutas (extraídas durante el proceso de selección mediante electroimán) se pasan por un triturador de martillo que las libera de sus impurezas, al mismo tiempo que las aplasta para aumentar su densidad. Gracias a una segunda limpieza, mediante selección magnética, se obtienen chatarras de excelente calidad para altos hornos.

Las materias plásticas, recuperadas a lo largo del proceso y almacenadas, alimentarán una planta de reciclado que proyecta fabricar nuevos artículos manufacturados, postes de bardas, elementos de paletas, por ejemplo.

## **DESECHOS HOSPITALARIOS**

Debido a que deben ser tratados dentro de estrictas normas de seguridad, un horno específico fue seleccionado para incinerar estos desechos a alta temperatura, de conformidad con la legislación. Este horno funciona en paralelo con el horno principal; así, la recuperación de calor y la depuración de los humos es común a los dos incineradores.

Los contenedores que provienen de los hospitales, los laboratorios, las clínicas, etc., se descargan automáticamente en la entrada del horno; posteriormente, siempre automáticamente, son dirigidos hacia una sala de limpieza y desinfección.

Actualmente el "Complejo" trata el equivalente de cerca de 600 toneladas anuales de desechos hospitalarios. El horno anexo, cuya capacidad es de 3000 toneladas anuales, podrá recibir una recolección mucho más importante.

## **CONCLUSION**

La municipalidad administra y controla el Complejo Industrial de Valorización de Desechos. La obra fue inaugurada en enero de 1989. El costo total fue de 82.6 millones de francos. La explotación está a cargo de una compañía particular por un plazo de 15 años, sobre la base de un contrato de asociación. La compañía particular, constructora-explotadora, comparte con la municipalidad las ganancias que resultan de la comercialización de los subproductos.

El precio del tratamiento por tonelada es de 110 francos sin impuesto, excluyendo la amortización. Este costo equivale a la eliminación de 50000 toneladas de desechos por año.

La asociación también se manifiesta, entre las dos partes, a través del contrato de explotación. La venta de los subproductos está a cargo del explotador, cuyo interés con el volumen de las ventas. Las cargas de cesión de energía se descargan a la municipalidad cuyo interés se incrementará también con el volumen de las ventas.

<i>Tabla 7-5</i> <i>Capacidad de Tratamiento</i>	
Desechos domésticos	60 000 ton/año
Lodos de depuración	10 000 ton/año
Desechos hospitalarios	3 000 ton/año
Incineración de los rechazos combustibles	2.5 ton/hora
Cadena de selección y pretratamiento	20 ton/hora

<i>Tabla 7-6</i> <i>Capacidad de producción</i>	
Compost	20 000 -25 000 ton/año
Chatarra	1 500 - 2 000 ton/año
Cartón	1 000 - 2 000 ton/año
Mezcla celulosa-plástico	3 500 - 4 500 ton/año
Energía (vapor y electricidad)	3 500 - 4 500 Tep/año
Personal	18 personas

## CAPITULO VIII



Programa  
Universitario de  
Medio  
Ambiente

## **EL PROGRAMA UNIVERSITARIO DE MEDIO AMBIENTE**

### **8.1 INTRODUCCION.**

Diversas dependencias de la UNAM, desde hace muchos años, se ocuparon de temas ambientales, de su estudio, enseñanza e investigación, en cada caso, desde la perspectiva de su especialidad, el desarrollo de éste trabajo fué independiente, con la vinculación natural entre escuelas, facultades, centros, institutos y dependencias académico-administrativas y administrativas, sin una comunicación formal y con complejos problemas de relación académica.

Con objeto de aceptar claramente su compromiso con la Sociedad en el área de Ciencias Ambientales, de lograr una vinculación y comunicación fluidas y eficientes entre las dependencias de la UNAM que tienen alguna relación con ellas, el 15 de Noviembre de 1991, el Dr. José Sarukán, Rector de la misma, acordó la fundación del Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA).

El Programa tiene como objetivos vincular las dependencias de la UNAM ocupadas con las Ciencias Ambientales, organizar y promover actividades de docencia, investigación y difusión en el campo de las Ciencias Ambientales, representar a la UNAM en foros nacionales e internacionales en este campo, aglutinar a los expertos en el área para proporcionar asesoría interna y externa, coordinar las acciones académicas y académico-administrativas necesarias para la elaboración de un proyecto universitario de posgrado en estas ciencias y organizar un "Seminario de Ciencias Ambientales" que incorpore a los expertos más destacados en el área.

Para 1995 el PUMA tiene 32 cursos de actualización y educación continua, que forman parte de diplomados en Salud Ambiental, Ingeniería Ambiental, Química Ambiental, Educación Ambiental, Planeación Ambiental y Bienes Culturales, muchos de estos cursos se ofrecen con la participación de Escuelas, Facultades, Institutos, Centros y otras dependencias internas y externas a la UNAM, constituyendo un sólido paquete de conocimientos en los más diversos tópicos de las Ciencias Ambientales.

Durante el año 1995 el Programa apoyará diversos proyectos de investigación, en las áreas de daños a la salud por la contaminación ambiental, efectos ambientales en patrimonio cultural, análisis de las externalidades en la contaminación ambiental en la zona Metropolitana de la Ciudad de México y análisis prospectivo del medio ambiente.

Con objeto de conocer, discutir y analizar los avances más importantes, en éste mismo año, se mantienen reuniones académicas con la participación de expertos nacionales y extranjeros, en salud ambiental, periodismo y comunicación, efectos del medio ambiente sobre el patrimonio cultural, cambio climático global, problemas ambientales de la industria alimenticia y problemas ambientales en la industria farmacéutica.

La UNAM continuará con el proyecto de Posgrado Universitario de Ciencias Ambientales, continuando los trabajos en las áreas de Ingeniería Ambiental y Toxicología Ambiental y probablemente iniciando el ámbito de aspectos ambientales en Arquitectura.

Así mismo, se difundirá un programa de radio sobre temas ambientales, en Radio UNAM, se iniciará la producción de cursos a distancia, se elaborarán folletos de difusión, materiales audiovisuales para divulgación de temas específicos relativos al medio ambiente.

El Programa Universitario de Medio Ambiente representa un esfuerzo de la Universidad y del Dr. Octavio Rivero Serrano, Coordinador de éste, para apoyar y auxiliar a las personas preocupadas y ocupadas de problemas del medio ambiente, esta misión solo puede tener éxito con la participación y colaboración de todos los involucrados en el complejo mundo de las Ciencias Ambientales.

## **8.2 PROGRAMA PARA EL CONTROL ECOLOGICO DEL CAMPUS**

Por medio del mejoramiento ambiental el ser humano pretende lograr condiciones de vida sana dentro de un ámbito libre o parcialmente libre de sustancias nocivas a la salud y dentro de recintos dignos. El control ecológico es un concepto que engloba actividades tendientes al uso y manejo adecuado de los recursos naturales que el hombre utiliza en sus labores cotidianas.

La UNAM realiza, a través de su Comisión para el Control Ecológico del Campus (CCEC), actividades tendientes a mejorar las condiciones ambientales que prevalecen hoy en día dentro de sus recintos y, de forma ejemplar, a procurar un uso y un manejo adecuados de materiales provenientes de recursos naturales. Algunos ejemplos son: el ahorro de la energía procedente de la combustión de los derivados del petróleo; el recurso del papel para reducir la tala de bosques y ahorrar energía en su procesamiento; la recuperación de la lluvia para recargar los mantos acuíferos y el reciclaje de aguas residuales con el fin de ahorrar agua potable.

El subprograma para el Contro Ecológico del Campus está inscrito a partir de 1991 dentro del Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA). Durante aproximadamente un año se trabajó en identificar la problemática ambiental dentro de la UNAM y plantear sus soluciones.

El primero de junio de 1993, el rector de la UNAM, doctor José Sarukhán, constituyó la Comisión para el Control Ecológico del Campus con el fin de implementar las acciones de mejoramiento ambiental dentro de la UNAM. Dicha Comisión está integrada por seis Direcciones Generales y por los Programas Universitarios de Energía y de Medio Ambiente, éste último a cargo de la Coordinación General.

Se cuenta también con la participación activa y el apoyo del Jardín Botánico del Instituto de Biología, el Instituto de Ingeniería y las Facultades de Arquitectura, Química e Ingeniería.

La Comisión para el Control Ecológico del Campus se reúne en promedios dos meses por mes para discutir las acciones realizadas, comentar los avances y programar las actividades a futuro.

Tomando como punto de partida las acciones identificadas con anterioridad por el PUMA, la Comisión inició sus actividades con ocho programas prioritarios:

1. Uso eficiente de la energía.
2. Dignificación de servicios sanitarios.
3. *Mejoramiento continuo de áreas verdes.*
4. Mejoramiento de vialidad y transporte
5. *Manejo de residuos sólidos.*
6. *Manejo de residuos peligrosos.*
7. Manejo adecuado del agua.
8. Dignificación de espacios.

Es necesario, por las características de las acciones, trabajar a dos niveles: dentro y fuera de Facultades, Institutos, Centros y dependencias administrativas. Estas últimas actividades de tipo práctico se realizan de forma autónoma por diferentes Direcciones Generales, y dentro de las dependencias se llevan a cabo pláticas con los directivos y administrativos para lograr su exitosa implementación.

Durante su primer año de actividades (Julio 1993-Julio 1994), la Comisión para el Control Ecológico del Campus realizó labores para:

- 1.- identificar y entender los problemas particulares de cada programa,
- 2.- indentificar las acciones prácticas y los métodos para aplicar,
- 3.- capacitar al personal involucrado de las direcciones generales ejecutoras y de las dependencias comprometidas con los programas,
- 4.- seleccionar materiales y equipo para implementar los programas y realizar sus adquisiciones,
- 5.- indentificar asesores técnicos, y
- 6.- realizar acciones prácticas para poner en marcha los diferentes programas.

Fue necesario, por las características de las acciones, trabajar a dos niveles: dentro y fuera de las dependencias. Estas últimas actividades fueron realizadas en forma autónoma por diferentes direcciones generales, y dentro de las dependencias fué necesario entablar pláticas con los directivos y administrativos correspondientes para iniciarlas.

Como punto de partida (segunda mitad de 1993), para las actividades dentro de las dependencias se seleccionó la zona comprendida dentro del primer circuito escolar y se denominó zona piloto, con 32 dependencias en 54 edificios. Las actividades en la zona 2 (entre el circuito escolar y el circuito exterior), fueron iniciadas durante la primera mitad de 1994.

### **8.2.1 MEJORAMIENTO CONTINUO DE AREAS VERDES.**

Las actividades para el mejoramiento de las áreas verdes se dividen en:

- a. Control del eucalipto. Ya que su gran proliferación, su fragilidad, su competencia desleal en el ecosistema, y la producción de sustancias tóxicas que representan una amenaza para la flora nativa de la Reserva Ecológica, se les considera nocivos y se deben reemplazar.
- b. Manejo de residuos de jardinería y otros residuos orgánicos a través de composta. Este proceso consiste en mezclar residuos de jardinería (hojarasca, ramas, pasto) con los estiércoles de la Facultad de Veterinaria, los lodos (microorganismos) excedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, los serrines de los bioterios y otros residuos orgánicos para permitir que los microorganismos transformen las sustancias fácilmente biodegradables en compuestos estables, que permitan su utilización como mejoradores de suelos y fertilizantes. De esta manera, al transformar residuos nocivos, un material que permitirá sustituir una gran parte de los fertilizantes que se utilizan en el mantenimiento de las áreas verdes.

