



## **CAPITULO IV**

# DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS



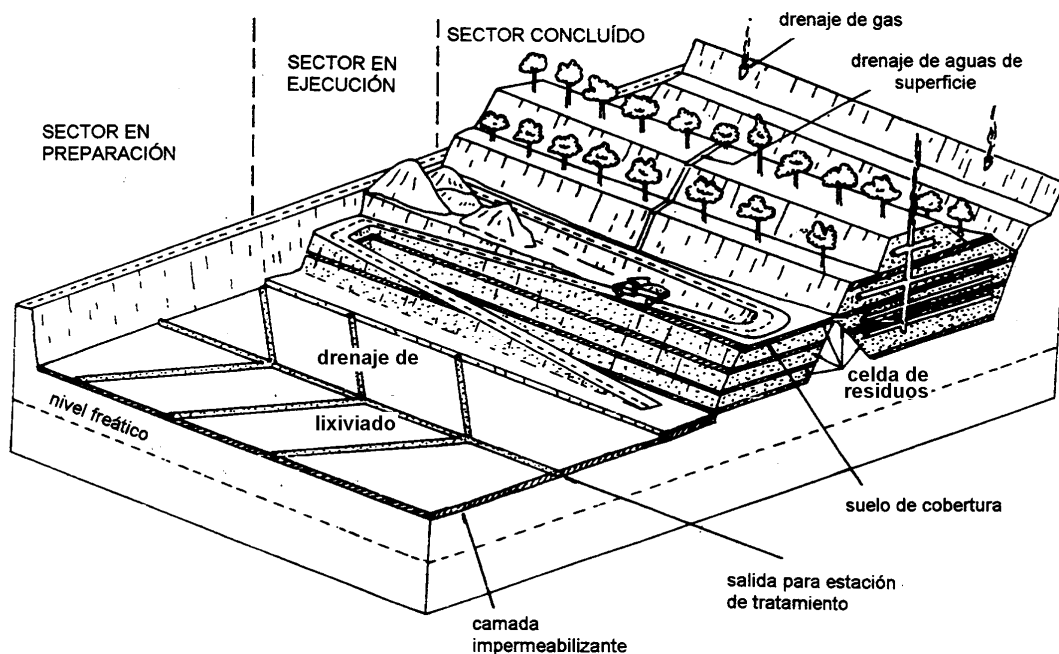
## 1 Introducción

Este Capítulo presenta orientaciones técnicas para la disposición final de los residuos sólidos urbanos bajo tierra, a través de la técnica del relleno sanitario.

Comienza con las definiciones básicas, pasa por una evaluación del destino de los residuos sólidos urbanos del municipio, y orienta las decisiones administrativas para la solución adecuada del problema.

### 1.1 ¿Qué es un relleno sanitario?

FIGURA 1  
Relleno sanitario<sup>26</sup>



El relleno sanitario es un proceso utilizado para la disposición de residuos sólidos en la tierra, particularmente residuos sólidos domiciliarios.

El proceso se basa en que "criterios de ingeniería y normas operacionales específicas, permiten su confinamiento seguro en términos de control de contaminación ambiental y protección de la salud pública"<sup>13</sup>.

Es por lo tanto una "forma de disposición final de residuos sólidos urbanos en la tierra, a través de su confinamiento en capas cubiertas con materia inerte, generalmente tierra, según normas operacionales específicas, de modo de evitar daños o riesgos para la salud pública y la seguridad, minimizando los impactos ambientales".<sup>3</sup> (Figura 1)

## 1.2 ¿Qué es un vertedero?

FIGURA 2  
Vertedero



Un vertedero es una forma de disposición final de los residuos sólidos, que se caracteriza por la simple descarga (vertido) de los residuos sobre el terreno, sin medidas de protección para el medio ambiente o la salud pública. Es lo mismo que la descarga de residuos a cielo abierto<sup>3</sup>. (Figura 2)

Los residuos así tratados acarrearán problemas de salud pública, como proliferación de transmisores de enfermedades (moscas, mosquitos, cucarachas, ratas, etc.), generación de malos olores y, principalmente, la contaminación de la tierra y de las aguas superficiales y subterráneas a través del lixiviado (líquido de color oscuro, mal olor y de elevado potencial contaminante, producido por la descomposición de materia orgánica contenida en los residuos sólidos), comprometiendo los recursos hídricos y el suelo.

A esta situación se añade la absoluta falta de control en cuanto a los tipos de residuos recibidos en estos sitios, donde se acumulan inclusive desechos originados por los servicios de salud y las industrias.

Comúnmente se asocian a los vertederos situaciones altamente indeseables, como la cría de cerdos y la existencia de hurgadores (los cuales, muchas veces, son residentes de la localidad).

### 1.3 ¿ Qué es un relleno controlado ?

Es una técnica de disposición en la tierra de los residuos sólidos urbanos, que no causa daños o riesgos a la salud y a la seguridad de la ciudadanía, y minimiza los impactos ambientales indeseables. Este método utiliza principios de ingeniería para aislar los residuos sólidos, cubriéndolos con una capa de material inerte al concluir cada jornada de trabajo<sup>1</sup>.

Esta forma de disposición produce, en general, contaminación localizada, pues de igual modo que en el relleno sanitario, la extensión del área de disposición es minimizada. Sin embargo, generalmente no dispone de impermeabilización de la base (comprometiendo la calidad de las aguas subterráneas), tampoco de sistemas de tratamiento de lixiviado ni de dispersión de los gases generados.

Este método es preferible al vertedero, pero, debido a los problemas ambientales que causa y a sus costos operacionales, es inferior al relleno sanitario.

En el presente Manual, la solución propuesta para la colocación final de los residuos sólidos es el relleno sanitario.

### 1.4 ¿Cómo es la disposición final de los residuos sólidos en los municipios de América del Sur?

En Brasil, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Saneamiento Básico - PNSB - 1989, realizada por el Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística - IBGE y editada en 1991, la disposición final de los residuos sólidos en los municipios brasileños se reparte así:

76% en vertederos;

13% en rellenos controlados y 10% en rellenos sanitarios;

1% pasa por tratamiento (compostaje, reciclaje e incineración).

En Venezuela, casi la totalidad de los residuos producidos en las grandes ciudades (Caracas, Mérida, Maracaibo, Carúpano, Puerto La Cruz, Porlamar, y La Guaira) es enterrada en rellenos controlados. Sin embargo, el 80% de los residuos sólidos venezolanos permanecen a cielo abierto, y un porcentaje muy pequeño son separados informalmente para ser reciclados.

En Uruguay, según el Análisis Sectorial de Residuos Sólidos<sup>56</sup> - OPS - de marzo 1996, casi la totalidad de los departamentos tienen vertederos a cielo abierto. La disposición final en rellenos controlados es del 10%. No hay datos del porcentaje de residuos que no son enterrados debido a las experiencias de clasificación para el reciclaje, las que existen, a nivel departamental, regional, zonal, barrial e informal.

#### Nota:

Es interesante hacer notar que “relleno sanitario” proviene de la traducción literal del término inglés “sanitary landfill”, el que en portugués corresponde con “aterro sanitário” (lo que para el español sería: entierro sanitario). Algunos autores / traductores, no concuerdan con la utilización del “relleno” como traducción correcta del “landfill”, prefiriendo usar la palabra “vertedero” para la evacuación de residuos sólidos en la tierra, independientemente de la tecnología u operación del sitio<sup>55</sup>.

## 2 Evaluación de la disposición actual

Para definir el procedimiento más adecuado para la disposición final de los residuos sólidos en el municipio, se debe realizar un inventario o diagnóstico de la situación actual, considerando los aspectos relativos al tipo, origen, y cantidades de residuos sólidos producidos, tratamientos eventualmente existentes y puntos donde esos residuos sólidos son dispuestos.

En caso de que el municipio posea un área de disposición final que pueda ser clasificada como **relleno sanitario**, cumpliendo todas las especificaciones técnicas que usualmente se exigen para esta operativa, los trabajos deberán continuar, manteniéndose la planificación y la operación ya definidas. Por ejemplo estas especificaciones están definidas en la NBR-8419/84, “Presentación de Proyectos de Rellenos Sanitarios de Residuos Sólidos”.

### 2.1 Evaluación de los principales problemas

Evaluando los problemas más importantes causados por la disposición final de los residuos sólidos, se tiene una jerarquización de las medidas necesarias y la clasificación de las condiciones de la disposición (Figura 3).

FIGURA 3  
Ausencia de criterios y de controles en la disposición



#### *Problemas Sanitarios*

- fuego;
- humareda;
- mal olor;
- transmisión de enfermedades:
  - macrovectores (perros, gatos, ratones, gaviotas y otros);
  - microvectores (moscas, mosquitos, bacterias, hongos y otros).

***Problemas Ambientales***

- contaminación del aire;
- contaminación de las aguas:
  - superficiales;
  - subterráneas;
- contaminación del suelo;
- deterioro de la estética/paisaje.

***Operacionales***

- vías de acceso intransitables en tiempo de lluvia:
  - superficies (rampas, declives, taludes, etc.);
  - pavimentos;
- ausencia de control del área:
  - falta de cercas;
  - falta de vigilancia;
  - presencia de hurgadores;
- ausencia de control de los residuos:
  - inspección;
  - pesaje;
- ausencia de criterios para la colocación de los residuos sólidos en el terreno:
  - frente de trabajo;
  - método de manejo de los residuos.

**2.2 Evaluación de las áreas de disposición actualmente existentes**

En la evaluación de las áreas de disposición, sea con miras a la continuidad operativa o al cierre del vertedero, los criterios técnicos que necesitan ser verificados son:

- 1) Tamaño del área:
  - área efectiva de disposición
    - evaluación de su vida útil
  - área total disponible
    - restricciones de aprovechamiento

La evaluación de la vida útil del área de disposición debe ser realizada con base en los volúmenes futuros de residuos sólidos que serán dispuestos y de acuerdo con un proyecto geométrico posible para la utilización del área, por lo menos durante 10 años adicionales en áreas ya utilizadas, y 20 años para áreas nuevas. Las situaciones intermedias deben ser tratadas adecuadamente.

- 2) Localización del área:
  - evaluación de las tendencias de ocupación del área;
  - planificación del uso y la ocupación del suelo para el área y sus alrededores;
  - cercanías y distancias con áreas urbanas, industriales y rurales.
- 3) Adaptación ambiental del área:
  - criterios legales;
  - levantamiento de estudios ya realizados;
  - estudio y evaluación de impacto ambiental (EIA);
  - legislación vigente para áreas protegidas.

#### 4) Datos básicos (inventario físico)

Se adjuntan las siguientes definiciones para el mejor entendimiento de los datos que se solicitan:

**Edafología**, es la ciencia que estudia la naturaleza y condiciones del suelo en sus relaciones con seres vivos, especialmente plantas.

**Fisiografía**, es la ciencia que estudia las modificaciones de los relieves terrestres.

**Geología**, es la ciencia que estudia la forma exterior e interior del globo terrestre; la naturaleza de las materias que lo componen y su formación, así como los cambios o alteraciones que éstas han experimentado desde su origen, y su colocación y actual estado.

**Hidrogeología**, es la parte de la geología que estudia la acción de las aguas sobre el globo terrestre.

**Hidrología**, parte de las Ciencias Naturales que trata de las aguas.

**Pedología**, es la ciencia que estudia el suelo y su composición.

**Piezometría**, es la parte de la hidrología que estudia los métodos para determinar la cantidad de agua existente en un lugar sobre una capa impermeable de un terreno.

**Pluviometría**, es el arte de medir la cantidad de lluvia caída en una región determinada.

**Topografía**, es el arte de describir y delinear con detalle la superficie de un terreno poco extenso; o el conjunto de particularidades de un terreno en su configuración superficial.

**Plano**, es la representación gráfica en una superficie de un terreno o de la planta de un campamento, plaza, etc.

**Mapa**, es la representación en una superficie plana, de la Tierra o parte de ella.

- mapas (geológico, pedológico, etc.);
- levantamiento topográfico catastral;
- clima:
  - pluviometría;
  - evapotranspiración del agua;
  - temperatura;
  - vientos;
- biota;
- geología/geotecnia/hidrogeología;
- tipos de residuo:
  - origen;
  - clasificaciones;
  - volumen;
- proyección futura de volúmenes y tipos de residuos a ser dispuestos en el sitio;
- estructura de la disposición: drenajes, coberturas, celdas, taludes, operativas, etc.;
- destino de los efluentes, gases, líquidos y lixiviados;
- tratamientos de residuos, líquidos y gases.

#### 5) Condiciones de acceso:

- vías externas:
  - distancia a los centros productores de residuos sólidos;
  - estado de conservación de las calles/carreteras;
  - tráfico local;
- vías internas:
  - estado de conservación de los accesos en cualquier tiempo;
  - sistema de circulación.

#### 6) Operación:

- condiciones de operación:
  - manejo del residuo: descarga, compactación, cobertura;
  - zanjas y celdas especiales;
  - equipos en uso;
  - mezcla de residuos (co-disposición);



- control del área:
  - administración;
  - pesaje;
  - cercas;
  - hurgadores;
  - existencia de animales.
  
- 7) Recursos disponibles:
  - identificación de los costos de limpieza urbana del municipio:
    - presupuestos;
    - recaudación;
    - otros;
  - recursos humanos:
    - técnicos;
    - operacionales;
    - administrativos;
  - recursos materiales:
    - equipos disponibles (incluyendo unidades sin condiciones de uso): tractor frontal de orugas, camión volcador, retroexcavadora, camión cisterna, otros.

## **Procedimiento para la evaluación**

Para ayudar en la calificación del área de disposición, principalmente para áreas ya en servicio, se puede aplicar un modelo de cuestionario o *check-list* para evaluar los principales problemas que ocurren.

Las preguntas listadas están presentadas en forma de sugerencia y pueden ser adaptadas a las características de cada localidad o municipio.

La evaluación consiste en determinar los aspectos relacionados, y definir un plan de acciones.

La selección de las acciones o la jerarquización de éstas, deberá seguir el criterio del menor costo, menor tiempo y mayores impactos o resultados en la mejora de las condiciones de disposición (sanitarias, ambientales y operativas).

En este sentido, se sugieren como conceptos para las preguntas, si las condiciones halladas son:

- inadecuadas;
- limitadas;
- adecuadas.

La aplicación de los criterios y juicios debe realizarse a través de una consultoría especializada, de competencia e idoneidad reconocidas por el medio técnico.

A partir de un panorama de la disposición de los residuos sólidos del municipio, le corresponde a la administración elegir uno de los casos del flujograma de decisión que se presenta luego.

## LISTA DE PARÁMETROS A EVALUAR

IDENTIFICACIÓN DEL SITIO .....

FECHA .....

.

NOMBRE DEL EVALUADOR .....

### CARACTERÍSTICAS DEL SITIO

Tamaño total del área utilizable .....

Tamaño del área de disposición (utilizada actualmente) .....

Caracterización ambiental (criterios físicos, legales e institucionales) .....

Adaptación a la geología y geotecnia del área .....

Adaptación a la hidrogeología del área .....

Distancia del sitio a las áreas urbanas (incomodidades a los vecinos) .....

Estudios de impacto ambiental .....

Legislación referente al área .....

Aspecto visual (estética) .....

Registro de los residuos dispuestos hasta el presente .....

Volúmenes .....

Tipos .....

Localización según cada tipo de residuo .....

Existencia de área que suministra tierra para el relleno .....

Distancia de transporte .....

Calidad del material de cobertura .....

Disponibilidad de volumen suficiente de material de cobertura (potencial) .....

Condiciones de permeabilidad de los suelos de base .....

Condiciones de tráfico del sistema vial hasta el sitio .....

Distancia media de transporte de los residuos sólidos .....

### CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES Y DE CONTROL

Existencia del proyecto y satisfacción de las especificaciones técnicas .....

Operación de disposición (manejo de los residuos) .....

Equipos para el control de la operación .....

Pesaje de los residuos sólidos recibidos .....

Registro de los residuos sólidos recibidos (domiciliario/hospitalario/industrial/otros) .....

Equipos para el manejo de los residuos (tractor frontal, camión, retroexcavadora, etc.) ..

Equipos para obras en general .....

Condiciones del sistema vial dentro del área .....

Accesibilidad en cualquier tiempo .....

Sistema de circulación .....

Condiciones del frente de trabajo .....

Fiscalización de la descarga de los residuos .....

Dimensiones del frente de trabajo .....

Control de compactación de los residuos sólidos .....

Existencia de hurgadores .....

**LISTA DE PARÁMETROS A EVALUAR (cont.)****CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES Y DE CONTROL (cont.)**

Operación de cobertura de las celdas .....	.....
Sistema de ejecución .....	.....
Periodicidad de cobertura .....	.....
operacional .....	.....
definitiva .....	.....
Existencia de drenaje de aguas superficiales .....	.....
Existencia de drenaje de aguas subterráneas .....	.....
Existencia de drenaje de lixiviado .....	.....
Colectores del lixiviado .....	.....
Operación del sistema de tratamiento del lixiviado .....	.....
Condiciones de permeabilidad del suelo base .....	.....
Existencia de drenaje de gases .....	.....
Colectores de gases .....	.....
Operación del sistema de tratamiento de gases (biogas) .....	.....
Monitoreo geotécnico/ambiental .....	.....
Pluviometría .....	.....
Control de derrames .....	.....
Piezometría .....	.....
Deformabilidad del macizo .....	.....
Control de calidad de los efluentes .....	.....
líquidos .....	.....
gaseosos .....	.....
Control de filtración del lixiviado .....	.....
Control de migración de gases .....	.....
Control de calidad de aguas subterráneas .....	.....
Control de propagación de transmisores de enfermedades y sustancias químicas .....	.....
Seguridad del área .....	.....
Cercas y defensas .....	.....
Vigilancia .....	.....
Comunicaciones .....	.....
Gerencia administrativa .....	.....

**CARACTERÍSTICAS GENERALES ACTUALES**

Existencia de fuegos y humos .....	.....
Malos olores y gases .....	.....
Transmisores de enfermedades .....	.....
Mantenimiento del sistema de drenaje de aguas superficiales .....	.....
Mantenimiento del sistema de drenaje de aguas subterráneas .....	.....
Mantenimiento del sistema de drenaje de lixiviado .....	.....
Mantenimiento del sistema de drenaje de gases .....	.....
Mantenimiento y evaluación del sistema de monitoreo geotécnico/ambiental .....	.....
Mantenimiento del sistema vial interno .....	.....
Recursos financieros para la limpieza pública del municipio .....	.....
Recursos humanos .....	.....

## 2.3 Obtención de recursos

Debe tenerse en cuenta que todas las alternativas exigirán la obtención de recursos, tanto para las inversiones en estudios preliminares e instalaciones, como para el mantenimiento de las condiciones proyectadas de operación. En este sentido, se presenta a continuación una secuencia para la organización financiera/presupuestaria que puede servir para ayudar en el proceso de toma de decisiones, en función de las posibilidades técnicas existentes y de los recursos disponibles.

### Inversiones:

- diagnóstico, inventario y estudios preliminares;
- proyectos;
- instalaciones y obras de infraestructura;
- equipos;
- recursos humanos.

### Operación:

- monitoreo;
- tratamientos;
- operación y control;
- mantenimiento;
- instalaciones auxiliares.

