

## **RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

### *INTRODUCCIÓN*

Los residuos sólidos comprenden todos los residuos que provienen de actividades humanas y animales, que normalmente son sólidos y que son desechados. Por sus propiedades intrínsecas, la mayoría de los materiales componentes de los residuos sólidos desechados son reutilizables y se pueden considerar como un recurso. La generación de residuos en las sociedades modernas es empleada como un indicador más de su desarrollo.

Desde el comienzo de las sociedades primitivas, los seres humanos y los animales han utilizado los recursos brindados por la tierra para su subsistencia, desarrollo y deposición de residuos. Al comienzo, la deposición de los residuos humanos no constituía un problema específico, ya que el tamaño de la población era pequeño y el territorio disponible para la asimilación de los residuos era grande.

El origen y desarrollo del problema de evacuación de residuos se incrementan a partir de que los seres humanos comenzaron a concentrarse en comunidades urbanas, además el crecimiento demográfico, las mejores condiciones de vida y de alimentación que hoy accede, generó un aumento en la producción de residuos por habitantes, favorecido por la aparición de materiales no degradables y/o reutilizables, sumado a todo la dificultad de comprender en forma global por la sociedad como factor agravante.

Desde la antigüedad el hecho de arrojar comida y otros residuos sólidos en las ciudades – era habitual tirar residuos en las calles, terrenos vacíos, etc – llevó a la reproducción de ratas, portando la peste bubónica y propagándola y ante la falta de algún plan para la gestión de los residuos sólidos llevó a la epidemia, la plaga, la Muerte Negra que mató a la mitad de los europeos del siglo XIV, causando muchas epidemias subsiguientes con altos índices de mortalidad. No fue hasta el siglo XIX cuando las medidas de control de la salud pública llegó a ser de una consideración vital para los funcionarios públicos, quienes advirtieron que los residuos de comida tenían que ser recolectados y evacuados de una forma sanitaria para controlar los roedores y a las moscas, vectores de transmisión de enfermedades. La relación entre la salud pública y el almacenamiento, recolección, transporte y disposición inapropiada está muy clara, ya las ratas, los insectos y otros transmisores se reproducen en forma incontrolada en los vertederos incontrolados.

Fenómenos ecológicos, tales como la contaminación del aire y el agua, han sido atribuidos también a la gestión inapropiada de los residuos sólidos. Por ejemplo el líquido de basureros y rellenos mal diseñados, desde el punto de vista ingenieril, han contaminados las aguas superficiales y subterráneas.

En el transcurso de este tema, veremos sintéticamente los distintos aspectos que caracterizan a los residuos, centrando especial atención a los sólidos y específicamente a los de origen urbano en donde la generación y acumulación de estos es una consecuencia directa de la vida.

### **RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

La palabra basura ha significado y para mucha gente aún significa algo despectivo, algo que carece de valor y de lo que hay que deshacerse, de esta manera lo útil, que no siempre

necesario, se convierte en un estorbo y es causa del problema de cómo desentendernos de lo que consumimos o producimos.

En el medio rural nunca fue un verdadero problema, pues los residuos orgánicos seguían el ciclo de la vida sirviendo de abono o de alimento para animales, los vertidos arrojados a los ríos eran depurados por las propias aguas, dado el gran poder depurador de la naturaleza.

En las ciudades la basura lleva siendo un problema casi desde el origen de éstas, debido a la alta densidad de población y al hecho de arrojar la basura a las calles. Esto ha producido la proliferación de insectos, roedores y microorganismos patógenos, trayendo como consecuencia enfermedades catastróficas para el hombre.

### **Definición**

Residuo: Cualquier objeto, materia, sustancia o elemento resultante de la actividad social y económica, que deja de ser útil, funcional o estético para quien lo genera.

Residuos sólidos urbanos: Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son los que se originan en la actividad doméstica y comercial de ciudades y pueblos. En los países desarrollados en los que cada vez se usan más envases, papel, y en los que la cultura de "usar y tirar" se ha extendido a todo tipo de bienes de consumo, las cantidades de basura que se generan han ido creciendo hasta llegar a cifras muy altas.

### **Clasificación**

El residuo se puede clasificar de diversas formas, de acuerdo al estado en que se encuentra, a su origen o característica

#### *Clasificación por estado*

Un residuo es definido por estado según el estado físico en que se encuentre. Existe por lo tanto tres tipos de residuos desde este punto de vista sólidos, líquidos (efluentes) y gaseosos (emisiones), cabe aclarar que el alcance real de esta clasificación puede fijarse en términos netamente descriptivos o, como es realizado en la práctica, según la forma de manipularlos: por ejemplo un recipiente cerrado con aceite y/o cualquier fluido usado y que es considerado residuo, es intrínsecamente un líquido, pero su manejo va a ser como un sólido pues es transportado en camiones y no por un sistema de conducción hidráulica (cañerías).

#### *Clasificación por la Fuente de Origen*

El conocimiento del origen y los tipos de residuos sólidos, así como su composición y las cantidades que se generan, es básico para el diseño y operación de los elementos funcionales asociados a la gestión de residuos sólidos.

Se puede definir el residuo por la fuente o actividad que le da origen, la que en general está relacionada con el uso del suelo y su localización. Estas clasificaciones pueden resumirse en las siguientes categorías, domiciliarios (domésticos), comerciales, institucionales, demolición y construcción, barrio y limpieza (higiene urbana), industriales, rurales, planta depuradoras, esencialmente esta clasificación es sectorial.

- Residuos urbanos o municipales:

La generación de residuos urbanos varía en función de factores culturales y costumbres asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población. El creciente desarrollo de la economía trae consigo un considerable incremento en la generación de estos residuos.