Para lograr éste objetivo se elaboró el proyecto ejecutivo de la planta de composta necesario para su construcción y se adquirió como inicio del proyecto, la maquinaria requerida (una retroexcavadora, dos bobcat, 6 trituradoras de residuos de jardinería, 40 contenedores y dos camiones para recolectar y manejar los residuos). Las acciones fueron realizadas por la DGO, con la asesoría del Jardín Botánico del Instituto de Biología y el PUMA.

c. Campañas de limpieza en la Reserva Ecológica.

d. Campaña de forestación y reforestación.

### **8.2.2 MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS.**

Este es un programa ambicioso cuyos objetivos principales son la reducción de la producción de basura al separarla en sus fracciones principales para lograr su reúso. Se dice entonces que los residuos que pueden utilizarse como materia prima en otros procesos productivos se convierten en basura al mezclarlos.

Es necesario que todos los que generan residuos o basura comprendan que sus principales componentes provienen de recursos naturales renovables y no renovables. Al aumentar la producción de basura, los recursos naturales no podrán cubrir la demanda de los materiales para producir plásticos, empaques, botellas de vidrio, papel y cartón, latas metálicas, etc. Por medio del reciclaje de las fracciones que forman la basura es posible reducir en forma importante la utilización de recursos naturales como materia prima.

Este proyecto pretende lograr que la población universitaria colabore con la separación de los residuos antes de que se conviertan en basura. Para iniciar estas acciones se adquirieron y distribuyeron botes de basura en las dependencias que forman la Zona Piloto, ( delimitada aproximadamente por el área comprendida entre la Facultad de Filosofía y Letras; la Facultad de Veterinaria y Zootecnia; el Centro Médico de C.U. y la Rectoría ) en donde se estableció un procedimiento para la separación y recolección de los residuos separados.

Se tienen en operación unidades de transporte que pasan a recoger las fracciones de residuos separados en lugares estratégicos dentro de la Zona Piloto. Se ha evaluado y cuantificado este proyecto con el fin de mejorarlo y ampliarlo a otras zonas.

Cabe mencionar que ya se realiza la recolección por separado de los residuos de jardinería, los cuales, anteriormente, eran manejados como basura y, actualmente, en la etapa inicial, se han convertido en materia prima para la planta de composta.

El PUMA y la DGO trabajan conjuntamente en un proyecto para desarrollar un Plan Maestro que describa procedimientos a todos los niveles para el manejo y minimación de los residuos sólidos dentro de la UNAM.

### 8.3 EVALUACION DEL PROGRAMA: ALCANCES Y LOGROS 1993-1994 ( AREA DE RESIDUOS SOLIDOS )

#### 8.3.1 PROGRAMA DE MEJORAMIENTO ECOLOGICO (AREA DE RESIDUOS SOLIDOS) (Julio 93 - Julio 94)

<b>Actividad:</b>	<b>1.INTEGRACION DE PROCEDIMIENTOS</b>
Descripción de la Actividad:	-DESARROLLO DEL MODELO DE OPERACION PROPUESTO. -PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE BASURA Y DESECHOS REICLABLES.
Ejecutor:	-GRUPO TECNICO
Descripción de la Normatividad:	-SISTEMA DE RECUPERACION DE DESECHOS, SEPARADOS EN EL ORIGEN DE SU GENERACION -PROCEDIMIENTO DE PESAJE DE CAMIONES RECOLECTORES DE BASURA
Responsable:	-TODA LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA -D.G.O.
Avance:	100 %
Terminación:	CONCLUIDA

<b>Actividad:</b>	<b>2. COMPRAR BOLSAS DE PLASTICO TRANSPARENTE</b>
Descripción de la Actividad:	-DESARROLLO DE LAS CARACTERISTICAS -ESTIMAR EL NUMERO DE BOLSAS NECESARIAS -SEGUIR EL PROCEDIMIENTO NORMADO PARA SU ADQUISICION
Ejecutor:	-GRUPO TECNICO -D.G.P.
Descripción de la Normatividad:	-LAS BOLSAS DEBEN SER DE 90x110 CMS, CON -SE REQUIEREN 350,000 BOLSAS PARA LA RECOLECCION DE LOS DESECHOS SEPARADOS, DE SEPTIEMBRE A DICIEMBRE -SE ESTAN SOLICITANDO COTIZACIONES A DIFERENTES PROVEEDORES
Responsable:	-D.G.P.
Avance:	30 %
Terminación:	AGOSTO 1993

<b>Actividad:</b>	<b>3. COMPRAR CONTENEDORES</b>
Descripción de la Actividad:	-DESARROLLO DE LAS CARACTERISTICAS QUE DEBEN TENER LOS CONTENEDORES -ESTIMAR EL NUMERO DE CONTENEDORES REQUERIDOS -SEGUIR EL PROCEDIMIENTO NORMADO PARA SU ADQUISICION
Ejecutor:	-GRUPO TECNICO -D.G.P.
Descripción de la Normatividad:	-LOS CONTENEDORES DEBEN DE SER DE PLASTICO LISO, PARA SU FACIL LIMPIEZA, APILABLES, DEL MISMO COLOR TODOS -SE ESTAN SOLICITANDO COTIZACIONES A DIVERSOS PROVEEDORES
Responsable:	-D.G.P.
Avance:	30 %
Terminación:	Sep 1993

<b>Actividad:</b>	<b>4. SEÑALIZACION</b>
Descripción de la Actividad:	-DESARROLLAR PROTOTIPOS PARA LA IDENTIFICACION DEL TIPO DE DESECHOS A DEPOSITAR EN CADA CONTENEDOR -DEFINIR EL MATERIAL Y TAMAÑO
Ejecutor:	-GRUPO TECNICO -D.G.P. -P.U.M.A.
Descripción de la Normatividad:	-LA IDENTIFICACION DE CONTENIDO DEBE MEDIR 17.5 x 17.5 CMS EL MATERIAL DEBE SER VINIL AUTOADHERIBLE, EL PROCESO DE IMPRESION, SERIGRAFIA -LA IDENTIFICACION DE CONTENIDO DEBERA FIJARSE A LOS CONTENEDORES
Responsable:	-D.G.O. -P.U.M.A.
Avance:	30 %
Terminación:	SEPTIEMBRE 1993

<b>Actividad:</b>	<b>5. COMERCIALIZACION</b>
Descripción de la Actividad:	-LOS DESECHOS RECUPERADOS DEBERAN COMERCIALIZARSE -LOS INGRESOS OBTENIDOS POR LA COMERCIALIZACION SERAN PARA LAS LAS DEPENDENCIAS
Ejecutor:	-D.G.P.U.
Descripción de la Normatividad:	-LA COMERCIALIZACION DE LOS DESECHOS SE HARA EN UN SOLO PUNTO, EN EL CENTRO DE ACOPIO, SITUADO EN EL VIEJO INCINERADO GENERAL -A CADA DEPENDENCIA SE LE ACREDITARA EL MONTO DE LO COMERCIALIZADO
Responsable:	-D.G.P.U.
Avance:	SIN AVANCE
Terminación:	PERMANENTE

<b>Actividad:</b>	<b>6. SEPARACION DE DESECHOS</b>
Descripción de la Actividad:	-DEPOSITO SEPARADO DE LOS RESIDUOS EN UN CONTENEDOR ESPECIALMENTE DISPUESTOS EN ESTACIONES DE DEPOSITO -RECOLECCION SEPARADA DE LOS RESIDUOS VERTIDOS -TRANSPORTE DE LOS RESIDUOS SEPARADOS HASTA EL CENTRO DE ACOPIO -TRANSPORTE DE LA BASURA HASTA LA ESTACION DE TRANSFERENCIA DEL D.D.F. -TRANSPORTE DEL DESECHO DE ALIMENTO AL VIVERO, PARA SERVIR DE COMPOSTA
Ejecutor:	TODA LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA -D.G.P.C. -D.G.O.
Descripción de la Normatividad:	-SE RETIRAN LOS BASUREROS EXISTENTES -SE DOTARA DE UNA ESTACION DE DEPOSITO POR CADA 50 USUARIOS -SE SEPARARA UN MINIMO DE TRES DESECHOS EN LAS DEPENDENCIAS -SE SEPARARA UN MINIMO DE SIETE DESECHOS EN LOS KIOSKOS DE COMIDA
Responsable:	-DEPENDENCIAS -TODA LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA
Avance:	50 %
Terminación:	PERMANENTE

### 8.3.2 LOGROS OBTENIDOS A DICIEMBRE DE 1993

- Se redujo la corriente de basura en dependencias del primer circuito en un 10%, con relación al total generado. Para estos efectos fué instrumentado un modelo a implantar y operar y se adquirieron contenedores, bolsas para recolección y logotipos de señalización, los cuales fueron distribuidos a la totalidad de las dependencias que estan involucradas en el programa.
- Con respecto al rubro de Mejoramiento Continuo de Areas Verdes, fueron controlados los eucalyptus SP, menores de 10 cms. sanos y enfermos; para éste efecto fueron seleccionadas, propagadas y evaluadas las especies nativas con las que se están sustituyendo y fueron definidos los procesos de recolección y manejo de desechos vegetales.
- Se realizó el primer Censo a nivel botánico en una área de la UNAM, donde se recabará el máximo de información referente a la vegetación existente, así como de sus características físicas y de mantenimiento, de su papel en el entorno y de sus funciones principales. A partir de éste censo, se obtendrán los parámetros directores a seguir en lo que a Areas Verdes se refiere, en forma absolutamente profesional.
- Se cuenta con un inventario preliminar al final del año 1993 de los residuos sólidos peligrosos y está en proceso de verificación en seis dependencias piloto, una vez que fueron identificados la variedad de residuos y sus fuentes y volúmenes de generación.

### 8.3.3 ALCANCES DE LOS PROGRAMAS DEL PUMA PARA 1994

#### \* Manejo de Residuos Sólidos

Reducir en un 20% la corriente de basura municipal mediante la recuperación de desechos reciclables en su origen de generación.

#### \* Manejo de Residuos Peligrosos

Desarrollar, implementar y operar al 100% el sistema de manejo de residuos sólidos peligrosos para la UNAM.

#### \* Mejoramiento Continuo de Areas Verdes

Mejorar el control del 75% de los eucaliptos y su sustitución gradual con especies más adecuadas. Producir al 100% de la capacidad instalada la composta a partir de los desechos de jardinería.

### **8.3.4 DIFUSION DE LOS SUBPROGRAMAS EN DEPENDENCIAS**

La difusión del programa y de los subprogramas se debe de dar con recursos e ideas propias, teniendo en cuenta la particularidad de cada dependencia para lo cual, debe ser reforzada con folletos, videos, típicos, señalización, mensajes en tarjetas de pago, etc.

