

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

1. PANORAMA GENERAL DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La generación de residuos es inherente a toda actividad biológica. En tal sentido la actividad del hombre primitivo no se diferencia demasiado de la del resto de los seres vivos. La evacuación de dichos residuos da en forma natural, volviéndose los mismos a la tierra. Con el desarrollo de la sociedad urbana se rompe el ciclo natural y comienzan a aparecer los problemas. La acumulación de basuras y excrementos en las calles configura un ambiente ideal para la propagación de enfermedades y pestes. Con la creciente industrialización se agudizan los problemas y comienzan a tomarse medidas desde el punto de vista de mejorar la salud pública. De ahí la necesidad de encarar la gestión de residuos.

En una definición simple puede decirse que *residuo* es todo aquello que no tiene valor o utilidad para su generador o propietario. Si además estamos considerando específicamente *residuos sólidos* nos estamos refiriendo a aquellos que se encuentran mayoritariamente en fase sólida, aunque normalmente se incluyen también residuos semisólidos y lodos.

La *gestión de residuos sólidos* puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos, de forma de armonizar los principios de salud pública, economía, ingeniería, conservación, estética y otras consideraciones ambientales, respondiendo además a las expectativas públicas. Puede notarse que se trata de una problemática que abarca aspectos muy diversos tales como planificación, urbanismo, economía, salud pública, sociología e ingeniería, y que por lo tanto se requerirá normalmente una aproximación interdisciplinar.

En la Figura 1 están representados esquemáticamente distintos elementos funcionales de un sistema de gestión de residuos. La *generación* abarca también las actividades en las que los materiales son identificados como sin ningún valor adicional y son tirados o recogidos para la evacuación posterior. Para los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se trata de una actividad de difícil control y modificación por parte del gestor del sistema, por el carácter difuso y normalmente no identificado de las fuentes de generación. Normalmente las posibles modificaciones pasan por un programa educativo intenso que logre modificar comportamientos aceptados socialmente. Es importante señalar la existencia de un paso de identificación por parte del generador de aquello que no tiene utilidad y una decisión al respecto (a modo de ejemplo, quien consume un caramelo decide que el envoltorio no tiene utilidad y lo tira... o lo guarda en el bolsillo).

Además de lo señalado la generación de residuos puede ser modificada por otros mecanismos. Tal es el caso de una concepción de producto que minimice la generación de residuos o facilite la recuperación de materiales. Por ejemplo productos con materiales reciclables o biodegradables, envases que ocupen menor volumen, artículos fácilmente desarmables en sus componentes, productos con materiales menos tóxicos, etc..

Una etapa superior a nivel del generador es realizar la manipulación, separación, almacenamiento y/o procesamiento de materiales en origen. Ejemplo de ello son: separación de materiales tales como periódicos, cartón, botellas y latas del resto de los residuos; almacenamiento en recipientes separados; utilización de las hojas de papel de los dos lados; compactación de envases; compostaje de residuos de jardinería; etc..

