

# Gestión de residuos urbanos

**Alejandro A. Suarez; Pamela Estrella Ramos; Marcos Sagardia**

Pringles 3647, San Martín, CP 1650

Universidad de Palermo

[alejandrosuarez82@hotmail.com](mailto:alejandrosuarez82@hotmail.com); [estrellapame@hotmail.com](mailto:estrellapame@hotmail.com);

## Abstract

This work incorporates subjects to help the application of an integral management of remainders. Improving the information on the final disposition of urban solid remainders (RSU), trying the improvement of conditions of atmosphere and health.

The context on which the improvement is based must to a carried out study in an educative frame of investigation, made in the University of Palermo. Investigation that I emphasize the ignorance generalized on a sanitary filling (RS) like final option of the treatment of the RSU. Knowing that in most of nations of the Region already the implantation of RS like the best solution for the final disposition of remainders is being demanded, to include/understand the subject he is fundamental for the Argentina population.

Of there the necessity of a guide who includes the stages involved in the march of RS, boarded from the technical perspective of students of industrial engineering next to graduate, describing to the different norms and engineering specifications that they must have to work indeed. Insisting on the technical aspects, approaching subjects like the location, design and construction, infrastructure, management of liquids and gases, the functionality, the controls and monitoreo that must have RS.

RS is a long term project since once closed maintenance by 20 years later will be due to make. Anyway it turns out interesting to remarcar that in the scope of Argentina the implied costs are much more beneficial that other options. Or by decentralized region, manual labor, investment, etc.

## Resumen

Este trabajo incorpora temas para ayudar a la aplicación de una gestión integral de residuos. Mejorando la información sobre la disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU) y procurando la mejora de condiciones de ambiente y salud.

El contexto en el que se basa la mejora se debe a un estudio llevado a cabo en un marco educativo de investigación, realizada en la Universidad de Palermo. Investigación que destacó el desconocimiento generalizado sobre un relleno sanitario (RS) como opción final del tratamiento de los RSU. Sabiendo que en la mayor parte de naciones de la Región ya se está exigiendo la implantación de RS como la mejor solución para la disposición final de residuos, comprender el tema es primordial para la población Argentina.

De allí la necesidad de una guía que abarque las etapas involucradas en la marcha de un RS, abordadas desde la perspectiva técnica de estudiantes de ingeniería industrial próximos a graduarse, describiendo las diferentes normativas y especificaciones técnicas que deben poseer para funcionar efectivamente. Haciendo hincapié en los aspectos técnicos, a la vez que se abordan temas como la localización, diseño, construcción, infraestructura, gestión de líquidos y gases, su funcionalidad, los controles y monitoreos necesarios que deberá poseer un RS.

Un RS es un proyecto a largo plazo ya que una vez cerrado el ciclo se deberá continuar su mantenimiento por los siguientes 20 años. De todos modos resulta interesante remarcar que en el ámbito de Argentina los costos implicados resultan mucho más beneficiosos que otras opciones. Ya sea por mano de obra, regiones descentralizadas o inversiones, los RS es una de las mejores opciones.

## 1 Introducción

Argentina enfrenta serias dificultades en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GI-RSU). Aproximadamente 60% de los desechos que se generan en la Argentina terminan en basurales carentes de condiciones sanitarias adecuadas. Como consecuencia de la crisis, son muchas las familias que hoy viven de la recolección informal de los residuos en las calles y en los basurales de las áreas urbanas de todo el país. Todos estos problemas relacionados a la GI-RSU en conjunto tienen un elevado costo para la sociedad Argentina en términos de impactos sobre la salud y sobre la degradación ambiental.

En el Área Metropolitana de Bs As, según CEAMSE, se producen unas 15 mil toneladas diarias de desperdicios. En la región, la disposición final de los residuos tendiente a ser generalmente utilizada es el relleno sanitario.

En este trabajo de investigación se abordaran distintos aspectos técnicos con respecto a la localización, funcionamiento y control de un relleno sanitario.

Hay que resaltar que en la mayor parte de naciones de la Región ya se está exigiendo la implantación de rellenos sanitarios como la mejor solución para la disposición final de residuos.

Al lado de estos avances, hay que mencionar que el problema de la disposición final de residuos adopta características particulares en localidades pequeñas y en zonas rurales, debido a varios factores: la falta de recursos, por el subsidio casi generalizado del servicio de limpieza; la ausencia de información sobre las consecuencias negativas de los basureros al aire libre; el desconocimiento de soluciones conjuntas, que reducen los costos de implementación y operación de los rellenos manuales gracias a la aplicación de economías de escala; la falta de conocimiento de la tecnología apropiada para disponer los residuos sin que ello signifique incurrir en costos mayores de inversión y operación; en general, a la ausencia de conocimiento acerca de cómo enfrentar el problema de la disposición final inadecuada de residuos.

De allí la necesidad de una guía que abarque las etapas involucradas en la marcha de un relleno sanitario manual.

Este trabajo incorpora temas que podrán ser de ayuda para su aplicación en la Región al desarrollar una gestión integral de residuos.

