

1. INTRODUCCION

Residuos pueden ser peligrosos por contener sustancias que afectan e organismo vivo o el medio ambiente, sea por acciones físicas, químicas, biológicas o estas combinadas. La contaminación del ambiente puede afectar el hombre directamente o a través de los alimentos y el agua que bebe.

Ejemplificando :

- Metales pesados, en forma iónica o metabolizada por microorganismo, puede incorporarse en la cadena alimentaria y así llegar al organismo humano y acumularse hasta un nivel de toxicidad que le cause molestia aguda o crónica;
- Hidrocarbonatos aromáticos o clorados, muy usados como solventes y para otros fines industriales, pueden ser absorbidos por la piel o de otra manera directa llegar al organismo, o pueden contaminar el suelo y sus aguas;
- Orgánicos hidrogenados, especialmente pesticidas y agrotóxicos, son tóxicos persistentes, bioacumulativos, asimilables por vegetales y animales, en distintos niveles de intensidad, incorporándose a la cadena alimentaria y afectando la salud.

Las sustancias peligrosas pueden estar contenidas en residuos de las actividades industriales productivas, en los depósitos, en los tratamientos de efluentes y emisiones, en el transporte interno o en las carreteras y ferrocarriles.

El riesgo ambiental de los accidentes es acentuado por la penetración de estas sustancias en aguas superficiales y en el suelo y sus aguas subterráneas.

La contaminación es tanto más amplia y efectiva cuanto más soluble, fluido, miscible o volátil fuera el contaminante. La movilidad de este es determinante. Por eso los tratamientos visan a inmovilizar los contaminantes por medios químicos (precipitándolos bajo forma insoluble), físicos (solidificándolos), físico-químicos (fijándolos), o visan a destruirlos por medios químicos, térmicos o biológicos.

Un tratamiento tiene por objetivo eliminar, destruir la sustancia o atenuar su peligrosidad, para que el residuo pueda ser destinado con el mínimo riesgo.

El destino final es la disposición del residuo, la cual debe hacer con el riesgo atenuado.

Se requiere almacenamiento transitorio, de corto plazo, para acumularse una cantidad económica para un tratamiento o disposición. Almacenamiento en largo plazo, bajo severas condiciones de seguridad, es la alternativa, cuando no se tiene posibilidad o tecnología para la disposición del residuo peligroso.

2. DISPOSICION DE RESIDUOS PELIGROSOS

2.1. Generalidades

Es el suelo el principal receptor de residuos, sea en rellenos o en canchales de biodegradación, donde se pasa un proceso biológico.

La incineración, proceso térmico de oxidación total, muy importante, es también una forma de disposición, reduciendo los sólidos a una pequeña fracción, mientras echa a la atmósfera un gran volumen de gases.

Lanzamiento en océanos es admisible para ciertos materiales, bajo condiciones muy restrictivas. Explosión controlada es la forma de disponer explosivos.

Cualquiera que sea el proceso o la forma de disposición, es común que también resulten residuos peligrosos con características químicas iguales o distintas, aunque sean en pequeñas cantidades y en bajas concentraciones, en estado sólido o particulado, líquido o gaseoso. Por eso, los efluentes ser monitoreado el medio ambiente donde se procesan o disponen los residuos peligrosos, controlandose su nivel de contaminación.

2.2. Relleno Industrial

Un relleno de residuos debe ser aislado del medio ambiente tanto cuanto sea posible. Un adecuado revestimiento del fondo y de las partes laterales debe aislar el suelo, y una cobertura (progresiva durante el relleno) debe aislar la atmósfera, minimizando los flujos de agua para el interior y de agua y gases del interior hacia afuera.