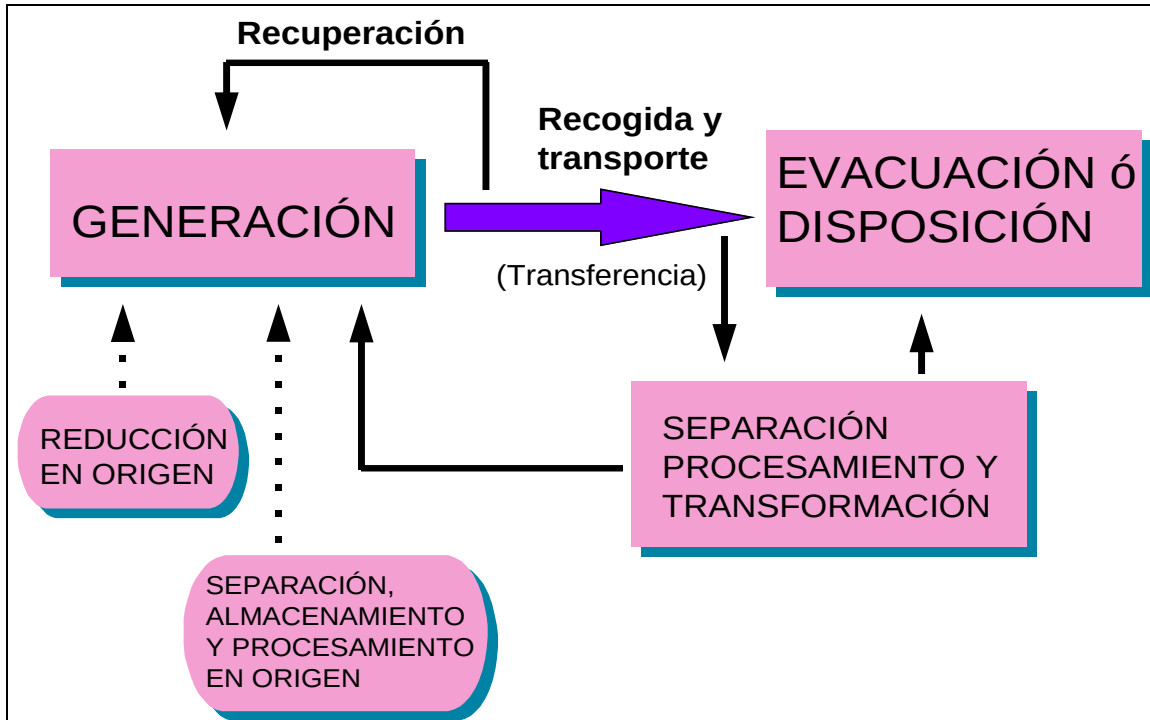


Figura 1

Otro elemento importante en la gestión de residuos sólidos es el *reciclaje*. Existen materiales que pueden ser residuos para determinado generador pero pueden ser reutilizados o convertirse en materias primas para otro productor. La posibilidad del reciclaje está ligada a la clasificación y separación de los residuos.

La recogida y transporte de los residuos hacia el lugar final de evacuación o hacia una estación de transferencia o procesadora de residuos configura de por sí todo un capítulo en el que se conjugan temas tales como ruteo de vehículos, frecuencias de recolección, equipamiento, etc. y normalmente se lleva más de la mitad de los recursos destinados a la gestión de residuos sólidos. En ocasiones, cuando se gestionan volúmenes grandes de residuos en grandes ciudades pueden ser necesarias operaciones de transferencia desde los vehículos que recogen directamente en el domicilio del generador a vehículos de mayor porte que conducen grandes cantidades de residuos a las instalaciones de disposición final.

Los procesos de separación y transformación se emplean para reducir el peso y volumen de residuos a evacuar y para recuperar productos que puedan tener aún algún valor. El procesamiento incluye la separación de objetos voluminosos, la separación de los distintos componentes, la reducción de tamaño y volumen ocupado, la incineración, el compostaje y la digestión biológica.

La *incineración* puede definirse como un proceso de combustión controlada que transforma la fracción combustible de los residuos sólidos en materiales inertes y gases.

Las ventajas más importantes de la incineración son la significativa reducción en peso y volumen de los residuos y, si la operación se realiza correctamente la eliminación de prácticamente toda la materia degradable, incluyendo residuos contaminados con patógenos. Otras ventajas son la posibilidad de utilización del calor latente en los humos, la disminución de los costos de transporte y de terreno. Por el contrario, tiene como desventajas la elevada inversión que exige la planta incineradora y los riesgos importantes de contaminación atmosférica si el proceso no se realiza con los más rigurosos controles.