Regularmente se deben realizar encuestas con el propósito de conocer el grado de penetración de este programa en la comunidad universitaria y conocer la opinión que tienen los usuarios para orientar y reforzar en su caso, las campañas de difusión en cada dependencia.

### **8.4 PROGRAMA DE MEJORAMIENTO ECOLOGICO 1995. SUBPROGRAMA DE MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS.**

#### **OBJETIVO:**

Desarrollar y aplicar procedimientos sencillos en base a acciones específicas anteriormente experimentadas ( 1993 y 1994 ) que apoyen al subprograma, coadyuvando a disminuir contaminantes del medio ambiente y mejorar con ello, la imagen de las instalaciones del campus universitario.

#### **8.4.1. ANTECEDENTES.**

##### **8.4.1.1 LA BASURA EN LA CIUDAD DE MEXICO.**

En el Valle de México, las principales formas de contaminación son: la atmósfera (capa de ozono), la del agua, aire, ruido y la del suelo.

Esta última, provocada por la acción de los desperdicios sólidos acumulados tanto en la superficie del área metropolitana, como en los depósitos destinados para ese fin. En la Ciudad de México cada vez es más difícil encontrar lugares adecuados para los tiraderos de basura y el costo de recolección es más alto.

El problema de los desechos sólidos en México ha crecido a niveles muy altos, tan solo en el área metropolitana una familia que se compone en promedio de cinco personas produce un metro cúbico de basura mensualmente. Es tan grande la producción de basura en el Valle de México, que estamos generando tres millones de metros cúbicos de desechos al mes.

Tomando como ejemplo al Estadio Azteca, diremos que este desplaza un millón de metros cubicos, esto quiere decir que para lograr enterrar los tres millones que produce la Ciudad de México, tendríamos que excavar tres cráteres de la capacidad del Estadio y si se pudiera realizar, tendría costos muy elevados. Ante esta situación, la separación de residuos para su reciclaje, no es solo una solución al problema de la basura, sino también, como parte fundamental contribuyente a la disminución del consumo de recursos naturales.

#### **8.4.1.2 LA BASURA EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA**

El problema de la basura en Ciudad Universitaria se ha ido agravando de igual manera que en la Ciudad de México, debido a que ésta produce aproximadamente 30 toneladas diarias de basura; se estima también que cada persona produce aproximadamente 200 grs. de desechos diariamente; tan solo en el total de las dependencias del Circuito viejo, la generación es de alrededor de 15 toneladas diarias y anualmente la Universidad desecha 6,000 toneladas de basura.

Para Ciudad Universitaria cada vez es más difícil el problema del qué hacer con la basura a granel. Encontrar lugares adecuados para tirarla y el costo de recolección y transporte de la misma cada vez es más alto.

En la búsqueda de soluciones a estos problemas, se ha visto que para reducir la generación de los residuos sólidos, la estrategia consiste en minimizar los residuos y reciclarlos, lo que significa realizar cambios, tanto en la generación de ellos y la separación de los mismos.

#### **8.4.2. META 1994 DEL SUBPROGRAMA DE MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS**

Reducir en un 20% la corriente de la basura mediante la recuperación de residuos reciclables, separandolos en el origen de su generación y dar un destino final adecuado a los desechos NO aprovechables.

En función a esta meta, se deben realizar las siguientes acciones:

- Primera: Elaboración de campaña de difusión dando a conocer el subprograma de manejo de residuos sólidos, asegurandose de que ésta llegue a toda la comunidad usuaria de la dependencia.
- Segunda: Establecer estaciones de depósito a separar, identificando la ubicación y el número de contenedores por cada una.
- Tercera: Establecer el depósito y recolección por separado, y el transporte de desechos, aplicando rutinas de recolección rutinas de supervisión, ubicación de depósito temporal.
- Cuarta: Dar un destino final adecuado a los desechos NO aprovechables.

Con el logro de ésta meta podremos obtener sensibles beneficios para la universidad, como son:

- \* Se mejora la imagen de limpieza
- \* Menor cantidad de fauna nociva
- \* Menor contaminación

### 8.4.3. DIAGNOSTICO SOBRE RESIDUOS SOLIDOS.

\* Definición de residuos sólidos:

Son aquellos residuos de materiales que provienen de la actividad humana o animal y son tratados como inútiles o no deseados, apartados por el hombre como desperdicios que pueden ser reutilizables.

\* Clasificación de los desechos sólidos:

Para el caso de la Universidad, se pueden dividir en nueve grupos:

#### Contenidos aceptables por tipo de residuo

1. **PAPEL BLANCO:** Papel bond, papel copia, fotostáticas, tarjeta bristol, papel membretado, sobres sin ventana, papel computadora (blanco y de color).
2. **PAPEL MEZCLADO:** Hojas tabulares, sobres de papel manila, folders, folletos, revistas, pagarés de tarjeta de crédito, papel autocopiante, papel engomado, catelones, papel bond de color, libros, copias azules de planos, papel kraft, papel termosensible y papel para fax.
3. **VIDRIO:** Blanco, verde, ambar, vífrio templado (tubos de ensaye, matraces, vasos de precipitado, porta y cubre-objetos, caja de Petri, etc. rotos).
4. **PLASTICOS:** Rígidos, película, termomoldeados, (bolsas de comida chatarra, envases de yoghurt, vasos de café, botellas, etc.).
5. **METAL:** Fierro, lata aluminio (balastros, clips, grapas, broches Baco, etc.).
6. **DESECHOS DE COMIDA:** Restos de alimentos.
7. **PERIODICO:** Gaceta, etc.
8. **CARTON.**
9. **TODO LO DEMAS:** Papel autoengomado, pañuelos desechables, servilletas, papel celofán, papel encerado, papel autoadherible, papel carbón, pañales, aerosoles, polvo de Toner, cenizas y colillas, teflón (diskets de computadora), aserrín de bioterios, pilas.

#### **8.4.4. SISTEMA PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN C.U.**

Tomaremos como base el principio de la separación de residuos en el origen de su generación, esto quiere decir, que el usuario los colocara aparte una vez que le dejan de ser útiles y los deposita en contenedores comunes ubicados en estaciones de depósito localizadas a través de la dependencia, donde cada usuario transfiere voluntariamente los residuos que han acumulado durante el día hasta las estaciones de depósito, coadyuvando a reducir los costos de recolección.

El éxito del subprograma depende fundamentalmente de la educación conciencia, cooperación, entusiasmos y acciones del personal de la dependencia.

##### **A. Elaboración de la campaña de difusión:**

Es necesario que la difusión llegue a todos los empleados de intendencia, académicos, alumnos y personal administrativo de la dependencia, programando y conduciendo sesiones informativas con los funcionarios, docentes, alumnado, monitores del programa, el personal encargado de la recolección y empleados en general; en donde se les informará los objetivos, las metas del programa y donde se les pedirá también su colaboración para el desarrollo del mismo.

Paralelamente, se debe diseñar y reproducir material de apoyo para la difusión como pueden ser trípticos, carteles, periódicos murales y señalización, apoyándose en videos en donde se presenta la problemática de la basura.

Todo éste material debe ser entregado y/o colocado al mismo tiempo en el que se inicia la difusión del subprograma.

##### **B. Criterios para la identificación de estaciones y número de contenedores.**

La ubicación de las estaciones depende del espacio disponible, deben de ser accesibles a todos los usuarios, sin obstruir ningún espacio y la seguridad para los empleados en caso de siniestro.

Se calcula que una estación no debe dar servicio a más de 50 personas. En el caso de áreas de oficina es necesario considerar que las estaciones se colocarán a no más de 25 pasos de la última persona a la que dará servicio, también que cada contenedor tenga una etiqueta en la cuál se defina el tipo de desecho a depositar en ese contenedor. Deben ser claras y colocadas en un lugar visible al usuario.

El número de éstas se determina basándose en el tamaño de la dependencia. Identificando las áreas donde se colocarán. Con un formato establecido se enumerarán las estaciones. Se identificará la ubicación y por último, el número de contenedores de esa estación.

Para el caso de un plantel el cuál maneja un volúmen mayor de usuarios, se se ubicarán en función a la demanda por area, deberán existir estaciones tanto en áreas de pasillos de acceso a salones y oficinas, así como también dentro de las oficinas administrativas.

Para el primer caso, el número de contenedores es de nueve, puesto que en éstas áreas se desechan los residuos como son: 1) papel blanco, 2) papel mezclado, 3) vidrio, 4) plástico, 5) metal, 6) desechos de comida, 7) periódico, 8) cartón y 9) todo lo demás.

Para el área administrativa de éstas dependencias se requiere un mínimo de tres contenedores, donde se depositarán: 1) papel blanco, 2) papel mezclado, 3) todo lo demás.

Para el caso de los institutos, centros y dependencias de la coordinación de Humanidades, en las áreas comunes es necesario colocar un mínimo de 6 contenedores clasificandolos en: 1) papel, 2) plástico, 3) periódico, 4) metal, 5) vidrio y 6) todo lo demás. Esta clasificación podrá variar dependiendo de la producción particular por área en la dependencia.

Para las áreas administrativas en dependencias pequeñas, tanto en institutos como en centros de investigación en éste caso usaremos tres contenedores donde se colocarán: 1) papel blanco, 2) papel mezclado y 3) todo lo demás.

### C. Rutinas de recolección.

La recolección es muy importante puesto que si ésta no se realiza adecuadamente, provoca dos fenómenos; el primero que la gente se desilusione al ver que el personal de recolección la revuelve, en segundo, se requiere que la separación de los desechos se realice lo más pura posible.

La frecuencia de recolección depende de la producción de desechos, del tamaño de los contenedores y puede variar en intervalos por jornada hasta semanales. En el caso de estaciones comunes, a varios usuarios, que es el caso particular de la universidad, se realizarán las rutinas con un mínimo de una vez por turno y recolectando primero en la estación de depósito más lejana, de derecha a izquierda, en el último piso de la dependencia, hasta llegar a la planta baja, estando al pendiente de que si el o los contenedores ya llegaron a su capacidad, será necesario realizar una nueva recolección de los desechos.

El personal para realizar ésta actividad, utilizará bolsas transparentes; con éstas pasará por cada estación y recolectará en cada una de las bolsas el desecho y/o residuo del contenedor correspondiente al etiquetado de la bolsa previamente identificada con el nombre de la dependencia, el tipo de desecho que contiene y la fecha. Las bolsas, una vez que sean llenadas completamente, se amarrarán y se llevarán al almacén temporal.

En éste almacén se llenará una cédula de control de bolsas producidas por la dependencia, después se le entregarán las bolsas al camión, ya sea al de residuos reciclables o al camión que recoja las bolsas de todo lo demás que se considera como basura.

#### D. Rutina de supervisión

Se realizarán una vez por turno y visitando cada estación, verificando que tenga una señalización adecuada que siga colocada, que no esté despegada en ninguno de sus lados, que no esté sucia, observando que se encuentre limpia y en orden, que los residuos se encuentren bien separados, que las rutinas de recolección se realicen oportunamente, que esten colocados el número adecuado de contenedores por cada estación y que la misma esté colocada en el lugar que se le asignó previamente, verificando por último, si la existencia de bolsas, etiquetas y contenedores está completa y si no, el supervisor solicitará las necesarias.