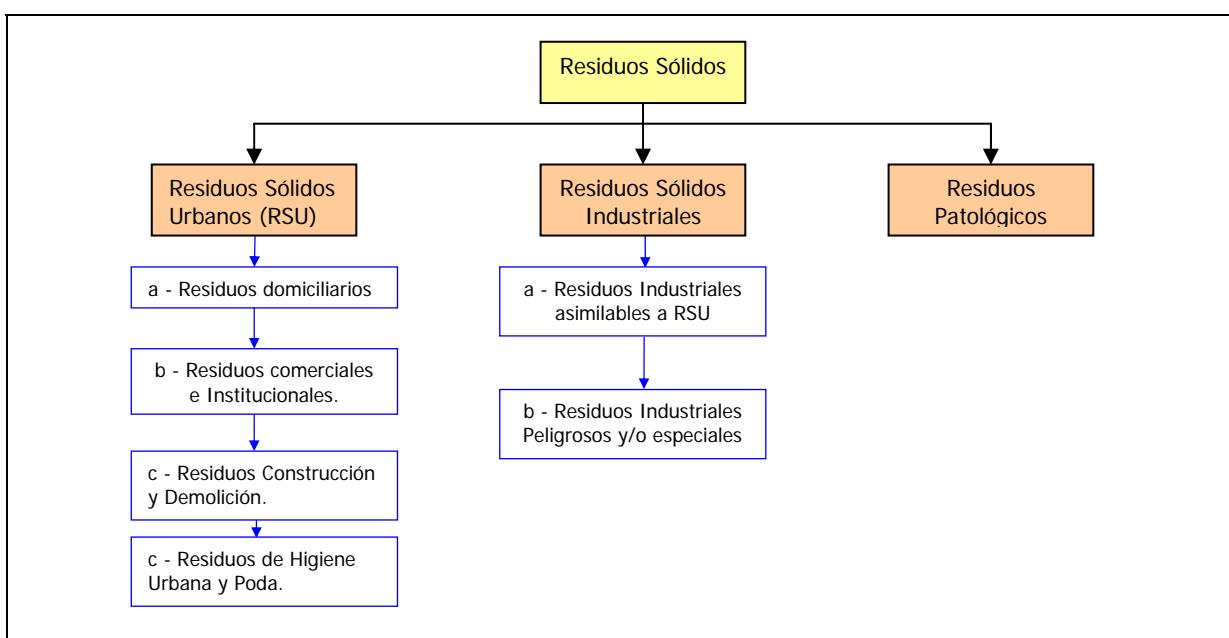
Los sectores de alto poder adquisitivo generan mayores volúmenes por cápita de residuos, y estos residuos tienen un mayor valor incorporado que los provenientes de sectores más pobres de la población.

- Residuos industriales :

Son el resultado de una actividad industrial y la cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso.

- Residuos hospitalarios :

Son los generados por centros sanitarios en donde la composición de los residuos hospitalarios varía desde el residuo tipo residencial y comercial a residuos de tipo médico conteniendo substancias peligrosas.



FUENTE	ACTIVIDADES GENERADORAS	TIPO DE RESIDUOS SÓLIDOS
<b>Domestica/Residencial</b>	Viviendas unifamiliares y multifamiliares	Restos de comida, papel , papel y cartón, plásticos, textiles, goma, cuero, madera, vidrio, metales, cerámica, electrodomésticos, muebles, poda, pilas, aceite, residuos domésticos peligrosos.
<b>Comercial / Institucionales</b>	Tiendas, Restaurantes, mercados, oficinas, hoteles, estaciones de servicio, talleres mecánicos, etc./ Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales	Idem solo que varían las cantidades
<b>Construcción y Demolición</b>	Lugares de construcción y demolición de edificaciones, vías de comunicación, etc.	Madera, ladrillos, acero, escombros, hormigón, material de excavaciones, etc
<b>Servicio Municipal de Higiene urbana</b>	Barrido y limpieza de calles, recolección de residuos de cestos públicos, poda de árboles y arbustos, limpieza de plazas, limpieza de desagües.	Tierra, hojas, restos de poda de árboles y plantas, residuos de desagües, etc.
<b>Plantas de Tratamientos</b>	Agua, aguas residuales y proceso de tratamiento industrial, etc.	Residuos de planta de tratamiento compuestos principalmente de lodos o barros.

#### *Clasificación por tipo de manejo*

Se puede clasificar un residuo por presentar alguna característica asociada al riesgo que implica su manejo y disposición:

Desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos:

- Residuo peligroso: "todo desecho que puede causar daño directa o indirectamente a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general". (Ley Nacional 24.051).
- Residuo inerte: Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.
- Residuo no peligroso: Ninguno de los anteriores.

La cantidad y volumen de residuos sólidos generados por una sociedad está condicionada por una serie de factores, es importante tener en cuenta que esta cantidad de residuos no depende únicamente del número de habitantes de una población sino que esta relacionada con otros factores como son el proceso de urbanización, patrones de consumo o nivel de vida, prácticas culturales de manejo del residuo, ingresos, clima y estacionalidad, sucesos especiales o extraordinarios, uso de tecnologías y desarrollo industrial.

Los residuos generados por una población en continua evolución y sujetos a la influencia de numerosos factores, entre los que cabe señalar los siguientes:

- Tamaño de la población: Va a condicionar normalmente su desarrollo socioeconómico y la generación y tipo de los residuos, aumentando la cantidad y diversidad conforme aumenta la población.
- Nivel de vida: el aumento del poder adquisitivo propicia el aumento en la generación de residuos.
- Época del año: De la misma forma que dentro de la semana se registran cambios predecibles en la generación; así con relación al periodo anual también se constatan cambios ligadas a costumbres alimenticias diferentes a los cambios estacionales de población.
- Climatología: Influye en los hábitos alimenticios y otras costumbres de consumo.

Habitualmente es necesario estimar las cantidades de residuos sólidos que serán generadas, de acuerdo a la categoría de residuos, dentro de una comunidad. Para esto se utilizan indicadores donde la unidad básica del indicador es la producción per cápita de residuo (PPC), que indica el número de kilogramos de residuos sólidos que produce cada habitante por día en una población determinada (kg/hab/día), en el transcurso de un año.

