



# Sitios de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos

## Consideraciones sobre la implementación y estabilidad de rellenos de seguridad

Muñoz, Luis <sup>1</sup> - Torrán, Eduardo <sup>1</sup>

### Resumen

*Consecuentemente con el desarrollo tecnológico efectivizado como respuesta a la problemática ambiental actual, los rellenos de seguridad han pasado a constituir una alternativa extendida mundialmente como solución al destino final de residuos peligrosos.*

*Este trabajo aborda en forma generalizada la problemática de la implementación de estos rellenos y en forma especial un tema desatendido: La estabilidad de los mismos, especialmente los asentamientos y deformaciones esperados bajo ciertas condiciones naturales de la fundación.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Para ubicarnos en el contexto general de esta problemática debemos recordar, simplificada, la clasificación generalizada de los residuos, aunque esta difiere según el abordaje que de cada uno haga la legislación, organismo, tratado, país etc.

#### Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Para este caso la elección del sitio (ADFRSU) o Área de Deposición Final de Residuos Sólidos Urbanos, cuenta con múltiples antecedentes y bibliografía (ver ítem 4), aunque el acondicionamiento de los mismos en relación al Ambiente Natural parece no haber resultado tan sencillo como se supuso hace algunos años. Además da idea de residuos

domiciliarios, que como sabemos hoy incluyen muchos residuos peligrosos.

#### Residuos Industriales, Especiales, Tóxicos, Riesgosos, Peligrosos

Como se podrá ver rápidamente, ninguno de los términos es necesariamente equivalente, por lo que cuando alguien se debe referir a uno de ellos, es indispensable definir el alcance que adjudica al término utilizado. A este caso se refiere el presente trabajo, en lo que hace a su disposición final en rellenos de seguridad. La bibliografía citada al final trata extensamente las características conceptuales y las clasificaciones.

#### Residuos Radioactivos

(o de cualquier actividad relacionada a procesos nucleares que generen radionucleidos y en general desechos peligrosos de esta naturaleza que impliquen riesgo actual y/o de larga persistencia).

Este es evidentemente el caso más delicado, a iguales condiciones de los demás parámetros.

Entregado: 23 de Octubre de 2000 ■ Aceptado: 01 de Diciembre de 2000

<sup>1</sup>. Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Concepción del Uruguay.  
Ing. Pereyra 676- Concepción del Uruguay - Entre Ríos.  
e-mail: muniozl@frcu.utn.edu.ar - torrane@frcu.utn.edu.ar  
http://www.frcu.utn.edu.ar

Como se puede advertir rápidamente, la lista se re-dactó en un orden de peligrosidad creciente, aunque esto es relativo ya que depende de múltiples factores.

En primer lugar debe señalarse que la legislación es importante (y debe cumplirse), pero en última instancia debe primar el sentido común cuando ella entra en conflicto visible con la realidad local y deben hacerse las salvedades del caso a la misma. No son iguales las condiciones socioeconómicas, de densidad de población, de recursos, ni las características naturales de las distintas regiones. Esto último es particularmente importante en nuestro país, donde tenemos prácticamente todos los climas, condiciones geológicas, geomorfológicas en particular, hidrológicas, etc. Si tenemos en cuenta que aún en una misma provincia las condiciones combinadas pueden resultar disímiles, advertimos la complejidad del problema.

Esta reflexión nos alerta sobre el frágil carácter del ordenamiento precedente en cuanto a "peligrosidad". Es fácil advertir que un vertedero de RSU puede resultar más peligroso que un depósito de residuos industriales, según la combinación de múltiples factores y que entre estos últimos los hay no peligrosos.

## 2. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

A los fines del presente trabajo estableceremos el significado conceptual con el que nos referiremos a los residuos, para una mejor comprensión de las ideas que se expresan, teniendo en cuenta la variedad de terminología que se maneja, donde en muchos casos las traducciones no reflejan la acepción exacta que se tiene de los términos en el país.

### Residuo Peligroso

Debe interpretarse como aquel que tiene riesgo o puede dañar. Esto es suficientemente abarcativo e incluye a los que pueden causar algún tipo de daño directo o indirecto a los seres vivos.

### Residuo Especial

En su acepción de léxico estricta significa algo singular, algo particular. Como podemos notar no es la denominación que más ilustra desde su significado intrínseco. Necesita de una clara delimitación que acompañe su alcance, ya que su sola mención no orienta sobre el conjunto a que se refiere.

### Residuo Industrial

Es abarcativo de todos los "desechos" (en realidad la tendencia es a no desechar), y consecuentemente incluye los que no son peligrosos o al menos algunos que lo son en menor medida que muchos de los domiciliarios.

### Contaminante

Tomaremos el significado más simple y explícito que lo define como toda sustancia orgánica o inorgánica, elemento, compuesto o producto que puesto en contacto con el medio natural (incluido el hombre) puede afectarlo negativamente o producir efectos adversos no deseados sobre los organismos individuales y el ecosistema. Esto incluye a los contaminantes naturales, lo que implica que en realidad la calificación como tal requiere que un ser vivo entre en contacto con él.

### Riesgo

Podemos asumir que es la probabilidad que un efecto no deseado o perjudicial para los seres vivos suceda. Esto puede tener como origen una causa natural o una antrópica.

Debemos admitir aquí que nos estamos separando del medio natural por definición, en cuanto consideramos la acción del hombre como no natural, lo cual no es rigurosamente cierto.

La denominación *Residuos Peligrosos* parece ser la más explícita para referirse a los que entrañan un riesgo potencial para los seres vivos, excluyendo los que involucren residuos radioactivos (de un riesgo que excedería esta denominación). Incluyendo esta acepción los procesos industriales centralizados y los agroindustriales.