El documento resultará de gran utilidad para mejorar la información sobre los RSU y procurar la mejora de las condiciones de ambiente y de salud de un amplio sector de poblaciones de Argentina.

## 2 Estado del Arte

### 2.0. Objetivo

Los objetivos principales fueron descubrir que existe un desconocimiento generalizado por parte de la población en general sobre el tema del relleno sanitario como opción final del tratamiento de los residuos urbanos, nos llevó a algunos de los alumnos integrantes del equipo de investigación a realizar un informe sobre el tema.

En el trabajo completo se abordan los distintos aspectos del emplazamiento, funcionamiento y control de un RS.

Este estudio se lleva a cabo en el marco de una experiencia educativa de investigación, realizada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Palermo. El proyecto de investigación, denominado “Gestión de Residuos Urbanos” se inició en el mes de Agosto de 2008, con una duración estimada de dos años y con una diversidad de objetivos. El objetivo principal del proyecto es postular, luego de realizada la investigación, un sistema integral de gestión de residuos urbanos, formulando estrategias de Ingeniería Sanitaria que conduzcan a la meta final de vertido cero. También es un objetivo primordial del proyecto el constituir una experiencia educativa para los alumnos de Ingeniería Industrial. Un grupo de alumnos participan del proyecto en calidad de investigadores, dirigidos por un docente. Para estos alumnos, la participación activa en la experiencia de investigación, representa créditos en su carrera de grado. De este modo, por cada cuatrimestre de investigación activa, los alumnos reciben un crédito en forma de aprobación de una materia de cursada electiva. Es interesante resaltar el profundo interés que la actividad ha despertado en nuestra comunidad educativa, tanto entre los alumnos participantes como en aquellos que se encuentran a la espera de una vacante para poder integrar el grupo de investigación.

### 2.1. Definiciones generales

#### 2.1.1 ¿Qué es un relleno sanitario?

El Relleno Sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

#### 2.1.2 ¿Qué es un basurero o botadero de basura a cielo abierto?

Se le llama basurero al sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación ni tratamiento alguno. Este lugar suele funcionar sin criterios técnicos en una zona de recarga situada junto a un cuerpo de agua, un drenaje

natural, etc. Allí no existe ningún tipo de control sanitario ni se impide la contaminación del ambiente; el aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases y líquidos lixiviados, quemados y humos, polvo y olores nauseabundos.

En ellos se observa la presencia de perros, vacas, cerdos y otros animales que representan un peligro para la salud y la seguridad de los pobladores de la zona, especialmente para las familias que sobreviven en condiciones infrahumanas sobre los montones de basura o en sus alrededores.

La segregación de subproductos de la basura promueve la proliferación de negocios relacionados con la reventa de materiales y el comercio ilegal. Ello ocasiona la depreciación de las áreas y construcciones colindantes; asimismo, genera suciedad, incremento de contaminantes atmosféricos y falta de seguridad por el tipo de personas que concurren a estos sitios.

En la actualidad, el hecho de que los municipios abandonen sus basuras en basurero a cielo abierto es considerado una práctica irresponsable para con las generaciones presentes y futuras, así como opuesta al desarrollo sostenible.

## 2.2. Reacciones que se generan en un relleno sanitario

### 2.2.1 Cambios físicos, químicos y biológicos

Los RSM depositados en un relleno sanitario presentan una serie de cambios físicos, químicos y biológicos de manera simultánea e interrelacionada.

*Cambios físicos.* Están asociados con la compactación de los RSM, la difusión de gases dentro y fuera del relleno sanitario, el ingreso de agua y el movimiento de líquidos en el interior y hacia el subsuelo, y con los asentamientos causados por la consolidación y descomposición de la materia orgánica depositada.

El movimiento de gases es de particular importancia para el control operacional y el mantenimiento del sistema

*Reacciones químicas.* Las reacciones químicas que ocurren dentro del relleno sanitario e incluso en los botaderos de basura abarcan la disolución y suspensión de materiales y productos de conversión biológica en los líquidos que se infiltran a través de la masa de RSM, la evaporación de compuestos químicos y agua, la adsorción de compuestos orgánicos volátiles, la deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos y las reacciones de óxido-reducción que afectan la disolución de metales y sales metálicas. (La importancia de la descomposición de los productos orgánicos reside en que estos materiales pueden ser transportados fuera del relleno sanitario o del botadero de basura con los lixiviados.)

*Reacciones biológicas.* Las más importantes reacciones biológicas que ocurren en los rellenos sanitarios son realizadas por los microorganismos aerobios y anaerobios, y están asociadas con la fracción orgánica contenida en los RSM.

### 2.2.2 Generación de líquidos y gases

Casi todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero es la fracción orgánica la que presenta los mayores cambios. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos.

*Líquido lixiviado o percolado.* La descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado.

Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los RSM, de ahí que sea importante interceptarlas y desviarlas para evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación en las corrientes y nacimientos de agua y pozos vecinos.

*Gases.* Un relleno sanitario se comporta como un digestor anaerobio. Debido a la descomposición o putrefacción natural de los RSM, no solo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia.

La *aerobia* es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados es consumido rápidamente.