La importancia de este indicador radica en que se considera que, en la generación de residuos domésticos son los habitantes del área -directa e indirectamente- los productores. De modo que el número de pobladores se transforma en el factor preponderante en la determinación de las cantidades de residuos generados reflejando las condiciones de producción y consumo de la sociedad, teniendo repercusiones a largo plazo en la salud humana y en el medioambiente.

La limitación que presenta este indicador es que, no existe en el país un registro sistemático de la recolección de residuos, razón por la cual pueden existir sobredimensionamiento o subregistro de los datos. De este modo, la tarea de establecer una línea de base de las variables e indicadores asociados a los RSU, demanda indagar en diversas fuentes y vincular distintos tipos de información. Particularmente en Argentina, esta tarea se dificulta ya que son escasos los organismos que tienen los datos organizados en bases compatibles, lo cual obliga a realizar abstracciones, inferencias y procesamientos manuales.

Los datos que se presentan en la tabla1 se confeccionaron de acuerdo a un muestreo que involucra a un cierto número de municipios más representativos de 24 provincias del país, durante el año 2005. Por esto, el estudio de antecedentes realizado en el marco de elaboración de la Estrategia Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbano (ENGIRSU) -orientado a construir un diagnóstico sumario sobre la situación actual del manejo de RSU en Argentina- se apoyó fundamentalmente en un relevamiento de datos, obtenidos empíricamente a través de visitas y entrevistas con los distintos interlocutores municipales.

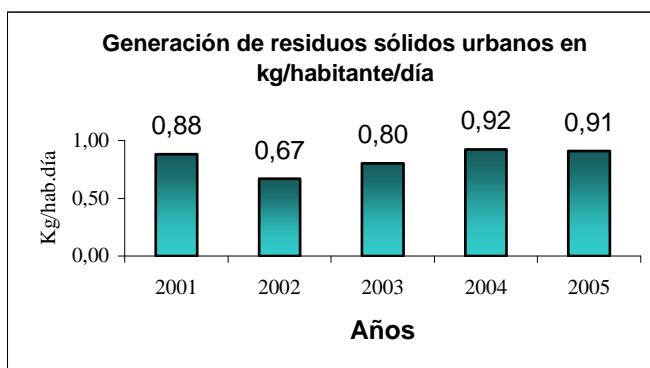
Provincias	Población (Extrapolada a 2004)	GPC (kg / hab.día)	RSU Total (miles ton / año)
Buenos Aires	14.312.138	0,83	4.268
Catamarca	359.963	0,69	90
Ciudad de Buenos Aires	2.721.750	1,52	1.493
Córdoba	3.177.382	1,05	1.204
Corrientes	979.223	0,87	306
Chaco	1.053.335	0,61	232
Chubut	433.739	0,95	148
Entre Ríos	1.209.218	0,60	261
Formosa	518.000	0,65	122
Jujuy	650.123	0,71	166
La Pampa	314.131	0,98	111
La Rioja	315.744	0,77	88
Mendoza	1.637.765	1,15	678
Misiones	1.033.676	0,44	163
Neuquén	508.309	0,92	169
Río Negro	571.013	0,86	178
Salta	1.157.551	0,76	316
San Juan	655.152	0,96	226
San Luis	399.425	1,12	161
Santa Cruz	211.336	0,82	63
Santa Fe	3.079.223	1,11	1.235
Santiago Del Estero	852.096	0,83	255
Tierra del Fuego	113.363	0,64	26
Tucumán	1.405.521	0,73	369
<b>TOTAL</b>	<b>37.669.169</b>	<b>0,91</b>	<b>12.325</b>

Tabla 1 - Generación Per Cápita y Total por Provincia y País

La GPC media del país se encuentra entre 0,91 y 0,95 kg/hab. día; con un máximo de 1,52 kg/hab. día para la Ciudad de Buenos Aires y un mínimo de 0,44 kg/hab. día para la Provincia de Misiones.

En Argentina se genera un total de 12.325.000 de Tn/año; el mayor generador es la Provincia de Buenos Aires con 4.268.000Tn/año, y el menor Tierra del Fuego con 26.000 Tn/año.

El indicador muestra la cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) generados por habitante por día en el transcurso de un año.



Fuente: Diagnóstico Preliminar de la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, 2004. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Jefatura de Gabinete de Ministros. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC).

Se observa para 2002 una reducción de 210 gramos en la generación de RSU respecto de 2001, debido a la crisis económica producida. Dicha tendencia comienza a revertirse producto de la mayor actividad económica a partir del año siguiente. Para 2005 se observa una leve disminución de la cantidad generada, fundamentalmente debido al aumento de la población.

La cantidad de residuos sólidos generada por la población y su disposición final es relevante para el éxito de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, por cuanto su volumen, peso, composición, tiempo de exposición y disposición final provocan impactos significativos en el ambiente físico-biotico y la salud humana, los cuales están en relación con la contaminación atmosférica, contaminación del suelo y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, comprometiendo la evolución y sustentabilidad del planeta.

### Composición

Composición es el término utilizado para describir los componentes individuales que conforman los residuos sólidos y su distribución relativa, normalmente expresado en porcentajes por peso. La información sobre la composición física de los residuos sólidos es importante para evaluar las necesidades de equipos, y los programas y planes de gestión.

Contar con datos de composición de RSU permite conocer la fracción de estos residuos susceptibles de recuperación. (kg/día y porcentaje de fracción húmeda -alimentos y poda- y fracción seca -papel, vidrio, metales y plásticos). Considerar a los RSU como recursos e

ingresarlos nuevamente al sistema productivo, permite generar un ahorro energético, de materias primas, además de reducir la cantidad de residuos que se disponen en basurales a cielo abierto o rellenos semicontrolados o sanitarios.