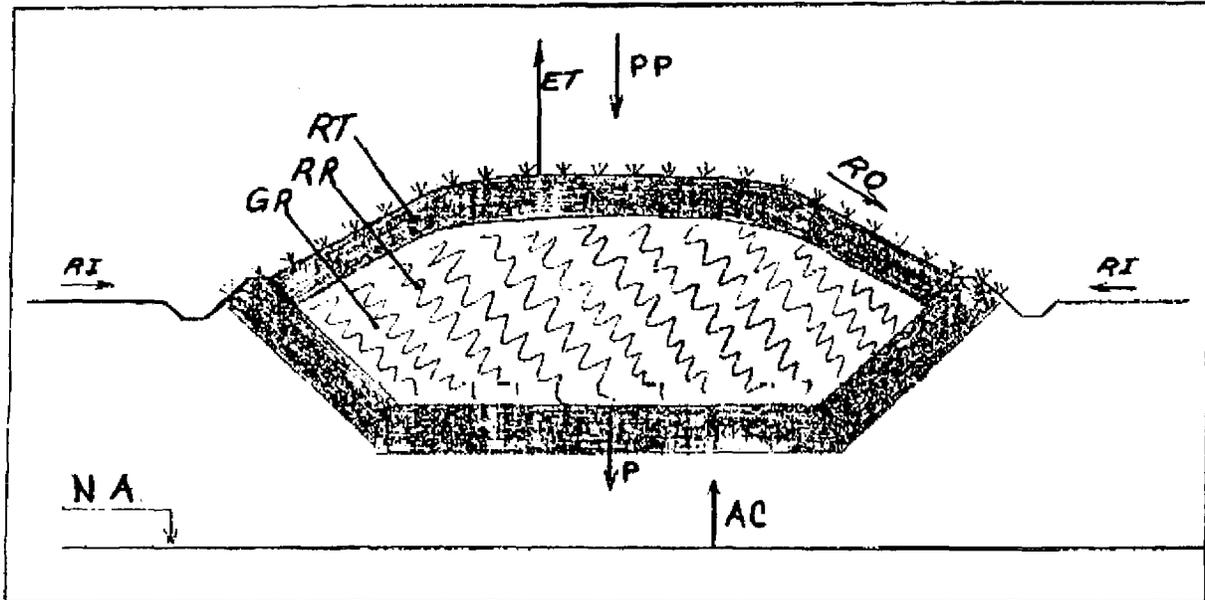
Los residuos dentro de ese envoltorio constituyen un reactor, donde se pasan procesos físicos, químicos, físico-químicos y biológicos. El contacto entre sustancias contenidas, la humedad y condiciones ambientales como el PH y la temperatura activan esos procesos, generando otras sustancias que pueden ser más o menos dañinas para el medio ambiente que las sustancias originales. Resaltan, en consecuencia, los siguientes cuidados :

- No colocar sustancias reactivas en un relleno;
- No mezclar sustancias incompatibles en un mismo "sector" de relleno;
- No rellenar líquidos o semi-líquidos;
- Reducir al mínimo posible la humedad de los residuos;
- Controlar el PH del ambiente interno (elevándolo a alcalino, en general);
- Recoger, por medio de drenes propios, líquidos y gases que vayan a generarse en el relleno, conduciéndolos a tratamientos adecuados.

El estudio previo de los residuos, su caracterización química bien hecha, son indispensables para así decidir sobre la aceptación o no de esos residuos en un relleno y, si son aceptables, para así planear su disposición en el relleno. La "sectorización" de un gran relleno, aislando sectores para residuos de características compatibles entre sí y con el revestimiento de la cavidad, es un recurso utilizado para minimizar problemas. Otro recurso, más radical y seguro, es diseñar cavidades (menores) específicas para determinados grupos de residuos.

El balance hídrico bien interpretado suministra buena orientación para el diseño de un relleno industrial. El objetivo principal es minimizar el "percolado", que es el saldo : líquidos que ingresan y los que se generan en el interior, menos los que son retenidos por los materiales del relleno.

Balance Hídrico



PP	=	Precipitación pluvial
RI	=	"run-in"
AC	=	Ascensión capilar
ET	=	Evapo-transpiración
RO	=	"run-off"
RT	=	Retenido/liberado por la tierra (-/+)
RR	=	Retenido/liberado por los residuos (-/+)
GR	=	Generado/consumido por las reacciones con los residuos (+/-)
P	=	Percolado (saldo)

$$P = (PP + RI + AC) - (ET + RO) \pm (RT + RR + GR)$$

Objetivo = $p \rightarrow 0$

El "percolado" es el efluente final que deberá ser recogido para tratamiento.

Si el percolado ultrapasa el revestimiento protector del relleno, contaminará la zona insaturada del suelo y, progresivamente, llegará a la zona saturada. En esta zona, adquirirá mayor movilidad, desplazándose con el agua subterránea. Así contaminará la capa freática, las aguas superficiales, pozos de captación y podrá llegar a los acuíferos subterráneos contenidos.

En las zonas insaturadas y saturadas, los contaminantes podrán sufrir una atenuación, la cual dependerá de las características del suelo, del contenido químico del suelo y del agua, y de microorganismos presentes.