### Cierre o conclusión de la operación:

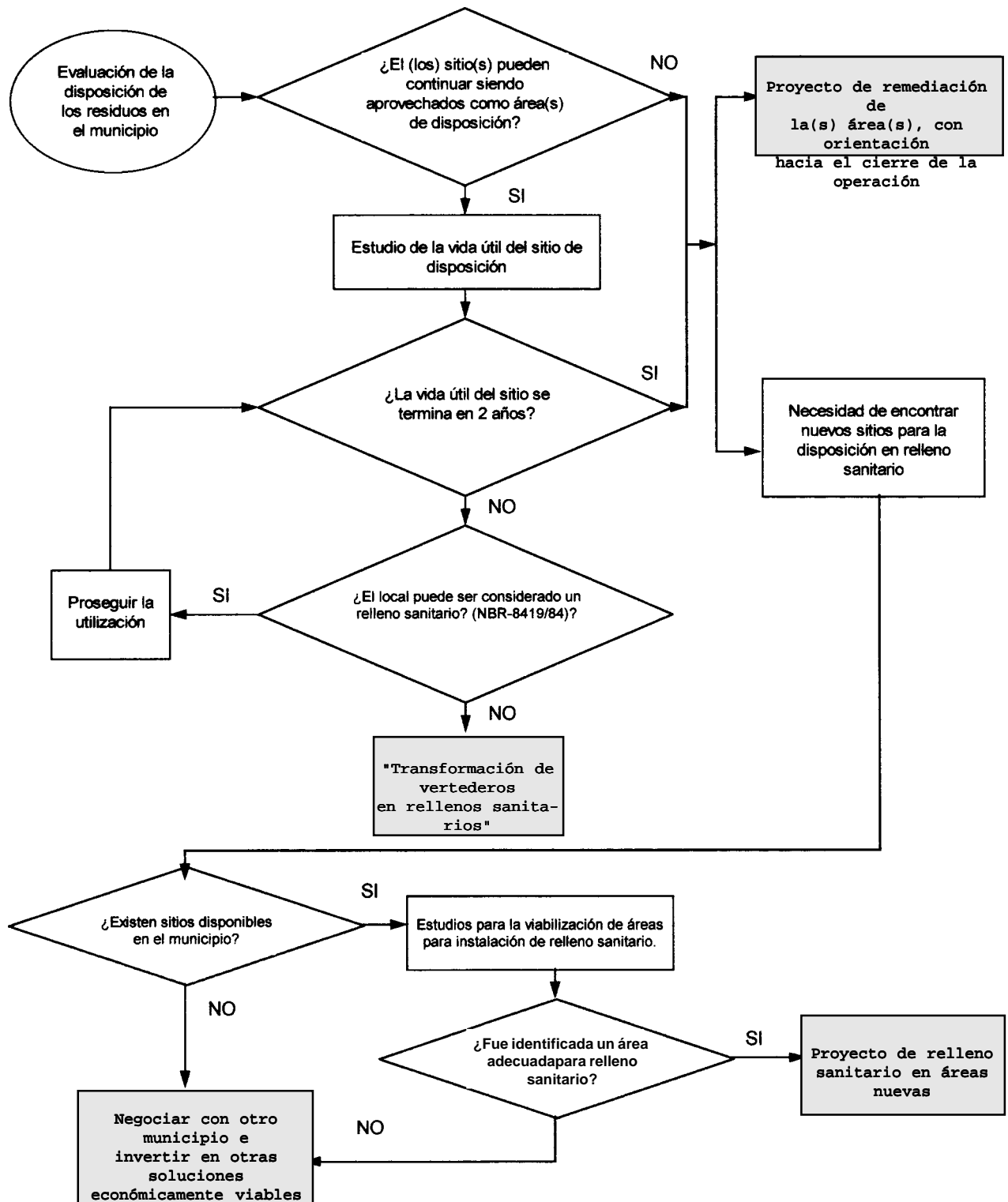
- trabajos de cierre;
- monitoreo;
- mantenimiento.

### 3 Decisión sobre la disposición final de los residuos sólidos urbanos del municipio

A continuación se presenta el diagrama de las decisiones, para que cada municipio evalúe su situación y encuentre la vía para llegar al relleno sanitario.

#### DIAGRAMA DE DECISIONES

Flujograma de decisiones sobre la disposición de los residuos sólidos en el Municipio



Son cuatro las posibles alternativas de salida del diagrama, y las mismas se constituyen, en el presente Capítulo, en puntos analizados de forma individualizada e independiente. Se definen a continuación:

#### **Remediación del vertedero**

Comprende el proceso que procura reducir, al máximo posible, los impactos negativos causados por la disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos a cielo abierto, considerándose la decisión de terminar la operación en el sitio (Punto 5 de este Capítulo).

#### **Transformación del vertedero en relleno sanitario**

Alternativa más avanzada que la anterior, tratándose de proceso que posibilita la recuperación gradual del área degradada por los residuos sólidos, siempre que haya espacio suficiente para disponer allí los residuos sólidos durante un largo tiempo (Punto 4 de este Capítulo).

#### **Estudio de viabilidad de áreas para instalar en ellas un relleno sanitario**

Comprenden una secuencia de actividades para la identificación y el análisis de aptitud de áreas para la instalación rellenos sanitarios (Punto 6 de este Capítulo).

#### **Proyecto de relleno sanitario en áreas nuevas**

Se refiere al conjunto de criterios, datos y elementos que deben ser considerados en la concepción de la instalación de un relleno sanitario (Punto 7 de este Capítulo).

## **4 Transformación de un vertedero en relleno sanitario**

### **4.1 Directrices técnicas**

Después del diagnóstico del sitio y de la identificación de los problemas existentes, se presenta la necesidad de realizar Proyectos Técnicos para tomar las providencias del caso. El nivel de detalle de estos proyectos depende del tamaño de la ciudad o de la cantidad de residuos que se deben depositar.

Como ya se dijo anteriormente, el orden de prioridad en la solución de los problemas debe ser el siguiente:

- **Problemas sanitarios** - aquéllos que afectan directamente la salud pública.
- **Problemas ambientales** - aquéllos que afectan directamente el ambiente e indirectamente la salud pública.
- **Problemas operacionales** - aquéllos que se consideran como actividades inadecuadas de operación en la disposición de los residuos sólidos, que pueden afectar los aspectos sanitarios y ambientales a lo largo del tiempo, además de ocasionar gastos elevados.

No se puede dejar de considerar que las acciones programadas y detalladas a continuación, deben estar de acuerdo con la concepción del proyecto del relleno sanitario, la cual deberá ser definida a priori.

## 4.2 Problemas sanitarios

Es importante que este factor sea el primero en ser considerado, ya que se deben evitar, por encima de todo, los problemas de salud pública.

Las acciones necesarias para tal fin pueden formularse de este modo:

a) Movimiento y conformación de la masa de residuos sólidos:

- regularización mecánica de acuerdo con el proyecto.

b) Eliminar el fuego y el humo:

- cobertura de los residuos sólidos:
  - material de cobertura (tierra y/o residuos sólidos viejos).

**Nota:** *habiendo faltante de tierra, en una primera instancia se pueden utilizar los residuos más viejos (más degradados) provenientes de las operaciones descritas a continuación. El material más adecuado es tierra de un área proveedora que debe estar especificada en el proyecto.*

c) Delimitación del área (residuos sólidos / no-residuos sólidos):

- elección del frente de trabajo;
- ejecución de trincheras;

Alrededor de todos los residuos sólidos deberá trazarse una zanja en el contacto residuos sólidos-tierra, con excepción del frente de trabajo (Figura 4).

- tendido de cercas y defensas alrededor del área total del terreno.

Todo alrededor del terreno del relleno sanitario deberá instalarse cerca de protección impidiendo la entrada de animales y personas ajenas al servicio.

Cerca de las áreas de operación se deberán instalar defensas (p.ej.: árboles) para impedir el arrastre de los residuos sólidos por la acción del viento.

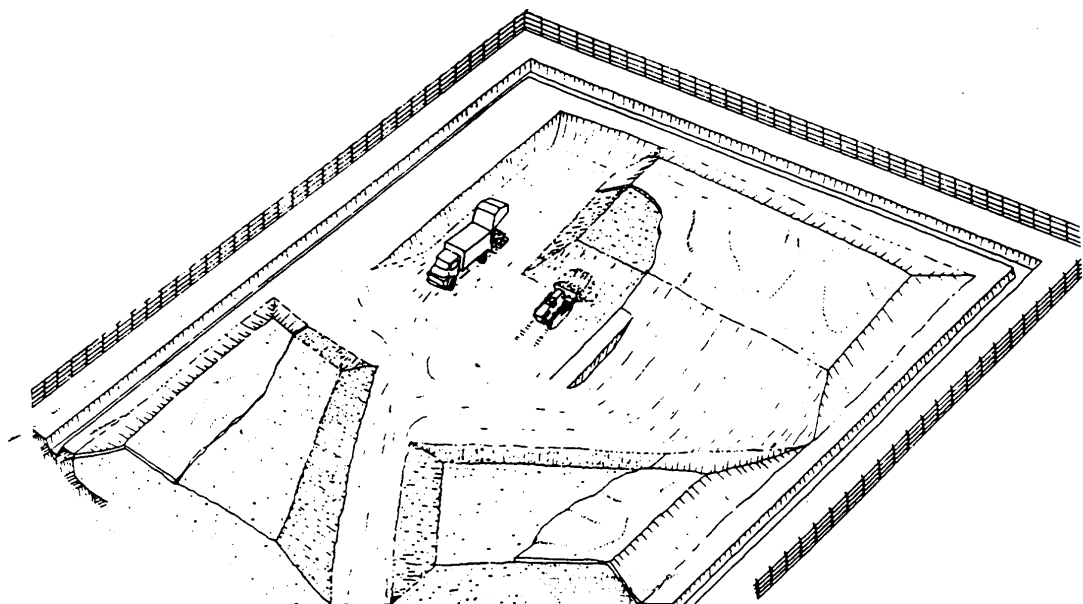
d) Limpieza del área general:

- centralizar los residuos sólidos.

El espacio que no está siendo utilizado para disponer los residuos sólidos debe estar limpio, trasladando los residuos eventualmente existentes al área principal de operación.

FIGURA 4

**Ejecución de un relleno sanitario con criterios y control de disposición de los residuos sólidos, de conformidad con lo proyectado**



### 4.3 Problemas ambientales

En el proceso de consolidación del relleno sanitario el aspecto ambiental exige:

a) Drenaje superficial:

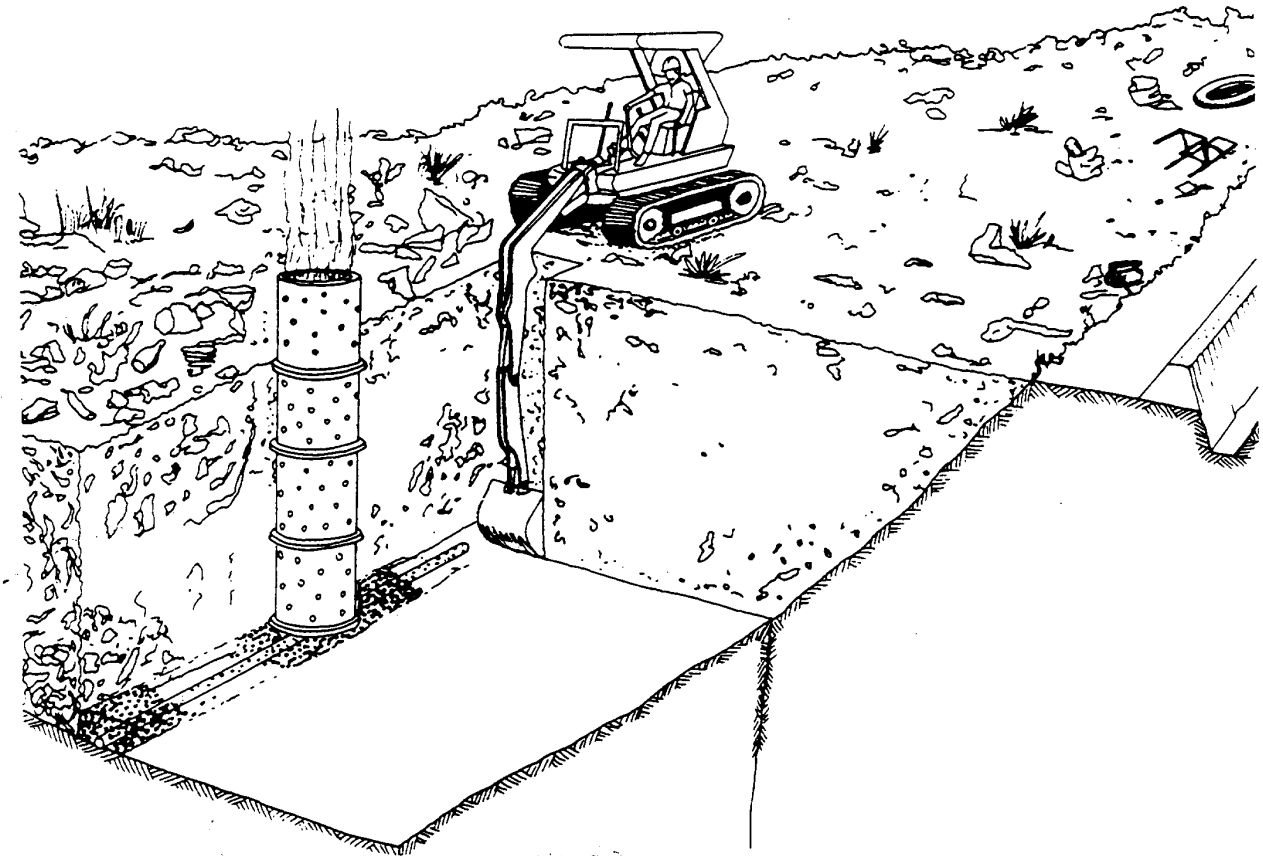
- aislar el área de contribución de aguas superficiales del relleno:
  - diques;
  - canales de desagüe;
  - tuberías;
- separar las aguas percoladas por el relleno (lixiviado) de las aguas superficiales;
- realizar drenajes para aguas pluviales en las áreas cubiertas del vertedero/relleno sanitario.

b) Drenaje de gases y lixiviado en la masa de los residuos sólidos:

- abertura de zanjas e instalación de drenajes.

Por medio de un equipo adecuado (retroexcavadora), deberán abrirse zanjas en la masa de los residuos sólidos para la instalación de un sistema de drenaje de lixiviado y gases. Se recomienda el estudio de la posibilidad de recuperar el biogas o la quema del mismo (Figura 5).

FIGURA 5  
Abertura de zanjas e instalación de drenajes de efluentes líquidos y gaseosos de la masa de residuos sólidos



c) Recolección de lixiviado:

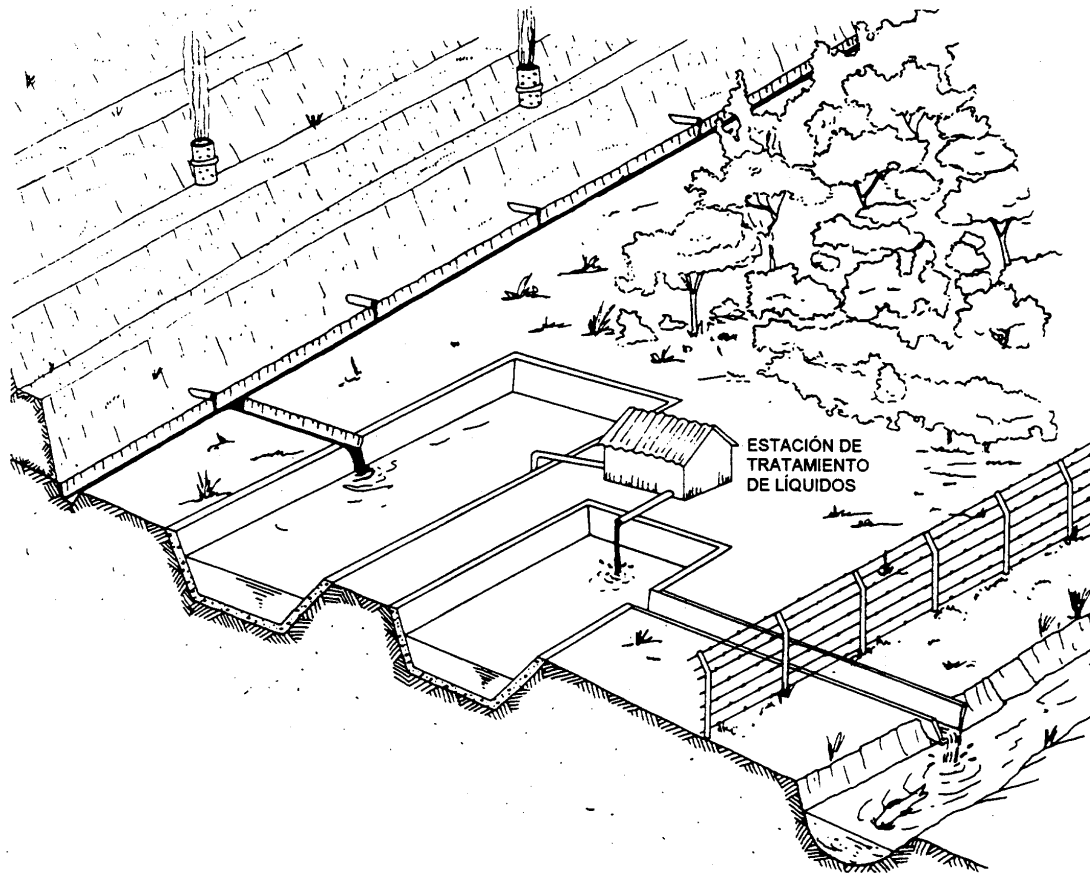
- ejecución del sistema de recolección del lixiviado;
- ejecución de una pileta depósito para el lixiviado;
- ejecución de un sistema de tratamiento del lixiviado.

Todos los drenajes de los líquidos percolados deben ser dirigidos a un tanque o a una



pileta para el inicio a las operaciones de tratamiento (Figura 6). El volumen y las características de la misma se deberán definir en el proyecto, al igual que el tipo de tratamiento del lixiviado (Punto 7 de este Capítulo).

FIGURA 6  
Recolección y tratamiento de los efluentes líquidos percolados (lixiviado)



d) Arborización en torno del área (cinturón verde):

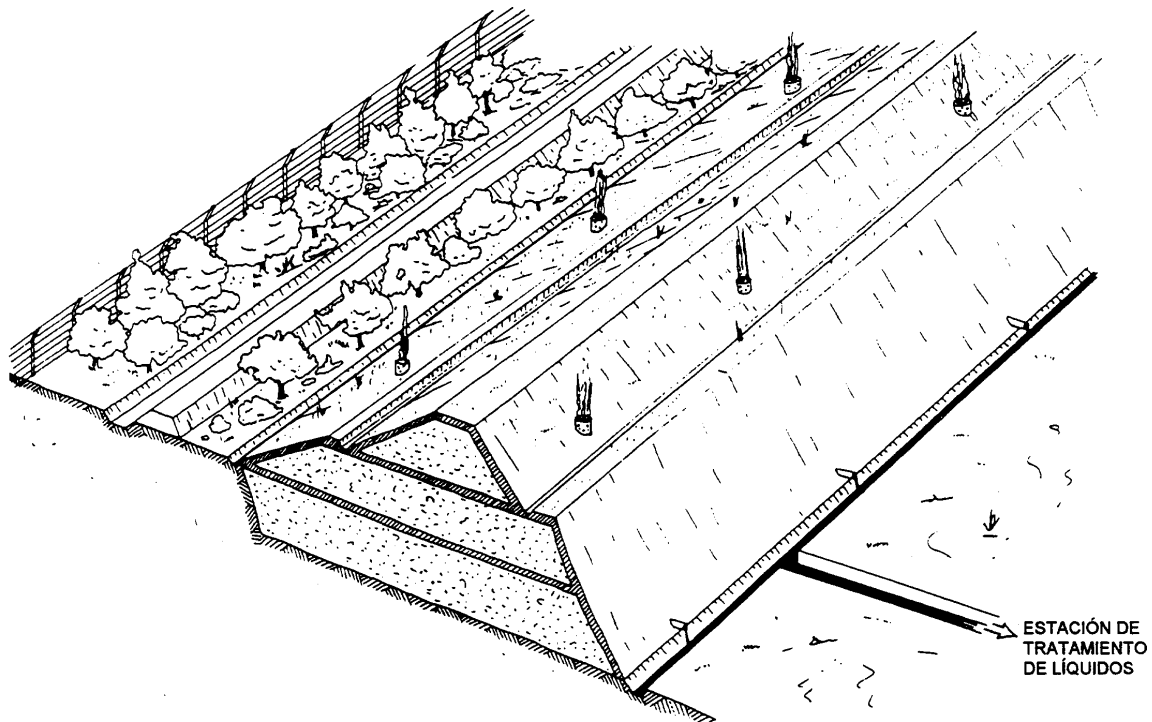
- plantar y preservar árboles nativos de alto y mediano porte (Figura 7).

e) Cuidados para evitar la contaminación de las aguas subterráneas:

- revestimiento de la base del relleno (capa impermeabilizante).