A continuación se presenta en la Tabla 2 consignando la proporción típica de los RSU en Argentina:

Componente RSU	%
Papel – cartón	17
Vidrio	5
Metales	2
Plásticos	14
Orgánicos	50
Otros	12

Tabla 2 – Composición típica RSU en Argentina

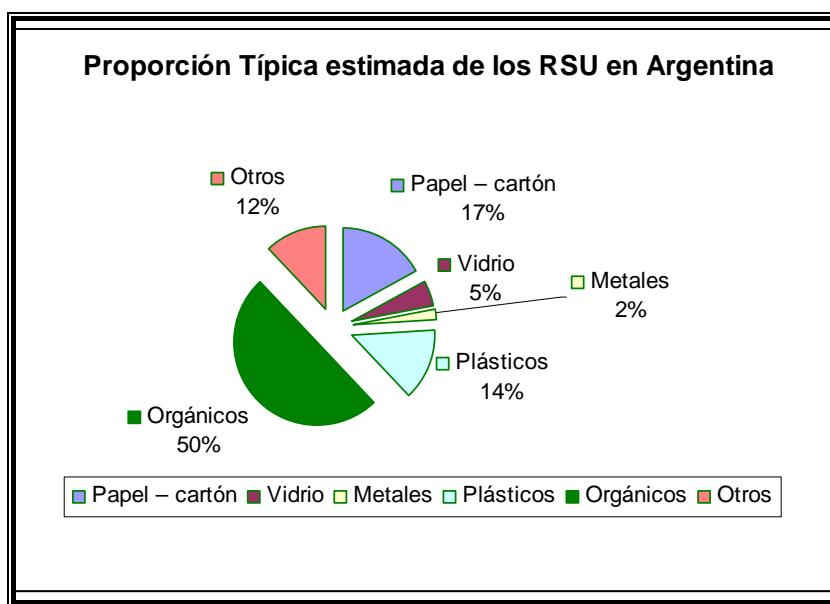


Grafico 2

La composición de RSU, de acuerdo a datos promedio de 2002, 2003 y 2004 se observa en el gráfico 2, que el 50% de los RSU son orgánicos, le siguen en proporción el papel y cartón (17%), Plásticos (14%), Vidrios (5%), Metales (2%), otros (12%). Este indicador permite conocer la fracción de residuos susceptibles de recuperación.

### Recolección y Transporte

La *Recolección* es la actividad consistente en recoger los residuos dispuestos en los sitios indicados y su carga en los vehículos recolectores. La descarga del vehículo de recolección también se considera como parte de la operación de recolección

La recolección podrá ser:

- General: sin discriminar los distintos tipos de residuo.
- Diferenciada: discriminando por tipo de residuo en función de su posterior tratamiento y valoración.

En la mayoría de las ciudades medianas y pequeñas, el servicio de recolección y transporte es operado por los municipios en forma directa o por contratación con operadores privados. A su vez, estas pueden ser empresas especializadas o cooperativas locales cuyos fines suelen contemplar la prestación simultánea de otros servicios. En tanto, las ciudades de mayor envergadura, en general, la cobertura del servicio de recolección supera el 90% de la población.

En relación a la frecuencia de recolección, esta debe oscilar entre 5 y 6 días semanales en las grandes y medianas ciudades y de 3 días por semana en las pequeñas localidades.

El transporte comprende el traslado de los residuos entre los diferentes sitios comprendidos en la recolección hasta los lugares de vaciado de los vehículos utilizados para el transporte. Este lugar puede ser una instalación de procesamiento de materiales, una estación de transferencia o directamente el sitio donde se hará su disposición final. En las pequeñas localidades, donde los lugares de disposición final están cerca, el transporte de residuos no genera mayor problema. En las grandes ciudades, sin embargo las grandes distancias a recorrer son mayores desde el punto de recolección hasta el punto de disposición, esta distancia puede tener significativas implicancias económicas. Cuando hay que recorrer distancias largas, habitualmente se utilizan las estaciones de transferencia y transporte.

Las *Estaciones de Transferencia* son instalaciones donde los residuos de los vehículos recolectores son transferidos a equipos de transporte de gran capacidad de carga, los cuales finalmente son los encargados de llevar los residuos a la Plantas de Tratamiento o al lugar donde se realizará la Disposición Final. Nuestro país cuenta con pocos ejemplos de este tipo de instalaciones de transferencia. Existen tres Estaciones de Transferencia (EDT) en la Ciudad de Buenos Aires, y una en cada una de las siguientes localidades: Rosario (Santa Fe), Carlos Paz y en Unquillo (Córdoba).

Si bien una Estación de Transferencia incrementa el manipuleo de los residuos, y encarece los costos de la recolección, por la construcción y operación de la misma, es altamente beneficiosa cuando el incremento de estos gastos se compensa con el ahorro que su utilización conlleva. La transferencia se torna más económicamente viable cuanto más se incremente la distancia entre el productor de residuos y el lugar de su disposición.

Los principales beneficios derivados del uso de las Estaciones de Transferencia pueden resumirse en los siguientes:

- 1.- Economía de transporte
- 2.- Ahorro de Trabajo
- 3.- Ahorro de Energía
- 4.- Reducción de costos por desgaste y/o roturas de equipos
- 5.- Versatilidad
- 6.- Reducción del frente de descarga en los rellenos.

## **TRATAMIENTO**

Tratamiento de los residuos sólidos: son utilizadas para mejorar la eficiencia de los sistemas de disposición final de residuos y para recuperar recursos (materiales reutilizables) y energía. El tratamiento es posible sobre la materia orgánica que compone los RSU. Esta acción la transforma total o parcialmente en un nuevo producto con propiedades diferentes a las de origen (compost/ lombricomposto). El nuevo producto tiene valor comercial, el cual puede ser comercializado y/o utilizado como fertilizante orgánico.