Considerando los varios aspectos involucrados, las agencias de control ambiental establecen normas para selección de sitios y para diseño de rellenos industriales. En anexo, se presentan normas de la US.EPA (*Environment Protection Agency*, de los Estados Unidos), bastante utilizadas también en otros países.

Un suelo arcilloso ($k \leq 10^{-7}$ cm/s) y con el freático a más de 3m son condiciones deseables para ubicar un relleno industrial. Revestimiento con geomembranas impermeables, protegidas estas con geotextiles, drenes para remover los efluentes y para monitorear la eficacia de la permeabilización, constituyen elementos constructivos hoy obligatorios para este tipo de relleno.

2.3. Co-Disposición de Residuos Urbanos e Industriales

La disposición de residuos industriales en rellenos de desechos urbanos es una práctica antigua y muy común, origen muy frecuente de contaminación de suelos. Debe ser evitada, pero es factible para algunos residuos sólidos, semi-sólidos(todos) y líquido, cada cual con sus limitaciones y tecnología propia. Residuos biodegradables son bienvenidos, los persistentes son excluidos, así como muchos oleos minerales, y metales pesados sufren grandes restricciones.

El relleno para co disposición debe ser protegido y drenado. Mientras sean preferidas condiciones aerobias para los desechos urbanos, condiciones anaerobias metanogénicas son las mejores para la co-disposición de residuos industriales.

La co-disposición se fundamenta en las Interacciones químicas y bioquímicas de los residuos rellenos, y presupone que ellas sean favorables a la transformación de compuestos tóxicos en sustancias inertes o de baja toxicidad. Esa presuposición debe estar apoyada en los mejores conocimientos químicos y biológicos de los residuos y desechos, así como de las Interacciones y de los procesos que en ellos van a ocurrir - conocimientos esos que deben concluir (y ser confirmados) por la conveniencia de la co-disposición.

Depende, pues, de planeamiento, control riguroso, personal habilitado, en nivel muy arriba del encontrado en los rellenos de desechos. Por eso, la co-disposición constituye, en general, un riesgo o la certeza de contaminación de suelo (y de las aguas subterráneas y superficiales bajo su influencia).

2.4. Biodegradación en el Suelo Superficial

Esta es una técnica de gran desarrollo actual, sobre todo para remediación de suelos contaminados con Hidrocarbonatos de petróleo. Es un mixto de tratamiento biológico y disposición, pues los residuos remanentes quédanse en el suelo. Por esta razón, el suelo estará contaminado, al fin de un largo período, y deberá ser dispuesto en un relleno propio. La contaminación dependerá del contenido químico de los residuos así tratados - que no deberán contener sustancias tóxicas en proporciones dañosas a los microorganismos que van a tratarlos.

El proceso biológico debe ser aerobio, y se pasa en una capa superficial de 15 a 20 cm arada con máquinas agrícolas o similares, o entonces en pilas airadas por inyectores de aire.

Los microorganismos van a aclimatarse entre los residuos, o pueden ser cultivados en laboratorio, para mayor productividad. Nutrientes (N, P, K) suelen ser agregados y se controla la humedad, el PH, la temperatura, la relación C/N, la capacidad de troca catiónica (CTC) del suelo, y otros parámetros específicos eventuales, además de la materia orgánica que se desea degradar.

La degradación se estabiliza en períodos largos, del orden de seis meses, para los campos de tratamiento más amplios ("landfarms"), a tres meses, para plantas compactas con aireación forzada.

La lluvia perturba la operación y retarda el proceso de descomposición en el suelo superficial. Por eso, a veces se tornan factibles plantas similares a las utilizadas para fabricar compuesto de basura, cerradas y bien controladas para obtenerse rápida descomposición, a la cual deberá seguirse una estabilización en local amplio.

2.5. Incineración

Residuos combustibles de alta peligrosidad o que tengan alto poder calorífico deben ser incinerados. Solventes, organo-halogenados en general son muy agresivos al medio ambiente y, como los oleos, dañan la impermeabilización de los rellenos - será mejor incinerar los residuos que contienen tales sustancias.

El proceso térmico aplicase a residuos en cualquier estado físico y permite una recuperación de energía a veces expresiva. Al mismo tiempo que es un tratamiento, también es una forma de disposición porque reduce los residuos sólidos a una pequeña fracción de la cantidad inicial, pero en esa cantidad estarán concentrados los contaminantes en combustible contenidos en toda la masa inicial, requiriendo, por eso, disposición especial.

El proceso de incineración libera gases tóxicos y corrosivos (directamente o en solución acuosa), que deben ser tratados inmediatamente. De este tratamiento, originanse efluentes, lamas y polvos que también deben ser tratados y dispuestos como residuos peligrosos.