Las condiciones geológico-geotécnicas e hidrogeológicas deben ser convenientes para la implantación del relleno sanitario, debiéndose implementar acciones para impermeabilizar la base del área en la medida de que las condiciones sean desfavorables (suelo muy permeable). Por tal motivo, en la concepción de una capa impermeabilizante se deben prever, a nivel de proyecto, los sitios y los materiales disponibles. En caso de condiciones propensas a la contaminación, el proyecto debe contemplar la remoción de los residuos sólidos viejos (vertedero) para realizar impermeabilización, dentro de criterios técnicos y económicos viables.

FIGURA 7  
Arborización alrededor del área de disposición de los residuos sólidos, formación de un "cinturón verde"



#### 4.4 Problemas operacionales

Estos aspectos están directamente relacionados con el manejo de los residuos sólidos, o sea, con las formas y condiciones de operación para disponer los residuos sólidos en el relleno sanitario en formación. Se pueden caracterizar tres condiciones de vertederos posibles, a saber:

- área con residuos sólidos antiguos (ya dispuestos) y áreas contiguas «vírgenes» para utilización, dentro del terreno asignado para el relleno;
- terreno totalmente ocupado en superficie por los residuos;
- diversas áreas con residuos sólidos antiguos, con posibilidad de utilizar nuevas áreas «vírgenes» dentro del terreno asignado.

La directriz a ser adoptada, en cualquiera de los casos, es la de continuar recibiendo residuos sólidos en una parte definida del área o sub-área donde ya hay residuos sólidos, y preparar la restante, «virgen» o con residuos sólidos viejos, para recibir residuos sólidos «nuevos» con criterios de relleno sanitario. Luego de preparar un espacio suficiente para dar inicio a la operación del relleno sanitario, la(s) área(s) con residuos sólidos viejos deberán ser tratadas según los criterios técnicos que se usan para rellenos sanitarios.

Al mismo tiempo que se define la manera de operación del área, se debe planificar la mejora de las vías internas de acceso, propiciando el tránsito de vehículos en cualquier tiempo.

Los aspectos que se deben considerar son el pavimento y el trazado de las vías.

El control del área exige el tendido de cercas, impidiendo la entrada de personas y animales, y evitando la presencia de hurgadores, inclusive con la ubicación de un sistema

de vigilancia. La participación de profesionales vinculados a la Asistencia Social ayuda en la solución de los problemas de los hurgadores a nivel de emergencia (ver Capítulo V, Parte 1).

El control de recepción de los residuos debe ser organizado a través de la institucionalización de declaración del tipo de residuo, aprobado por la intendencia, y de inspección de campo durante la descarga.

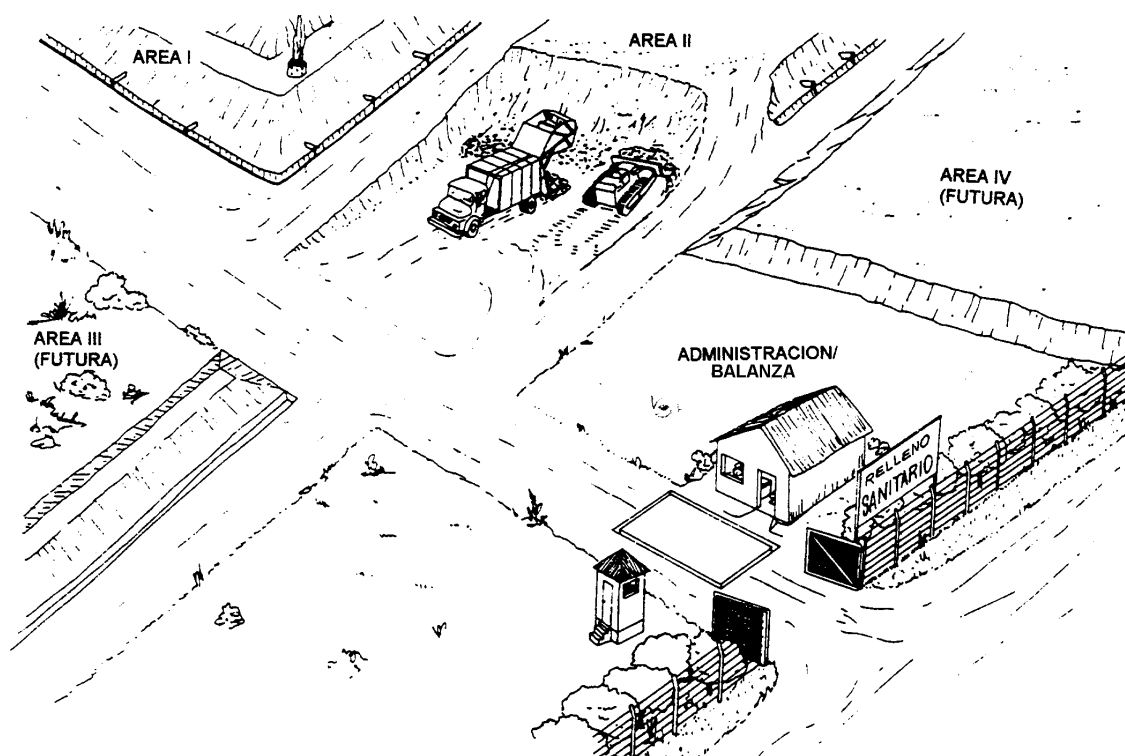
El frente de trabajo en el área de descarga debe ser el mínimo posible, y diariamente debe recibir una cobertura fina de tierra. El método de manejo deberá ser definido en el proyecto, en función del área del relleno, de los equipos disponibles y del volumen diario de los residuos.

El control de la disposición debe ser implementado a través de la instalación de una balanza para camiones en la entrada del relleno.

La Figura 8 presenta los aspectos operativos de un relleno sanitario, realizado de conformidad con el proyecto.

FIGURA 8

Aspectos operativos de un relleno sanitario, tomando en cuenta el área disponible, la recepción de los residuos y las inspecciones, el manejo adecuado y la cobertura diaria



#### 4.5 Elaboración del proyecto

Para lograr la consecución de los objetivos anteriores es necesaria la ejecución de proyectos técnicos, en los cuales los criterios establecidos para el aprovechamiento de la superficie del vertedero como futuro relleno sanitario queden bien definidos. En el Punto 7 de este Capítulo, se presenta el proyecto de relleno sanitario en áreas nuevas, lo cual es parecido a lo que se plantea en este punto, pero con algunas variantes técnicas y operativas.

Se procede, pues, a la elaboración del proyecto, tomando en consideración las etapas siguientes:

- remediación del vertedero de residuos sólidos;
- transformar el vertedero en relleno sanitario;

- operación del relleno sanitario;
- cierre del relleno sanitario.

Estas etapas del proyecto siguen la secuencia natural de implementación de las obras en el sitio de disposición de los residuos, de acuerdo con una mejor relación en los beneficios sanitarios, ambientales y de inversión.

Las normas técnicas brasileras pueden ser consideradas como especificaciones (NBR-8419/84), así como todos los datos básicos del área y del municipio.

Nuevamente observe el Punto 7 de este Capítulo, que orienta sobre las posibles concepciones del proyecto que podrán ser adoptadas.

#### 4.6 Remediación del vertedero

En esta fase, la descripción de las actividades está orientada hacia la acción a nivel de emergencia, paralelo al desarrollo del proyecto, buscando compatibilizar estas medidas con las futuras y transformar el sitio en un relleno sanitario.

Considerándose esta área en proceso de degradación, luego de evaluar los mayores problemas hallados y de priorizar las soluciones posibles, se escogen las acciones de remediación más efectivas para minimizar los impactos sanitarios y ambientales.

Una secuencia considerada natural en esta fase del proyecto sería:

a) Disciplinar y regularizar los residuos sólidos en el área:

- conformación de las primeras celdas de residuos sólidos;
- delimitación del área de operación;
- cobertura de las celdas de residuos sólidos.

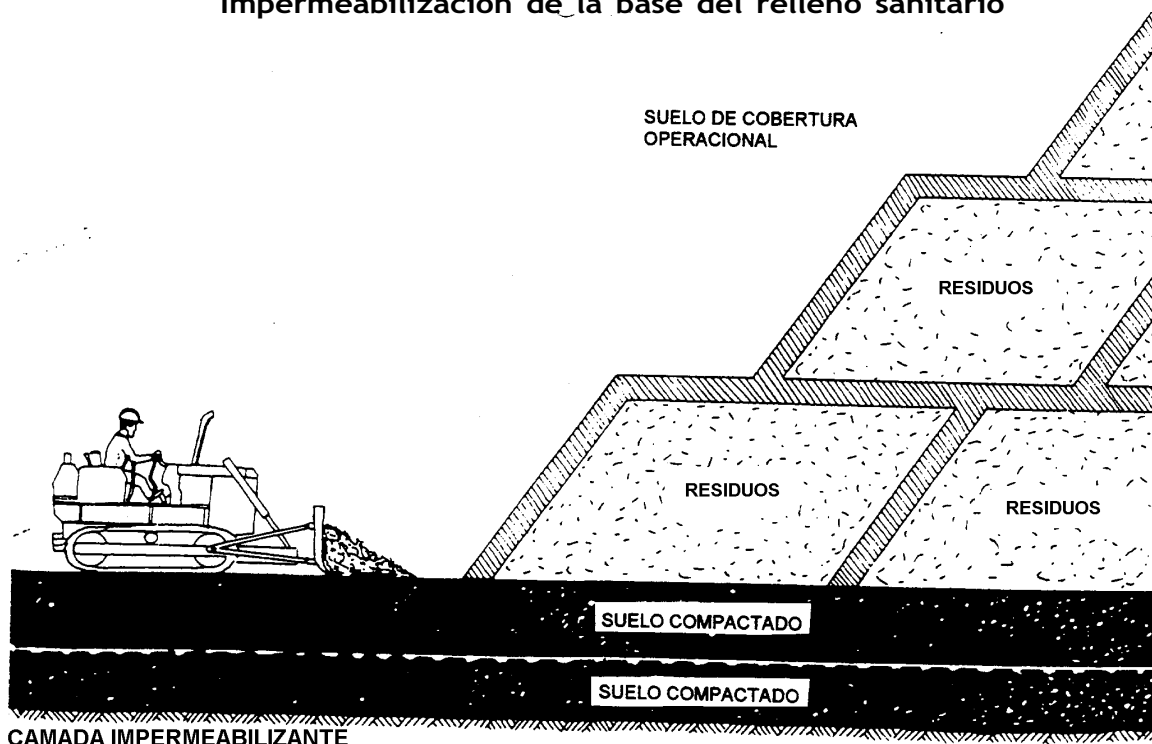
b) Drenaje:

- drenaje de las aguas superficiales;
- disposición de los gases y lixiviados.

c) Tratamiento de la base:

- impermeabilización de la base del relleno sanitario (Figura 9).

FIGURA 9  
Impermeabilización de la base del relleno sanitario



La protección de la base del relleno debe ser definida en función de la situación hidrogeológica y de la permeabilidad de los suelos naturales de la localidad, así como de los recursos involucrados. Por tanto, se podrían definir sistemas de impermeabilización de la base en función de los materiales disponibles en la región.

Una posibilidad es la remoción de parte del vertedero para realizar labores de impermeabilización de la base, sin dejar mientras tanto de recibir los residuos sólidos, hasta que sean creadas condiciones de operación normal en situación de relleno sanitario.

Otra alternativa es la preparación de un nuevo sitio dentro del terreno con las medidas de protección ya definidas, y luego del inicio de la operación, recuperar las áreas no protegidas y degradadas.

Estas hipótesis dependerán del análisis de datos de la situación de los residuos sólidos encontrados en el municipio.

#### 4.7 Transformación en relleno sanitario

A partir de la preparación del sitio, de acuerdo con los lineamientos del proyecto de remediación del vertedero, es deseable que se detalle el proyecto del relleno sanitario, propiamente dicho, que constará de:

- proyecto de infraestructura de acceso y circulación (Figura 10);
- proyecto geométrico de conformación de las celdas de residuos sólidos con sus respectivos sistemas de drenaje de gases, percolados y aguas superficiales;
- proyecto de explotación de canteras de suelo para material de cobertura;
- proyecto de operación diaria / mensual del relleno sanitario, definiéndose coberturas temporarias y definitivas en las celdas terminadas (Figura 11-A,B, y C);
- definición del tratamiento superficial de la cobertura del relleno, adecuándolo al destino final del área;
- proyecto de piletas de almacenamiento de percolados y del tratamiento del lixiviado asociados.

FIGURA 10  
Infraestructura de acceso y circulación, de acuerdo con el proyecto

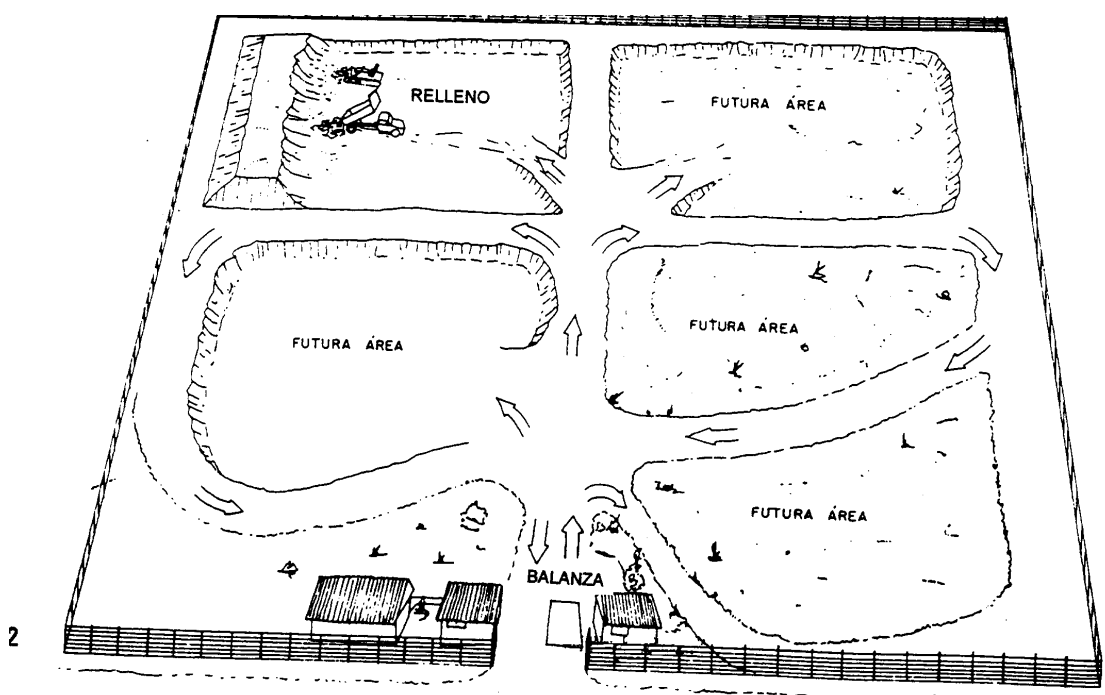
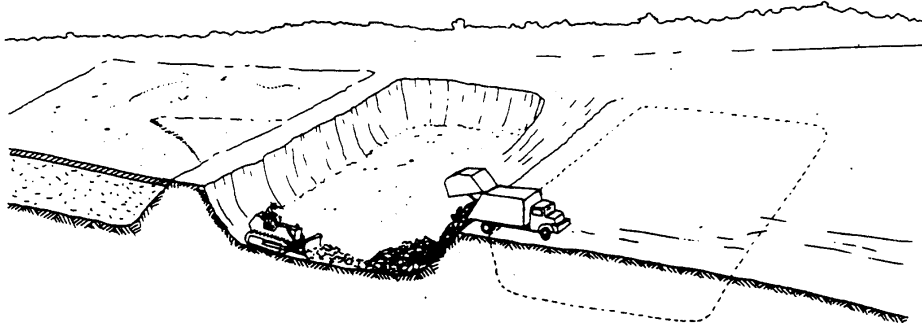
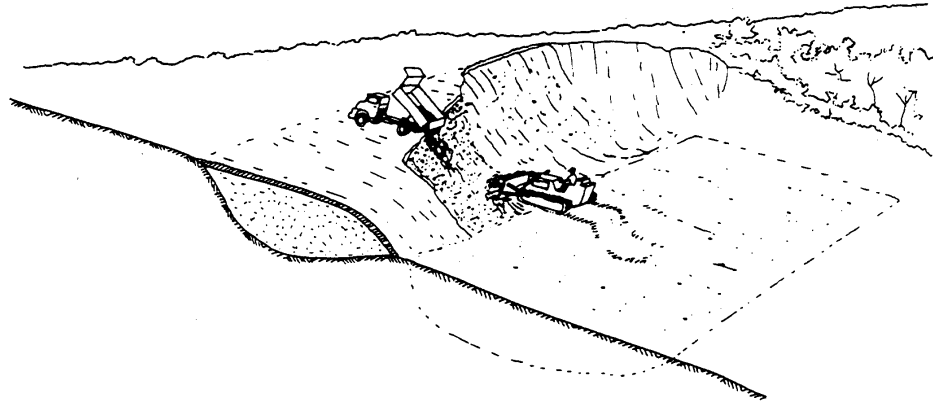


FIGURA 11  
Métodos operacionales

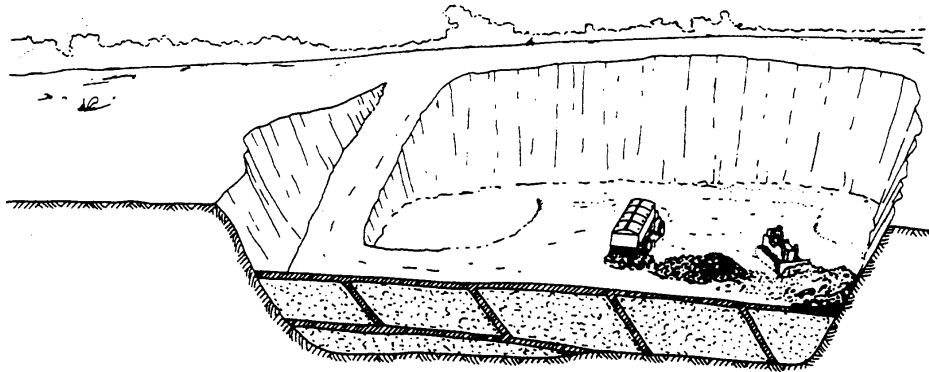
A – Método de trinchera



B – Método de rampa

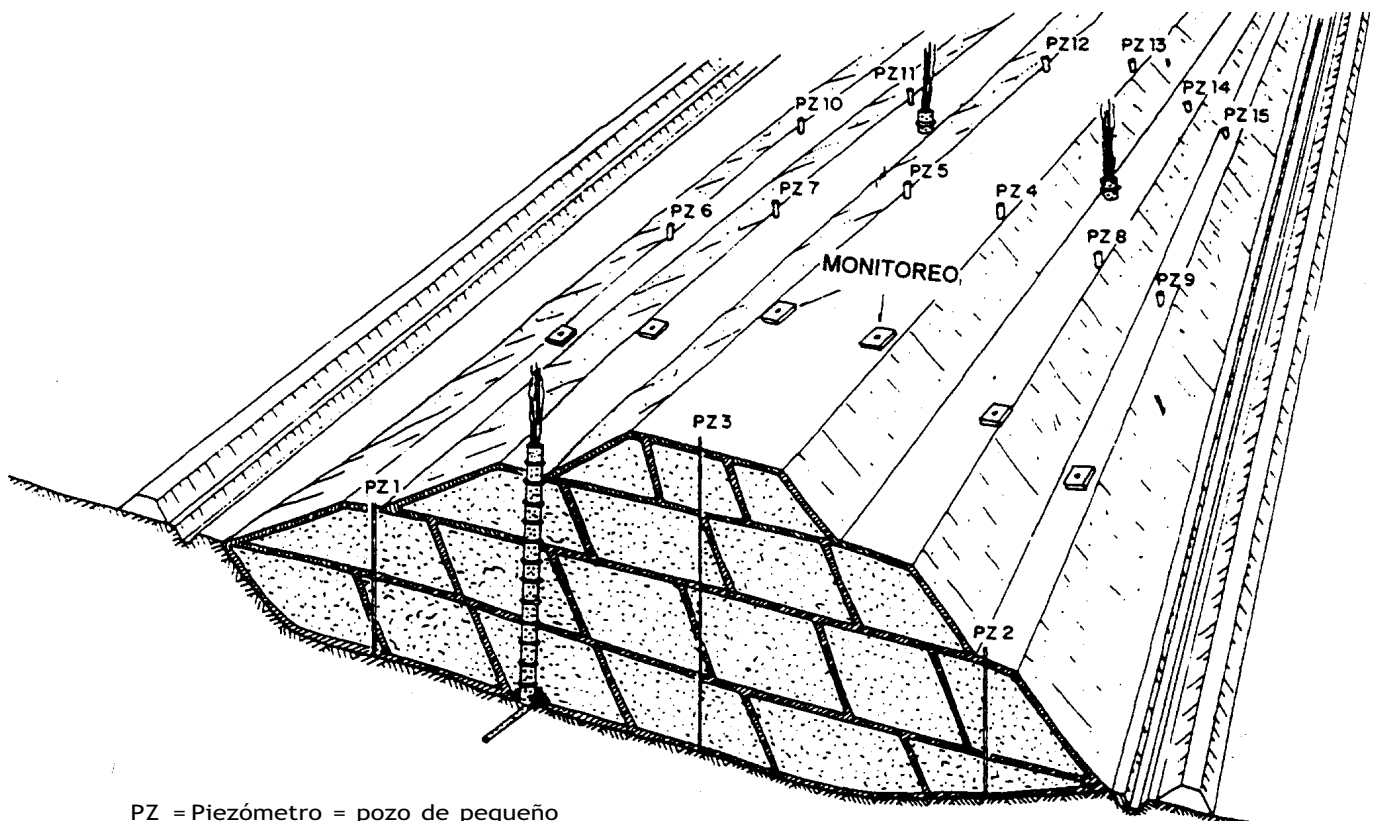


C – Método de área



- proyecto de recuperación y/o quema de gases y biogas;
- proyecto de monitoreo geotécnico y ambiental (Figura 12):
  - piezometría;
  - pozos de monitoreo;
  - inclinómetro;
  - marcos superficiales;
  - control de descarga;
- proyecto de obras complementarias:
  - edificaciones;
  - balanza;
  - cercas y defensas;
  - garitas de vigilancia.