La *anaerobia*, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), amoníaco (NH<sub>3</sub>) y mercaptanos.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro e incoloro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno y aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir.

Cuando el gas metano se acumula en el interior del relleno y migra a las áreas vecinas, puede generar riesgos de explosión. Por lo tanto, se recomienda una adecuada ventilación de este gas, aunque en los pequeños rellenos este no es un problema muy significativo.

## 2.3 Ventajas y desventajas

### 2.3.1 Ventajas de un relleno sanitario

El relleno sanitario, es sin lugar a dudas la alternativa más conveniente. Sin embargo, es esencial asignar recursos financieros y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.

La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implantar cualquiera de los métodos de tratamiento: incineración o compostación. Bajos costos de operación y mantenimiento.

Un relleno sanitario es un Método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de desechos sólidos, obviando los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición en la compostación. Generar empleo de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo. Recuperar gas metano en grandes rellenos sanitarios que reciben más de 200 ton/día, lo que constituye una fuente alternativa de energía. Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad. Recuperar terrenos que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de un parque, área recreativa, campo deportivo, etc.

Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación. Se considera flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas, y también debido a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.

### 2.3.2 Desventajas de un relleno sanitario

La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada en general por factores tales como:

La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario. Asociarse el término "relleno sanitario" al de un "botadero de basuras a cielo abierto". La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales.

El rápido proceso de urbanización que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte.

La supervisión constante de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones. En las pequeñas poblaciones, la supervisión de rutina diaria debe estar en manos del encargado del servicio de aseo, debiendo éste contar a su vez con la asesoría de un profesional responsable, dotado de experiencia y conocimientos técnicos adecuados, quien inspecciona el avance de la obra cada cierto tiempo, a fin de evitar fallas futuras.

Existe un alto riesgo de transformarlo en un basurero a cielo abierto por la carencia de voluntad política de las administraciones municipales, ya que se muestran renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento. Se puede presentar una eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, si no se toman las debidas precauciones. Los asentamientos más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado el relleno, por lo tanto se dificulta el uso del terreno. El tiempo de asentamiento dependerá de la profundidad del relleno, tipo de desechos sólidos, grado de compactación y de la precipitación pluvial de la zona.

## 2.4 Aspectos Legales

En la Provincia de Buenos Aires la Resolución 1143 del año 2002, es la que normatiza los recaudos mínimos a cumplimentar en las plantas de disposición final de los RSU.

A continuación se detallaran los aspectos desarrollados en la misma:

\*ver Ley 9111/78

## 2.5 Aspectos técnicos

### 2.5.1 Localización

#### 2.5.1.1 Aspectos generales

El relleno sanitario deberá emplazarse en áreas cuya zonificación catastral así lo permita, considerando la planificación territorial, el uso de suelo y la expansión urbana.

No se podrá establecer un CDF dentro de una reserva, parque nacional ó área protegida comprendidas en la legislación nacional, provincial o municipal, o en sitios que contengan elementos significativos del patrimonio natural y cultural.

Se deberán respetar los derechos de trazas de autopistas, rutas o caminos, trazas de ferrocarril, de obras tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, tendido de redes de transmisión eléctrica, acueductos, redes cloacales.

Deberá emplazarse en sitios que no sean inundables. De no ser posible, deberán diseñarse de modo tal de evitar su inundación.

Deberá emplazarse preferentemente en un área cuya base de asiento esté compuesta por una barrera natural formada por una capa mineral con una permeabilidad vertical (kf) menor o igual a  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg y de un espesor adecuado para la cantidad de residuos a disponer (conforme a estándares técnicos de diseño y construcción). Cuando la barrera natural no cumpla con las condiciones indicadas, deberá completarse con aquellos elementos que proporcionen una protección equivalente.

La base del relleno en ningún caso debe invadir el nivel del acuífero libre, siendo recomendable que esté ubicada como mínimo a 1 (un) metro sobre el nivel máximo del mismo.

Las pendientes del área en que se plantea la instalación del RS deberán ser compatibles con dicho uso, considerando factores topográficos, hidráulicos y sísmicos. Se efectuarán los estudios correspondientes, y eventuales modelizaciones que determinen la factibilidad del emplazamiento.

Se deberá garantizar que el substrato geológico es suficientemente estable para evitar asentamientos que puedan causar daños a la barrera.

Además de la cumplimentación de los requisitos que pudiese solicitar la autoridad de aplicación local, la habilitación de un CDF en el sitio seleccionado requerirá, en todos los casos, de la aprobación de un Estudio de Impacto Ambiental que contemple la ejecución de un plan de monitoreo de las principales variables ambientales durante las fases de operación, clausura y post-clausura.

#### 2.5.1.2 Distancias mínimas de ubicación

Para la construcción de un CDF se deberán contemplar las siguientes distancias mínimas:

- 1000 m del límite del radio urbano proyectado para la vida útil del proyecto, incluyendo el período de post-clausura.
- 500 de cualquier asentamiento humano.
- 500 m del pozo de agua más cercano, ya sea para extracción de agua potable, uso doméstico, industrial, riego o ganadero.
- 200 m de cualquier cuerpo de agua superficial, ya sea permanente o transitorio.
- 13 km de un aeropuerto<sup>3</sup>. Si no fuera posible cumplirlo, el propietario / contratista / operador, según aplique, deberá obtener la autorización correspondiente de la autoridad competente en la materia.