La temperatura del proceso es elevada, exigiéndose 1.200 a 1.300°C para los organo-halogenados. Los gases no deben salir por la chimenea a más de 60°C. El enfriamiento de los gases y su tratamiento son concomitantes. Para disminuir la probabilidad de sintetizarse dioxinas o dibenzofuranos, lo que puede ocurrir en el rango de 200 a 400°C durante el enfriamiento de gases de la combustión de organo-clorados, modernamente se utilizan cámaras de enfriamiento rápido, en las cuales los gases pierden calor muy rápidamente, pasando con muy poco riesgo por las temperaturas críticas, hacia menos de 100°C.

Una planta de incineración se compone, por tanto, de :

- Un conjunto incinerador;
- Un conjunto de tratamiento y disposición de gases, líquidos y sólidos;
- Un conjunto de preparación de los residuos a suministrar; y
- Un conjunto de control y monitoreo del sistema.

El conjunto incinerador para sólidos comprende dos cámaras : la primaria, donde se fragmentan, empiezan a quemar y se gasifican los residuos, y la secundaria, donde se completa la combustión (oxidación total) de esos subproductos. Son muy usados hornos primarios rotativos, mientras sean fijas las cámaras secundarias. Líquidos y gases pueden ser incinerados en una sola cámara, o también alimentar a la cámara primaria.

Los residuos que se desea incinerar deben ser previamente cualificados y cuantificados cuanto a sus componentes químicos y poder calorífico, definiéndose la conveniencia del proceso. Si es conveniente el proceso, los residuos serán acumulados, homogeneizados, preparados para que alimenten sin impactar el incinerador. Es necesario a veces, combustible auxiliar para el proceso (gas, oleo, etc).

El conjunto que trata los gases comprende enfriador, lavadores, filtros, chimenea y complementos. El agua y solución alcalina utilizadas deberán ser tratadas, a su vez, y van a generar residuos semi-sólidos. Escorias, polvos y semi-sólidos generados en los procesos de combustión y tratamiento serán procesados y dispuestos adecuadamente, siendo lo más común la disposición en relleno industrial, después de fijados en bloques con cemento.

El control del sistema, comprende los varios conjuntos integrados, se va tornando cada vez más sofisticado y automatizado, con bloqueos automáticos en caso de irregularidades. Sensores comandan esos controles y monitorean los gases que se van a la atmósfera. Los parámetros ordinariamente monitoreados son O_2 , Cl_2 , HCl , SO_x , NO_x

Se presenta, en anexo, un esquema típico de sistema de incineración.

3. TRATAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Son utilizados tratamientos simultáneos a una disposición, conforme vimos en el capítulo anterior (incineración y descomposición en el suelo superficial), o tratamientos previos a la disposición en el suelo, al almacenamiento por largo plazo, o a un aprovechamiento económico de residuos.

Los tratamientos previos o pre-tratamientos usuales se presentan enseguida:

- **físicos**

- *deshumedecer, secar*
por evaporación, por filtración, por vaporización;
- *solidificar*
utilizando material absorbente o adsorbente;
- *encapsular*
en una capa impermeable de concreto, resina o metal;

- **químicos**

- *fijar*
en una masa de cemento o resina, mediante transformación química o adsorción;
- *neutralizar*
con álcali o ácido fuerte; auxilia la precipitación;
- *precipitar*
con precipitadores y floculadores;
- *oxidar o reducir*
transformando sustancias tóxicas en otras con baja o ninguna toxicidad;

- **biológicos**

- descomponer o transformar sustancias biodegradables en otras con baja o ninguna toxicidad, en ambiente aerobio o anaerobio.

4. INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE RESIDUOS

Modernamente, los residuos se administran con ingeniería y bajo las directrices :

- *no regenerar* residuos, sobre todo los peligrosos.
- *aprovechar* residuos inevitables.
- *tratar* los residuos inaprovechables.
- *disponer* los residuos con el *mínimo impacto ambiental*.

Esas directrices traen implícita la motivación económica :

¡ menor desperdicio, más lucro !

Administrar es conocer, clasificar y organizar los residuos generados en el establecimiento, planear y ejecutar acciones bajo las directrices referidas, utilizando los recursos de ingeniería, industrial y ambiental disponibles.