FIGURA 12  
**Monitoreo del comportamiento de la masa del relleno sanitario,  
 de conformidad con el proyecto**



PZ = Piezómetro = pozo de pequeño diámetro utilizado para medir la profundidad del nivel del agua subterránea.

#### 4.8 Procedimientos de operación del relleno sanitario

Los procedimientos de operación deben seguir una secuencia lógica que se inicia con la recepción de los residuos sólidos y finaliza con el medio de transporte, en el caso del camión de los residuos sólidos, partiendo del relleno sanitario.

La recepción se debe realizar en la entrada del relleno sanitario, luego que el camión recolector pasa por la portería (seguridad o vigilancia del relleno).

El camión debe ser pesado en una balanza, ubicada luego de la portería, antes y después de la descarga, para que se tenga control del volumen diario/mensual que va a ser dispuesto en el relleno sanitario.

El camión debe ser inspeccionado por personal debidamente entrenado para clasificar y calificar el residuo, indicándole la zona donde deberá realizar la descarga, de acuerdo con la zonificación del relleno sanitario, en función de las características de los residuos.

Otro aspecto que debe ser contemplado, en esta fase operacional, es la optimización de los recursos humanos, materiales y financieros existentes - esto también se debe prever en el proyecto - de forma que se garantice su operatividad dentro de los criterios previstos por esta técnica.

También deberá considerarse cual será la forma de utilización de estos recursos, que puede ser por administración directa, con inversiones para adquirir los equipos y formar personal técnico, o tercerización de los servicios con formación de una operativa y fiscalización (Figura 13).

El residuo también debe ser inspeccionado en el punto de descarga y depositado en el frente de trabajo actual, que debe ser lo más pequeño posible y de acuerdo con el método

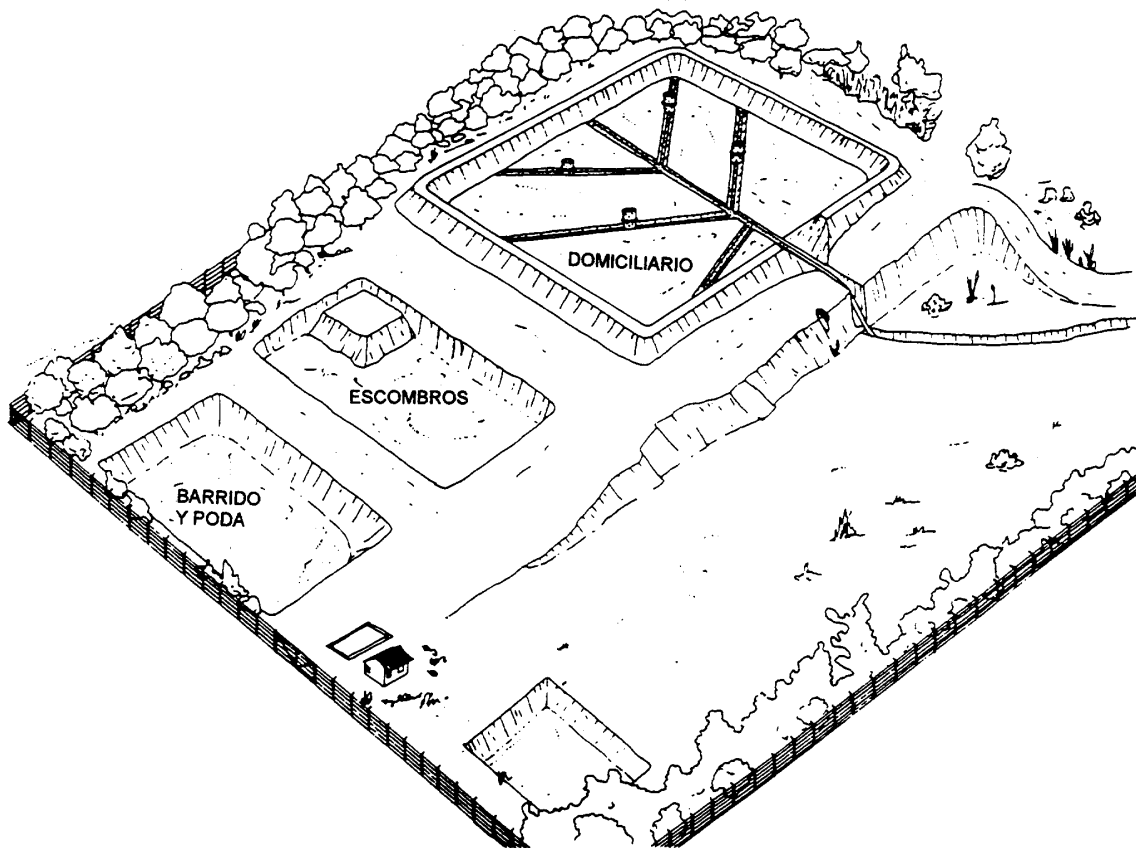
operativo utilizado. En seguida debe ser nivelado y compactado por un equipo específico para ese trabajo (por ejemplo, un cargador frontal), y luego de que se haya terminado la celda y/o finalizado el día de trabajo, la celda será cubierta con tierra.

Esa tierra puede ser material de un área proveedora, o material excavado en la ejecución de las trincheras o rampas, dependiendo del método operacional utilizado en el manejo de los residuos sólidos.

La ejecución y el mantenimiento de las obras complementarias (sistema de drenaje, accesos y otros), deben realizarse de conformidad con el proyecto concebido para la recuperación del vertedero y la operación del relleno sanitario.

La lectura de los instrumentos que componen el monitoreo deberá ser realizada con la periodicidad definida en el proyecto y los datos procesados, para poder tener permanentemente bajo control el comportamiento del relleno sanitario.

FIGURA 13  
Zonificación de las áreas de disposición de los residuos,  
de acuerdo con sus características



#### 4.9 Cuidados durante la operación del relleno sanitario

Las condiciones de mantenimiento de las características del sitio como relleno sanitario requieren estricta obediencia a las especificaciones técnicas del proyecto y la debida adecuación, inclusive en situaciones imprevistas o de mantenimiento esporádicos. En efecto, pueden presentarse situaciones que demanden decisiones inmediatas (emergencias), tales como:

- deslizamiento de la masa de residuos sólidos;
- ineficacia del drenaje de percolado, que puede causar afloramiento de residuos líquidos en las cunetas y/o los taludes de la masa de residuos sólidos e infiltraciones en el nivel freático;



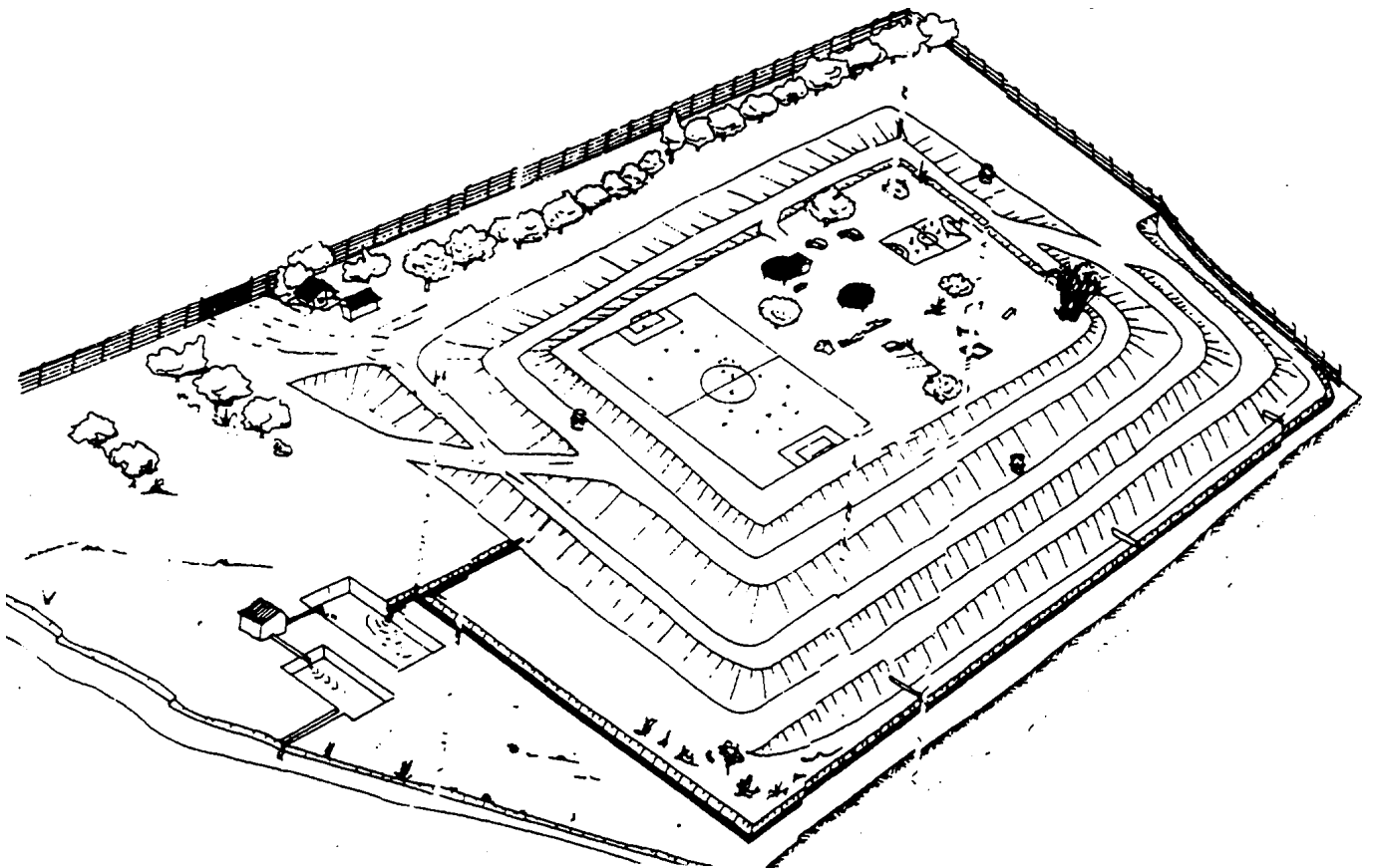
- ineficacia de los drenajes de aguas superficiales;
- ineficacia de la impermeabilización de la base, que provoca infiltraciones en la napa fréatica;
- erosiones de la cobertura;
- migración de gases y lixiviados hacia áreas vecinas;
- inestabilidad localizada de la masa o de áreas adyacentes;
- ocurrencia de hundimientos, fracturas y deformaciones excesivas en las zonas con cobertura definitiva.

#### 4.10 Cierre y sellado del relleno sanitario

En la fase final del proyecto, en los detalles para el cierre y en la desactivación del sitio como relleno sanitario (Figura 14), se debe pensar en actividades de:

- proyecto paisajístico y de uso futuro del área;
- monitoreo geotécnico/ambiental;
- cobertura final;
- tratamiento de gases y percolado;
- inspecciones periódicas del sitio;
- servicios de mantenimiento de los equipos y accesorios instalados.

FIGURA 14  
Cierre definitivo del relleno sanitario de acuerdo con el proyecto



## **5 Remediación y cierre de vertederos: acciones mitigadoras**

Las localidades donde los residuos sólidos domiciliarios son descargados sin precauciones sanitarias ni ambientales, y que no pueden transformarse en rellenos sanitarios, no deberán recibir más residuos sólidos. Tales sitios deben ser tratados de forma tal, que se minimicen los perjuicios sanitarios y ambientales que causan.

En tal sentido, se deberán definir las acciones necesarias para el fin de la operación y la remediación del sitio. Estableciendo una lista de prioridades, definiendo como las acciones principales aquellas que demandan menores costos, menores plazos y mayores impactos o resultados positivos, de manera que se ponga en marcha un proceso de cierre y sustitución del vertedero, sin impedir a corto plazo la disposición de residuos sólidos en el municipio.

Paralelamente, deben ser estudiadas alternativas de nuevos sitios de disposición para que pueda desactivarse la operación anterior. Conjuntamente con este proceso, se debe estudiar maneras de gobernar los hurgadores que habitan y trabajan en los alrededores del vertedero (Capítulo V, Parte 1).

En un área que deba ser desactivada como vertedero, la meta final e ideal es poder utilizarla como en su vocación original, es decir, la que el sitio poseía antes de volverse un vertedero. Deben cesar los riesgos a la salud pública y al medio ambiente, transformando la masa de residuos sólidos en un cuerpo inerte seguro sanitaria y ambientalmente, en caso que esa masa no pueda ser transportada para un relleno debidamente proyectado.

Las acciones mitigadoras y el tiempo necesario para lograr que la masa de residuos sólidos se vuelva inerte, a través del proceso de mineralización de los residuos, varían en función de los recursos disponibles y de la concepción de la remediación adoptada.

Algunas acciones definidas y ejemplificadas en el punto referente a transformación de un vertedero en un relleno sanitario sirven como actividades intermediarias para el cierre de un vertedero. Por ejemplo, se puede citar:

- movimiento y organización de la masa de residuos sólidos;
- eliminación de fuegos y humaredas;
- delimitación del área (residuos / no-residuos);
- limpieza del área del terreno;
- drenaje de aguas superficiales;
- drenaje de gases y lixiviado de la masa de residuos;
- recolección y tratamiento de gases y lixiviado;
- cuidados para evitar o disminuir la contaminación de la napa freática;
- arborización en torno del área.

Además de esas acciones, se deben destacar las relativas a la cobertura definitiva, que deben ser adecuadas a la finalidad del área remediada. La cobertura definitiva debe ser proyectada y realizada de manera que cumpla los requisitos de aislar los residuos sólidos del medio ambiente, impedir la infiltración de las aguas de lluvia - lo que aumentaría el volumen de lixiviado e impedir la salida descontrolada de gases.

En la definición y planificación de las acciones mencionadas, la elección entre las diversas concepciones de remediación para el sitio es de fundamental importancia para el éxito de la labor. La remediación concebida deberá definir el tiempo necesario para el término de la generación de gases y líquidos percolados contaminantes, el término de los movimientos de la masa de residuos (desplazamientos horizontales y verticales), y el inicio de la utilización proyectada para el sitio remediado. Para la utilización adecuada del área es fundamental que esta sea estable y no presente riesgos a la salud y al medio ambiente.

Dentro de la planificación técnica del municipio, donde se incluye la utilización del área que debe ser clausurada, el método adoptado para el tratamiento de los residuos sólidos enterrados influirá en el tiempo de espera para la liberación del área. En este punto vale la pena recordar las distintas posibilidades y sus consecuencias.

## **5.1 Método anaeróbico tradicional**

En este caso, los residuos sólidos son enterrados en celdas. Las celdas están provistas de sistemas operacionales de drenaje de gases y de lixiviado, con sistemas de protección y tratamiento debidamente proyectados.

Esta operación es la menos costosa, pero es la que implica un mayor tiempo de espera para la descomposición de la materia orgánica, y por lo tanto, exige mayor tiempo de monitoreo para poder considerar el sitio como estabilizado.

## **5.2 Método semi-aeróbico**

Esta condición exige que las celdas de residuos sólidos tengan, obligatoriamente, un sistema de drenaje de gases y de lixiviado, que también sirva como conductor de aire para las celdas de residuos. De esta manera, la digestión se da en condición aeróbica, aunque se considera «semi-aeróbica» en función de la eficiencia del proceso.

La condición ideal sería inyectar aire por medio de bombeo, lo que exigiría instalaciones y sistemas que encarecerían los procesos, tornándolos de digestión aeróbica.

Con este método, el tiempo para la descomposición de la materia orgánica es reducido en relación al método anaeróbico tradicional, pudiéndose utilizar también técnicas de abertura de celdas, separación / disposición de inertes y utilización de compostaje, según se describe en el método biológico.

## **5.3 Método biológico**

Este método es una manera de acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica y propiciar la reducción de los volúmenes necesarios para la disposición final en un relleno de inertes. En este caso, el entierro en celdas es una forma de tratamiento intermedio de los residuos sólidos, donde, a través de la utilización de microorganismos específicos desarrollados en reactores, la porción orgánica sólida se transforma en líquidos y gases. Se logra, de este modo, la posibilidad de reabertura de las celdas de residuos, la separación y destino final de los residuos (inertes), con el tratamiento final de los líquidos resultantes y la quema de los gases a lo largo del proceso. En este caso, el tiempo para la remediación del área es menor que el de la alternativa anaeróbica tradicional, pero exige mayores gastos.

La ejecución de proyectos de ingeniería es una actividad necesaria para el cierre, remediación, estabilización y utilización del sitio, y exige un nivel de detalles acordes con el tamaño del área, volúmenes y tipos de residuos dispuestos.

El monitoreo geotécnico y ambiental deberá ser ejecutado, independientemente del método adoptado, en función de los riesgos asociados a las condiciones del área, los cuales deberán ser evaluados a través de estudios específicos.

## **6 Estudios de viabilidad de las áreas destinadas para instalar rellenos sanitarios**

Los estudios de viabilidad comprenden una serie de actividades destinadas a la identificación y el análisis de aptitud de las áreas para instalación de rellenos sanitarios.

Muchas veces, sin embargo, la intendencia ya dispone de algunas áreas cuya aptitud desea evaluar. Puede tratarse de terrenos de su propiedad, de áreas degradadas y que importa recuperar (canteras, zonas erosionadas, etc.), o inclusive de sitios indicados por estudios anteriores.