Todas estas observaciones serán registradas en un formato llamado "Supervisión de manejo de residuos sólidos".

#### E. Evaluación de resultados obtenidos.

Para realizar la evaluación del subprograma de manejo de residuos sólidos, se tomarán lo siguientes criterios de medición:

**PRIMERO:** Se analizarán las tablas de supervisión, verificando la operatividad de las estaciones si su ubicación es la adecuada y si el número de contenedores es suficiente para la cantidad de desechos producidos en el área donde se localiza la misma; si no se cumple ésto será necesario reubicar las estaciones o modificar el número de contenedores.

En ésta misma cédula verificaremos también si la separación de residuos se está realizando lo más pura posible y si no, tendremos que reforzar las campañas de difusión acerca del separado de los mismo.

Al mismo tiempo, se observará si las rutinas de recolección se están realizando adecuadamente con la periodicidad establecida anteriormente.

**SEGUNDO:** En la tabla llamada "Producción diaria de residuos sólidos" se podrá medir la cantidad y tipo de desechos que produce la dependencia pudiendo así verificar se se cumple la meta trazada al inicio del subprograma.

#### F. Control de avances del Subprograma.

Tomando como base la meta ya establecida podremos medir hasta donde hemos avanzado dentro del subprograma de manejo de residuos sólidos.

El coordinador del subprograma previamente designado por la dependencia, tendrá reuniones semanales o quincenales con los monitores del subprograma, donde analizarán la información, arrojada por la cédula llamada "Producción diaria de bolsas de desechos separados", con esta tabla podremos observar la cantidad de bolsas que se generan en la dependencia y con qué calidad de separación salen las mismas, si la pureza del residuo en la bolsa no es el permitido, y además si nuestras bolsas donde se deposita todo lo demás no han disminuido o en algunos casos han aumentado, será necesario analizar en donde está el problema, revisando principalmente dos aspectos:

**PRIMERO:** Si la separación en el lugar de origen no es adecuada, o sea si el usuario de las estaciones no está separando adecuadamente los residuos que genera.

**SEGUNDO:** Si el personal de intendencia está revolviendo los desechos de los contenedores al vaciarlos a las bolsas.

Con estas dos consideraciones se podrán identificar las oportunidades de mejora del proceso y las estrategias por implementar que permitan la consecución de las metas trazadas.

#### **8.5 LA RETROALIMENTACION: ALTERNATIVAS FUNCIONALES.**

Es de suma importancia mencionar que las dependencias participantes en la Comisión para el Control Ecológico del Campus ( Área de Ingeniería Ambiental ), bajo la coordinación del Dr. Simón González Martínez, son las siguientes:

Dirección General de Obras y Servicios Generales  
Dirección General de Proveduría  
Dirección General de Protección a la Comunidad  
Dirección General de Apoyo a la Comunidad  
Dirección General de Tiendas  
Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas  
Programa Universitario de Energía

Así como la participación activa y el apoyo del:

Jardín Botánico del Instituto de Biología  
Instituto de Ingeniería  
Facultades de Química, Ingeniería y Arquitectura

En cuanto a los subprogramas que interesan al presente trabajo cabe destacar los siguientes comentarios:

El subprograma de Mejoramiento Continuo de áreas verdes es el que considero se encuentra en un franco avance profesional. Cabe destacar que ante todo éste subprograma es básicamente apoyado por el Dr. Robert Bye Boettler, director del Jardín Botánico del Instituto de Biología y la estrecha colaboración de la bióloga Tania Terrazas, responsable del subprograma por el Jardín Botánico y el Ing. Alfredo Martínez Siguenza, responsable del subprograma por parte de la D.G.O y S.G.

Cuando el profesionalismo, por tedioso y largo que haga el camino, se antepone a las prácticas apresuradas y densamente cargadas de una pueril efectividad, los resultados no se observan en forma inmediata, pero se puede garantizar que en mediano y largo plazo, los frutos de ésta actitud serán de un valor incalculable para toda la sociedad. Este es el caso del subprograma antes mencionado, el cuál, enfrentando la escases de recursos, presenta una voluntad férrea por llevar a buen término sus objetivos propuestos. Es de relevancia señalar que la producción de COMPOSTA con los desechos de jardinería, aún presentando una carencia de recursos humanos para su correcto desempeño, se encuentra en operación, aunque limitada, gracias al apoyo del Ing. Martínez Siguenza, responsable del Vivero Bajo y a su equipo de jardineros dependientes todos de la D.G.O. y S.G.

En lo que se refiere al subprograma de Manejo de residuos sólidos para 1995, presentado anteriormente se observa lo siguiente:

1. Debido a que la recolección primaria de basura es realizada por el personal de Intendencia en todas y cada una de las dependencias de la UNAM, y a la D.G.O. y S.G. le corresponde su recolección final por medio del camión compactador de basura, el problema más fuerte es el de implementación de éste subprograma en las Escuelas y Facultades, en donde la población es muy numerosa y básicamente estudiantil.

Aunado a lo anterior observo que el texto del subprograma, denota una significativa carencia de conocimientos relacionados con los residuos sólidos, por lo que más bien parece el postulado de un experimento sin sustento teórico y que, dependiendo de los resultados de éste se tomarán las directrices para su posterior adecuación.

Considero que existen en la actualidad los elementos suficientes como para sustentar teórica y prácticamente los mecanismos y resultados del subprograma, pero que por problemas de recursos humanos capacitados en la materia, dificultan sensiblemente la parte operativa de éste.

Las observaciones realizadas ponen de manifiesto que la comunidad universitaria, en general, es altamente cooperativa para todo tipo de actividad encaminada al bien de la comunidad; pero la falta de conocimientos o experiencia en la elaboración de los programas, y por consiguiente, en la actividad diaria, desalienta el espíritu de colaboración y activa la actitud de indiferencia hacia éstos.

Es muy común que en México los programas se implementen "a medias", es decir, sin contemplar exhaustivamente todos y cada uno de los parámetros que son contemplados y por ende, algunos son puestos en operación, mientras que otros son relegados hasta el momento en que la problemática acumulada es tal que salta a la vista su rezago.

Por las consultas realizadas, al parecer no existe un análisis real del problema de la basura en C.U., algunas cifras y parámetros ocupados para determinar los grupos de residuos a separar provienen de la experiencia de otro entorno, por lo que no es confiable, y mucho menos, aplicable para sustentar un programa de semejante magnitud.

Si consideramos que desde la redacción del texto del subprograma es deficiente y en algunos casos confusa, ya que en partes, parece ir dirigido al director de la escuela o facultad, y en otras dirigido a la persona de intendencia que finalmente realizará el trabajo, son presumibles diversos contratiempos.

Hasta el momento de la redacción de éste trabajo (Febrero 1995), éste programa se encontraba prácticamente inmóvil debido a cuestiones económicas y primordialmente a problemas de tipo legislativo, ya que al ser la UNAM una casa de estudios, sin finalidad de lucro, el Patronato Universitario cuestiona la comercialización de la basura.

Solamente se encuentra en la fase de separación de la basura en su punto de origen, pero no existe ningún proceso posterior a su separación, por consiguiente, al final de cuentas, se mezcla toda la basura para ser enviada a la Estación de transferencia de la Delegación Coyoacan, en el mejor de los casos.

Y como siempre, los procesos legislativos son lentos y tediosos, deteniendo en muchas ocasiones el saludable desarrollo de las actividades humanas coherentes, y en general, llevando los problemas a su máxima expresión, para finalizar legislando aceleradamente.

### **8.5.1 PROGRAMA ALTERNATIVO PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS**

De acuerdo a lo planteado anteriormente, llega el turno de exponer alternativas funcionales que tengan como objetivo optimizar el actual programa de residuos sólidos en la UNAM.

Considero que hasta el momento se han cumplido aceptablemente las primeras dos metas fijadas en 1994 que se refieren a la campaña de difusión y al establecimiento de estaciones de depósito para la separación de los residuos en la UNAM.

Las anteriores metas se han podido lograr gracias principalmente al apoyo de la comunidad universitaria que, sin escatimar esfuerzos por mejorar su entorno universitario, ha contribuido activamente aún frente a las adversidades que todo buen programa enfrenta.

Debo señalar que el programa alternativo que se propone tiene como premisa el ejecutar acciones en las cuales se intente evitar el burocratismo universitario y por tanto darle una movilidad inmediata al gran problema de la basura en la UNAM.

El programa original contempla la comercialización de los residuos sólidos separados por elemento, lo cuál proporcionaría una vía de recursos externos que permitirían un avance sustancial al Programa de Mejoramiento Ecológico. Es claro entender que en este punto radica toda la controversia y estancamiento del subprograma, ya que al hablar de dinero todos quieren participar para su beneficio; siendo lo anterior el sentir del Patronato Universitario, el cuál también considera que existiendo la posibilidad de negociar en términos económicos (venta-utilidad), aparece aunada la corrupción del sistema.

Esta premisa es lógicamente aceptada en el marco de la deteriorada retribución que el personal Académico universitario percive. Si consideramos que las autoridades de la mayoría de las dependencias no administrativas de la UNAM son académicos universitarios los cuales devengan un raquítico salario base, el cual se ve incrementado por la compensación que el puesto administrativo conlleva, es de entender que existe algo más profundo (ética, vocación u otros intereses) que los alienta a continuar en funciones ya que por el lado económico muchas veces no es el suficiente para sostener un nivel de vida acorde con los conocimientos y aportaciones que ellos realizan a la sociedad.

La UNAM está compuesta por unidades de Docencia, Investigación, Extensión y de Apoyo Institucional. Cada una de ellas realiza acciones específicas encaminadas para realizar **los fines de la UNAM**, que según su Ley Orgánica son:

***" Impartir educación superior para formar profesionistas, investigadores, profesores universitarios y técnicos útiles a la sociedad; organizar y realizar investigaciones, principalmente acerca de las condiciones y problemas nacionales y extender con la mayor amplitud posible, los beneficios de la cultura "***

lo cuál no se está cumpliendo en su totalidad. El Dr. Jorge Carpizo M. en el documento titulado "Fortaleza y Debilidad de la UNAM" puso de manifiesto lo anterior.

Por lo tanto, la piedra angular para el programa alternativo será el de autoconsumo de los mismos residuos sólidos para un desarrollo sostenido de la UNAM, que involucre a TODAS las dependencias y que establezca un paso firme hacia el futuro.

### **8.5.2 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA ALTERNATIVO.**

Hasta el momento se ha observado un decenso real de los desechos en un 10% en la UNAM; la pregunta obligada es ¿ Qué le paso a la basura ?.

En este caso, la pregunta se puede contestar con otra pregunta: a lo largo del presente trabajo he sostenido como Tesis principal que la basura es dinero, y que una vez la basura separada desde su origen su comercialización es relativamente sencilla, ¿ que haría usted si tuviera en la mano una bolsa de latas de aluminio, por poner un ejemplo, al cuál le consideran basura y por ende a nadie le interesa ?