Los sistemas de incineración pueden diseñarse para operar con residuos sólidos no seleccionados (quemados en bruto), que es el sistema preponderante, o con residuos sólidos procesados en forma de combustible derivado de residuos (RDF); en cualquiera de los dos casos pueden contar o no con dispositivos de recuperación de calor. También se han construido incineradores que operan en régimen de lecho fluidizado.

Otros procesos de transformación térmica no demasiado extendidos incluyen la *pirólisis* (descomposición de los compuestos orgánicos en condiciones limitadas de oxígeno, endotérmica) y la *gasificación* (combustión con déficit de oxígeno para generar un gas combustible).

El *compostaje* es el proceso biológico más frecuentemente utilizado para la conversión de la fracción orgánica de los RSU a un material húmico estable conocido como *compost*. Los compuestos orgánicos más o menos transformados que conforman el humus contraen estrechas uniones fisicoquímicas con ciertos compuestos minerales del suelo y desempeñan una función esencial en la mejora de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Los objetivos generales del compostaje son: transformar materiales orgánicos biodegradables en un material biológicamente estable, y en el proceso reducir el volumen de los residuos; destruir patógenos, huevos de insectos y otros organismos no queridos que puedan estar presentes en los RSU; retener el máximo contenido nutricional (Nitrógeno, Fósforo, Potasio); elaborar un producto que se pueda utilizar para soportar el crecimiento de plantas y como acondicionador de suelo.

Las operaciones de compostaje pueden resumirse en tres pasos básicos: 1) Preprocesamiento de los RSU (recepción, separación de materiales recuperables, reducción en tamaño, ajuste de propiedades tales como relación C/N, humedad, nutrientes. 2) Descomposición de la fracción orgánica (técnica en hileras, en pilas aireadas o en reactor). 3) preparación y venta del compost, una vez curado y estabilizado.

Otros procesos de transformación biológica incluyen la *digestión* de sólidos en condiciones de baja o alta concentración, muchas veces realizado en conjunto con la digestión de fangos provenientes de depuradoras de aguas residuales. También se han ensayado otros procesos para producir combustibles líquidos (metanol, por ejemplo) pero que no han tenido una aplicación comercial extendida.

El último elemento funcional en el sistema de gestión de residuos es la evacuación o disposición final, normalmente realizada en un vertedero hacia el cual confluyen los residuos urbanos directamente y/o los materiales residuales de las estaciones de recuperación de materiales y/o las cenizas de los incineradores y/o los residuos de la

producción de compost o de digestores. De modo que la disposición final siempre es una etapa necesaria y no se contrapone con ningún sistema de transformación. Un vertedero controlado o relleno sanitario no es un basurero sino una obra de ingeniería para evacuar residuos en el terreno minimizando los impactos posibles en la salud pública y en el medio ambiente.

2. POLÍTICAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS

Los distintos elementos del sistema se manifestarán con mayor o menor intensidad según las peculiaridades económicas, sociales y culturales de la región y en función de la existencia o no de políticas definidas que orienten el sistema.

Las peculiaridades económicas, sociales y culturales tienen incidencia en el tipo de residuos, las tasas de generación, la posibilidad de implementar políticas adecuadas de gestión, etc.

Pueden señalarse, sin pretender abarcar todas, varias modalidades de políticas en materia de gestión de RSU: políticas basadas en la difusión de información que pretenden provocar cambios en el comportamiento de la población tanto colectiva como individualmente; políticas basadas en instrumentos económicos, que pretenden forzar el comportamiento de la industria, el comercio y el consumidor introduciendo cambios en la estructura de costos o en el ciclo de vida de los productos (ej.: tasas por la recolección; exoneración de impuestos para los que reciclan; tasas a la materia prima bruta; tasas por el tratamiento y recolección); políticas basadas en la responsabilidad del productor (el productor es responsable por todo el ciclo de vida del producto); políticas basadas en subsidios, por ejemplo para programas de prevención y reciclado, para el desarrollo de procesos y productos que minimicen la generación de residuos, desarrollo del mercado de materiales reciclados, etc.; políticas basados en acciones legislativas que restrinjan las opciones en materia de gestión de residuos, etc. Lógicamente los distintos elementos se combinan para diseñar la política concreta aplicable a la región concreta.