Se debe tener siempre en cuenta la importancia de las características del medio físico

del área para instalar el relleno sanitario. Un área adecuada significa menores gastos en la preparación, operación y cierre del relleno, pero fundamentalmente menores riesgos para el medio ambiente y la salud de la comunidad. De este modo, escogiendo bien, la intendencia se estará previniendo contra los efectos indeseables de la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas de su municipio, además de eventuales trastornos resultantes de oposición popular.

Los trabajos previos exigen, asimismo, la adecuación de varios factores, buscando el equilibrio entre los aspectos sociales, las alteraciones al medio ambiente y los costos inherentes al emprendimiento. Se parte de estudios generales, identificándose las diversas áreas potenciales, siendo seleccionadas las más prometedoras para estudios detallados. Se necesitan, fundamentalmente, tres etapas: levantamiento de datos generales, preselección (escala regional), y los estudios para la viabilización de las áreas pre-seleccionadas (escala local).

Antes de la discusión de las actividades para la definición de un área para instalar en ella un relleno sanitario, se deben destacar tres aspectos.

El primero es el carácter no-disociado de las actividades de viabilidad del área y de la elaboración del proyecto del relleno sanitario.

Un segundo aspecto es la importancia de mantener una comunicación entre la municipalidad y el organismo de control ambiental, aunque el municipio tenga claros los pasos a seguir. Esto debe suceder desde las fases iniciales del trabajo, para evitar en un futuro la reformulación de trabajos ya realizados, con el consiguiente aumento de gastos, atrasos en el cronograma, etc. Es esencial que el municipio utilice la experiencia y conocimiento del organismo de control ambiental, agilizando la obtención de una solución satisfactoria.

Finalmente, la ejecución del procedimiento descrito a continuación no elimina la necesidad de presentación de Estudio y Evaluación de Impacto Ambiental para el emprendimiento (en el caso que esto sea exigido, ver Anexo A).

## 6.1 Levantamiento de datos generales

En esta fase del proyecto se echa mano de las informaciones existentes en archivo de la intendencia y de otros órganos municipales o estatales, para recabar los datos que siguen:

### *Datos poblacionales*

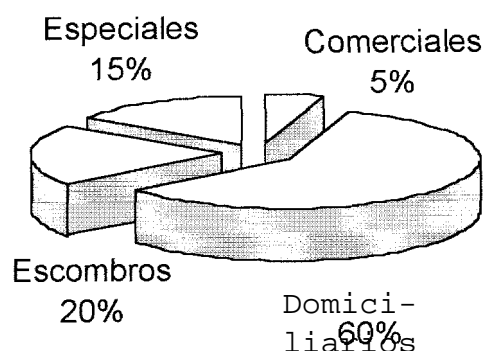
Son informaciones relativas a la población del municipio.

Principales tópicos de interés:

- número de habitantes: actual, fluctuante y proyectado;
- tasas de variación de la población.

### *Características de los residuos sólidos*

Determinación de los aportes de los diversos tipos de residuos sólidos y componentes de los residuos sólidos municipales, incluyendo residuos estabilizados en otros procesos de tratamiento, y que también pueden ser dispuestos en el relleno sanitario. Ver Capítulo



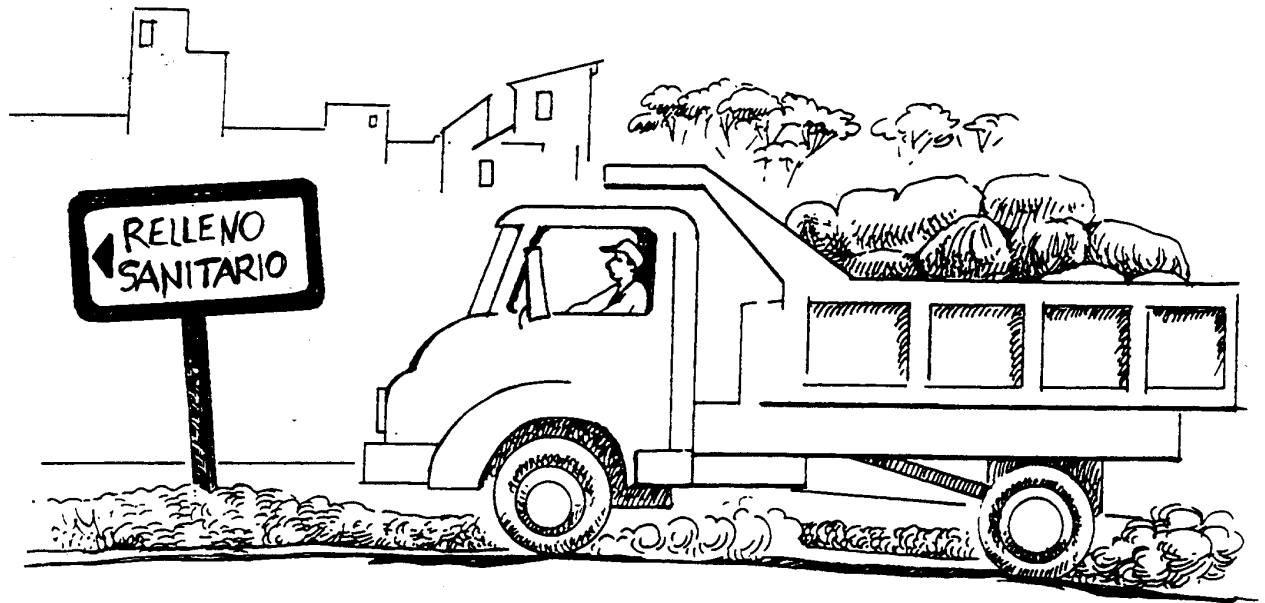
### ***Datos sobre la recolección y el transporte actual de residuos sólidos***

Se recaba información sobre el sistema actual de recolección y transporte de los residuos sólidos del municipio (Capítulo III).

Principales datos de interés:

- tipos y características de los equipos utilizados;
- tiempo de recolección;
- compatibilidad y eficiencia de los equipos.

FIGURA 16  
Recolección y transporte de residuos sólidos



### ***Resultados de la etapa - Levantamiento de datos generales***

Se pueden efectuar varias estimaciones de la producción de residuos sólidos cruzando los datos poblacionales (población permanente, fluctuante y proyectada), con las características de los residuos sólidos y la eficiencia del sistema de recolección.

A partir del volumen de residuos sólidos generados diariamente, se calcula la llamada celda diaria de residuos sólidos (ver próximo recuadro). Las dimensiones de esta celda teórica son un indicador para el tipo de relleno que se debe hacer. En el caso de municipios pequeños, la menor generación de residuos sólidos puede revelar que las dimensiones de la celda teórica no ameriten que se haga el tradicional relleno operado en rampa, sino que es más práctico el relleno en zanjas.

Otro aspecto por considerar es la vida útil a la que se aspira para el relleno. Se recomienda garantizarse un mínimo de 10 años de operación. De todos modos, cuanto mayor sea la vida útil, tanto mejor para el municipio.

Resumiendo, se puede decir que los aspectos levantados en esta etapa orientarán acerca del tipo de área que se buscará en la etapa siguiente. También permitirán evaluar si las áreas identificadas satisfacen las expectativas de vida útil que se pretende, si poseen suficiente suelo para cobertura, etc.

### DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA DE RESIDUOS SÓLIDOS<sup>14</sup>

(Cálculo Teórico para Relleno Operado en Rampa)

Según la CETESB (1994), las dimensiones de la celda de residuos sólidos pueden ser estimadas a través de las siguientes fórmulas:

$$h = 3 \sqrt{\frac{V}{p^2}}$$

$$l = b = 2 \sqrt{\frac{V}{h}}$$

$$A = b^2 + 2bhp$$

donde:

h = altura de la celda (m);

V = volumen de residuos de la celda diaria (m<sup>3</sup>). Equivale a la generación diaria de residuos sólidos (t/día) dividida por la densidad de residuos sólidos aprox.=0,7/m<sup>3</sup>, para residuos compactados.

p = talud de la rampa de trabajo (se recomienda 1:3, por lo tanto p=3);

l = profundidad de la celda (m);

b = frente de trabajo (m);

A = área que se debe cubrir con tierra (m<sup>2</sup>). Al considerar un espesor medio de cobertura para cada celda, se puede tener una idea inicial del consumo de tierra para tal fin.

## 6.2 Preselección de las áreas

En esta fase se debe analizar un conjunto de datos del medio físico y socioeconómico, que permitan preseleccionar las áreas potencialmente aprovechables para instalar el relleno sanitario.

Normalmente poca actividad de campo se realiza en esta etapa de los trabajos, aprovechando al máximo las informaciones archivadas, lo que agiliza los pasos siguientes.

En caso de que existan áreas previamente indicadas por la municipalidad, se le dará prioridad al análisis de éstas. Sólo si esos terrenos resultaran «no-recomendables», se buscarán otros sitios.

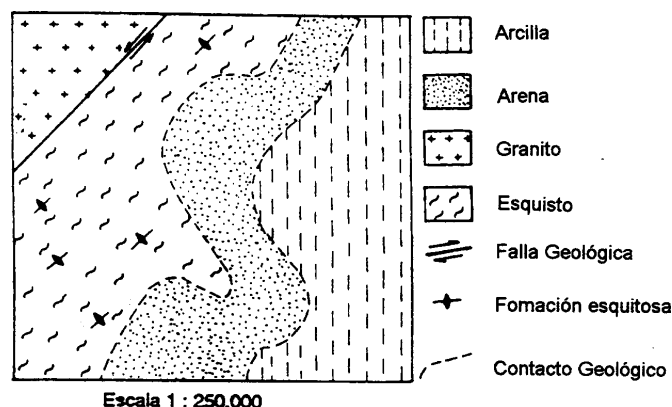
### *Datos geológico-geotécnicos*

Son informaciones sobre las características y la presencia de materiales que componen el sustrato del suelo.

Principales aspectos de interés:

- distribución y características de las unidades geológico-geotécnicas presentes en la región;
- principales perfiles estructurales (estratificaciones, fallas y fracturas).

FIGURA 16  
Mapa Geológico



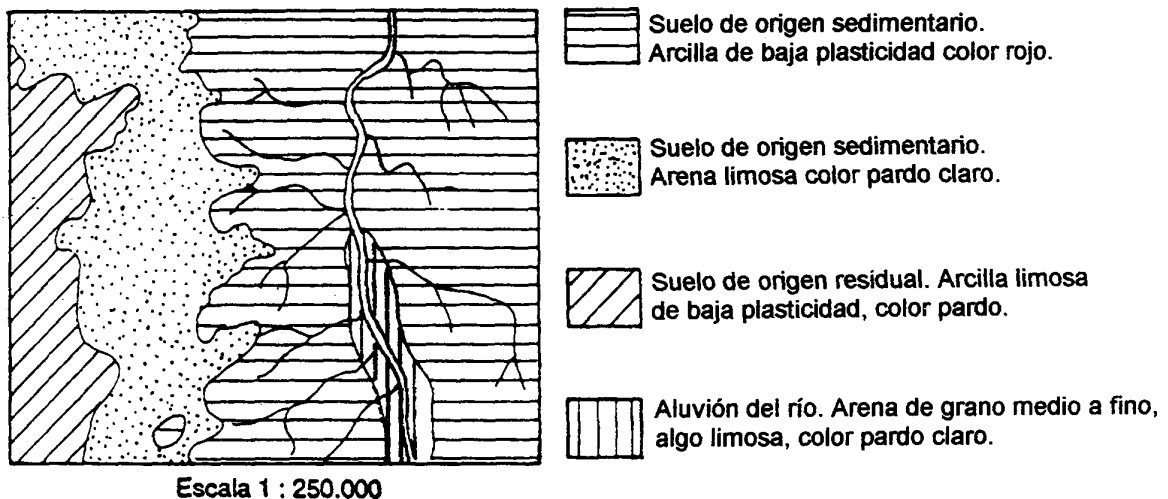
**Datos pedológicos**

Son las informaciones sobre las características de composición y la distribución de los suelos en la región estudiada.

Principales aspectos de interés:

- tipos de suelo corrientes en la región;
- identificación de los tipos de suelo más apropiados disponibles;
- identificación de los procesos del medio físico más decisivos para la región y los tipos de suelo.

FIGURA 18  
Mapa de distribución de suelos

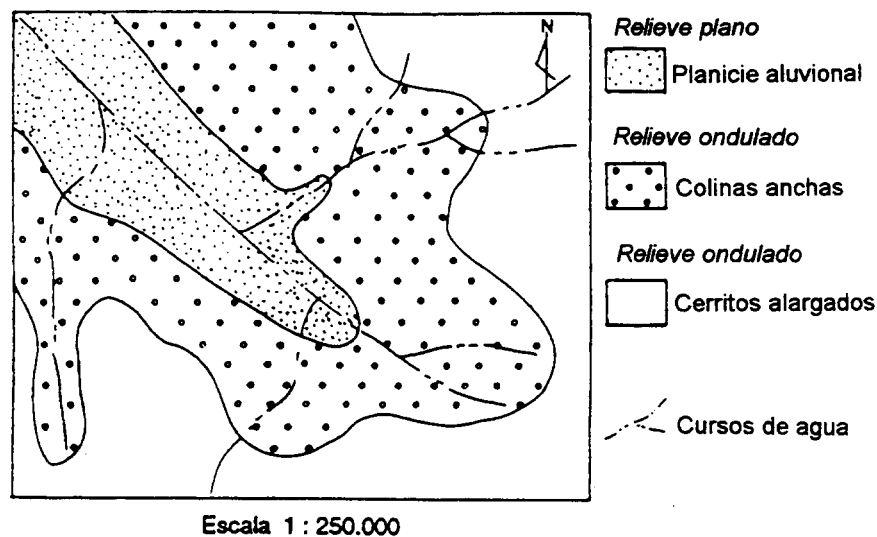
**Datos sobre el relieve**

Se refieren a la información sobre las formas y la dinámica del relieve del terreno.

Principales aspectos de interés:

- compartimentos geomorfológicos y características de las unidades que componen el relieve (áreas de cerros, planicies, cuevas, etc.);
- inclinación de los terrenos.

FIGURA 19  
Mapa geomorfológico



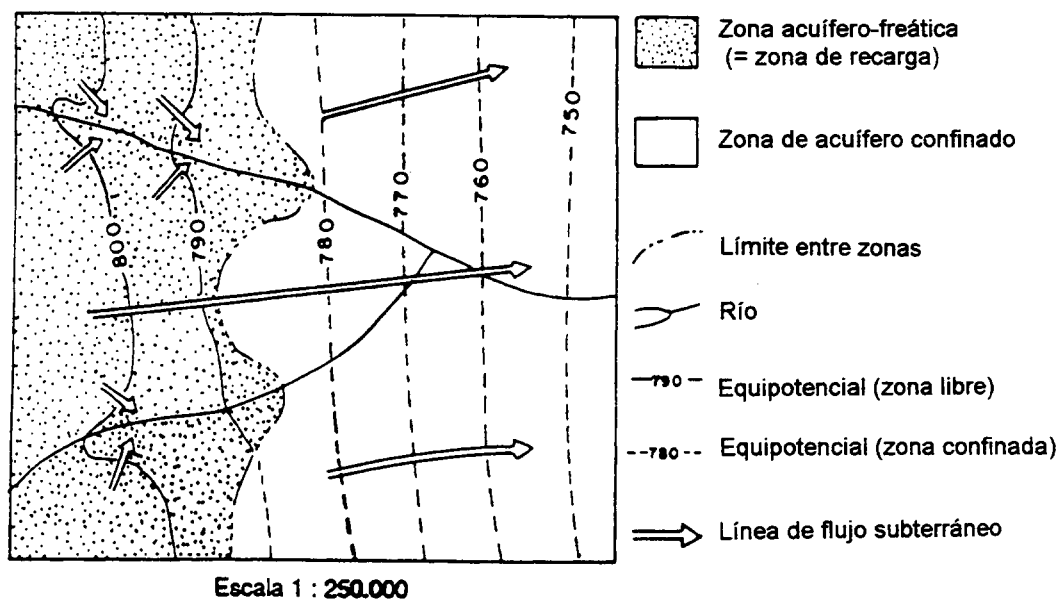
***Datos sobre las aguas subterráneas y superficiales***

Conjunto de informaciones sobre el comportamiento natural de la dinámica y química de las aguas subterráneas y superficiales de interés para el abastecimiento público.

Principales aspectos de interés:

- profundidades de la capa freática;
- localización de las zonas de recarga de las aguas subterráneas;
- principales manantiales, cuencas y cuerpos de agua de interés para el abastecimiento público (ámbito local y regional);
- áreas de protección de bañados.

FIGURA 20  
Mapa hidrogeológico

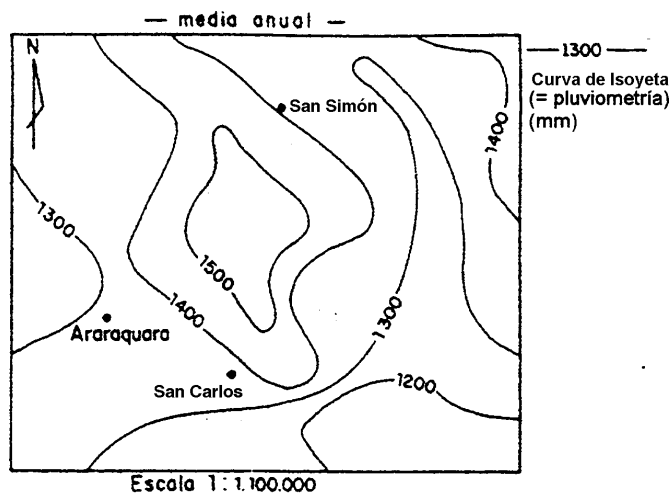
***Datos sobre el clima***

Se refiere a la información sobre lluvias, temperaturas y vientos.

Principales aspectos de interés:

- régimen de lluvias y precipitación pluviométrica (serie histórica);
- dirección e intensidad de los vientos.

FIGURA 21  
Mapa de isoyetas





**Datos sobre la legislación**

Se refiere a la información sobre las leyes ambientales (internacionales, nacionales, estatales y municipales) y otras condicionantes desde el punto de vista legal.

Principales aspectos de interés:

- localización de las áreas objeto de protección ambiental, áreas de protección de bañados, parques, reservas forestales, áreas deforestadas, etc.
- ordenamiento territorial de la ciudad.

FIGURA 22  
Normativa vigente

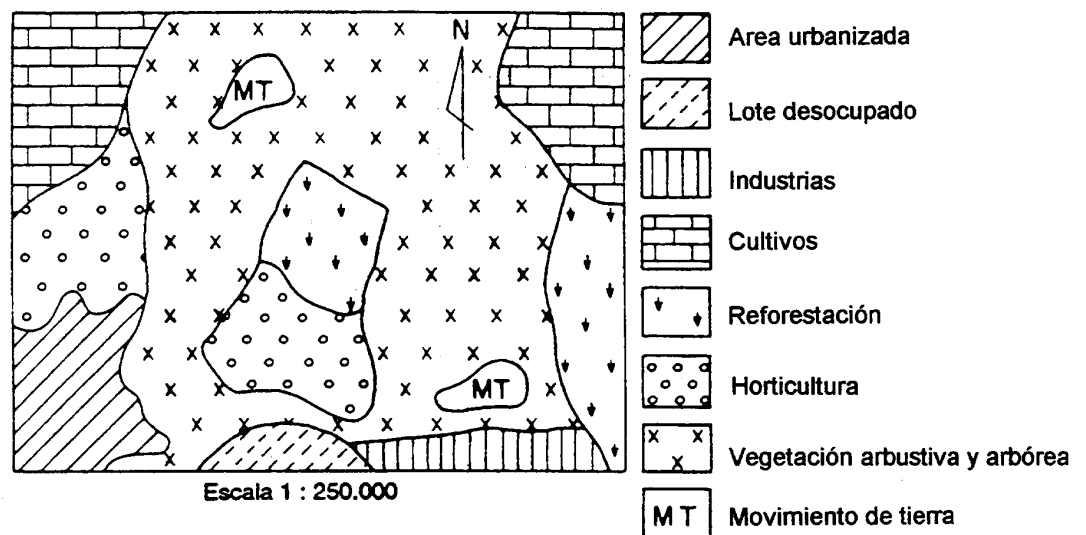
**Datos Socioeconómicos**

Lista informativa de asuntos de tipo social y económico que condicionan las decisiones técnico-políticas a la hora de escoger las áreas para la instalación de rellenos sanitarios.