Exacto, seguramente va a canalizarse subterráneamente obteniendo alguna persona un beneficio económico. Lo que nos lleva a considerar que la "PEPENA" en C.U. es verídica y muy rentable. La pepena en la Ciudad Universitaria, o bien, el mercado negro de la basura se puede decir que está restringida a algunos empleados de la universidad, sin importar la posición que ocupen en el organigrama laboral de la UNAM.

No puedo apartarme de los grandes intereses creados con los cuales convivimos diariamente, por lo que entiendo que el Programa Alternativo que se expondrá observará la oposición de diversas personas e instituciones, por ir en contra de sus intereses.

Tomaré como punto de partida del Programa Alternativo los siguientes puntos:

1. La adquisición que realizó la UNAM de contenedores plásticos de basura a principios de 1995, los cuales fueron distribuidos estratégicamente en todo el Circuito interior de Ciudad Universitaria y que tienen como característica principal su gran tamaño (dificultando la pepena), el tener tapadera y que se manejen automáticamente por sistemas mecánicos para su descarga dentro del vehículo de recolección, también recién adquirido por la UNAM.
2. La actual colaboración de diversas Direcciones, Institutos y Facultades en el Programa de Mejoramiento Ecológico.
3. Las políticas gubernamentales de apoyo a la capacitación de los trabajadores, principalmente en tiempos de crisis.
4. Principalmente de la comunidad universitaria que siempre está dispuesta a colaborar en beneficio de su Universidad y de su País.

#### **8.5.2.1 ESTRATEGIAS BASICAS: CONCIENTIZACION Y PLANEACION**

El primer punto a considerar en el Programa alternativo es la concientización de la comunidad universitaria, principalmente a los funcionarios de mayor nivel de que las acciones que se vayan a implementar serán para beneficio de TODOS y no de unos cuantos, y que no se puede limitar su duración. Para esto será necesario una adecuada, clara e ininterrumpible comunicación desde el principio del programa, invitando continuamente a la sociedad a participar activamente.

El segundo punto a considerar será un análisis de los recursos con los que actualmente cuenta la Universidad, tanto humano como material, así como de posibles contribuciones externas (donativos o aportaciones de organizaciones internacionales) encaminadas a fortalecer los proyectos del Programa alternativo. En este punto es importante hacer notar que tanto el gobierno federal como instituciones públicas han recibido aportaciones económicas del exterior para desarrollar proyectos relacionados con la ecología, los cuales han sido, o malversados, o bien despilfarrados por la falta de profesionalismo y conocimientos en la materia.

El tercer punto a considerar será la necesidad de la UNAM de eficientar sus limitados recursos económicos ( con la posibilidad de canalizar más recursos a salarios ), y de ser posible, reducir sus gastos reales por medio del reuso y reciclado interno de ciertos materiales producto de los residuos sólidos generados en la UNAM.

El cuarto y último punto a considerar será la necesidad del país de una tecnología de punta encaminada a resolver el actual problema de los residuos sólidos y la contaminación que éstos producen.

La planeación se deberá de hacer en forma multidisciplinaria, contemplando las posibilidades de actuación de cada dependencia. Por ejemplo, la necesidad de formar profesionales en el campo ambiental, no como en la actualidad se contempla ( ej. Maestría en Ingeniería Ambiental, básicamente dirigida a Agua y Tierra ), sino como una licenciatura posiblemente impartida ya sea por la facultad de Química o Ingeniería.

Otro ejemplo sería el desarrollar investigaciones acerca de los materiales que constituyen los residuos sólidos y sus posibles transformaciones y aplicaciones dentro de la UNAM; para lo cuál se podría invitar a la:

- Facultad de Química
- Facultad de Ingeniería
- Facultad de Ciencias
- Instituto de Biología
- Instituto de Biotecnología
- Instituto de Física
- Instituto de Ingeniería
- Instituto de Química
- Instituto de Investigaciones Biomédicas
- Instituto de Investigación en Materiales
- Centro de Ecología
- Centro para la Innovación Tecnológica
- Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias
- Instituto de Investigaciones Económicas
- Dirección General de Obras y Servicios Generales
- Dirección General de Programación y Presupuesto
- Dirección General de Proveduría
- Sistema de Tiendas de Autoservicio de la UNAM

Así como recibir el apoyo de la:

- Dirección General de Fomento Editorial
- Dirección General de Radio UNAM
- Dirección General de Televisión Universitaria
- Coordinación del Sistema Universidad Abierta
- Dirección General de Intercambio Académico
- Programa del Servicio Social Multidisciplinario

básicamente para la difusión de los diversos proyectos de los que puede constar el Programa alternativo para los residuos sólidos.

### **8.5.2.2 PROCESOS BASICOS: REUSAR Y RECICLAR.**

Es en este punto donde confluye la mayor aportación del Programa alterno, ya que considero que, si no en su totalidad, la mayor proporción de residuos sólidos generados por la UNAM son susceptibles de algún tipo de procesamiento.

Es indispensable, para el buen desarrollo del Programa, estar concientes de que la finalidad de éste va encaminada a la reducción y posible eliminación del problema de los residuos sólidos, así como de ampliar la investigación para ofrecer alternativas tecnológicas comprobadas y en funcionamiento ( en pequeñas plantas piloto pertenecientes a la UNAM ) para que la iniciativa privada y el sector público aproveche dicha experiencia y encause sus recursos acertadamente.

Es de todos sabido que la investigación tecnológica es muy onerosa, principalmente por el costo de los equipos necesarios para su realización, así como la dificultad de conseguir buenos científicos e investigadores. La UNAM tiene un excelente grupo de profesionales y equipo sofisticado para realizar esta tarea; aunque hay que reconocer que se necesitaría invertir en más equipo e instalaciones piloto de los diversos procesos de que pueda constar el Programa alternativo.

El financiamiento de nuevos programas siempre es difícil, pero no imposible, ya que debemos considerar que existen organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud, Naciones Unidas, Fundaciones particulares , etc. que se encuentran dispuestos a financiar proyectos de valía para el hombre. Es ahora la tarea de los responsables del Programa el establecer programas concretos, ya sea individuales o multidisciplinarios, y salir a buscar los apoyos necesarios para su arranque y desarrollo.

#### **PRIMER PROYECTO: *Reciclado de papel y cartón.***

La UNAM genera una gran cantidad de papel blanco y papel mezclado, el cuál es susceptible de reciclarse, para lo cuál sería necesario el construir una pequeña planta productora de papel, en la que se contemplara todo el proceso completo, desde el destintado hasta la producción de papel reciclado. Es importante notar que la inversión de esta Miniplanta tendría una capacidad promedio de 2 Ton/día lo que representaría una amortización de la inversión a mediano plazo y considerando que la UNAM cuenta con una planta tratadora de aguas, la contaminación que éste proceso puede generar es mínimo, pero el ahorro de recursos naturales y gastos en papelería es considerable.

En el caso de los papeles mezclados -periódicos y cartón- estos son adecuados para fabricar cartón, el cuál conlleva un proceso simple comparado con el del papel blanco, estimando que sería de baja inversión la Miniplanta y de alta productividad, con lo que se surtiría a las dependencias universitarias de cajas de cartón para el archivo muerto y para el transporte de papelería.

Otra utilidad sería el elaborar paneles de fibra para techos, para los nuevos edificios que se estan construyendo.

Para éste proyecto se podría invitar a la Facultad de Química e Ingeniería por requerir básicamente de recursos humanos disponibles en dichas instituciones, aunado a que la Miniplanta podría operar como un laboratorio de prácticas anexo.

## **SEGUNDO PROYECTO: Vidrio.**

Este material es realmente noble y se puede decir con un adecuado proyecto se puede reciclar el 100% del vidrio generado en C.U.

El proyecto propondría el lavado de las botellas que sean rescatadas intactas para ser rellenas posteriormente con agua natural, elaborada por la UNAM y puesta a la venta a la comunidad universitaria a un precio reducido, intentando con esto el evitar epidemias por la ingestión de aguas contaminadas ( ej. cólera, tifoidea, salmonelosis, etc. ), así como contribuir al ahorro del estudiante y a generar una conciencia menos consumista de refrescos y por ende de azúcar refinada que como se sabe por estudios científicos es perjudicial para la salud.

En el caso del vidrio roto o astillado, el proyecto contemplaría su total trituración para ser enviado ya sea al Instituto de Ingeniería, o al Instituto de Química, o al Centro para la Innovación tecnológica, o por último al Instituto de Investigaciones en Materiales para su estudio y posible evaluación para el desarrollo de proceso de fabricación de fibras de vidrio y vidrios de alta resistencia.

## **TERCER PROYECTO: Plásticos.**

El fascinante mundo de los plásticos es tan amplio que podrían citarse cientos de posibles proyectos para su aplicación. Lo importante para poder desarrollar esta tecnología es la adecuada clasificación de cada plástico a reciclar y su trituración para obtener un adecuado pellet de plástico, capaz de ser trabajado libremente. Se debe considerar en el proceso la eliminación de impurezas para garantizar una calidad óptima.

La UNAM se vería beneficiada principalmente con el reciclado de los plásticos si su aplicación se canalizara al campo de:

- los materiales de construcción ( ej. ventanas y marcos de plástico; tubería diversa; paneles de plástico reforzado con fibras ya sea de vidrio o de madera; etc.),
- el mantenimiento del mobiliario y equipo de la UNAM (ej. hacer papeletas de plástico reforzado para las bancas cambiando las tradicionales de madera e innovando los asientos de éstas con el mismo material pero con sistemas de circulación de aire y algo acojinadas posiblemente; elaboración de resinas poliuretanas para el barnizado del mobiliario de madera y puertas ),
- la investigación de materiales plásticos de mayores características técnicas principalmente enfocadas a su reciclado y degradación.
- la fabricación de materia prima utilizable para la realización de prácticas en los laboratorios de plásticos tanto en la Facultad de Química, como en Posgrado de Arquitectura y la Facultad de Ingeniería.
- la fabricación de bolsas para las tiendas de la UNAM.

En el mundo de los plásticos cualquier idea es factible, lo que se requiere es arrancarla, cosa que en la actualidad debería ser un imperativo debido a que nos está inundando, y no solo eso, los estragos ecológicos que al corto plazo van a generar pueden ser catastróficos, por lo que considero que éste proyecto sería el de menor costo de inversión, sencilla implementación y halagadores resultados a corto plazo, pudiéndose proporcionar esta tecnología a micro y pequeñas industrias, las cuales contribuirían a disminuir este residuo de los tiraderos y de las calles.

#### **CUARTO PROYECTO: Metales.**

Los metales han sido el elemento predilecto para el reciclado. Existe una gran tecnología que sustenta lo anterior, por lo que solamente se requiere el tener separado los elementos metálicos para poder llevar a cabo su reciclado. Un ejemplo bien palpable en la actualidad es el reciclado del bote de aluminio, el cuál tiene una basta demanda en los mercados de la transformación. Aunque en menor cantidad otros metales no ferrosos como son el cobre, el níquel, el estaño, el mercurio, la plata, etc. son también apreciables para su reciclado, aunque los residuos que contienen estos materiales son muy reducidos.