La recuperación trata de la separación y acopio de RSU. Se priorizan los residuos con mayor valor económico.

Entre las técnicas que se utilizan comúnmente para el tratamiento y recupero de RSU tenemos la de compactación o reducción mecánica de volumen, trituración, incineración, transformación biológica y disposición final.

### **Selección**

En un estado no seleccionado, tal como se recolecta, los residuos sólidos urbanos son biológicamente inestables, pueden llegar a generar fuertes olores, y son esencialmente no útiles. La función de las instalaciones para la recuperación de materiales es separar los RSU no seleccionados para la obtención de materiales útiles. Componentes de residuos como papel, plásticos, vidrio, y metales pueden recuperarse a partir de los RSU, para su transformación en nuevos productos.

Las operaciones básicas utilizadas para la separación y el procesamiento de residuos, ambos, separados y no seleccionados, son diseñadas 1) para modificar las características físicas de los residuos para que se puedan separar los componentes de residuos más fácilmente, 2) para separar de los residuos componentes y contaminantes específicos y 3) para procesar y preparar los materiales separados para posteriores usos.

Los procesos unitarios mas frecuentemente utilizados para el procesamiento de los RSU separados y no seleccionados son. Trituración, cribado, separación por densidad, separación magnética, compactación.

Los RSU que llegan a la planta de selección, su separación se realiza en forma manual, seleccionando los componentes individuales de residuos mientras pasan por una cinta transportadora sin fin, donde operarios ubicados a ambos lados de la cinta separan los distintos elementos.

El diseño de instalaciones para seleccionar componentes de residuos depende en gran parte de las características de los residuos, del número de elementos reciclables no seleccionado que hay que separar, y de la capacidad de rendimiento de la instalación. Los factores críticos en el diseño de una instalación de selección son: el ancho de la cinta, la velocidad de la cinta, el espesor promedio de los materiales residuales sobre la cinta.

La tendencia en los países desarrollados es propender a la separación en origen, en donde el propio generador de residuo hace una primera selección del residuo, separando los residuos de origen orgánicos por un lado, los materiales recuperables o reciclables por otro y disponiendo en contenedores diferenciados para este efecto. Luego la recolección de estos es selectiva, transportando los residuos directamente a las instalaciones donde serán sometidos al tratamiento adecuado al tipo de residuo.

### **Trituración**

Reducción de tamaño es el proceso unitario por el que se reduce mecánicamente el tamaño de los materiales residuales recolectados. Se utiliza el término trituración para describir las operaciones mecánicas de reducción en tamaño. El objetivo es obtener un producto uniforme para un mejor manejo del mismo, el producto obtenido es de tamaño reducido considerablemente, comparado con su forma original. Hay que destacar que la reducción de

tamaño no implica la reducción en volumen. El equipamiento de reducción en tamaño utilizado para el procesamiento de residuos incluye trituradoras, trituradoras de vidrio y trituradoras para madera.

Entre las trituradoras más comunes utilizadas para la reducción de tamaño de los RSU, podemos citar: el molino de martillo, el molino batiente otrituradora y la trituradora cortante

Un ejemplo ilustrativo de este procedimiento es el procesamiento que se le da al papel o al cartón para su reutilización debido a que son triturados para volverlos a utilizar. También son triturados los vidrios previa selección de acuerdo al color de estos, se los separa en vidrios de color verde, blanco y ámbar.

### **Compactación**

Compactación o reducción mecánica del volumen: que es quizá el factor más importante en la operación de los sistemas de manejo de los residuos sólidos, básicamente incrementa la densidad de los materiales residuales para almacenarlos y transportarlos con mayor eficiencia. Por mencionar uno de los beneficios de esta operación podemos afirmar que la vida útil de los rellenos sanitarios se incrementa de manera significativa con la compactación de los residuos, ya que al disminuir su volumen lleva más tiempo llenarlos.

Cuando se compactan los residuos su densidad final puede llegar a valores de 1100kg/m<sup>3</sup>; la operación se puede llevar a cabo con vehículos equipados con mecanismos de compactación en la recolección de los residuos o con equipo fijo en planta de selección.

Existen varias tecnologías disponibles para la densificación de residuos sólidos y recuperados. Este equipamiento incluye: compactadoras estacionarias o fijas, máquinas empaquetadoras que producen fardos atados con alambre, máquinas peletizadoras, etc. Cuando se llevan residuos y se cargan en una compactadora manual o mecánica, la compactadora es estacionaria, un ejemplo de esto es el mecanismo de compactación usado para compactar residuos en un camión de recolección. Una compactadora equipado con orugas o ruedas, utilizado para compactar residuo en un relleno sanitario se la clasifica como móvil.

Normalmente las compactadoras estacionarias se pueden describir según su aplicación como:

- 1) De trabajo ligero, como aquellas utilizadas para los RSU ligeros domésticos y comerciales.
- 2) De comercio o industria ligera.
- 3) De industria pesada.
- 4) De estación de transferencia.

El rendimiento del equipamiento de compactación y de embalaje se valora por la reducción en volumen porcentual y la relación de compactación. Otro factor importante a tener en cuenta es el peso específico final de los residuos compactados y con fines de diseño, los equipos de compactación se clasifican para el rendimiento en términos de t/h.

Los factores a considerar en la selección de equipos de compactación tienen en cuenta: la finalidad de la densificación, las características del material que se va a procesar, método de transferencia de los materiales hasta y desde el equipo de compactación, características operacionales (requerimiento de energía) y factores de localización.