Principales aspectos de interés:

- valor de la tierra;
- uso y ocupación de los terrenos;
- distancia del área con respecto a los centros atendidos;
- integración a la red vial;
- aceptación de la comunidad y de sus grupos organizados.

FIGURA 23  
Mapa de uso y ocupación del terreno



**Resultados de la etapa de preselección**

La ponderación de los diversos datos considerados y el análisis integrado de los mismos, permiten la identificación de las zonas más favorables, en las cuales, a través de una visita de campo, serán individualizadas las candidatas para la instalación del relleno sanitario.

La información sobre las áreas identificadas debe ser colocada en el Cuadro 1 que presenta la propuesta de un modelo orientador. Esta información se debe comparar con la del Cuadro 2, lo cual permitirá clasificar las áreas seleccionadas en una de las categorías siguientes:

**Recomendada:** cuando puede utilizarse en las condiciones actuales, de conformidad con las normas vigentes y con baja inversión.

**Recomendada con restricciones:** cuando puede utilizarse, a condición de que se tomen medidas complementarias que obliguen a hacer una inversión media de dinero.

**No recomendada:** cuando no se recomienda su utilización debido a la necesidad de medidas complementarias muy costosas.

CUADRO 1 Datos para evaluar las áreas destinadas a rellenos sanitarios			
Datos necesarios	ÁREAS DISPONIBLES		
	Área 1	Área 2	Área N
Vida útil			
Distancia del centro atendido			
Ordenamiento ambiental			
Ordenamiento territorial urbano			
Densidad de población			
Uso y ocupación del suelo			
Valor de la tierra			
Aceptación de la población y de las organizaciones no-gubernamentales ambientalistas			
Declives del terreno			
Distancia de los cursos de agua temporarios o perennes (cauces, nacientes, etc.)			

CUADRO 2			
Criterios para evaluar las áreas destinadas a rellenos sanitarios			
DATOS NECESARIOS	RECOMENDADA	RECOMENDADA CON RESTRICCIONES	NO-RECOMENDADA
Vida útil	Mayor que 10 años	(10 años, a criterio del organismo ambiental)	
Distancia del centro atendido	Menor que 10 km	10-20 km	Mayor que 20 km
Ordenamiento ambiental	Áreas sin restricciones de protección ambiental		Unidades de conservación ambiental
Ordenamiento territorial urbano	Vector de crecimiento	Vector de crecimiento medio	Vector de máximo
Densidad de población	Baja	Media	Alta
Uso y ocupación del suelo	Áreas no desarrolladas o poco utilizadas		Ocupación intensa
Valorización de la tierra	Baja	Media	Alta
Aceptación de la población y de las ONGs ambientalistas	Buena	Razonable	Inaceptable
Distancia de los cursos de agua (cauces, nacientes, etc.)	Mayor que 200 m	Menor que 200 m, con aprobación del organismo ambiental responsable	

En caso de que varias áreas sean clasificadas como Recomendada o Recomendada con restricciones, se sugiere que se les dé prioridad; en la etapa siguiente, sin embargo, se tomarán en cuenta, como máximo, tres de ellas, con base en los costos de los trabajos que corresponden.

Si, al contrario, todas las áreas disponibles se evaluarán como inadecuadas, el proceso deberá ser revisado y re-ejecutado, hasta que se obtengan áreas adecuadas.

En ese momento, es importante el contacto formal con el organismo ambiental responsable, para obtener las orientaciones específicas en cuanto a la instalación del relleno sanitario.

A partir de las áreas preseleccionadas, se puede pasar a la etapa siguiente de los estudios, con indicación del sitio más apropiado.

### 6.3 Estudios para determinar la idoneidad de las áreas preseleccionadas

En esta fase son fundamentales los trabajos de campo, a través del levantamiento de datos del medio físico, con investigaciones de superficie y subsuelo. Son trabajos de carácter local y pretenden conocer las características de las áreas preseleccionadas en la etapa anterior. Informaciones de otra naturaleza (social, económica, etc.) también podrán ser incorporadas.

Las técnicas de investigación utilizadas son las que se emplean corrientemente en la Geología, formando dos grandes grupos:

**a) técnicas indirectas:** interpretación de fotografías aéreas y satelitales, métodos geofísicos (sísmico, sondeo eléctrico vertical, etc.), (Figura 24);

**b) técnicas directas:** ejecución de sondeos manuales (taladro y percusión) o mecánicos (rotativo), ensayos en el propio sitio (ensayo de bombeo, de infiltración, etc.) o en el laboratorio (análisis físico-químico del agua; granulometría, límites de Atterberg, permeabilidad, compactación de los suelos, etc.), (Figura 25).

FIGURA 24  
Método geofísico - Sondeo eléctrico vertical

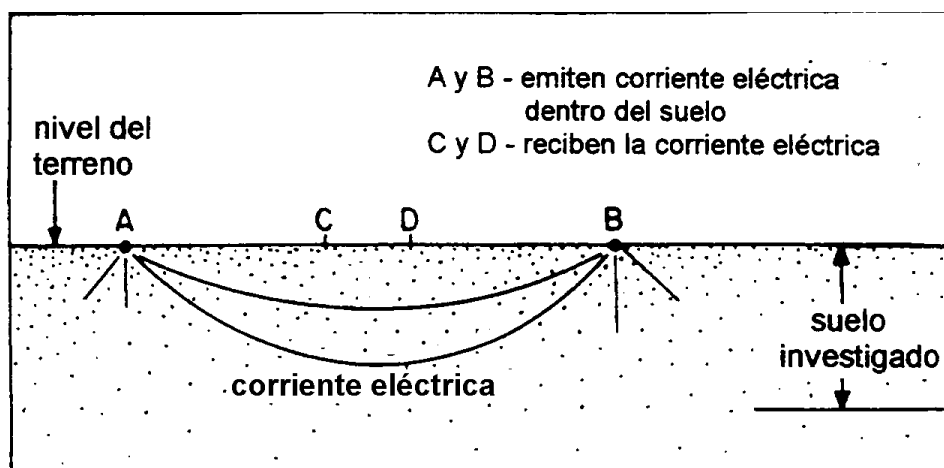
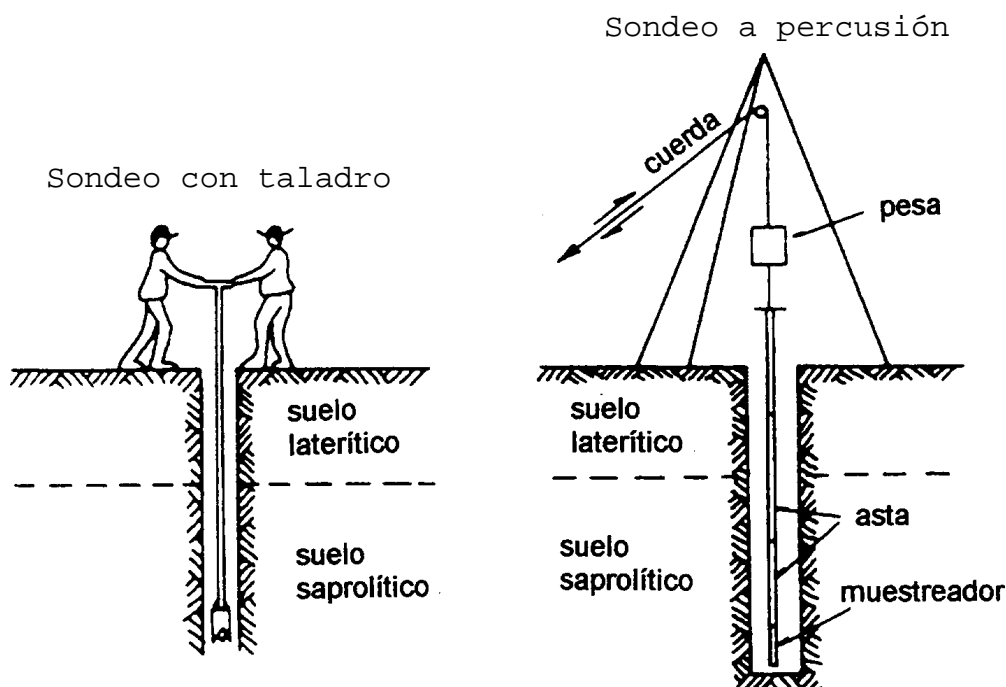


FIGURA 25  
Sondeos manuales



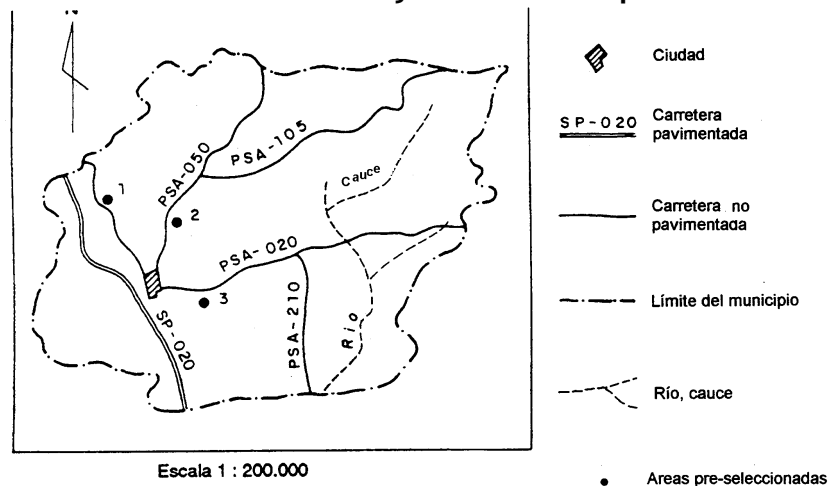
El primer paso es el levantamiento completo de los datos de interés sobre las áreas preseleccionadas, datos que posiblemente se encuentren ya en los archivos de la intendencia y de otros organismos. A continuación, se realiza el trabajo de campo, usando las técnicas descritas arriba.

Los datos se levantan en este orden:

#### ***Datos de infraestructura***

Comprenden las informaciones sobre la ubicación, condiciones de acceso, disponibilidad de energía eléctrica, etc. Estos elementos influyen en los costos de instalación y operación del relleno sanitario (Figura 26).

FIGURA 26  
Mapa catastral de carreteras y de las áreas preseleccionadas

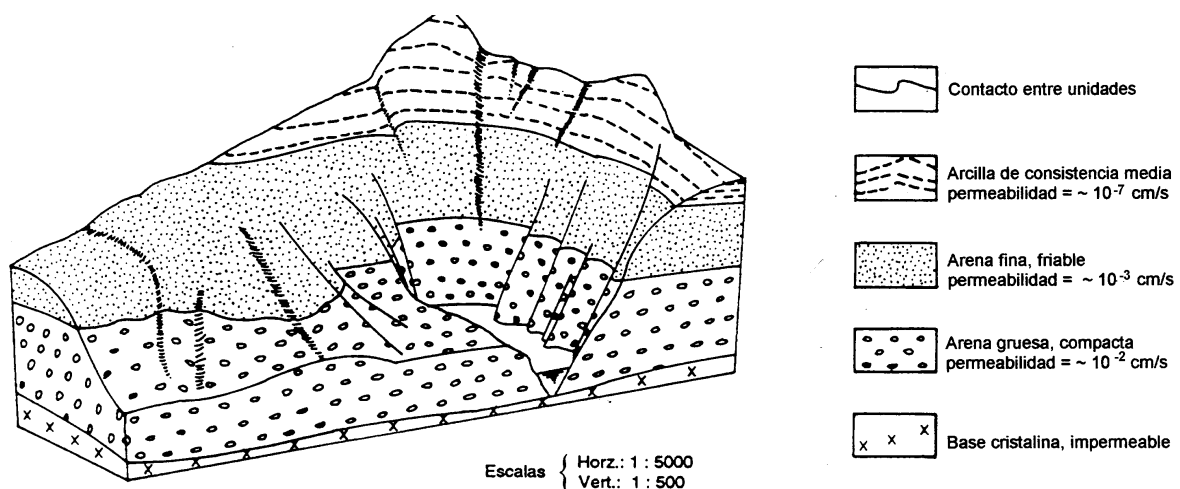


#### ***Datos geológico-geotécnicos***

Se refieren a la determinación de los elementos relacionados con el medio físico, que permitan identificar la mejor área para instalar el relleno:

- espesor del suelo;
- permeabilidad del suelo;
- capacidad de carga y deformabilidad del terreno de base;
- condiciones de estabilidad del área y adyacencias;
- susceptibilidad del terreno a procesos de dinámica superficial (erosión, deslizamientos, derrumbes, etc.).
- disponibilidad de materiales (para cubrir los residuos sólidos e impermeabilizar la base).

FIGURA 27  
Informaciones geológico-geotécnicas

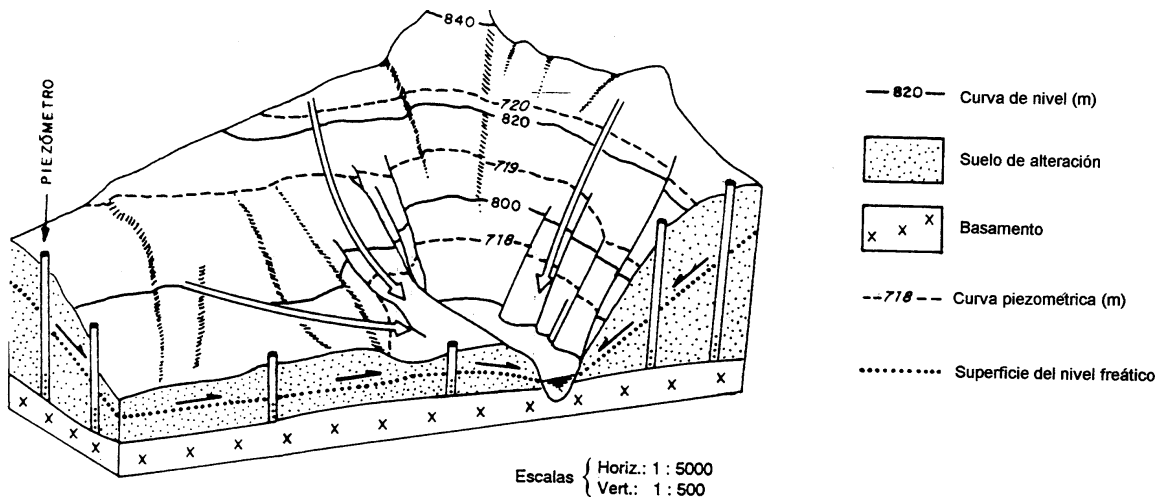


### Datos hidrogeológicos

Se refieren a la determinación de los parámetros relacionados con el comportamiento del agua subterránea, que permitan reforzar la elección del área para el relleno sanitario, y minimizar sus interferencias. Estos son:

- profundidad del nivel freático;
- patrón de flujo subterráneo;
- calidad de las aguas subterráneas;
- riesgos de contaminación.

FIGURA 28  
Informaciones hidrogeológicas



### Resultado de los estudios de idoneidad de las áreas preseleccionadas

El análisis y la interpretación de las informaciones recolectadas determinarán cuál de las áreas es la más indicada para instalar el relleno sanitario, tomando en cuenta los aspectos sociales, ambientales y financieros.

En esencia, entre las áreas preseleccionadas se desea identificar la que mejor posibilite:

- menor potencial de generación de impactos ambientales:
  - estar fuera de las áreas de restricción ambiental;
  - acuíferos menos permeables;
  - suelos más espesos y menos sujetos a los procesos de dinámica superficial (erosión, deslizamientos, derrumbes, etc.);
  - pendiente apropiada;
  - distancia de viviendas, cursos de agua, redes de alta tensión.
- mayor vida útil para el relleno sanitario:
  - máxima capacidad de almacenamiento de residuos sólidos.
- bajos costos de instalación y operación de la obra:
  - menores gastos de infraestructura;
  - menor distancia de la zona urbana generadora de residuos;
  - disponibilidad de material.

Como resultado final, se deberá hacer una descripción del sitio recomendado, sus justificaciones y las providencias necesarias para su correcta utilización.

Es aconsejable, además, que al final de estos procedimientos se realice una verificación, o sea un chequeo para confirmar que el área escogida cumple con los criterios presentados (y cualquier otro criterio que pueda ser obtenido) o, en caso negativo, si es posible (y económicamente factible) la adopción de medidas para eliminar eventuales deficiencias.

En caso de que ningún área satisfaga estas condiciones, el proceso de selección deberá ser reabierto y re-ejecutado, hasta que se encuentren sitios que reúnan las condiciones exigidas.

## 6.4 Consideraciones adicionales

La ejecución de las actividades descritas anteriormente no elimina la necesidad de presentar un estudio de impacto ambiental de acuerdo a lo previsto en la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental, para la instalación del relleno sanitario (en caso de que sea exigido, ver Anexo A). Sin embargo, su realización con la cooperación del órgano ambiental responsable y la participación de la sociedad civil, ciertamente contribuirá a la agilización de este proceso, y también a la obtención de una solución final de mejor calidad y menos sujeta a reclamos.

Una vez definido el sitio, el poder público municipal podrá dar seguimiento a las actividades necesarias para instalar el relleno sanitario.

## 7 Proyecto de relleno sanitario en áreas vírgenes

### 7.1 Concepción técnica

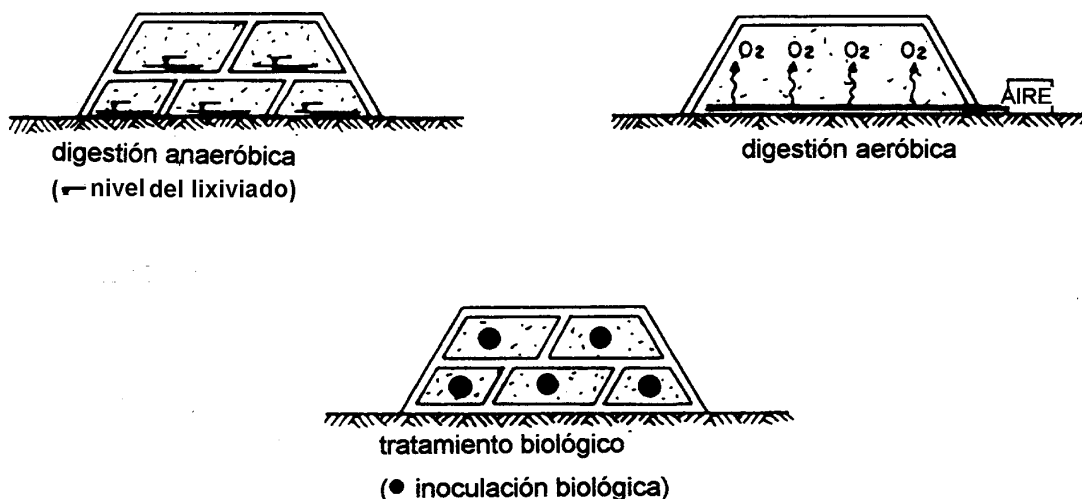
El concepto de relleno sanitario debe ser entendido como el lugar donde los “residuos sólidos” serán «purificados», minimizando su impacto negativo sobre el medio ambiente. Esta es la concepción moderna de los rellenos sanitarios, en función de la poca disponibilidad de áreas y el aumento de los volúmenes de residuos sólidos.

Esta idea presupone, no solamente la cobertura de los residuos y su larga, acaso secular, digestión anaeróbica constituyéndose en una fuente constante de contaminación, sino que incluye la obtención de algún provecho, acelerando el paso a materia inerte, minimizando y recuperando las áreas de disposición. Se debe quebrar el ciclo del proceso simplemente acumulativo de los residuos, que contamina el suelo, el agua y el aire, impidiendo un uso más noble de las áreas de los rellenos.