#### 2.5.1.3 Aspectos hidrogeológicos y geotécnicos

*Geología:* Se deberán determinar unidades litológicas, geometría y distribución (geología, hidrología). Para ello se realizarán como mínimo tres sondeos de estudios de suelo, empleando la técnica de mecánica de suelos, de 7 m de profundidad, o bien 4 m por debajo de la máxima profundidad de excavación de fondo de celda prevista en caso que el terreno se encuentre ya excavado, o hasta el techo de formación rocosa, si ésta se presenta a menor profundidad. Se debe adicionar un sondeo cada 10 hectáreas o fracción del terreno afectado a el/los módulo/s del RS.

*Hidrogeología:* Se deberán realizar las determinaciones necesarias para la correcta caracterización de las aguas subterráneas: tipos de acuífero (libre, semiconfinado y confinado), extensión, geometría y relación entre las unidades hidrogeológicas, sentido de escurrimiento, cotas IGM de los niveles estáticos respectivos, fluctuaciones estacionales, calidad fisico-química y biológica del agua. Para ello se realizarán como mínimo 5 (cinco) sondeos a los distintos acuíferos existentes, de los cuales como mínimo un sondeo debe penetrar aprox. 5 (cinco) m dentro del acuífero que se utilice en la región como fuente de provisión de agua potable.

*Hidrología:* Se deberá caracterizar el sistema de drenaje del área. Para ello deberán delimitarse las cuenca/s, realizar un estudio del régimen de los cursos de agua existentes: caudales, crecientes, estimaciones de descargas en el área con sus variaciones estacionales y definición de las cotas de inundación por crecidas. Asimismo, se deberá determinar la calidad fisico-química y biológica de las aguas superficiales.

#### 2.5.1.4 Aspectos climáticos

Se deberá realizar una recopilación de la información climática (precipitación, evaporación, temperatura y dirección de vientos) con su recurrencia a fin de determinar cómo estos factores podrían impactar sobre la actividad. Como ejemplo puede considerarse que las precipitaciones generan un aumento de lixiviado y la dirección del viento determinará hacia donde eventualmente irían los olores y residuos desplazados por voladura.

#### 2.5.1.5 Aspectos topográficos

Se deberá realizar un relevamiento planialtimétrico que abarque la totalidad del sitio elegido, en cuadrícula acorde con la dimensión del predio y el relieve del mismo, a fin de determinar las curvas de nivel (equidistancia tal que refleje adecuadamente el relieve y las irregularidades presentes; como mínimo se deberá tomar un 20% del máximo desnivel existente en el predio) y vincularlas a las coordenadas del IGM. Estos datos serán volcados en un plano en escala apropiada, así como también la ubicación física de predio.

### 2.5.2 Diseño y construcción

#### 2.5.2.1 Métodos de construcción de un relleno sanitario

El método constructivo y la subsecuente operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno, aunque dependen también del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático. Existen dos maneras básicas de construir un relleno sanitario.

##### 2.5.2.1.1 Método de trinchera o zanja

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Hay experiencias de excavación de trincheras de hasta de 7 metros de profundidad. Los RSM se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra excavada.

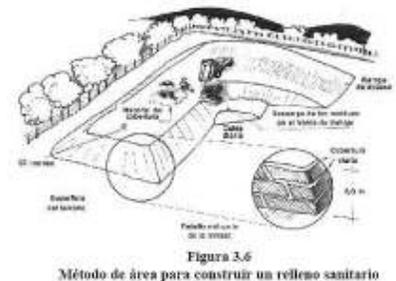
Se debe tener especial cuidado en periodos de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. De ahí que se deba construir canales perimétricos para captarlas y desviarlas e incluso proveer a las zanjas de drenajes internos. En casos extremos, se puede construir un techo sobre ellas o bien bombear el agua acumulada. Sus taludes o paredes deben estar cortados de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación (figura 3.5).



#### 2.5.2.1.2 Método de área

En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, esta puede depositarse directamente sobre el suelo original, el que debe elevarse algunos metros, previa impermeabilización del terreno. En estos casos, el material de cobertura deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. Las fosas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno (figura 3.6).



Para rellenar depresiones naturales o canchales abandonados de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno o, en su defecto, de un lugar cercano para evitar los costos de acarreo. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.

El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno; la basura se descarga en la base del talud, se extiende y apisona contra él y se recubre diariamente con una capa de tierra. Se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 18,4 a 26,5 grados en el talud; es decir, la relación vertical/horizontal de 1:3 a 1:2, respectivamente, y de 1 a 2 grados en la superficie, o sea, de 2 a 3,5%.

#### 2.5.2.1.3 Combinación de ambos métodos

Dado que estos dos métodos de construcción de rellenos sanitarios tienen técnicas similares de operación, es posible combinar ambos para aprovechar mejor el terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados.