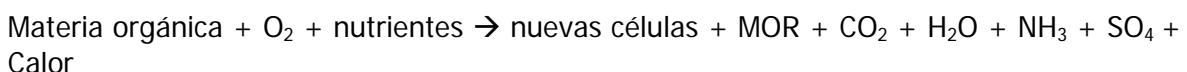
Las transformaciones biológicas de la fracción orgánica de los RSU se pueden utilizar para reducir el volumen y el peso del material; para producir compost, una materia similar al humus que se puede utilizar como fertilizante de suelo, y para producir metano. Los principales organismos involucrados en las transformaciones biológicas de residuos orgánicos son bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos. Estas transformaciones pueden realizarse aerobiamente o anaerobiamente, según la disponibilidad de oxígeno. Las principales diferencias entre las reacciones de conversión aerobia y anaerobia está en la naturaleza de los productos finales y en el hecho de que sea necesario administrar oxígeno para la conversión. Los procesos biológicos que se han utilizados para la conversión de la fracción orgánica de los RSU son: el compostaje aerobio, la digestión anaerobia y la digestión anaerobia de sólidos de alta concentración.

**Compostaje aerobio:** Proceso de transformación biológica en el cual la materia orgánica biodegradable contenida en los RS, es descompuesta en presencia de oxígeno y bajo condiciones controladas de operación, hacia un estado lo suficientemente estable como para obtener un producto cuyo manejo, almacenamiento y usos de aplicación posteriores sea seguro para el ambiente y la salud del hombre.

Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son:

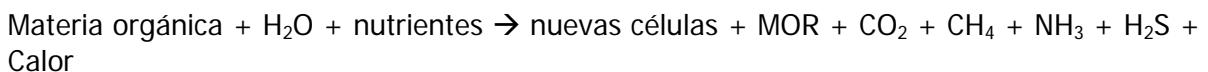
- Temperatura
- Humedad
- PH
- Oxígeno
- Relación C/N equilibrada
- Población microbiana.

El compostaje en condiciones aeróbias se puede representar por la siguiente expresión:



El compostaje aerobio produce un compost de mayor calidad y su puesta en marcha es sencilla; sin embargo requiere un gasto energético para aportar oxígeno, reduce menos el volumen de la materia orgánica, requiere grandes superficies, tiene un límite en la carga que puede tratar y expulsa gases contaminantes a la atmósfera.

**Digestión anaerobia:** La porción biodegradable de la fracción orgánica de los RSU se puede convertir biológicamente bajo condiciones anaerobias en un gas que contiene dióxido de carbono y metano ( $\text{CH}_4$ ). Esta conversión se puede representar con la siguiente ecuación:



De esta manera, los principales productos finales son: dióxido de carbono, metano, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y materia orgánica resistente. La materia orgánica resistente o lodos digeridos deben ser deshidratados antes de disponer en un relleno.

## **Incineración**

El procesamiento térmico de los residuos sólidos, utilizado para la reducción en volumen y la recuperación en energía, es un elemento importante en muchos sistemas de gestión integral de residuos sólidos.

La incineración puede definirse como el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante oxidación química aplicable a los RSU que transforma a éstos en productos finales. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión, compuestos principalmente de nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua, rechazos no combustibles (cenizas y escorias), todos estos dependerán de la calidad inicial de los residuos sólidos. Además se puede recuperar energía mediante el intercambio del calor procedente de los gases calientes de la combustión.

Los objetivos básicos de incinerar residuos son:

- Generación de calor (como es el caso de un horno convencional o de una caldera para producir vapor o electricidad)
- Destrucción del residuo tratado para disminuir su volumen y masa.
- Transformar el material cargado en cenizas incombustibles, escorias, dióxido de carbono y agua
- Recuperar calorías para producir vapor o electricidad.

Los sistemas de incineración de residuos sólidos pueden diseñarse para operar con dos tipos de combustible de residuos sólidos: residuos sólidos no seleccionados (quemados en bruto) y residuos sólidos procesados en forma de combustible derivado de residuos, pero el tipo predominante es el primero.

En los sistemas de incineración de quemado en bruto se da un tratamiento mínimo de trituración a los residuos, asegurando la homogeneidad de los mismos antes de colocarlos en la tolva de alimentación del sistema.

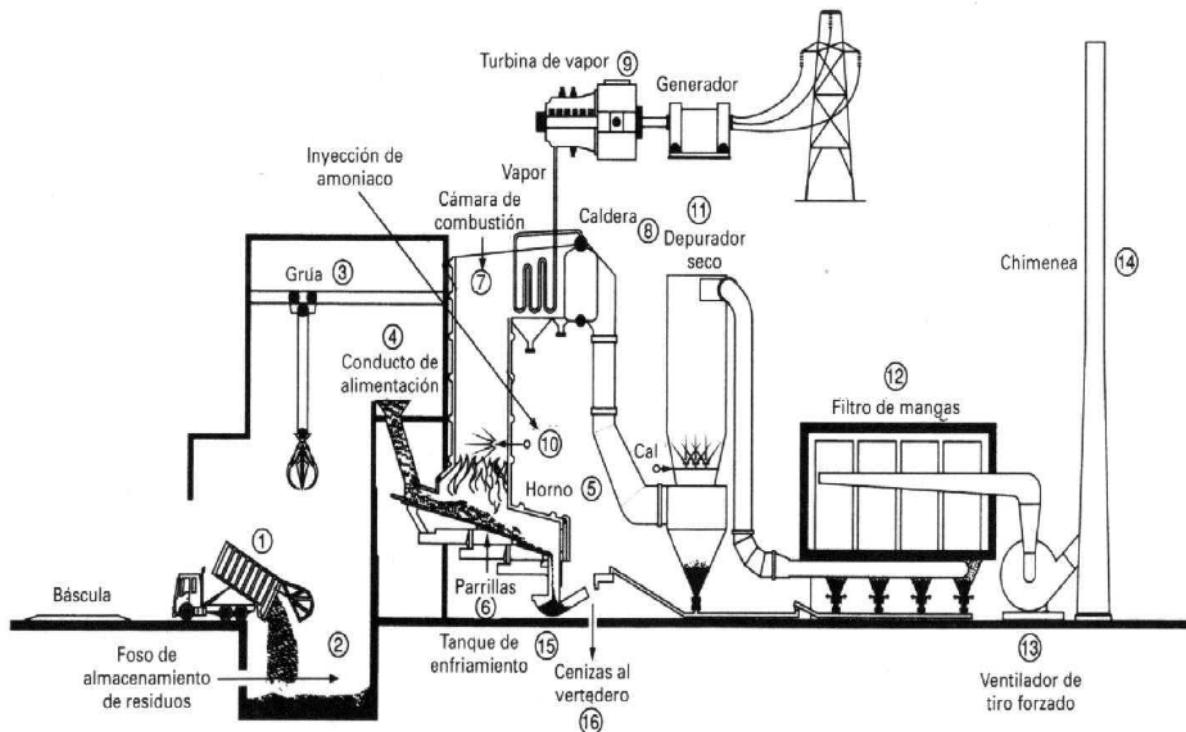
La efectividad de la combustión en el proceso de incineración estará dada por tres factores "las 3 T"