El proyecto contemplaría el canalizar todos estos materiales ya sea a la Facultad de Ingeniería o a la de Química para que fueran utilizados en las prácticas de procesos de fundición, pruebas químicas, y maquinado mecánico. Aunque la cantidad no sería suficiente para satisfacer las necesidades, definitivamente disminuirían estas y se reduciría la basura que se manda al tiradero.

#### **QUINTO PROYECTO: Desechos de comida.**

Los desechos de comida son fácilmente reciclables bajo el sistema de composta. En la UNAM la mayor cantidad de desechos provienen de los comedores universitarios y de los pequeños puestos semifijos y móviles que se encuentran diseminados por todo el campo. Como se pudo observar dentro del Programa de Mejoramiento Ecológico, el relativo al Mejoramiento Continuo de Areas Verdes está hasta la fecha procesando los residuos de jardinería en el Vivero Bajo transformandolos en composta, para lo cuál tienen contenedores, equipo de transporte y equipos trituradores necesarios para generar composta por el sistema aeróbico. Aunque su productividad es relativamente baja debido a la falta de conocimiento del tema, así como de recursos humanos y económicos para su elaboración, es un buen punto de partida para este nuevo proyecto.

Los elementos más viables para la composta son los residuos alimenticios no procesados, esto es naturales ( ej. bagazos de frutas, residuos de verduras naturales obtenidos al momento de su preparación o bien que ya no tienen su consistencia original ("hechadas a perder"). Estos residuos por su reducido tamaño y composición son fácilmente triturables y combinables con tierra común, generandose una composta de excelente calidad y de mínimo costo. El proceso a seguir consistiría en realizar una separación de los residuos naturales y los residuos después de su procesado ( ya que estos se encuentran mezclados generalmente con elementos grasos ).

Para estos últimos será necesario consultar los estudios realizados por parte del Programa Universitario de Alimentos y el Programa Universitario de Investigación de la Salud para conocer los rangos de elementos que constituyen la alimentación del universitario, y estos canalizarlos al Instituto de Biotecnología para poder conocer el potencial para producir alimentos alternativos para animales ( posiblemente para el rancho ubicado en la FES Cuautitlán ), o bien su transformación en combustibles derivados de los residuos (refuse derived fuel).

Otro posible proyecto sería el utilizar biodigestores rotatorios anaeróbicos, con el respectivo aprovechamiento del biogas y su biotransformación en compost, ya sea por las técnicas convencionales o por la nueva técnica de lombricultura. Todo esto le correspondería al Instituto de Biología determinarlo y hacer las pruebas piloto para su posterior desarrollo a nivel industrial.

Correspondería posiblemente al Centro para la Innovación Tecnológica y a la Facultad de Ingeniería el diseñar y construir maquinas de tipo casero y semindustrial ( para restaurantes y hoteles ) que tuvieran como propósito el procesar los residuos sólidos, y así evitar la contaminación ambiental debido a los tiraderos al aire libre.

Vuelvo a insistir el no perder de vista la finalidad del Programa alternativo, esto es, no es con fines de lucro ni de alta industrialización, sino más bien es de investigación y desarrollo de nuevas y mejores técnicas de manufactura mexicana ( aunque en principio tengan la UNAM que importar tecnología de punta de otros países para poder establecer los proyectos y las plantas piloto, pero que por sus experiencias y resultados, sean posibles duplicar y mejorar sin necesidad de importarlos nuevamente ).

El compost puede ser utilizado para abonar los extensos campos deportivos y recreativos con los que cuenta la UNAM aprovechando ampliamente sus bondades, como se estudió en el capítulo tres. Cabe recordar que la tecnología que se desarrolle a éste respecto podrá beneficiar considerablemente el problema de los residuos sólidos, ya que no hay que olvidar que constituyen cerca del 40% del total de los residuos sólidos municipales.

#### **SIXTO PROYECTO: *Tubos fluorescentes.***

Este material no ha sido considerado en México como un gran contaminante y menos de tipo peligroso. En la actualidad la UNAM debe estar desechando un promedio considerable de lamparas fluorescentes diariamente en todas sus dependencias, mandandolas directamente a la basura, sin saber que el mercurio que contienen es un residuo peligroso que contamina la tierra de los tiraderos, y por ende, los lixiviados, los cuales fluyen hacia mantos acuíferos en muchos casos.

Existe en Finlandia un proceso llamado Ecolux 2000, el cual en un reducido espacio puede procesar hasta 2,000 lamparas/hora (500 Kg/hr) recuperandose vidrio y aluminio para su reciclado, mientras que al momento de romper el tubo, una cortina de agua evita la vaporización del mercurio y este es precipitado por un agente químico.

Los lodos que contienen al mercurio son filtrados posteriormente. El filtro conserva al mercurio en forma insoluble, por lo que ahora sí puede ser vertido con seguridad, o bien, recuperado por un proceso químico.

La facultad de Química sería la encargada de dicho proyecto, mientras que la Facultad de Ingeniería podría abrir un seminario de Tesis para que, una vez importado el primer sistema, este sea adaptado a las necesidades de México y se pueda manufacturar con tecnología mexicana.

#### **SEPTIMO PROYECTO: *Mobiliario y equipo viejo.***

La UNAM al ser una gran Casa de estudios tiene a su vez una enorme cantidad de activos fijos, el cuál esta constituido principalmente de mobiliario escolar y de oficinas. Mucho de éste mobiliario es muy viejo y voluminoso, por lo que generalmente es almacenado por largo tiempo esperando ser dado de baja como activo y posteriormente ser removido por un transporte especial. Como el mobiliario es por lo general o de madera o de fierro, si es madera se vá deteriorando rápidamente por el efecto de la humedad, mientras que si es metal, este se oxida rápidamente.

El proyecto de reciclado de mobiliario y equipo deberá estar a cargo de la Dirección General de Proveduría que constatará el estado de los activos y su rendimiento ( vida útil ) reportándolo a la Secretaría Administrativa, pudiendose así destruir el mobiliario y canalizar los materiales producto de su destrucción, si es metal a su fundición, y si es madera a su trituración y posterior empleo, ya sea en compost o bien en fibras para elaborar diferentes productos ( ej. tableros conglomerados).

Le correspondería a la Dirección General de Proveduría el adecuado control de los activos y su eficiente uso, ya que en ocasiones algunas piezas son desechadas no por inservibles sino porque son sustituidas, mientras que otras dependencias requieren mobiliario de soporte y muchas veces tienen que esperar años para ser atendidas. Esto se observa aún más en tiempo de crisis económica y de recorte presupuestal.

#### **OCTAVO PROYECTO: *Servicio Social capacitador y productivo.***

El alumno universitario que se encuentra en los últimos semestres de cualquier carrera se encuentra con el "trauma psicológico" del Servicio Social. Considero que ha sido mal encausado este requisito para la titulación profesional debido principalmente a que no existen programas específicos que canalicen productivamente a toda la población estudiantil que lo requiere.

Si consideramos que se tendrían proyectos bien estructurados, supervisados y desarrollados por profesionales de cada una de las dependencias participantes y que contarían con algo de presupuesto para su desarrollo, que mejor que el recurso humano fuera el de estudiantes universitarios deseosos de aprender tópicos prácticos y de esa manera contribuir realmente al desarrollo de su país.

Es de todos sabido que el Servicio Social es un mero trámite burocrático, ya que en excepcionales ocasiones este es formador, o visto de otra manera, pocas veces contribuye al verdadero desarrollo de las capacidades adquiridas en la carrera cursada, y hasta en ocasiones es denigrante, ya que el alumno se convierte en "sirvientes" desperdiciando el valioso tiempo del alumno.

Le correspondería primordialmente al Programa de Servicio Social Multidisciplinario el estudiar las posibilidades de interacción de los estudiantes a los procesos autoproducidos de la UNAM con el objetivo principal de propiciar un aprendizaje práctico, colaborando con su Universidad y su País.

Al Centro de Investigaciones y Servicios Educativos le correspondería evaluar la posibilidad de considerar a su vez esta participación como un Seminario de Tesis, con lo que el alumno podría integrar mejor sus conocimientos y plasmarlos en una verdadera Tesis Profesional.

Colaborarían en este proyecto tanto Fomento Editorial como Radio y T.V. UNAM difundiendo los proyectos, motivando la participación de toda la comunidad universitaria nacional, invitando a egresados y profesionales de ramas afines a colaborar con su experiencia y supervisión, comunicando continuamente de los avances logrados en esta materia.

#### **NOVENO PROYECTO: *Transferencia de Tecnología.***

Todos los proyectos anteriores han sido vistos desde la óptica de los BENEFICIOS que estos van a generar a la sociedad. Sería inútil el propiciarlos si su meta final fuera la de archivarlos en la gaveta de los Planes y Programas de Desarrollo Nacional.

Es de muchos conocido que todos estos planes serían altamente benéficos para la población si realmente fueran apoyados por todos y cada uno de sus actores, haciendo un genuino alarde de ética profesional y de su compromiso ante la sociedad, antes que la observancia del beneficio particular o de grupo.

Es por eso que un proyecto de gran envergadura será el vincular toda la experiencia y conocimiento adquiridos a lo largo del desarrollo de cada uno de estos y otros proyectos que sobre la marcha van a ir apareciendo con el área productiva y de servicios del país. La UNAM se deberá consolidar como la dotadora de una infraestructura tecnológica capaz de propiciar el desarrollo industrial y cultural del México del siglo XXI.

Para llevar a cabo este proyecto será necesario la participación del Programa de Vinculación de Egresados, a la Coordinación del Sistema de Universidad Abierta, la cuál podría abrir espacios de educación técnica para todo mexicano que no haya podido matricularse en la UNAM debido a su alta demanda, para poder aprovechar su tiempo capacitándose en temas de actualidad.

Será misión del Instituto de Investigaciones Económicas así como del Centro de Información Científica y Humanística el concentrar toda la información vertida por cada uno de los proyectos, analizarla tanto humanística como económicamente para poder establecer conclusiones globales, a los cuales tengan acceso tanto los inversionistas como los industriales mexicanos.

### **8.5.2.3 RETROALIMENTACION.**

El presente Programa Alternativo no es excluyente, sino más bien complementativo del actual Programa de Mejoramiento Ecológico, y busca primordialmente el presentar una nueva visión del problema que afronta actualmente la UNAM y en general el país.

Es de suma importancia observar que solamente he tocado el tema de residuos sólidos por ser el tópico de análisis para este trabajo, pero que las expectativas para los demás subprogramas son iguales o mayores a las que he presentado, por lo que la conclusión más importante de este Programa Alternativo es el aprovechar al máximo todos los recursos disponibles para lograr resolver los problemas que nos aquejan.

Es claro que deberemos trabajar con aínco y dedicación y que juntos lo haremos mejor, bien dice nuestro lema universitario " Por mi raza hablará mi espíritu".