Normalmente los distintos elementos del sistema se suelen encontrar considerados en importancia en el siguiente orden decreciente: disposición o vertido, tratamiento o transformación, reciclado, y minimización de la generación o reducción en origen. Cualquier política racional debería invertir ese orden de jerarquización.

La evaluación de opciones de manejo de residuos no debe efectuarse únicamente en términos de costos puramente financieros, más allá que esto constituya un elemento fundamental. Debe procurarse un manejo de residuos al menor costo posible para la comunidad pero con la debida consideración a la protección del medio ambiente y al uso de los residuos como recurso. Existen diversas técnicas que asignan costos a los servicios "prestados por el ambiente" con lo cual se limita el uso irrestricto del medio natural al incorporarlo a un análisis de costo-beneficio. También se utilizan técnicas no monetarias de evaluación tales como las técnicas de criterios múltiples en las que se evalúa toda la información en una matriz que incluye también aspectos no monetarios.

3. RELLENO SANITARIO

Vertedero Controlado o Relleno Sanitario ("Sanitary Landfill" en inglés, "Aterro Sanitário" en portugués) es una instalación ingenieril para la evacuación de RSU en el terreno, diseñada y operada de forma de minimizar los impactos sobre el medio ambiente y la salud pública, que confina los residuos en el menor volumen posible y los cubre con una capa de tierra al menos una vez al día.

Se debe puntualizar que se trata de una obra de ingeniería, no de un basural. Por lo tanto como toda obra de ingeniería requiere diseño, localización, implantación, operación y clausura correctos, además de los correspondientes estudios económicos.

La técnica del Relleno Sanitario presenta ciertas ventajas si se la compara con otras alternativas que impliquen procesos de transformación (incineración, compostaje, etc.): los costos de inversión son en general mucho menores, así como los costos de operación; no necesita un equipamiento distinto del habitual en obras civiles; no produce "residuos (sólidos)" que necesiten una posterior disposición; presenta gran flexibilidad operacional. Por el contrario se han señalado también desventajas: en realidad no aprovecha ni transforma los residuos (salvo quizá en el eventual aprovechamiento del biogás); requiere áreas extensas y difíciles de conseguir cerca de las grandes urbanizaciones; está sujeto a la acción de las variaciones climáticas; si está mal diseñado u operado se convierte en un riesgo potencial para la salud pública y el medio ambiente. La operación del Relleno genera productos finales tales como gases o lixiviado, que salen fuera del relleno. La descomposición anaerobia que se produce una vez agotado el oxígeno genera fundamentalmente metano y anhídrido carbónico; el metano mezclado con el aire puede llegar a ser explosivo. El lixiviado contiene una carga potencialmente contaminante para acuíferos o cursos de agua cercanos. Además pueden presentarse plagas de roedores, moscas, etc.. Una operación mal conducida puede crear numerosos problemas con olores, dispersión de basura por los alrededores, etc.. Los problemas relacionados con la operación pueden minimizarse siguiendo técnicas de relleno precisas en cuanto a movimiento de tierras y compactación y usando la maquinaria adecuada. Se han estudiado asimismo tecnologías de recirculación de lixiviado o de introducción de agua en el relleno a los efectos de acelerar la descomposición de la basura.

Aún en la actualidad el vertido directo de los residuos recogidos es la alternativa más difundida en el mundo, siendo prácticamente exclusiva en los países subdesarrollados. En países desarrollados con gran disponibilidad de terreno sigue siendo la técnica favorita. A modo de ejemplo, había en EE.UU. en 1975 había alrededor de 8800 Rellenos ocupando unas 80.000 hectáreas y recibiendo residuos sólidos de una población de 92.5 millones de personas; en 1985 el 82% de los residuos era dispuesto en vertederos. Por el contrario en Japón, país con escasez de territorio se disponía en la misma fecha directamente en vertederos menos del 5%.

4. DEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

4.1. Introducción

Una característica sobresaliente de los RSU es su alto contenido de materia orgánica. Esto implica que, en las condiciones habituales que tienen lugar en un Relleno Sanitario, pueda darse la proliferación de las poblaciones de microorganismos contenidas en los propios residuos y con ello la degradación biológica de dicha fracción orgánica. Como resultado de esta actividad biológica y del pasaje de una fase acuosa a través de los residuos se produce un lixiviado caracterizado por un alto grado de concentración de contaminación orgánica y a la vez productos gaseosos que se conocen como biogás. La formación de emisiones, es por tanto inherente a la naturaleza de todo vertedero, y tiene lugar en mayor o menor extensión siempre, salvo situaciones muy particulares, como por ejemplo condiciones de sequedad extremas. De lo que se trata entonces es de controlar dichas emisiones y en lo posible regularlas desde el diseño y la operación del vertedero.

La producción de emisiones varía en el tiempo y con las condiciones ambientales en las cuales ocurre. De ahí la necesidad de estudiar los fenómenos involucrados para poder comprender la naturaleza compleja de la degradación y poder construir un modelo que nos permita conocer dichas emisiones en función del conocimiento o la regulación de ciertos parámetros. Se han planteado diversos modelos para predecir aspectos tales como la generación de biogás y la evolución del caudal de lixiviado. Normalmente es difícil integrar los diferentes aspectos (por ejemplo predecir a la vez el caudal y la concentración de lixiviado) y verificar dichos modelos en las condiciones reales, debido a la extrema variabilidad de las condiciones y la heterogeneidad del medio que se intenta modelar.

4.2. Los mecanismos de la degradación biológica

Los microorganismos son capaces de degradar la materia orgánica y utilizarla para su crecimiento y como fuente de energía. Los microorganismos aerobios realizan su actividad en presencia de oxígeno quien actúa como aceptor final de electrones en la cadena de oxidación-reducción en la que la materia orgánica va aumentando su estado de oxidación, en un metabolismo respiratorio. En el caso de los anaerobios el metabolismo es fermentativo y no hay un receptor externo de electrones; el proceso productor de energía es menos eficaz que en la respiración y en consecuencia los organismos estrictamente fermentativos se caracterizan por tasas de crecimiento y de producción celular menores que los aerobios obligados o incluso aquellos que utilizan otros compuestos como nitrito y sulfito como aceptores de electrones externos.

Para que los microorganismos puedan asimilar la materia orgánica ésta tiene que estar en solución acuosa. De modo que si se parte de un sólido particulado será necesaria una etapa de lisis de dicha partícula para pasar de la fase sólida a la líquida y posiblemente una hidrólisis de las moléculas complejas que las transforme en moléculas más simples que puedan ingresar al interior de las células. Esto se puede lograr con métodos químicos (por ejemplo acidificando el medio) pero suele ocurrir también gracias a la

actividad de enzimas extracelulares que catalizan la ruptura de las moléculas más grandes.

Los microorganismos aerobios consumen la materia orgánica y el oxígeno disueltos (junto con los nutrientes necesarios) para producir nuevas células, energía y como productos finales principalmente anhídrido carbónico y agua. Debido a la escasa solubilidad del oxígeno en el agua, éste se agota rápidamente y el proceso se detiene si no hay un suministro externo de oxígeno.