En este sentido, la concepción del relleno sanitario como un sitio de tratamiento debe preceder las acciones de ejecución del relleno, buscando alternativas y sistemas adecuados. Así, se pueden distinguir, a nivel de disposición en rellenos, cuatro líneas de tratamiento:

- tratamiento por digestión anaeróbica;
- tratamiento por digestión aeróbica;
- tratamiento por digestión semiaeróbica;
- tratamientos biológicos.

FIGURA 29  
Procesos de tratamiento de los residuos



### ***Tratamiento por digestión anaeróbica***

La digestión anaeróbica, pura y simplemente, es considerada apenas una forma sanitaria de tratamiento, ya que el tiempo en que los residuos sólidos se hacen inertes (término de las reacciones orgánicas alcanzándose el estadio de mineralización), puede durar decenas y hasta centenares de años. Esta concepción viene siendo aplicada en los Estados Unidos, en Brasil y en Uruguay.

### ***Tratamiento por digestión aeróbica***

La alternativa de la digestión aeróbica se presenta como la que produce mayores ventajas para la descomposición de los residuos sólidos, y no se usa de una manera más generalizada a causa de sus mayores costos directos comparados con los de la digestión anaeróbica.

La desventaja del proceso aeróbico sería la necesidad de inyectar aire dentro de los residuos sólidos acumulados, operando sistemas de control y bombeo de aire, lo cual exige costos directos e indirectos.

Como ventajas del proceso aeróbico, se pueden mencionar:

FACTORES	VENTAJAS DEL PROCESO AEROBIO vs. ANAEROBIO
Lixiviado	Menores niveles de DBO* y DQO** facilitando tratamientos finales de líquidos
Formación de gases	No-formación de gases peligrosos (como metano, p.ej.)
Descomposición de residuos	Más rápida
Drenaje de líquidos y gases	Mayor, con beneficios para la estabilidad mecánica
<p><b>(*) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):</b> medida de la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos, en la oxidación de materia orgánica presente en el agua o en el agua residual. Cuanto mayor el grado de contaminación, mayor la DBO.</p> <p><b>(**) Demanda Química de Oxígeno (DQO):</b> medida de la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación química de la materia orgánica presente en el agua o en el agua residual. En general, la DQO es mayor que la DBO y no siempre es posible correlacionarlas.</p>	

### ***Tratamiento por digestión semi-aeróbica***

Como alternativa a las dificultades presentadas por el proceso aeróbico, existe una corriente tecnológica que propicia la concepción de digestión semi-aeróbica<sup>34</sup>. Esta concepción procura eliminar las desventajas de la implantación y operación de sistemas forzados de inyectores de aire dentro de los residuos sólidos, y para ello el proyecto establece directrices preventivas, mediante la construcción de sistemas de disposición de gases, drenaje de residuos líquidos y aeración natural por convección.

En este caso, se elimina la principal desventaja del proceso aeróbico, que es el costo, y se aprovechan todas sus ventajas con poco o casi ningún perjuicio en cuanto al tiempo de descomposición de la materia orgánica.

Esta alternativa de digestión se ha ido usando en Japón. También puede implementarse, a través de la técnica de abertura de las celdas, la separación de los materiales en compuesto orgánico - compost - y elementos inertes, como en el tratamiento biológico.



### ***Tratamiento biológico***

El tratamiento biológico de los residuos sólidos, como forma de aceleración del proceso de descomposición de la materia orgánica, ha sido objeto de estudios teóricos y académicos. En Brasil, son los primeros experimentos a nivel de instalaciones, en dimensiones y condiciones reales de operación. En Uruguay, la Universidad de la República, en el Instituto de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería, se está investigando en esta materia. Esta alternativa exige la adquisición de la tecnología del proceso y un control riguroso de todas sus fases, a través de un equipo de operación especializado.

Los resultados finales de los primeros experimentos están todavía en fase de comprobación; además, el control y la operación son requisitos importantes para alcanzar los objetivos, como garantía de la calidad de los resultados.

El tratamiento acelerado de los residuos sólidos, a través de la descomposición de la materia orgánica por medio de microorganismos específicos desarrollados en reactores, transforma la fracción orgánica sólida en líquidos y gases. Resulta, así, una posibilidad de reabertura de las celdas de residuos sólidos, segregación y destino final de los residuos (inertes) y compuestos orgánicos, con el tratamiento final de los líquidos resultantes y la quema de los gases a lo largo del proceso. De este modo, el lugar del relleno sanitario se transforma en un sitio de tratamiento, siendo dispuestos los inertes en lugar específico, pudiéndose inclusive reducir el volumen mediante técnicas de separación y reciclaje.

Con los tratamientos alternativos presentados, eligiendo el más adecuado a las características generales anteriormente determinadas, se procede a la ejecución del proyecto del relleno sanitario en el lugar escogido, definiéndose en función de cada tratamiento, las instalaciones necesarias, sistemas y esquemas operativos.

Cualquiera sea el tratamiento que se adopte, se deberán considerar medidas de protección ambiental y monitoreo debidamente proyectadas, de modo que se garanticen condiciones de no contaminación de los lugares durante las diversas fases de la obra: implantación, operación y cierre.

## **7.2 Dimensionamiento del relleno sanitario**

Las dimensiones del relleno sanitario dependen de:

- la cantidad y tipología de los residuos que se deben acumular;
- las características fisiográficas y ambientales;
- el uso futuro del área por rellenar.

### ***Cantidad y tipología de los residuos a ser dispuestos***

La cantidad (volumen) de residuos sólidos que se disponen en el relleno sanitario es el factor preponderante para calcular la extensión del área para la disposición de los residuos. Las precauciones que se deben tomar en cuanto al acondicionamiento, recolección, tratamiento y disposición final dependen de los tipos de residuos a ser contemplados. La proyección futura de esos volúmenes y tipos de residuos debe realizarse de forma tal que el área tenga una vida útil de operación de por lo menos 20 años.

Obs.: Los residuos provenientes de los servicios de salud y hospitalarios deben ser incinerados. Mientras tanto, hasta que no se creen condiciones propicias para ello, se debe estudiar la alternativa de colocarlos en algún sector del relleno sanitario, en celdas diseñadas específicamente para tal fin.

### ***Características fisiográficas y ambientales***

La caracterización fisiográfica y ambiental del área seleccionada para la disposición de los residuos sólidos es un factor básico para calcular las dimensiones del relleno sanitario, principalmente porque este factor influye directamente en la implantación y desempeño del emprendimiento.

Para su caracterización son necesarios estudios cualitativos y cuantitativos de la región, generalmente definidos como Estudios Preliminares.(Punto 6).

### ***Uso futuro del área del relleno sanitario***

En el dimensionamiento de los rellenos sanitarios se debe prever el uso futuro más adecuado del área que se va a rellenar con residuos sólidos.

El destino final del área depende de la solución de relleno sanitario (método) adoptada, ya que las alternativas de tratamiento o la simple disposición de los residuos sólidos definirán comportamientos mecánicos diferenciados para las masas de residuos sólidos en esos sitios. En lugares donde se prefiere la degradación acelerada de los residuos, el uso posible del área puede ser más diversificado y con menores restricciones.

## **7.3 Componentes del proyecto**

Los estudios deben ser orientados de tal manera, que queden bien definidos los siguientes componentes del proyecto:

- a) sistema de tratamiento de los residuos a ser dispuestos;
- b) sistema de tratamiento de la base (impermeabilización);
- c) sistema de operación;
- d) sistema de cobertura;
- e) sistema de drenaje de las aguas pluviales;
- f) sistema de drenaje de los líquidos percolados (lixiviados);
- g) sistema de drenaje de la base;
- h) sistema de drenaje de gases;
- i) análisis de estabilidad de los macizos de tierra y de los residuos sólidos dispuestos;
- j) sistema de recolección y tratamiento de los líquidos percolados ;
- k) sistema de tratamiento de gases;
- l) sistema de monitoreo;
- m) cierre final del relleno.

### ***a) Sistema de tratamiento de los residuos a ser dispuestos***

El sistema se propone orientar la concepción del proyecto de un relleno sanitario, buscando alternativas tecnológicas adecuadas para el tratamiento de los residuos sólidos, cumpliendo la función sanitaria y de conservación ambiental. Este sistema debe garantizar la calidad de vida en los alrededores del relleno sanitario con influencias mínimas para el medio ambiente.

Su dimensionamiento es una función de la alternativa de tratamiento elegida para el sitio de disposición de los residuos sólidos.

La concepción del sistema puede adoptarse dentro de las alternativas de tratamiento acelerado de los residuos, y el tratamiento anaeróbico tradicional a largo plazo (secular).

La alternativa del sistema de tratamiento debe especificar procesos y métodos que garanticen la funcionalidad del relleno sanitario en todas las fases de su existencia.

### ***b) Sistema de tratamiento de la base***

El sistema de tratamiento de la base tiene como función proteger el fondo del relleno, evitando la contaminación del subsuelo y de los acuíferos adyacentes por la migración de percolados y/o gases, en caso de que no haya en el sitio condiciones naturales favorables.

Supuestamente si las condiciones naturales fueran totalmente favorables y seguras para el ambiente, ese tratamiento no sería necesario. Existen tendencias que piensan que no hay condiciones totalmente favorables y seguras, y que siempre es necesario un grado de impermeabilización.

Un sistema de tratamiento de la base debe presentar las siguientes características:

- estanqueidad;
- durabilidad;
- resistencia mecánica;
- resistencia a la intemperie;
- compatibilidad físico-química-biológica con los residuos a ser dispuestos.

Entre los materiales que se emplean comúnmente en el tratamiento de la base de los rellenos sanitarios se encuentran las arcillas compactadas y las geomembranas sintéticas.

Las capas impermeabilizantes de arcilla deben colocarse con control tecnológico de compactación, y deben cumplir con las características técnicas de baja permeabilidad y espesores mínimos, ya que constituyen barreras contra la migración de contaminantes.

Por la experiencia obtenida en otros países, como Estados Unidos y Alemania, el tipo de geomembrana que ha resultado más adecuado para la impermeabilización de rellenos sanitarios es la de polietileno de alta densidad (PEAD), por su resistencia mecánica, durabilidad y compatibilidad con una gran variedad de residuos. Se ha registrado, también, la utilización de geomembranas de cloruro de polivinilo (PVC).

En los procesos de impermeabilización, la garantía de calidad no está dada sólo por la definición de los materiales, sino por un adecuado método de aplicación y un efectivo control tecnológico de ejecución.

### *c) Sistema de operación*

El sistema de operación en esta fase del proyecto, debe tomar en cuenta en principio, la optimización de los recursos (humanos, materiales y financieros), y la forma de gerencia (administración directa e indirecta), como se indicó en el Punto 4.

El proceso de cubrir los residuos sólidos con tierra o la formación de celdas de residuos sólidos, según la clasificación de los rellenos y aplicando la técnica de los rellenos de superficie, se ha ido llevando a cabo tradicionalmente de tres maneras: método de trinchera o zanjas, método de rampa y método de área (ver Figura 11). La elección o definición de uno de los tres métodos depende de las características físicas y geográficas del sitio:

- **Método de trinchera:** consiste en la abertura de trincheras (zanjas) en el suelo, en las que los residuos sólidos son dispuestos en el fondo, compactados, y posteriormente cubiertos de tierra.

- **Método de rampa:** conocido también como «método de excavación progresiva», se fundamenta en la excavación de una rampa donde los residuos sólidos son dispuestos y compactados mediante un tractor frontal y, posteriormente, cubiertos con tierra. Se emplea en áreas llanas, donde el suelo natural ofrece buenas condiciones para ser excavado y utilizado como material de cobertura.

- **Método de área:** suele emplearse en sitios donde la topografía es irregular, y la capa freática se encuentra en el límite máximo.

Estas tres formas de manejo de los residuos están ilustradas en la Figura 11 -A, B y C.

El frente de trabajo en operación debe ser el mínimo posible, de modo que los residuos sólidos no queden desperdigados e impidan su manejo, perjudicando la compactación, los accesos y la cobertura con tierra.

Se recomienda la preparación de un área destinada a la descarga de los residuos sólidos en épocas de lluvia o cuando, por cualquier motivo, no se pueda operar en el frente de trabajo.

Diariamente debe ser ejecutada la cobertura de los residuos con tierra. Cuando la recolección de residuos sólidos está terminada, éstos deben ser desparramados por el tractor frontal formando celdas diarias de residuos sólidos. Se podrá volver a trabajar sobre las celdas iniciales para formar celdas nuevas, hasta completar la camada. Resultarán varias camadas de celdas sobrepuestas. La planificación de la obra deberá prever la construcción de drenajes de aguas superficiales, aguas subterráneas, lixiviado y gases, concomitantemente a la formación de celdas y camadas.

El sistema de operación debe también prever el control del funcionamiento del relleno sanitario mediante el cumplimiento de algunas recomendaciones básicas, relacionadas con el volumen de los residuos sólidos recibidos, la zonificación de los sitios de disposición, el tratamiento de los residuos y de los efluentes generados por la disposición.

El control de la recepción de los residuos sólidos se logra instalando una balanza en la entrada del relleno sanitario, donde los vehículos que entran y salen son pesados por

operarios. Estos verifican y registran la matrícula y su procedencia, llevando control cuantitativo y cualitativo de los residuos que se disponen en el área.

Se recomienda la implantación de un espacio destinado al análisis y la inspección de los residuos sólidos recibidos en el relleno.

Es ideal que se establezca un sistema de zonificación de los residuos, permitiendo, además de su control, el tratamiento adecuado en función del tipo, del volumen y de las características de los residuos sólidos recibidos.

#### ***d) Sistema de cobertura***

El propósito de cubrir diariamente los residuos sólidos con tierra es proteger la superficie de las celdas de residuos sólidos, minimizando impactos al medio ambiente, con el objetivo de:

- impedir el arrastre de materiales por la acción del viento;
- evitar la clasificación de residuos en condiciones inapropiadas (hurgadores);
- evitar la proliferación de moscas, roedores y otros transmisores de enfermedades;
- evitar el aspecto antiestético de los residuos sólidos expuestos;
- facilitar el movimiento de las máquinas y de los vehículos sobre el relleno;
- propiciar el escurrimiento superficial, dificultando la infiltración de las aguas pluviales dentro del relleno, disminuyendo la formación de lixiviado;
- reducir la existencia de malos olores;
- evitar la quema de residuos a cielo abierto;
- evitar la salida descontrolada de gases.

El sistema de cobertura debe ser resistente a los procesos erosivos y adecuado a la utilización futura del área.

Se recomienda el uso de protección vegetal, e integrar la masa final del relleno sanitario al medio ambiente local.

Los materiales que componen el sistema de cobertura final deberán ser especificados de modo que cumplan con los requisitos técnicos anteriores, al igual que el sistema de impermeabilización de base. La garantía de un buen funcionamiento depende del control técnico durante la ejecución de los trabajos.

Una vez concluida la utilización del relleno sanitario, es necesario prever el mantenimiento del sistema de cobertura y garantizar sus características en el tiempo.

#### ***e) Sistema de drenaje de aguas pluviales***

Este sistema tiene la finalidad de interceptar y desviar el escurrimiento superficial de las aguas pluviales, durante y después de la vida útil del relleno, evitando su infiltración dentro de la masa de residuos.

El dimensionamiento de la red de drenaje depende principalmente de la cantidad de lluvia que se deberá drenar. Los métodos de dimensionamiento siguen la práctica usual del drenaje urbano, por tratarse de pequeñas vertientes de aporte.

En los rellenos sanitarios, en general, el sistema de drenaje de aguas pluviales está constituido por estructuras drenantes de media caña (canales) asociadas a escalones y tubos, todos de cemento.

Dicho sistema de drenaje deberá estar orientado en sentido tal, que conduzca los líquidos hacia un punto único, distinto del sitio donde se concentran los lixiviados a través del relleno, los cuales necesitan ser tratados antes de ser conducidos por el sistema de drenaje de aguas naturales.

#### ***f) Sistema de drenaje de líquidos percolados***

El sistema de drenaje de líquidos percolados, que atraviesan la masa del relleno sanitario, debe recolectarlos y conducirlos a través de drenajes internos, reduciendo las presiones de dichos líquidos que actúan en la masa del residuo y minimizando el potencial de migración de esos líquidos hacia el subsuelo.

Este sistema podrá proyectarse a través de piedra picada en tubos perforados, dirigen-

do el lixiviado hasta el sitio de acumulación, donde serán sometidos a un tratamiento adecuado.

Para el dimensionamiento de este sistema de drenaje, es fundamental el conocimiento del caudal que debe ser drenado y las condicionantes geométricas de la masa de residuos.

La concepción del sistema de drenaje depende de la alternativa de tratamiento adoptada para el relleno sanitario, pudiendo inclusive asociarse al sistema de drenaje de gases.

#### ***g) Sistema de drenaje de la base***

Bajo el sistema de tratamiento de la base del relleno sanitario es conveniente proyectar un sistema de drenaje para la recolección de las aguas naturales del subsuelo. Este sistema debe estar conectado con el sistema de monitoreo ambiental del relleno, de manera que se puedan comprobar las buenas condiciones de funcionamiento del sistema de tratamiento de la base, tanto durante la vida útil del relleno sanitario, como después de su cierre.

Aun cuando no hubiese surgencias de agua que exijan ser drenadas, se sugiere la inclusión del sistema asociado al sistema de monitoreo ambiental del relleno sanitario.

#### ***h) Sistema de drenaje de gases***

El sistema de drenaje de gases tiene la función de dar salida a los gases provenientes de la descomposición de la materia orgánica resultantes del proceso de digestión, evitando su migración a través de los medios porosos que constituyen el subsuelo, de manera que no lleguen a redes de desagüe, fosas, pozos y viviendas.

La migración de los gases debe ser controlada a través de la construcción de una red adecuada, constituida por tubos de cemento perforados verticales, colocados en puntos escogidos del relleno. Estos tubos atraviesan todo el relleno en sentido vertical, desde el suelo hasta las capas superiores.

Asociados a los tubos verticales se proyectan tubos horizontales y oblicuos, que facilitan un drenaje más eficiente de la masa de residuos. Estos tubos pueden estar conectados al sistema de drenaje de percolados, dependiendo de la alternativa de solución de tratamiento adoptada para el relleno sanitario.

#### ***i) Análisis de estabilidad de los macizos de tierra y de los residuos sólidos dispuestos***

La estabilidad de los macizos de tierra, de la base y de la masa de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario debe ser analizada a partir de parámetros y métodos de análisis adecuados al sitio, por consultores especializados en la materia.

Con el análisis de estabilidad se pretende definir la geometría definitiva del relleno y sus entornos, con criterios de seguridad adecuados para obras civiles.

Un factor básico que se debe tener en cuenta es la influencia de los líquidos y gases en la estabilidad de los taludes.

#### ***j) Sistema de recolección y tratamiento de los líquidos percolados***

Una de las formas para minimizar el impacto ambiental causado por el entierro de residuos sólidos, es la recolección y tratamiento de los líquidos percolados.

La recolección se realiza por medio de tubos perforados con piedra picada, quienes conducen los líquidos hasta piletas de acumulación, de donde son enviados a un tratamiento conveniente.

Los procesos de tratamiento empleados en la actualidad son<sup>29</sup>:

- **recirculación o riego:** estos sistemas están fundamentados en procesos de infiltración y percolado de los líquidos a través de la masa de residuos sólidos, en un sistema de recirculación de percolados.

- **tratamiento en lagunas de estabilización:** este sistema se basa en la biodegradación de la materia orgánica contenida en el residuo líquido por la acción de dos grupos de bacterias: aeróbicas y anaeróbicas.

- **tratamiento por procesos químicos:** los líquidos de rellenos sanitarios pueden

tratarse mediante procesos que implican reacciones químicas como, por ejemplo, hidrólisis enzimática e hidrólisis ácida.

- **tratamiento por filtros biológicos:** el fundamento científico de los filtros está condicionado a la descarga continua o intermitente de líquidos contaminados a través de un medio biológico activado. Existen dos tipos de filtros, según la actividad biológica: aeróbico y anaeróbico.