- Temperatura del horno
  - capacidad calorífica de los combustibles
  - diseño del horno
  - entrada de aire
  - control de combustión
- Tiempo de residencia
  - turbulencia
  - tamaño de partículas
- Turbulencia

La incinerabilidad de los residuos depende de:

- Contenido de Humedad. A mayor contenido de humedad, más combustible adicional será requerido para la destrucción del residuo. Disminuye la eficiencia del proceso.
- Poder calorífico (kcal/kg o KJ/kg). Clasificado como Inferior (PCI) y Superior (PCS). Se recomienda un Poder calorífico inferior (PCI) superior a los 1400 kcal/kg de residuo para asegurar la autocombustión.

En la figura siguiente se puede observar un esquema simplificado de una planta de incineración.



El rendimiento de una planta incineradora se expresa nominalmente en t/d.

### **Recuperación y aprovechamiento**

**Recuperación de materiales para reutilización:** Como una cuestión práctica, los componentes que son más tratables para su recuperación son aquellos para los que existen mercados, y que están presentes en los residuos en una cantidad suficiente como para justificar el proceso de separación. Los materiales más frecuentemente recuperados de los RSU incluyen papel, cartón, plástico, recortes de poda de jardines, vidrio, metales ferrosos y no ferrosos.

**Recuperación de productos de conversión y energía:** La fracción orgánica de los RSU puede ser convertida en productos utilizables, y últimamente en energía por diversos métodos como la combustión, conversión biológica para producir compost, la biodigestión para generar metano, etc.

### **Rellenos sanitarios**

La disposición final sobre el suelo es el único método viable para el manejo a largo plazo de los residuos sólidos recolectados que no tendrán un uso en el futuro. Para la disposición de los residuos sólidos existen diversos métodos, en donde el relleno sanitario es el adecuado y más utilizado para disposición de residuos sólidos urbanos.

El relleno sanitario es un espacio construido en el manto superior de la tierra para la disposición final de residuos sólidos municipales, con características especiales para evitar la

contaminación de mantos freáticos y de las áreas cercanas. Dicho espacio normalmente se localiza en las afueras de las grandes ciudades y debe tenerse en cuenta ciertas características tanto en el diseño como en la operación.

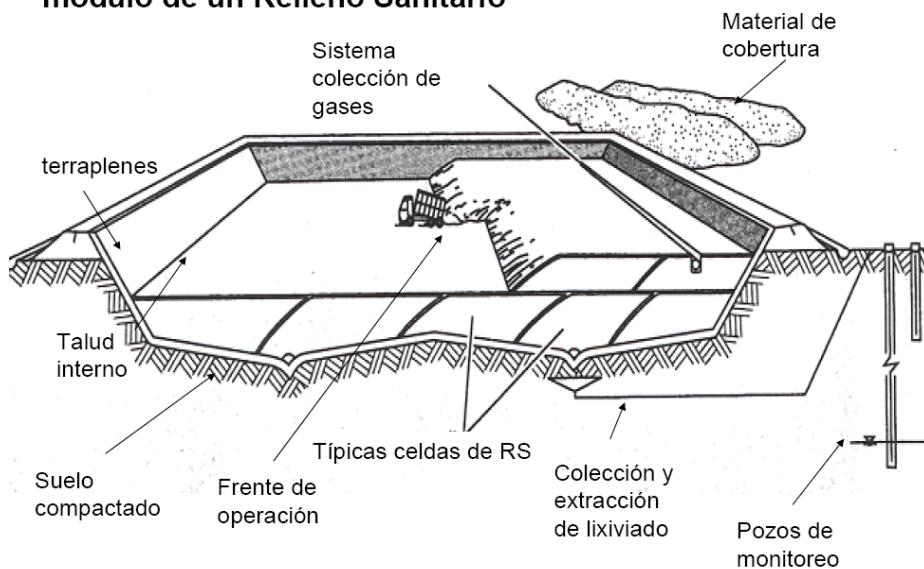
Para controlar la disposición de los residuos sólidos en el manto superior de la tierra, se deben considerar aspectos importantes, en donde las consideraciones más significativas en el diseño y operación de los rellenos sanitarios incluye los requerimientos del terreno, el tipo de residuos que se van a manejar, evaluación de la filtración potencial, diseño del drenaje e instalaciones para controlar la filtración, desarrollo de un plan general de operación, diseño de un plan de llenado con los residuos sólidos y determinación de los requerimientos de equipamiento; también se deben tomar en consideración factores individuales que estarán en función de las áreas seleccionadas y de actividades preventivas como la protección de aguas subterráneas, comunicaciones, instalaciones para el personal, equipo contra incendio y tirado clandestino de basura en el relleno sanitario. De esos factores, los más importantes son los planes de operación y de llenado del relleno sanitario. En el primero se deben tomar en consideración los caminos de acceso, las escalas en el traslado, el almacenamiento para los residuos especiales y las plantaciones. Para el llenado del relleno sanitario se deben considerar la cantidad de material, la topografía, geología e hidrología.