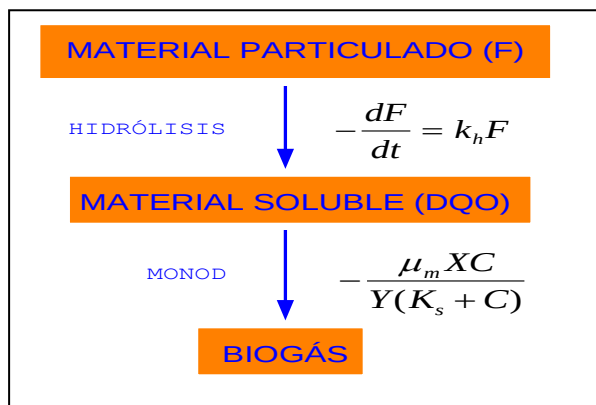
Por el contrario los mecanismos anaerobios no tienen esta limitación. Luego de la hidrólisis de las moléculas grandes de las que resultan principalmente monosacáridos, aminoácidos y ácidos grasos ocurre una etapa de acidogénesis, esto es, de formación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular (acético, propiónico, etc.), junto con hidrógeno y anhídrido carbónico. Este paso es realizado por bacterias denominadas acidogénicas. Otro grupo de bacterias, denominadas metanogénicas, consumen los productos de degradación de las anteriores, hidrógeno y anhídrido carbónico así como acetato para generar metano y anhídrido carbónico.

Para alcanzar un buen desarrollo de la totalidad del proceso debe establecerse un delicado equilibrio entre las diferentes poblaciones de microorganismos de manera que no se acumulen especies intermedias, en particular hidrógeno. Además deben tenerse en cuenta que existirán resistencias a la transferencia de materia que afectarán la cinética del proceso.

4.3. Modelo de degradación de RSU

Los RSU constituyen un medio por demás heterogéneo. No obstante a los efectos del modelado se considerará que presentan un comportamiento suficientemente homogéneo; cuanto mayor sea la escala de trabajo más válida será tal aproximación. Este punto de partida acota el grado de profundidad que debe presentar dicho modelo: debe ser simple y robusto y definido por parámetros que vayan más allá de la heterogeneidad del medio a estudiar.

Un modelo simple y que tiene en cuenta los aspectos generales del proceso de degradación biológica es el siguiente: El material particulado debe pasar a la fase



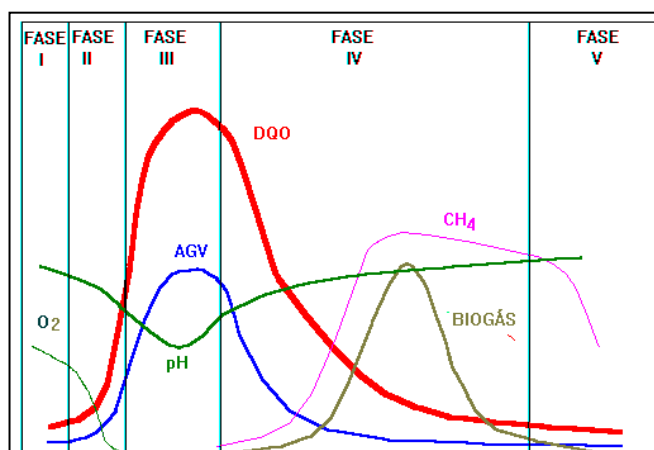
líquida mediante un proceso de hidrólisis que normalmente se representa con una cinética de primer orden. Una vez en la fase acuosa la contaminación orgánica es

degradada por los microorganismos para generar como productos finales metano y anhídrido carbónico.

En este modelo se parte de un comportamiento homogéneo del material particulado y se restringe exclusivamente a la fracción orgánica. Se desprecia la incidencia de los microorganismos aerobios, suponiendo que el oxígeno atrapado inicialmente en los residuos se agota rápidamente y no se repone. Se asume una cinética global de hidrólisis de primer orden respecto al material particulado. Se globaliza en una expresión de Monod todas las etapas de la degradación anaerobia, considerando en conjunto las distintas poblaciones de microorganismos.