### 2.5.3 Infraestructura y acondicionamiento

Los criterios de diseño de infraestructura y metodología operativa del CDF deberán basarse en el análisis de la información recopilada / desarrollada para la determinación de la aptitud de la localización considerada, según lo detallado en el punto precedente, y en las previsiones del proyecto de gestión integral de RSU y sus objetivos específicos. Asimismo, deberán seguirse las pautas que en forma enunciativa (no taxativa) se establecen a continuación:

#### 2.5.3.1 Infraestructura

##### 2.5.3.1.1 Diseño de Módulo de RS

La conformación del módulo deberá presentar pendientes definidas conforme a los siguientes criterios: estabilidad de taludes; máximo escurrimiento; mínima infiltración; mínima erosión; integración con el paisaje circundante y optimización de las dimensiones del módulo para una maximización de su vida útil y un mejor aprovechamiento del predio. Orientativamente se establece como pendientes mínima y máxima 5 y 10 % respectivamente.

El diseño del módulo procurará lograr un balance de suelos equilibrado o con exceso de suelos disponible, entre las excavaciones de fondo y asiento de terraplenes, y las necesidades totales del módulo.

La excavación del fondo del módulo estará limitada por las características de los suelos existentes en el área y por la presencia de la napa freática, la que deberá quedar a una distancia mínima de 1 (un) metro por debajo del fondo del módulo.

El módulo del RS debe presentar un espesor promedio de RSU que asegure una buena producción de gases, y el máximo aprovechamiento del terreno disponible.

El diseño podrá contemplar el relleno del módulo en etapas, es decir en capas o escalones (espesores de residuos). Se deberán contemplar estudios de estabilidad, obras de desagüe que aseguren la no erosión de la cobertura, secuencia constructiva con detalle de las coberturas parciales y finales a realizar, y sistemas de captación de líquidos lixiviados.

#### 2.5.3.2 Accesos y circulación interna

El acceso al relleno y la red de caminos internos deberá garantizar el tránsito permanente de vehículos y equipos de obra al centro de disposición final y a la zona de descarga, independientemente de las condiciones meteorológicas.

El ancho de estos caminos será equivalente al de los caminos internos y se respetará la siguiente secuencia operativa:

Se distribuirá una primera capa de suelo tosca sobre la cobertura primaria de los residuos, compactándose con el equipo adecuado, cuidando que la intensidad de las cargas no dañe la superficie de la cobertura primaria que le sirve de sustento. El espesor compactado deberá ser como mínimo de 0.3 m.

Terminadas las tareas de compactación de esta capa se colocará un geotextil no tejido de densidad igual o mayor de 300 g/m<sup>2</sup>.

Sobre el geotextil se distribuirá un manto de suelo tosca convenientemente compactada de 0,3 m de espesor.

Concluido el aporte de tosca, se deberá someter el camino a una prueba de carga con el tránsito de camiones cargados a su máxima capacidad, esta prueba se repetirá por varios días y se irán reparando las fallas que pudieran presentarse. Una vez comprobada que la respuesta a las cargas de tránsito es adecuada se procederá a la ejecución de la carpeta de rodamiento, que como mínimo deberá ser construida con cascotes de demolición (libres de hierros u otros objetos punzantes, para evitar pinchaduras de neumáticos en los vehículos que circularán por los mismos) o piedra partida.

#### 2.5.3.3 Aéreas de descarga

Estas áreas serán necesarias en el caso de contarse dentro del RS con instalaciones de separación de residuos, contemplando la capacidad soporte, dimensiones, transitabilidad y drenajes para asegurar la circulación de los vehículos, equipos y maquinarias, teniendo en cuenta su uso bajo cualquier condición climática y la minimización de la superficie de residuos expuestos. En el caso de los RS que no cuenten con plantas de separación en el mismo sitio, el área de descarga será dentro de la misma celda a fin de facilitar su inmediato topado y compactación y evitar la utilización innecesaria de vehículos para el movimiento de los residuos desde esta área al propio sector de descarga dentro de la celda.

#### 2.5.3.4 Zonas de amortiguación

Se debe establecer una superficie perimetral al sitio, contigua al cercado perimetral de ancho suficiente para la conformación de una cortina forestal constituida por 3 hileras de especies dispuestas en tresbolillo, de buen desarrollo en la zona y preferentemente autóctonas, y una zona libre sobre el frente del relleno, donde se instalará la infraestructura edilicia correspondiente (casilla de vigilancia, sector de guarda de equipos, baños y vestuarios, etc.).

Para el caso de Rellenos Sanitarios de más de 2.000 toneladas por mes, ésta zona deberá tener por lo menos 80 m de ancho, medidos en forma normal al cerco perimetral, sobre la cual se realizará la cortina forestal antes mencionada, parquización, infraestructura edilicia administrativa y obradores.

#### 2.5.3.5 Terraplenes perimetrales

Los terraplenes perimetrales del módulo de RS deberán cumplir las siguientes condiciones:

Parámetros de diseño de caminos perimetrales conforme normativa de vialidad de la provincia correspondiente, tal que permita una circulación vehicular segura y permanente.

Deberán tener una altura suficiente para asegurar su estabilidad, con una cota de coronamiento 0,6 m por encima de la cota de inundación de recurrencia 50 años.