**NOTA: Las siglas D.G.P.C. corresponden a la Dirección General de Proveduría Central;  
las siglas D.G.O. y S.G. corresponden a la Dirección General de Obras y  
Servicios Generales.**

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Después de haber recorrido el amplio mundo de los residuos sólidos, llamados comúnmente "BASURA", es de vital importancia reflexionar en forma ética en la problemática que estos representan y sus posibles soluciones.

Como se pudo observar en el primer capítulo, los seres humanos nos hemos dedicado a dilapidar el mundo en el que vivimos, teniendo como conducta principal el DESPERDICIO de todo lo que nos rodea.

La "*Política del Desperdicio*" siempre ha sido el rasgo característico del ser viviente "PENSANTE", el cuál, no conforme con satisfacer sus necesidades básicas y las de los demás, se lanza a crear nuevas e inexplicables necesidades, así como el exacerbar el sentimiento bélico que toda criatura animal lleva dentro.

El ser humano en su afán de placer y poder ha tocado los límites que le son permitidos tanto por la naturaleza como por la razón. La explosión demográfica sufrida en la última centuria, así como la marcada diferencia de clases (la riqueza de algunos contra la pobreza extrema de muchos) ha desequilibrado el orden natural. Aunado a esto, la "Tecnología", producto de la Revolución Industrial ha venido a complicar el de por sí "Problema del Hombre": LA VIDA PLENA.

La tecnología surge como una filosofía buena, esto es, permitirle al ser humano disfrutar de tiempo para compartirlo con sus semejantes y con esto desarrollarse como Hombre, sin prescindir de los satisfactores necesarios para esta sana convivencia. La realidad es totalmente diferente, la tecnología es sinónimo de poder económico y bélico, a costa del mismo ser humano.

Ahora bien, como todo en la vida tiene un precio, pues bueno, la extinción de fuentes de recursos naturales y la contaminación de nuestro hábitat es lo que el ser humano ahora tiene que pagar. Y la pregunta inmediata es: ¿ Durante cuánto tiempo pagaremos las consecuencias de nuestros actos ?.

La respuesta depende única y exclusivamente del mismo ser humano, esto es, hasta que decida vivir en paz y armonía con sus semejantes y la naturaleza; lo anterior conlleva muchos aspectos, entre los cuales destaca: fin de las guerras, creación de sociedades de desarrollo sostenido, un nuevo orden económico y productivo, respeto total al ser humano y lo que representa, entre otros.

Todo el razonamiento anterior es producto del estudio de la conducta del ser humano reflejada en los desperdicios que por milenios ha producido y que necesariamente deben ser controlados.

En México, al igual que en muchas otras ciudades del mundo, el problema de la basura se ha intentado enfrenar con los viejos esquemas económico-políticos, es decir, que la solución de éstos beneficie a algunos solamente. Pues bien, es momento de tomar decisiones concretas para el bien de la sociedad.

De acuerdo a los temas antes tratados, se puede observar que sólomente el referido al manejo de los residuos sólidos es claramente observable en México, aunque en la actualidad el tema de reciclamiento comienza a tomar mayor interés, básicamente por estar en la línea de lo que a lo largo del trabajo he mantenido como tesis: LA BASURA ES DINERO.

Expresamente concluyo que sería una pésima decisión el querer comprar tecnología de punta (entiendase muy automatizada) para dar solución al problema de la basura en México. No hay que perder de vista que se está atravesando por una severa crisis económica que hoy por hoy (Junio 1995) en datos del INEGI, más del 6% de la población económicamente activa se encuentra desempleada (esto equivale aproximadamente a cerca de un millón y medio de desempleados), y que las fuentes de empleo se reducen cada día más.

El país requiere de fuentes de empleo que le permitan al mexicano tener acceso a un salario fijo para por lo menos subsistir. Y es en éste rubro en donde canalizo la conclusión medular de este trabajo.

Las alternativas que se han planteado para resolver el problema de la basura, en su mayoría no son viables económicamente hablando a menos que se instituyan a muy gran escala (o sea, con inversiones de muchos cientos de millones de dolares), lo que definitivamente el país no puede pagar. Sin embargo, se han esbozado soluciones que, aprovechando los actuales recursos con los cuales efectivamente disponemos (investigación universitaria y mucho recurso humano solidario), se pueden implementar pequeños grandes proyectos, los cuales generarían dos grandes beneficios: 1) Disminuirían sensiblemente los residuos sólidos que requiriesen ser depositados en los rellenos sanitarios, y 2) serían una fuente de empleo para cientos o miles de desempleados en cada municipio en donde estos programas se pusieran a trabajar.

La filosofía de estos proyectos debe entenderse en el contexto social netamente, es decir, de antemano se sabe que "NO SON NEGOCIO" a simple vista, esto es, que la utilidad será primordialmente social y no enriquecerá las arcas nacionales.

Un proyecto deseable sería el fomentar la separación de basura desde la fuente productora, bajo la premisa de que los municipios creasen centros de acopio en donde se le daría trabajo a cientos de personas que se dedicaran a reseleccionar y clasificar los residuos para un posterior tratamiento (triturado de vidrio y plástico, lavado de botellas, homogeneizado y peletizado de plásticos, deshilachado de textiles, triturado de llantas, etc.). Estos centros podrían ser cooperativas auspiciadas con recursos del municipio, o entidades propias del municipio, al cuál le correspondería comercializar los subproductos obtenidos bajo el marco de una legislación estatal o federal que contemple los precios y condiciones de venta.

La organización de los recursos humanos sería tan amplia como la envergadura del proyecto en sí, con lo que a mayor capacidad de tratamiento de los residuos sólidos, mayor índice de empleo fijo.

Otro proyecto sería el promover la fabricación de compost en las mismas casas y a nivel rural a partir de los residuos alimenticios y otros desechos orgánicos, estimulando paralelamente el desarrollo de nuevas y novedosas tecnologías de bajo costo para el procesado de la basura a través de concursos municipales o estatales, o bien, apoyos económicos para la fundación de microindustrias bajo estas tecnologías.

Lo anterior prevee que una gran mayoría de los desempleados que actualmente existen vean la posibilidad de trabajar con la basura y la consideren un medio de sustento honrado y legal ( en contraposición a la pepena ). Inclusive promover la educación técnica para generar técnicos profesionales en la transformación de la basura y en un futuro no muy lejano tener una buena población de Ingenieros Ambientales que se dediquen a cuidar nuestro medio ambiente.

Las Universidades y Centros Tecnológicos deben canalizar parte de sus recursos hacia estas alternativas, ya sea importando tecnología, o bien, generandola, pero sin perder de vista que debe estar dirigida a que la población trabaje y obtenga beneficios de ésta, y no caer de nuevo en la cuenta de una tecnología voraz, que lo único que busca es sacar provecho a costa de los demás. Por lo tanto, se debe PRODUCIR para TODOS NOSOTROS, y no para unos cuantos.

Por todo lo anterior debo concretar, y al mismo tiempo enfatizar que la conclusión a la que he llegado es sin lugar a dudas el poder afirmar que soy un instrumento de bienestar social, al igual que todos los somos, y es nuestra misión cuestionar y de ser necesario limitar los avances tecnológicos específicamente en las áreas de automatización e industria bélica que hoy por hoy perjudican más a la sociedad que beneficiarla; y decididamente fomentar la llamada "tecnología limpia", que realmente emplea a fondo los recursos para el bienestar de todos los hombres, o sea, la investigación científico-humanística enfocada al mejoramiento REAL de la forma de vida del hombre, preservando a su vez la ecología que le rodea.

## **A P E N D I C E S**

**APENDICE A**  
**RESIDUOS SOLIDOS: TERMINOLOGIA**  
**NORMA MEXICANA NOM AA-91-1985**

**APENDICE B**  
**GENERADOR DE ENERGIA ( esquema )**

## APENDICE A: RESIDUOS SOLIDOS -TERMINOLOGIA

Norma Oficial Mexicana NOM - AA - 91 - 1985

Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos -Terminología.

### 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION.

La presente Norma Oficial Mexicana establece un marco de referencia en cuanto a los términos más empleados en el ámbito de la contaminación del suelo, incluyendo sus definiciones.

### 2. TERMINOLOGIA

Esta se aplica a las normas oficiales mexicanas clasificadas bajo el rubro de : "Protección al Ambiente - Contaminación del suelo".

2.1. **Absorción:** Incorporación y fijación de una sustancia en el cuerpo de otra, cuando el fenómeno no se limita tan sólo a la superficie.

2.2. **Acción microbianas:** Proceso de degradación de la materia orgánica en los residuos sólidos debido principalmente a bacterias y hongos los cuales la hidrolizan y oxidan a través de enzimas.

2.3. **Absorción:** Operación en la que una determinada sustancia (absorbato), se transfiere desde un fluido hasta la superficie de un sólido (absorbente), cuyas paredes están en contacto con dicho fluido.

2.4. **Agente activo tóxico:** Cualquier elemento, sustancia o mezcla de sustancias que al incorporarse a los ecosistemas les produce efectos adversos.

2.5. **Aireación:** Inclusión del oxígeno de la atmósfera, por medios naturales o mecánicos, para la degradación por vía aerobia de todos aquellos residuos biodegradables.

2.6. **Almacenamiento:** Acción de retener temporalmente los residuos sólidos, en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección, o se disponen.

2.7. **Biodegradable:** Cualidad que tiene toda materia de tipo orgánico, para ser metabolizada por medios biológicos.

2.8. **Características Biológicas:** Contenido de organismos en los residuos sólidos, medio a través de indicadores, tales como: Número Más Probable (N.M.P.). Cuenta con una placa y resultados de ensayos biológicos.

**2.9. Características Físicas:** Propiedades que definen el estado de la materia que constituye a todo residuo sólido, así como aquellas que no alteran o modifican su naturaleza y composición. Los parámetros más empleados para determinarlas son Densidad, Humedad y Poder Calorífico.

**2.10. Características Químicas:** Propiedades que definen la potencialidad de la materia contenida en todo tipo de residuo sólido para transformarse, cambiar su energía o alterar su estado. Los parámetros más empleados para determinarlas son: pH, Contenido Orgánico Total, Carbono Total, Fósforo Total, Nitrógeno Total, Relación Carbono-Nitrógeno, Cenizas, Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.), Demanda química de Oxígeno (D.Q.O.), Azufre, Sales, Ácidos, Bases y Metales Pesados.

**2.11. Comentario Industrial:** Obra de ingeniería, para la disposición final o el almacenamiento de residuos sólidos industriales.

**2.12. Cenizas:** Producto final de la combustión de residuos sólidos.

**2.13. Composteo:** Proceso de estabilización biológica de la fracción orgánica de los residuos sólidos, bajo condiciones controladas, para obtener un mejorador orgánico de suelos.

**2.14. Contaminante:** Todo elemento, materia, sustancia, compuesto así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido que al incorporarse o actuar en cualquier elemento del medio físico, alteran o modifican su estado y composición; o bien, afecten la flora, la fauna o la salud humana. Deben entenderse como medio físico al suelo, aire y agua.