Cuando los residuos sólidos son depositados en un relleno sanitario ocurren una serie de fenómenos químicos, físicos y biológicos, como la descomposición aeróbica y anaeróbica de materia orgánica con la evolución de gases y líquidos; oxidación química de los residuos; escape de gases del relleno; movimiento de líquidos ocasionado por las diferencias del terreno; disolución y lixiviación de materiales orgánicos e inorgánicos por agua; movimiento del material disuelto por gradientes de concentración o por ósmosis y asentamientos desiguales de los residuos en los espacios vacíos.

Los gases que se encuentran dentro de los rellenos sanitarios podemos encontrar amoniaco, dióxido de carbono, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, metano, nitrógeno y oxígeno, de los cuales los más abundantes son el dióxido de carbono y el metano ya que son producidos por la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos. El control de los gases en los rellenos sanitarios se lleva adelante construyendo respiraderos, barreras de grava o a través de sistemas de recuperación de gas. Para los respiradores se instalan tuberías a través de las capas de grava en el centro de los rellenos sanitarios.

Los lixiviados son los líquidos que se han percolado a través de los residuos. En la mayoría de los rellenos sanitarios se forman por la descomposición de los residuos y por los líquidos que han entrado en los rellenos provenientes de fuentes externas como drenaje superficial, filtración de agua de lluvia y agua subterránea. En condiciones normales se encuentran en el centro de los rellenos sanitarios moviéndose en forma vertical a través de las diferentes capas; sin embargo, en algunas ocasiones pueden presentar movimiento lateral, dependiendo de las características del material adyacente. En el primer caso, algunos de los constituyentes químicos y biológicos serán removidos por la acción de filtración y absorción del material que compone las capas. En general esta acción depende de las características del suelo; especialmente por su contenido de arcilla. De manera que el uso de este material es la manera más eficaz para eliminar o reducir la percolación de los lixiviados. También se utilizan membranas para impermeabilizar, pero son más costosas y requieren de especial cuidado durante el llenado del relleno sanitario para que no se dañen.

### Elementos componentes de un módulo de un Relleno Sanitario



En un Relleno Sanitario es de fundamental importancia controlar los siguientes puntos:

- Compactación de residuos
- Uso sistema de cubrimiento (diario, intermedio y final)
- Sistemas de Impermeabilización
- Sistemas de control de agua superficial
- Colección y tratamiento de lixiviados
- Colección y tratamiento de gases
- Sistema de monitoreo ambiental

### **Residuos industriales**

Aquellos generados en establecimientos industriales y que pueden clasificarse en tres grupos:

- a) Inertes.- Escombros y materiales similares, en general no peligrosos para el medio ambiente, aunque algunos procedentes de la minería pueden contener elementos tóxicos.
- b) Similares a residuos sólidos urbanos.- Forman parte de este grupo los restos de comedores, basura de oficinas, (restos orgánicos, papel, cartón, plásticos, textiles, maderas gomas etc.) que, por sus características, pueden ser gestionados junto con los RSU.
- c) Residuos peligrosos.- Son aquellas sustancias que debido a su composición química y a sus características (inflamabilidad, toxicidad, reactividad química, etc) son peligrosas

### **Residuos peligrosos**

Son los que por sus propiedades fisicoquímicas pueden provocar serios daños en el ambiente, en la salud y a la seguridad de los seres humanos.

Estos tipos de residuos a su vez pueden clasificarse en corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y biológico. Estos residuos son generados en su gran mayoría por las actividades industriales y por su generación, lo importante es identificar la cantidad y tipo de residuos peligrosos de cada fuente, poniendo especial interés en los lugares donde se genera en cantidades considerables.

La ley nacional 24.051 en su artículo segundo define los siguiente "Será considerado peligroso, a los efectos de esta ley, todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general."

En la citada ley en el anexo I establece las categorías de desechos y los constituyentes que se deben controlar, a continuación se citan algunos de estos residuos.

- Y) 1 Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, controles, centros médicos y clínicas para la salud humana y animal.
- Y) 2 Desechos resultantes de la producción y preparación de los productos farmacéuticos.-
- Y) 3 Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos para la salud humana y animal.-
- Y) 4 Desechos resultantes de la producción, la preparación y utilización de biocidas y productos fitosanitarios.-
- Y) 5 Desechos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la preservación de la madera.-
- Y) 7 Desechos que contengan cianuros, resultante del tratamiento térmico y las operaciones de temple.-
- Y) 8 Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinadas.
- Y) 9 Mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.-
- Y) 10 Sustancias y Artículos de desecho que contengan o estén contaminados por bifenilos policlorados (PCB), trifenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB).-

#### DESECHOS QUE TENGAN COMO CONSTITUYENTES

- Y) 19 Metales carbonilos.-
- Y) 20 Berilio, compuesto de Berilio.-
- Y) 21 Compuesto de cromo hexavalente.-
- Y) 22 Compuesto de cobre.-
- Y) 23 Compuesto de zinc.-
- Y) 24 Arsénico, compuesto de arsénico.-
- Y) 25 Selenio, compuesto de selenio.-
- Y) 26 Cadmio, compuesto de cadmio.-
- Y) 27 Antimonio, compuesto de antimonio.-

#### Bibliografía

1. **Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos** - Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación - [www.ambiente.gob.ar/observatoriorsu](http://www.ambiente.gob.ar/observatoriorsu)
2. **Tchobanoglou G., Theisen H., Vigil S.** (1996). Gestión integral de residuos sólidos. Ed. Mc Graw Hill. España.
3. **Ley Nacional n° 25.916** - Gestión de Residuos Domiciliarios.
4. **Ley Nacional n° 24.051** – Residuos Peligrosos.