Taludes con pendientes 2 en horizontal y 1 en vertical.

Los taludes exteriores de los terraplenes deberán ser rápidamente vegetados para evitar su erosión.

#### 2.5.3.6 Acondicionamiento de base y taludes laterales del modulo

La excavación y/o nivelación del fondo del módulo de RS deberá prever la separación y acopio del suelo vegetal a ser removido (al igual que el correspondiente a la caja de asiento de los terraplenes perimetrales a construir), para su posterior uso en actividades de cierre superior de celdas del módulo y revestimiento de talud externo de los terraplenes perimetrales.

El fondo del módulo a conformarse deberá tener una pendiente tal que permita el drenaje de lixiviados hasta un punto para su extracción. Se considera que una pendiente del 2 % es adecuada para dicho drenaje.

Para evitar la potencial migración vertical u horizontal de los líquidos lixiviados del interior del módulo, para el fondo y taludes internos se prevé como mínimo la conformación de una barrera geológica equivalente a 1,00 m de

suelo con una permeabilidad vertical (Kf) igual o menor a 10<sup>-7</sup> cm/seg (natural o conformada artificialmente) para RS de menos de 2.000 Tn/mes, o bien, para tonelajes mayores, una barrera geológica natural o artificial equivalente a 0,6 m de suelo de características idénticas a las mencionadas anteriormente, estrato sobre el cual deberá instalarse una geomembrana de HDPE de 1,5 mm de espesor como mínimo, debidamente soldada, anclada y probada su estanqueidad. Sobre dicha membrana se dispondrá, para su protección, una capa de suelo seleccionado compactado de 30 cm de espesor, libre de piedras, escombros, ramas y cualquier otro elemento punzo-cortante.

El sistema de captación de líquido lixiviado podrá estar constituido como mínimo por drenes lineales de material pétreo (piedra partida o grava) pudiendo complementarse con la colocación en su interior de caños perforados o ranurados para mejorar el escurrimiento. Estos drenes conducirán el líquido hasta los puntos más bajos (sumideros) desde los cuales se extraerá a través de caños que aflorarán sobre la superficie del relleno terminado. Estos caños tendrán una sección tal que permitan la introducción de una bomba para la extracción del líquido.

#### 2.5.3.7 Drenaje y control de inundaciones

Se deberán prever drenajes y sistemas de control de inundaciones, cuyo objetivo será proporcionar un rápido escurrimiento de las aguas mediante cunetas perimetrales y alcantarillas que servirán a las zonas ya terminadas de relleno y a las que se encuentran en operación.

Se deberán construir alcantarillas perimetrales al relleno, conectadas al sistema de escurrimiento o terreno natural. La separación, diámetros, pendiente, tapada y material deberán ser definidos en un Proyecto Hidráulico, que deberá ser aprobado por la autoridad competente.

#### 2.5.3.8 Gestión de líquidos lixiviados

El volumen de lixiviados que se genera en un Relleno Sanitario depende de las condiciones climáticas del sitio, humedad de los residuos y del propio diseño y operatoria del Relleno Sanitario. En este sentido, es necesario el uso de bermas para separar las áreas con residuos de aquellas áreas vecinas que no contengan residuos y que puedan llegar a drenar líquidos. Estas bermas operativas serán pequeños terraplenes de una altura mínima de 1,00 m.

Se debe considerar asimismo que mantener frentes de residuos de área acotada, con la cobertura e impermeabilización idónea de celdas, reduce el ingreso o el contacto del agua con los residuos, y con ello la generación de lixiviado.

#### 2.5.3.9 Gestión de biogás

Se contemplará, como mínimo, el diseño de un sistema de extracción pasivo de gases generados en el CDF resultantes de la digestión de los residuos. Durante todo el desarrollo de la obra, el propietario / contratista / operador, según aplique, deberá cumplir con las reglamentaciones vigentes con respecto a las emisiones gaseosas del CDF y estará a su cargo efectuar las habilitaciones que correspondan y las determinaciones que establezca la normativa aplicable, las que deberán contar con la expresa autorización de la autoridad competente ya sea a nivel nacional, provincial ó municipal.

#### 2.5.3.10 Redes de monitoreo de aguas

*Aguas Subterráneas:* Una vez establecidas las características de las aguas subterráneas según lo expresado, especialmente en lo referente a la cantidad y tipo de acuíferos y sus respectivas direcciones y sentido de escurrimiento, se deberá proceder a la construcción de la red de monitoreo de las aguas subterráneas. La misma estará compuesta por una serie de pozos de monitoreo a los acuíferos del lugar, situados a la máxima distancia posible del eje del terraplén perimetral, sobre el límite del predio, aguas arriba y aguas abajo de la zona en que estará ubicado el relleno Sanitario.

*Aguas Superficiales:* Previo al establecimiento de las estaciones de muestreo se deberá delimitar la subcuenca en la que se construirá el relleno sanitario para determinar dónde interceptan los límites de la misma al curso superficial. Una estación deberá situarse en la intersección del límite aguas arriba de la subcuenca con el curso superficial y la otra estación deberá situarse en la intersección del límite aguas abajo de la subcuenca con el curso superficial.