**2.15. Contenedores:** Recipientes metálicos de cualquier otro material apropiado según las necesidades, utilizadas para el almacenamiento de los residuos sólidos generados en centros de gran concentración, lugares que presenten difícil acceso, o bien en aquellas zonas donde se requieran.

**2.16. Cuantificación:** Proceso mediante el cual, se determina la composición en peso de cada uno de los subproductos contenidos en los residuos sólidos.

**2.17. Degradable:** Cualidad que presentan determinadas sustancias o compuestos, para descomponerse gradualmente por medios físicos, químicos o biológicos.

**2.18. Densidad:** Masa o cantidad de materia de un determinado residuo sólido, contenida en una unidad de volumen.

**2.19. Disposición final:** Depósito permanente de los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar daños a los ecosistemas.

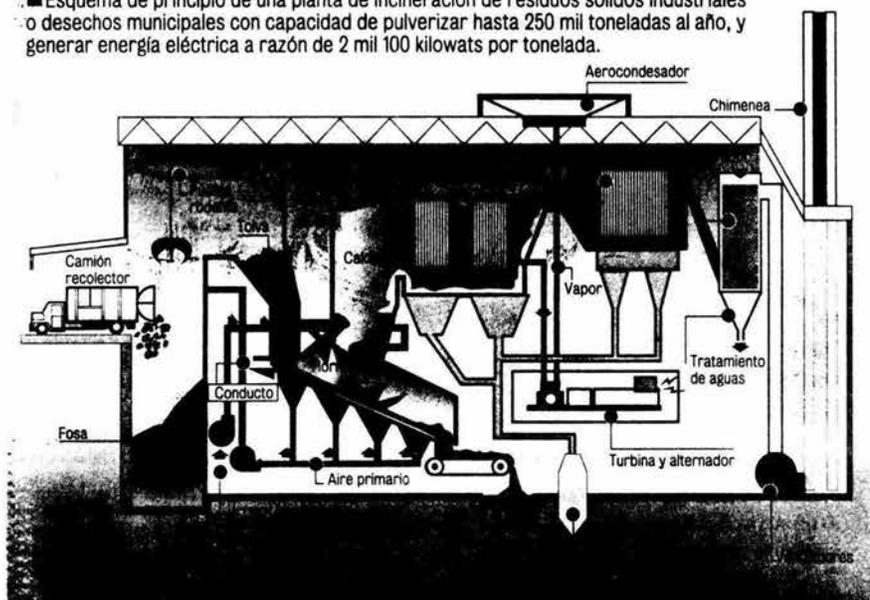
**2.20. Ecosistemas:** Unidad básica de interacción de los organismos vivos entre sí y sobre el medio ambiente, en un espacio determinado.

- 2.21. **Espécimen:** Cada una de las porciones de material que se extraen de la muestra de residuos sólidos, suficientes para efectuar los análisis correspondientes.
- 2.22. **Estación de transferencia:** Obra de ingeniería, para transbordar los residuos sólidos de los vehículos de recolección a los de transporte, y conducirlos a los sitios de tratamiento o disposición final.
- 2.23. **Fauna nociva:** Conjunto de especies animales potencialmente dañinas para la salud y la economía, que nacen, crecen, se producen y alimentan de los residuos orgánicos que son depositados en tiraderos, basurales y rellenos.
- 2.24. **Generación:** Cantidad de residuos sólidos originados por una determinada fuente en un intervalo de tiempo.
- 2.25. **Incineración:** Proceso de combustión controlada, para tratar los residuos sólidos.
- 2.26. **Lixiviado:** Líquido contaminante que resulta del paso de agua a través de un estrato de residuos sólidos.
- 2.27. **Monitoreo:** Conjunto de actividades necesarias para conocer y evaluar la calidad de un determinado elemento del ambiente.
- 2.28. **Muestra:** Parte representativa de un universo o población finita, obtenida para conocer sus características.
- 2.29. **Peso volumétrico:** Peso de los residuos sólidos, contenidos en una unidad de volumen.
- 2.30. **Pirolisis:** Descomposición físico-química del material degradable de los residuos sólidos, debido a la acción de la temperatura en una atmósfera deficiente en oxígeno.
- 2.31. **Reciclo:** Proceso de transformación de los residuos sólidos, para fines productivos.
- 2.32. **Recolección:** Acción de tomar los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos en el equipo destinado a conducirlos a las estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento o sitios de disposición final.
- 2.33. **Relleno sanitario:** Método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales se depositan, se esparcen, compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra, al término de las operaciones del día.
- 2.34. **Residuo:** Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización o tratamiento, cuya calidad no permite incluirlo nuevamente en el proceso que lo generó.
- 2.35. **Residuos incompactibles:** Aquellos que al combinarse y/o mezclarse producen reacciones violentas o liberan sustancias peligrosas.

- 2.36. **Residuo peligroso:** Todo aquel que por sus características físicas, químicas o biológicas, representa desde su generación un daño para el ambiente.
- 2.37. **Residuo potencialmente peligroso:** Todo aquel que por sus características físicas, químicas o biológicas, pueda representar un daño para el ambiente.
- 2.38. **Residuo sólido:** Cualquiera que posea suficiente consistencia para no fluir por sí mismo.
- 2.39. **Residuo sólido industrial:** Aquellos generados en cualesquiera de los procesos de extracción, beneficio, transformación y producción.
- 2.40. **Residuo sólido municipal:** Aquellos que se generan en casas habitación, parques, jardines, vía pública, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes muebles, demoliciones, construcciones, instituciones, establecimientos de servicios y en general todos aquellos generados en actividades municipales que no requieran técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación.
- 2.41. **Reuso:** Acción de usar un residuo sólido, sin previo tratamiento.
- 2.42. **Subproductos:** Diferentes constituyentes de los residuos sólidos.
- 2.43. **Selección:** Método por el cual se separan los residuos sólidos con base en una clasificación previamente establecida.
- 2.44. **Tolerancia:** Nivel máximo permisible de agentes activos tóxicos en los residuos, de acuerdo a lo establecido por la Normas correspondientes.
- 2.45. **Tratamiento:** Proceso que sufren los residuos para eliminar su peligrosidad o hacerlos reutilizables.

## APENDICE B. GENERADOR DE ENERGIA.

■ Esquema de principio de una planta de incineración de residuos sólidos industriales o desechos municipales con capacidad de pulverizar hasta 250 mil toneladas al año, y generar energía eléctrica a razón de 2 mil 100 kilowatts por tonelada.



## BIBLIOGRAFIA

## **BIBLIOGRAFIA:**

### **UNIT OPERATION IN RESOURCE RECOVERY ENGINEERING**

**P. AARNE VESILIND**

**ALAN E. RIMER**

Prentice Hall, Inc. 1980

### **Solid Waste Engineering Principles and Management Issues**

**GEORGE TCHOBANOGLOUS**

**HILARY THEISEN**

**ROLF ELIASSEN**

McGraw Hill Book Company 1990

### **Basura Urbana**

**JAIME LOPEZ GARRIDO**

**FRANCISCO M. VIDAL**

**JOSE PEREIRA MARTINEZ**

Editores Técnicos Asociados 1975

### **Informa de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.**

**MEXICO 1989-1990**

**MEXICO 1992-1993**

**MEXICO 1993-1994**

**SECRETARIAS DE DESARROLLO SOCIAL**

**INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA**

### **Políticas y Estrategias en el Manejo de los Residuos Municipales e Industriales en México**

**ING. ARTURO DAVILA VILLARREAL**

**ASOCIACION MEXICANA PARA EL CONTROL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS Y  
PELIGROSOS A.C. 1988**

### **The McGraw-Hill Recycling Handbook**

**HERBERT F. LUND**

McGraw-Hill Inc. 1993

### **Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues**

**GEORGE TCHOBANOGLOUS**

**HILARY THEISEN**

**SAMUEL VIGIL**

McGraw-Hill Inc. 1992

Curso sobre Manejo y Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales  
SUBSECRETARIA DE ECOLOGIA  
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología 1984

Primer Congreso Nacional "Los Residuos Sólidos y Peligrosos.  
¿ Recurso o Desperdicio ?

ASOCIACION MEXICANA PARA EL CONTROL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS Y  
PELIGROSOS, A.C. 1992

Notas de la Asociación Mexicana para el control de los Residuos Sólidos y Peligrosos A.C.  
AMCRESPAC

Tomo I Volúmenes del 1 al 12 1992-1993

Los Desechos y su Tratamiento

JEAN-BERNARD LEROY

Fondo de Cultura Económica 1987

Evaluación Técnico-Económica de los Procesos de Reciclaje de Desechos Domésticos. Los  
casos del Vidrio, Papel y Plástico

COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL)

Noviembre 1993

Manejo y Reciclaje de los Residuos de Envases y Embalajes

Serie Monográfica No.4

SEDESOL 1993

Umwelt Technologie Baden-Württemberg

Environmental Technology

GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT

BADEN-WÜRTTEMBERG MBH

TechnoGerma 1995

Exposición Enviro-Pro Expo/Tecomex 95

E.J. KRAUSE DE MEXICO S.A. DE C.V.

Revista Prevención de la Contaminación

Vol. 3 núm 2 Marzo 1995

Revista Interface

Ciencia y Tecnología de Francia

DIRECTION DE LA COOPERATION SCIENTIFIQUE-TECHNIQUE ET DU

DEVELOPPEMENT, CENTRO CIENTIFICO Y TECNICO DE LA EMBAJA DE FRANCIA

Febrero 1991

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS PARA MAYOR INFORMACION:**

Proceedings of the Seventh International Conference on Solid Waste Management and  
Secondary Materials

IRAJ ZANDI, University of Pennsylvania 1991

Recycling Equipment and Technology for Municipal Solid Waste  
Material Recovery Facilities

JOSEPH T. SWARTZBAUGH

DONOVAN S. DUVALL

LUIS F. DIAZ

GEORGE M. SAVAGE

Noyes Data Corporation 1992

Small-Scale Municipal Solid Waste Energy Recovery Systems

GERSHMAN, BRICKNER & BRATTON, INC.

Van Nostrand Reinhold Company 1986

Composting and Recycling Municipal Solid Waste

LUIS F. DIAZ

GEORGE M. SAVAGE

LINDA L. EGGERTH

CLARENCE G. GOLUEKE

Lewis Publishers 1993

Waste-to-Energy Commercial Facilities Profiles

Technical, Operational and Economic Perspectives

DICK RICHARDS

ROBERT GOULD

DAN SKELLY

MARGARET M. SACHS

DENNIS DREHER

Noyes Data Corporation 1990

Practical Handbook of Environmental Control

CONRAD P. STRAUB

CRC Press, Inc. 1991

The Solution to Pollution

LAURENCE SOMBKE

MssterMedia Limited 1990

The Solution to Pollution

LAURENCE SOMBKE

MasterMedia Limited 1990

**The Green Pages**  
**A Directory of U.S. Suppliers of Environmental Products & Services**  
**UNITED STATES-ASIA ENVIRONMENTAL PARTNERSHIP**  
**1995 Edition**

**Finish Environmental & Technological Review**  
**ENVIROTECH 1995**  
**Helsinki, Finland**

**UNAP**