4.4. Curvas de producción de lixiviado y biogás

En las curvas del lixiviado pueden identificarse cinco zonas: I) Ajuste inicial, cuando se coloca los residuos y en la que existe oxígeno atrapado en ellos; II) Transición, se consumen el oxígeno y se generan las condiciones anaerobias; comienza el descenso de pH; III) Fase acidogénica, se alcanzan los picos de DQO y AGV y el valor más bajo de pH; IV) Fase metanogénica, se estabiliza la población metanogénica, las curvas descienden, debido a la degradación biológica que produce metano, se alcanzan valores de pH neutro; V) Maduración, desciende la producción de biogás y en el lixiviado es baja la concentración de material biodegradable.



4.5. Factores que inciden en la degradación biológica

Humedad - Existe un contenido mínimo de humedad por debajo del cual no se da la actividad biológica. En climas muy secos puede ser necesario inyectar lodo o agua residual por ejemplo si se desea lograr una actividad biológica significativa. Un aumento en el contenido de humedad aumenta la actividad biológica.

Composición - Una gran concentración de materiales fácilmente putrescibles produce una concentración muy alta de ácidos orgánicos que hace descender el pH bruscamente y puede inhibir el resto del proceso. Normalmente, estos residuos están “diluidos” por las otras fracciones y el proceso finalmente se completa, sobre todo si se consideran grandes volúmenes de residuos.

Microorganismos - En general no hay necesidad de inóculo para iniciar el proceso, siendo suficientes los microorganismos preexistentes en los residuos y el material de cobertura.

Compactación - El proceso parece no estar limitado por problemas de transferencia de materia. No obstante puede dificultarse en zonas excesivamente compactadas donde no fluye la humedad.

4.6. Transporte de contaminantes

A los fenómenos de la degradación biológica hay que sumar los correspondientes al transporte provocado por el flujo de humedad y que diferirán según el contenido de humedad del medio. Parámetros que pueden incidir sobre este aspecto son el grado de compactación, la infiltración neta (definida por la cobertura superior y las precipitaciones), la existencia de drenajes adecuados para el lixiviado y otras características del medio poroso.

DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LIXIVIADO:

El lixiviado de un Relleno Sanitario se genera como consecuencia de la percolación del agua a través de los residuos. La producción de lixiviado depende de las condiciones climáticas (principalmente precipitaciones y temperatura), las características de la cobertura (tipo de material, pendientes, vegetación), además de la extensión en el tiempo (por el avance en superficie del relleno). Tales parámetros son variables en el tiempo, muchas veces en forma aleatoria. No obstante a los efectos del diseño pueden considerarse los valores normalmente los valores promedio o pico según sea el caso.

Existen dos importantes razones por las cuales es necesario prever el caudal de lixiviado: en primer lugar es necesario dimensionar los drenajes de salida; en segundo lugar para definir y diseñar el sistema de tratamiento se necesita conocer (junto con la concentración de contaminantes) el caudal y su variación en el tiempo.

Método simple (“Suizo”) - Este método parte de la base de que cierto porcentaje de las aguas de lluvia se infiltrarán, transformándose en líquidos percolados. Este porcentaje depende del grado de compactación, o sea del peso específico aparente. La estimación del caudal de lixiviado se realiza según

$$Q = P A K / t$$

donde P = precipitaciones (en altura de agua)

A = Superficie expuesta

t = tiempo

K = constante que depende del peso específico aparente (entre 0.4 y 0.7 ton/m³ vale entre 0.25 y 0.50 y por encima de 0.7 ton/m³ vale entre 0.15 y 0.25)

A pesar de su simpleza este método puede ser útil, sobre todo si se dispone de determinaciones de campo para la constante en la región estudiada.