### 2.5.4 Funcionamiento y operación

#### 2.5.4.1 Procedimientos de operación

Dentro de las tareas de operación, deberá preverse con especial atención a aquellas relacionadas tanto con las de captación y tratamiento de líquidos lixiviado así como con las de captación y tratamiento de gas de relleno.

##### Distribución, Trituración y Compactación RSU

Descargados los residuos, los equipos afectados a la distribución y compactación de los mismos, procederán a toparlos hacia el interior de la celda y dentro de ésta, y en acción combinada, realizarán su distribución en capas de espesores no mayores a 0,30 m, alejando los residuos del área de descarga. La pendiente del frente de avance, hacia el interior de la celda con residuos será la que permita la correcta labor de los equipos sobre cada manto de residuos. Simultáneamente se efectuará la trituración in situ y compactación de los residuos mediante pasadas sucesivas del equipo de manera tal de alcanzar una densidad de compactación establecida como parámetro operativo y que los nuevos residuos cubran a los más viejos antes que comience el proceso de descomposición aeróbica resultando por ello necesario tratar adecuada y uniformemente toda la zona en operación.

A continuación se detallan las densidades mínimas a alcanzar según el tonelaje a disponer mensualmente:

Residuos dispuestos por mes (t/mes)	Densidad (t/m <sup>3</sup> )
Hasta 7.500	0,65
Desde 7.500 a 22.500	0,75
Más de 22.500	0,90

Tabla 1. Distribución

#### *Tapada Diaria*

Diariamente se procederá a efectuar la cobertura de todos los residuos, incluyendo los taludes con una capa de suelo de un espesor de 0,20 metros o implementar alternativas que contemplen la utilización de membranas plásticas degradables no removibles. En ningún caso, la capa de residuos podrá superar 0.8 m de alto sin ser recubierto con suelo.

#### *Aislación de la Cobertura Superior – Cierre Somital*

Cuando con los residuos se alcancen las cotas finales del proyecto en cada celda, es necesario cubrirlos inmediatamente con un manto de suelo compactado, a efectos de impedir el ingreso de agua de lluvia y la consiguiente generación de líquido lixiviado, evitar la emanación de olores, proliferación de vectores.

La cobertura superior deberá ejecutarse en tres etapas, a saber:

- La primera implica la colocación de una capa de un espesor mínimo de 0,20 m de suelo del lugar compactado, inmediatamente después de alcanzar con residuos la cota de Proyecto en la celda que se encontraba en operación.
- La segunda consiste en la distribución y compactación de una capa de suelo de baja permeabilidad de un espesor mínimo de 0,40 m. El suelo utilizado para la construcción de estas capas será adecuadamente distribuido, compactado y perfilado.  
El espesor de las dos capas conformadas en esta etapa será como mínimo de 1,00 m, en la zona aledaña al camino perimetral y deberá ir disminuyendo en forma uniforme hasta alcanzar un espesor de 0,60 m mínimos a una distancia igual a un tercio de la longitud entre el camino perimetral y la cúspide del relleno, permaneciendo desde ese punto constante hasta alcanzar la máxima altura del módulo.
- La tercera implica la distribución de un manto de suelo vegetal de 0,20 m de espesor mínimo, convenientemente distribuido, compactado y perfilado. La superficie resultante, deberá ser uniforme y libre de zonas que permitan o faciliten la acumulación de agua sobre el terreno. En todo momento deberá existir un acopio de suelo de las distintas características requeridas, ubicado sobre las zonas del módulo ya cubiertas ó en las proximidades de la celda en operación.

A efectos de evitar pérdidas de líquido lixiviado sobre la parte inferior de los módulos, se preverá que los taludes de residuos se comiencen a construir a una distancia de 1,00 m medidos desde el vértice superior (hombro) interno del terraplén perimetral y sobre el talud de dicho terraplén.

#### 2.5.4.2 Mantenimiento

Deberá preverse el mantenimiento permanente de caminos de circulación, playas de descarga, sistemas de captación y tratamiento de líquidos lixiviados, sistemas de captación y tratamiento de gases, drenajes pluviales, cobertura, redes de monitoreo y resto de instalaciones e infraestructura.

#### 2.5.5 Control y Monitoreo

##### *Calidad del Aire*

Los parámetros relevantes en relación con la calidad del aire tienen relación con la emisión de material particulado, gas, olores y ruidos. La operación del CDF producirá una generación de material particulado a la atmósfera originado por el movimiento de los equipos y el tránsito vehicular dentro del mismo. Para mitigar este efecto, deberá ser reducida y controlada la velocidad de los vehículos sobre caminos de acceso ó áreas que generen polvo.

Durante todo el desarrollo operativo del CDF, la emisión de biogás deberá cumplir con las reglamentaciones aplicables referidas a emisiones gaseosas.

Se realizará un estricto control del nivel de olores en distintos puntos aledaños al RS, teniendo en cuenta la percepción de la población. Dicho control considerará parámetros meteorológicos. Se deberán prever las medidas para su minimización.