No regenerar indica disciplina, higiene y adiestramiento en el trabajo, para no desperdiciar recursos; revisión en métodos de trabajo, en diseño industrial, en procesos productivos, en fuentes energéticas y en los sistemas de tratamiento de efluentes, buscando mayor rendimiento y menor generación de residuos, inclusive con sustitución de materias-primas y aditivos. La sustitución por "*tecnologías limpias*" es el paso más largo y caro, progresivo e inevitable a largo plazo.

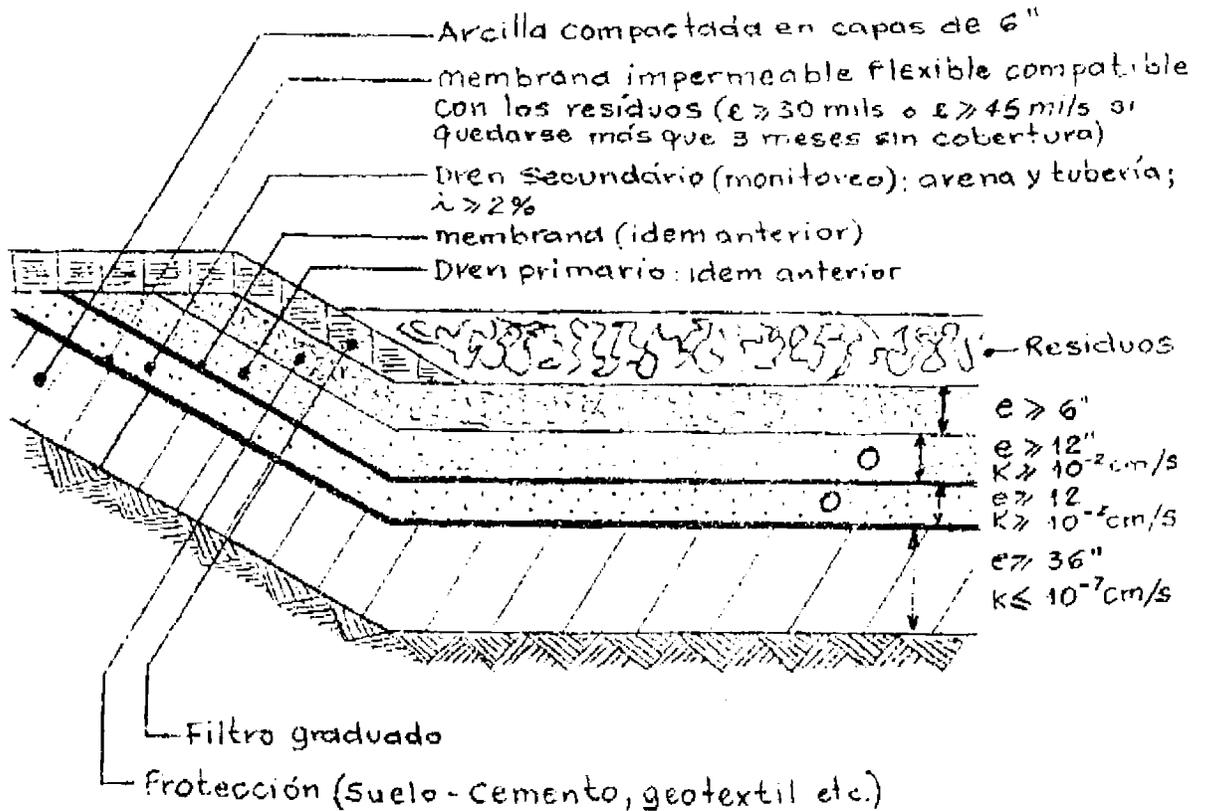
Aprovechar, reciclando o transformando los residuos, es un ahorro de materiales, energía, mano de obra.

Aprovechar, tratar y disponer residuos son actividades económicas especializadas.

Exigen capital, tecnologías, mano de obra, entrenamiento, investigaciones y desarrollo como cualquier emprendimiento moderno y de riesgo. Aunque sea privado, ese emprendimiento depende de la política y de las acciones de gobierno, las cuales van a definir un mercado. Todas las ventajas económicas de esta y la ventaja ambiental de concentrar los riesgos en un solo sitio, elevan a un emprendimiento integrado que es un Centro de Procesamiento y Disposición de Residuos.

RELLENO PARA RESIDUOS PELIGROSOS

Preparación del hondo de conformidad con USEPA - RCRA/HSWA de 8 de Noviembre de 1984.



Nota : La USEPA podrá aceptar que no exista la primera membrana (sobre la arcilla, mediante justificación del diseñador.