- **tratamiento por proceso fotosintético:** a pesar de que este proceso está en fase de prueba, los resultados obtenidos con la bora (*Eichhornea azúrea*, *E. crassipes*), una planta acuática que absorbe nutrientes, metales y restos orgánicos presentes en aguas y desechos contaminados, son bastante promisorios, por la posibilidad múltiple de tratar los desechos líquidos y producir biomasa, que se puede transformar en fertilizante, combustible o alimento animal.

*El mejor proceso y su dimensionamiento  
está asociado a la alternativa de tratamiento de los residuos  
adoptada para el relleno sanitario.*

En el relleno sanitario deberá siempre estar previsto un sistema de recolección y tratamiento de los líquidos percolados, no siendo admisible su descarga en cursos de agua fuera de los patrones normalizados.

El proyecto adecuado de la instalación a ser implantada en el relleno sanitario dependerá de las características y la cantidad de líquidos percolados que se generen en éste.

#### ***k) Sistema de tratamiento de gases***

A pesar de sus fallas, en las últimas décadas se han venido ensayando muchos métodos para explotar el gas metano de los rellenos sanitarios en todo el mundo. Estos procesos deben ser estudiados con mayor profundidad para que las imprecisiones sean, en un futuro próximo, minimizadas.

Los principales problemas con esos métodos están relacionados con la capacidad real de producción y recuperación del gas, la imposibilidad de un control perfecto de ciertos parámetros como la humedad, el pH, el potencial de óxido-reducción, la temperatura, el tipo de sólidos volátiles y la presencia de sustancias inhibitoras del proceso biológico en la masa de los residuos sólidos, además de otros elementos de no menor importancia.

El proceso de tratamiento más común utilizado hasta la fecha es la quema de los gases provenientes del relleno, en los propios tubos colectores de gases.

#### ***l) Sistema de monitoreo***

El sistema de monitoreo tiene la función de conocer y evaluar, a través de un sistema de control continuo y sistemático, el impacto causado por el relleno sanitario. Consta de monitoreo geotécnico y ambiental.

El sistema de monitoreo geotécnico consiste en:

- control de desplazamientos horizontales y verticales;
- control del nivel de lixiviado y de la presión de los gases en el cuerpo del relleno;
- control de la descarga de lixiviado a través de los drenajes;
- programación de inspecciones periódicas en el sitio.

El sistema de monitoreo ambiental consiste en:

- control de la calidad de las aguas subterráneas;
- control de la calidad de las aguas superficiales;
- control de la calidad del aire;
- control de la contaminación del suelo;
- control de los agentes propagadores de enfermedades.

El monitoreo se deberá llevar a cabo por medio de la construcción de pozos de control,

instalación de piezómetros, medidores de desplazamientos horizontales y verticales, medidores de descarga, análisis físico-químicos y biológicos.

La frecuencia de la toma de muestras para los análisis, al igual que la técnica y los métodos de muestreo utilizados, son indicados por los organismos de control ambiental.

La frecuencia de la lectura de las referencias superficiales (desplazamientos verticales y horizontales), piezómetros, inclinómetros y medidores de descarga, se deberá definir en el proyecto.

#### ***m) Cierre final del relleno***

El sistema plantea la concepción de un plan de clausura del relleno sanitario, la recuperación del área utilizada y su ocupación final.

El dimensionamiento del sistema de clausura del relleno sanitario está en función del tratamiento de los residuos adoptado durante la vida útil del mismo.

Los drenajes que rodean el área rellena, las vías de acceso y los sistemas de monitoreo deberán mantenerse funcionando aún después del cierre del relleno sanitario. Los sistemas de drenaje y tratamiento de los líquidos percolados y de los gases, deberán igualmente funcionar durante todo el tiempo que los líquidos y gases presenten un potencial de contaminación.

La cobertura final de tierra se deberá colocar de modo que evite el surgimiento de agentes patógenos y la filtración indebida de líquidos y gases.

El monitoreo deberá ser mantenido, las lecturas deberán realizarse periódicamente hasta la estabilización definitiva de la masa de residuos.

### **7.4 Documento básico del proyecto**

El documento básico del proyecto de un relleno sanitario está compuesto de:

- diseños y planos;
- especificaciones técnicas, costos y cronogramas;
- informes descriptivos y memorias de cálculo.

#### ***Diseños y planos***

El proyecto de un relleno sanitario varía de un sitio a otro, según las características intrínsecas de cada lugar. Sin embargo, como mínimo, son necesarios los siguientes planos:

- plano de situación y localización;
- plano horizontal, o vista superior;
- detalles de ejecución de las celdas de residuos sólidos;
- perfiles longitudinales y transversales;
- detalles del área administrativa, balanza, etc.;
- plano del sistema de drenaje superficial;
- detalles del sistema de drenaje superficial;
- plano del sistema de drenaje de lixiviado;
- detalles del sistema de drenaje de lixiviado;
- plano del sistema de drenaje subterráneo;
- detalles del sistema de drenaje subterráneo;
- plano del sistema de drenaje de gases;
- detalles del sistema de drenaje de gases;
- plano del sistema de recolección y tratamiento de lixiviado;
- detalles de las piletas de tratamiento, lagunas, etc.;
- detalles de las áreas de emergencia;
- plano de ubicación de las perforaciones de sondeo;
- plano y detalles de monitoreo;
- plano de los detalles y especificaciones técnicas de cierre del relleno;

- *as built* (levantamiento histórico de todos los detalles de construcción del emprendimiento);
- otros detalles.

### ***Especificaciones técnicas***

La especificaciones técnicas se pueden considerar como las prescripciones para el control tecnológico de la ejecución de los elementos que constituyen el proyecto. Items o parámetros que se pueden medir o calificar, y en los que el resultado de la medida o calificación se evalúa si está dentro de lo calculado. La conformidad de la construcción con las especificaciones técnicas garantizará el funcionamiento deseado y proyectado del relleno sanitario.

### ***Cronograma y previsión de costos***

Se debe presentar un cronograma del desarrollo de los trabajos, donde todas las fases de ejecución estén previstas. Se deberá proceder del mismo modo con los costos, que necesitan ser presentados en detalle, tanto los de implantación, como los de operación, de mantenimiento, de materiales y otros costos eventuales.

### ***Informes descriptivos y memorias de cálculo***

Presentar en detalle la concepción del proyecto y los cálculos de dimensionamiento de las diversas partes de las obras, debidamente justificados y documentados.

## **7.5 Orientación para la licitación**

En este contexto, la intendencia tiene en general, dos alternativas para la operación del relleno sanitario: operarlo ella misma o licitarlo a terceros, en función del tamaño del área disponible para la implantación del relleno sanitario y de los recursos de la administración pública.

A priori, se debe considerar si el municipio dispone de condiciones y recursos que satisfagan las exigencias técnicas requeridas, que permiten operar directamente el sistema de disposición de los residuos sólidos.

Otra alternativa es el manejo del relleno sanitario por parte de terceros, mediante un proceso de licitación pública.

La operación de un relleno sanitario debe considerarse como la ejecución de una obra civil con un proyecto técnico definido, y no como una actividad de prestación de servicios de limpieza pública. Por lo que, las cláusulas contractuales podrán prever la ejecución del relleno en etapas, que podrán ser realizadas por empresas diferentes, a lo largo del tiempo, sin perjuicio para su desarrollo.

Esa licitación pública parte de la base de la existencia del proyecto técnico y, a partir de éste, la elaboración del llamado a concurso de licitación que constará esencialmente de:

- propósito y descripción del servicio;
- criterios para la calificación de las empresas;
- condiciones de presentación de la propuesta;
- criterios de evaluación;
- fechas:
  - entrega de las propuestas;
  - apertura y evaluación;
  - asignación del contrato;
  - plazo del contrato;
  - condiciones contractuales.

Las empresas que participan en la licitación pública, deberán estar al día con las obligaciones sociales, estar inscritas en el ente público donde será hecha la licitación, y deben satisfacer todas las exigencias referentes a capacitación técnica y financiera.



Algunas de las exigencias específicas para una licitación pública que las empresas deben presentar son:

- capital integrado de la empresa;
- relación de méritos del cuerpo técnico (curriculum vitae)
- antecedentes técnicos de obras semejantes;
- equipos;
- satisfacción de las exigencias de calidad en cuanto a especificaciones técnicas, (p.ej.: ISO 14000, NBR-8419/84 y otras);
- otras que podrán ser exigidas por la Intendencia u otros organismos.

## **7.6 Resumen de la Norma Técnica Brasileira NBR-8419/84 “Presentación de Proyectos de Rellenos Sanitarios de Residuos Sólidos”**

### **I- Definiciones**

A los efectos de la Presentación de Proyectos de Rellenos Sanitarios de Residuos Sólidos Urbanos son adoptadas algunas definiciones de acuerdo a lo expuesto en las Resoluciones n° 053 y n° 124 de 20/08/80, del Ministerio del Interior (Brasileño).

### **II- Condiciones generales**

Los proyectos presentados deben, obligatoriamente, estar constituidos de las partes siguientes;

- informe descriptivo;
- informe técnico;
- cronograma de ejecución y estimativa de costos;
- diseños;
- eventuales anexos.

### **III- Condiciones específicas**

Forman parte de las Condiciones Específicas los siguientes ítems:

#### ***1 Informe descriptivo***

- informaciones catastrales;
- informaciones sobre los residuos a ser dispuestos en el relleno sanitario;
- informaciones sobre el sitio destinado para relleno sanitario;
- concepción y justificación del proyecto;
- descripción y especificación de los elementos del proyecto;
- operación del relleno sanitario;
- uso futuro del área del relleno sanitario.

#### ***2 Informe técnico***

- cálculo de los elementos del proyecto;
- vida útil del relleno sanitario;
- sistema de drenaje superficial;
- sistema de drenaje y remoción del lixiviado;
- sistema de drenaje de gas;
- sistema de tratamiento del lixiviado;
- cálculo de estabilidad de los macizos de tierra y de los residuos sólidos dispuestos.

### ***3 Presentación de la estimación de costos y de cronograma***

#### **Estimación de costos**

Debe ser presentada una estimación detallada de los costos de implantación del relleno sanitario, así como de su operación y mantenimiento, especificando, entre otros, los costos de:

- equipos utilizados;
- mano de obra empleada;
- materiales utilizados;
- instalaciones y servicios de apoyo.

#### **Cronograma**

Debe ser presentado un cronograma físico-financiero para la implantación y operación del relleno sanitario.

### ***4 Presentación de los diseños***

Deben ser presentados los siguientes diseños:

- concepción general;
- indicación de las áreas de disposición de residuos sólidos;
- sistema de drenaje superficial y sub-superficial;
- sistema de drenaje de gases;
- sistema de tratamiento de lixiviado;
- representación del relleno concluido;
- cortes;
- detalles importantes.

## Referencias

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos: NBR-8849/85. São Paulo, 1985.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: NBR-8419/84. São Paulo, 1984.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Degradação do solo: terminologia: NBR-10703/89. São Paulo, 1989.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma da ABNT para coleta de resíduos sólidos: classificação. Limpeza pública, n.41, p.21-24, abr./maio/jun/ 1993.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos: classificação: NBR-10004. São Paulo, 1987.
- 6 BENVENUTO, C. Disposição planejada de resíduos na conservação ambiental. São Paulo: IPT, 1992. (Palestra «Contribuições para o Desenvolvimento de Vale do Ribeira e Litoral Sul», COVIDAR, Registro, jun. 1992).
- 7 BENVENUTO, C., CRUS, P.T., MIRANDA, I.C.S.B. A metodologia geotécnica aplicada à disposição dos resíduos sólidos. En: SEMINÁRIO SOBRE GEOTECNIA DE ATERROS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, GEOAMBIENTAL 94, Rio de Janeiro, Anais...
- 8 BENVENUTO, C., CUNHA, M.A. Escorregamento em massa de lixo no Aterro Sanitário Bandeirantes em São Paulo. En: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, REGEO, 91, 1991. Rio de Janeiro. Anais...
- 9 BENVENUTO, C., MIRANDA, I.C.S.B. Solid waste destination. En: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PROBLEMAS AMBIENTAIS DOS CENTROS URBANOS, 2., 1993, São Paulo. Resumos... São Paulo: Biosfera, 1993, p.122.
- 10 BERNARDES JR., C. et al. Avaliação do impacto ambiental provocado por locais de disposição de resíduos sólidos. En: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 13., 1985, Maceió. Separata. São Paulo: CETESB, 1985, 29p.
- 11 CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R., STEGMANN, R. Sanitary landfilling.
- 12 COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Aterros industriais: critérios para projeto, implantação e operação. São Paulo, 1991.
- 13 COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Manual de instruções básicas para a execução de aterro sanitário. São Paulo, 1979. Anexo 3.
- 14 COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Resíduos sólidos domésticos: tratamento e disposição final. São Paulo, 1994. (Apuntes de curso)
- 15 CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO. Limpeza pública. São Paulo, 1979. 126p.
- 16 CONSONI, A.J. Estudos geológicos para escolha de local para instalação de aterro sanitário para a disposição de resíduos sólidos urbanos no município de Guaratinguetá, SP. São Paulo: IPT, 1994. 82 p. (IPT. Relatório, 31 794).
- 17 CONSONI, A.J. Seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos urbanos e proposta de aterro sanitário no município de Iguapé, SP. São Paulo: IPT, 1993. (IPT, Proposta, 17 558).
- 18 CUNHA, M.A., BENVENUTO, C. Principais problemas geológico-geotécnicos relacionados com a disposição de resíduos na Região Metropolitana de São Paulo. En: SIMPÓSIO DOS PROBLEMAS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO, 1992, São Paulo. Anais... (Relación del subtema: Geotecnia de obras civis. Seção 3).
- 19 DESIGN and operation of sanitary landfill. S.I. Kyushu International Centre, Japan International Cooperation Agency & Kita, Environmental Cooperation, s.f.
- 20 DUVEL JR., W. Solid-waste disposal: landfilling. Chemical Engineering, p.77-86, July 1979.
- 21 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Common environmental terms. S.I.: 1977.

- 22 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Corrective action: technologies and applications. Cincinnati, 1989. (EPA/625/4-89/020).
- 23 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Hazardous Waste Engineering Research Laboratory, Remedial action at waste disposal sites. S.I., 1985.
- 24 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Requirements for hazardous waste landfill design, construction, and closure. Cincinnati, 1989. (EPA/625/4-89/022).
- 25 FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. Vocabulário básico do meio ambiente. Rio de Janeiro: 1991.
- 26 GERVASONI, S. Discariche controllate. Milano: Biblioteca Tecnica Hoepli, 1991. 223 p.
- 27 LANDVA, A., KNOWLES, G.D. (ed.) Geotechnics of waste fills theory and practice. En: SYMPOSIUM ASTM COMMITTEE D-18 ON SOIL AND ROCK, 1989, Pittsburgh. Proceedings... [S.l.: s.n.], 1989.
- 28 LIMA, L.M.Q. Tratamento de lixo. São Paulo: Hemus, 1985. 240 p.
- 29 LIMA, L.M.Q., NUNES, C.R. Aterro sanitário celular. São Paulo, 1994. (em imprensa)
- 30 LIPTAK, B. Sanitary landfills: site selection and site preparation. [S.l.: s.n.].
- 31 LUZ, F.R.X. Aterro sanitário: características, limitações, tecnologia para implantação e operação. Apresentado em el SEMINÁRIO SOBRE ATERROS SANITÁRIOS, 1981 S.I.
- 32 MANDELLI, S.M.C., LIMA, L.M.Q., OJIMA, M.K. (ed.). Tratamento de resíduos sólidos: compêndio de publicações. Caixas do Sul: 1991. 291 p.
- 33 MARINI, P. Lixo: uma montanha de problemas. D.M., p.6-13, mar. 1992.
- 34 MATSUFUJI, Y. Design and operation of sanitary landfill. S.I.: Kyushu International Centre, JICA, Kita Environmental Cooperation Center, s.f., 83 p.
- 35 MATSUFUJI, Y. Technical guideline on sanitary landfill. S.I.: JICA, 1994. (JICAWJA04c).
- 36 NORMAS ABNT/CETESB. Resíduos sólidos. São Paulo: CETESB, 1988. 376 p.
- 37 O QUE é preciso saber sobre limpeza urbana. Noticiário IBAM, n.313, dic. 1991.
- 38 OPS/OMS. Catálogo de biblioteca del CEPIS. Lima: Cepis, 1984. 3.v., 2 supl.
- 39 ORTH, M.H.A., FUZARO, J.A., MORAIS, C.M.B. Aterro sanitário. São Paulo: Conselho Nacional de Desenvolvimento Urbano, CETESB, 1979. 65 p.
- 40 PRADO FILHO, J.F. Lixo urbano: formas de disposição no ambiente. Revista de Geografia, v.10, p.75-92, 1991.
- 41 PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Secretaria de Serviço e Obras. Departamento de Limpeza Urbana. Texto básico, esquema e fotos para confecção do folheto técnico sobre as unidades de destinação final de lixo. São Paulo, 1992. 20 p.
- 42 REMAI'91: 1. Encontro para Prefeitos de Metrópoles Latino-americanas sobre Gestão e Tecnologia de Tratamento de Resíduos; 1. Amostra Internacional de Tecnologias de Tratamento de Resíduos. Projeto Reciclagem, São Paulo, v.2, n.4, p.7, 1991.
- 43 REMAI'91: apresentação de soluções para a gestão de resíduos. Projeto Reciclagem, São Paulo, v.2, n.7, p.4-5, oct. 1991.
- 44 RESÍDUOS sólidos e meio ambiente no Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1993. 144 p. (Série Seminários e Debates) (Encontro Técnico: Resíduos e Meio Ambiente no estado de São Paulo, 1992).
- 45 ROCCA, A.C.C. et al. Resíduos sólidos industriais: trabalho elaborado pelo corpo técnico da CETESB. 2 ed. rev. ampl. São Paulo: CETESB, 1993. 233 p.
- 46 ROHDE, G.M. Método de seleção de áreas para aterros sanitários. Porto Alegre: CIENTEC, 1989. 22 p. (CIENTEC. Boletim Técnico, 13).

- 47 SECRETARIADO MEIO AMBIENTE. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Manual de orientação: critérios de exigência de EIA/RIMA e roteiros para sua elaboração em relação a usinas de reciclagem e/ou compostagem, aterros para resíduos domiciliares e industriais e incineradores. São Paulo, 1991. (Serie Manuais).
- 48 SECRETARIADO MEIO AMBIENTE. Lixo: soluções ao alcance do município. São Paulo, 1989. 35 p. (Serie Manuais).
- 49 TAKAYANAGI, A.M.M. Trabalhos de saúde e meio ambiente; ação educativa do enfermeiro na conscientização para gerenciamento de resíduos sólidos. Ribeirão Preto, 1991. Tese (Ph.D.) USP. Escola de Enfermagem. São Paulo, s.f.
- 50 TRINIDADE, O.S., FIGUEIREDO, M.A.R. Aterro sanitário: aspectos estruturais e ambientais. Porto Alegre: Pallotti, 1982, 95 p.
- 51 WATANABE, M. Surge engenharia para planejar disposição de lixo das cidades. IPT Pesquisas e Serviços, São Paulo, v.4, n.31, p.4, nov.1992.
- 52 FUNDACION CIEPE. Manejo y Tratamiento de los Desechos Sólidos. Caracas, 1.994.
- 53 LEMBO, M. TERESA. Manejo de los Desechos Sólidos - Base para una Estrategia a Futuro. Caracas, 1.994.
- 54 REPUBLICA DE VENEZUELA (1.992). Decreto No. 2.211 y 2.216. Normas para el Control de la Generación y Manejo de Desechos Peligrosos y No Peligrosos. Gaceta Oficial No. 4.418 Extraordinario, 23 de abril de 1.992.
- 55 TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S.A. Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A. 1996.
- 56 ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN URUGUAY, Serie Análisis Sectoriales N° 7, Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud - Dirección Nacional de Medio Ambiente - Agencia de la República Federal Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ) - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Marzo 1996.