##### *Calidad del Agua*

Resulta necesario disponer de un monitoreo periódico de la calidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, a través de toma de muestras para determinar el posible aporte de contaminación. Semanal o mensualmente (dependiendo de los resultados obtenidos y tendencias), se considera necesaria la determinación de parámetros tales como (listado no taxativo):

Conductividad específica, pH, otros a determinar por la autoridad de aplicación correspondiente.

Complementariamente, se recomienda la toma de muestras (semestral o más frecuente en caso de considerarse necesario y/o en caso de presumirse posibles aportes contaminantes por el RS a partir del muestreo frecuente citado más arriba) y posterior análisis en laboratorio de los siguientes parámetros (listado no taxativo):

Alcalinidad total, Dureza total, Sólidos disueltos totales, Cadmio, Cobre, Cromo total, Mercurio, Plomo, Oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Orgánico Hidrocarburos totales Fenoles

#### 2.5.5.1 Control de vectores

Se deberá realizar el control de roedores sinantrópicos como así también se deberá evitar la proliferación de insectos vectores dentro del predio. Para ello, se deberá implementar un programa de control, incluyendo el detalle de los productos a utilizar, los lugares y la frecuencia con que se ejecutará dicha tarea. Los productos que se empleen deberán poseer las aprobaciones correspondientes de los Organismos Contralores competentes.

#### 2.5.6 Clausura y mantenimiento post-clausura

Se establece que el plazo de la etapa de mantenimiento, cuidados y responsabilidad post-clausura será de 20 (veinte) años, contados a partir de la fecha en la cual el relleno sanitario deja de recibir residuos, recayendo directamente dicha responsabilidad sobre el propietario / contratista / operador, según aplique. Durante este período, el responsable del relleno sanitario, deberá efectuar:

- Mantenimiento del relleno sanitario y de todas las instalaciones conexas, útiles durante esta etapa.
- Forestación / parquización.
- Gestión de lixiviados.
- Gestión de Biogás
- Monitoreo ambiental.
- Vigilancia.

### 3 Conclusiones

La conclusión abordada por el alcance de este trabajo practico parte de los distintos aspectos, ya sea de emplazamiento, funcionamiento y control de un relleno sanitario.

Todos estos aspectos deben llevar una cierta linealidad con respecto a las normas y reglamentos impuestos para este tipo de construcción.

Lo que se deja claro en este trabajo de investigación son las diferentes normativas y especificaciones técnicas que deben poseer un relleno sanitario para funcionar efectivamente.

Se hace hincapié en los aspectos técnicos, abordando temas como la localización, diseño y construcción, infraestructura, y la funcionalidad.

Se concluye que un relleno sanitario está en función de la operatoria dada por el funcionamiento del mismo, ya que la efectividad está dada por las operaciones en sí, se deberán realizar de modo de alcanzar la máxima compactación de los residuos a disponer y asegurar un sistema que permita la separación de los líquidos lixiviados de los provenientes de las lluvias en las zonas preparadas y en el frente de descarga.

Operativamente, lo más importante es donde se puede emplazar un relleno sanitario, ya que si bien por una cuestión de costos es recomendable que se encuentre cerca de la zona urbana, en preferencia deberá ser un área cuya base de asiento esté compuesta por una barrera natural formada por una capa mineral con una permeabilidad vertical (kf) menor o igual a  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg y de un espesor adecuado para la cantidad de residuos a disponer (conforme a estándares técnicos de diseño y construcción).

De esta manera se deberá prestar especial atención en la de captación y tratamiento de gas de relleno.

Una de las pautas más importantes hoy en día es el mantenimiento efectuado. Ya sea por factores de costos o mala gestión, el mantenimiento en un relleno sanitario no produce los efectos que deberían. Estos efectos se ven reflejados en la mala gestión del biogás generado, la calidad del aire, etc.

También se deja claro que una vez clausurado un relleno sanitario se deberá realizar mantenimiento por 20 años posteriores.

### Agradecimientos

Se agradece a la Lic. Mónica López Sardi, por la orientación y gran motivación puesta en el grupo de trabajo.

A la Universidad de Palermo por el apoyo y capacitación necesaria para lograr este trabajo.

### Referencias

- [1] Asociación para el Control de Residuos Sólidos y Peligrosos-AMCRESPEC. "Impacto Ambiental en Rellenos Sanitarios". México, Servicio de Tecnología Ambiental, 1998.
- [2] Banco Mundial-Organización Mundial de la Salud-Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. "Decision-Maker's Guide to Solid Waste Landfills". Resumen.
- [3] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-Organización Panamericana de la Salud-Agencia Española de Cooperación Internacional. "Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales". División de Salud y Medio Ambiente. Serie Técnica 31. Lima, 1997.
- [4] CONDER, Projeto Metropolitano. "Anais do Simpósio Internacional de Destinação do Lixo". Salvador de Bahia, 28-30 de noviembre de 1994.
- [5] Jaramillo, Jorge. "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales". División de Salud y Medio Ambiente. Programa de Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud. Serie Técnica 28. Washington D. C., 1991.
- [6] Organización Panamericana de la Salud-Banco Interamericano de Desarrollo. "Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe". Washington D. C., 1997.