Método del Balance Hídrico - Existen numerosas variaciones del método, según se pretenda ahondar en precisión y según la calidad de los datos que se posean. Presentaremos una versión sin demasiada complejidad. Se parte de un balance de agua en un volumen de control que incluya los residuos y la o las capas de cobertura. Debe definirse la base de tiempo (mensual, anual, etc.) según los objetivos y la cantidad y calidad de los datos con que se cuente. El balance indica que:

$$Lix = P - Esc - ETr - \Delta S$$

donde Lix = Cantidad de lixiviado

P = Cantidad de precipitaciones

Esc = Escorrentía

Etr = Evapotranspiración real

ΔS = Variación del agua retenida

P depende de las condiciones climáticas; en particular deberá contarse de un registro de valores medios (mensuales, anuales), pero también es importante tener información acerca de valores pico e intensidad máxima de precipitación.

Esc depende de las características de la cobertura: pendiente, tipo de suelo y vegetación. En general se toma como un determinado porcentaje de las precipitaciones ($Esc = c \cdot P$) y existen tablas que dan el coeficiente en función de dichas características.

	COEFICIENTE
<i>Suelo arenoso y con gramilla o pasto</i>	
Plano (2% de pendiente)	0.05 a 0.10
Medio (2 a 7% de pendiente)	0.10 a 0.15
Abrupto (más de 7% de pendiente)	0.15 a 0.20
<i>Suelo pesado y con gramilla o pasto</i>	
Plano (2% de pendiente)	0.15 a 0.17
Medio (2 a 7% de pendiente)	0.18 a 0.22
Abrupto (más de 7% de pendiente)	0.25 a 0.35

La evaporación es el agua transferida a la atmósfera a partir de una superficie de agua libre. La transpiración es el agua transferida a la atmósfera como consecuencia de los mecanismos biológicos de las plantas. La evapotranspiración es la unión de ambos fenómenos. La evapotranspiración potencial (ETp) puede calcularse mediante diferentes fórmulas empíricas una de las más conocidas es la de Thornthwaite:

$$ETp = 1.6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

con ETp = Evapotranspiración potencial en mm/mes

t = temperatura media mensual (°C)

$$I = \text{índice de calor anual} = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1.5}$$

$$a = 0.492 + 0.0179 I - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6.75 \cdot 10^{-7} I^3$$

El valor así calculado debe corregirse teniendo en cuenta las horas de sol y la latitud del lugar.

Si $P - Esc - ETp > 0$ la Evapotranspiración real será igual a la potencial y eventualmente las capas de cobertura o residuos ganarán en humedad y puede llegar a producirse percolados. Si $P - Esc - ETp < 0$ la Evapotranspiración real puede llegar a ser menor que la potencial y no producirse percolados.

La humedad de la cobertura puede variar en principio entre la capacidad de campo y el punto de marchitez, aunque la relación que rige tal variación no es sencilla. El mismo razonamiento puede extenderse a las capas de residuos, aunque existe menos experiencia al respecto.

Ejemplo: Se tomó como coeficiente de escorrentía 0.2 y que la retención de humedad puede estar entre 0 y 100 mm. Se supuso que la capacidad de retención podía variar desde 0 a 100.

MES	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A
P	90	79	82	80	82	86	100	96	92	92	76	87
Esc	18	16	16	16	16	17	20	19	18	18	15	17
ETp	50	68	95	130	118	109	93	66	46	29	29	35
P-Esc-ETp	22	-5	-29	-66	-52	-40	-13	11	28	45	32	35
S	100	95	66	0	0	0	0	11	39	84	100	100
ΔS	0	-5	-29	-66	0	0	0	11	28	45	16	0
ETr	50	68	95	130	66	69	80	66	46	29	29	35
L	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	35

Métodos computacionales - Existen modelos computacionales más o menos sofisticados que predicen la salida de lixiviado en función de una serie de parámetros del relleno, condiciones climáticas, etc.. El más difundido es el HELP (Hydrologic Evaluation of Leachate Potential), basado también en el balance hídrico, pero que prevé también drenajes laterales.