Actualmente conviven en el mercado plantas de tratamiento y disposición final de distinta jerarquía y tecnología, para la recepción y procesamiento de residuos de origen similar.

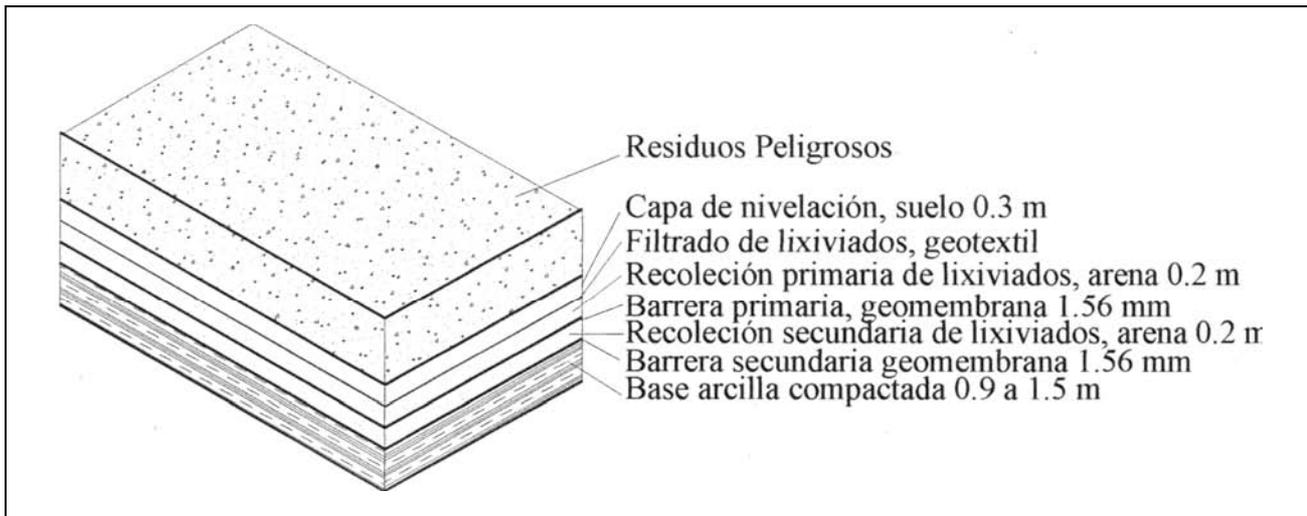
Distintas combinaciones de barreras de impermeabilización y drenaje se pueden observar en las figs. 1, 2 y 3. Es importante tener en cuenta que las características del paquete de recubrimiento o sellado deben definirse de acuerdo a las condiciones y aptitudes naturales del subsuelo.

También en la práctica resulta conveniente la construcción de una superficie adecuada para el tránsito de equipos.

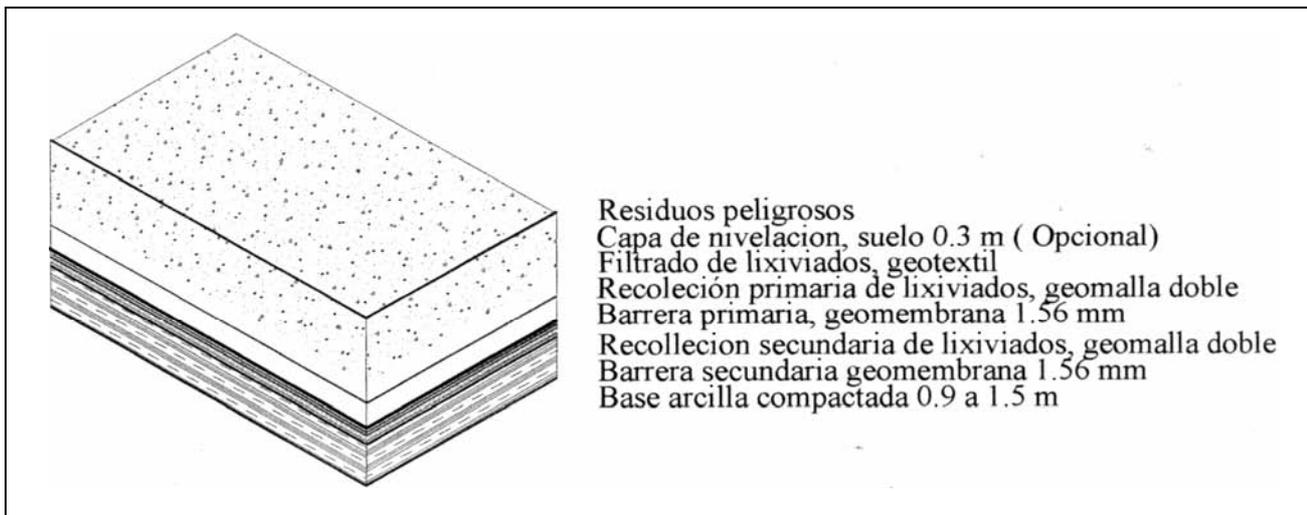
Esto ilustra sobre cierto caos en la implementación de técnicas que tienen origen en los países más desarrollados, y se introducen precipitadamente en contextos naturales y socioeconómicos que no siempre son equivalentes. Sin embargo debe reconocerse el extraordinario mérito de haber encarado de manera relativamente temprana para la mayor parte del país, la problemática ambiental tanto desde el punto de vista legal como técnico, en comparación con los países más desarrollados tecnológicamente, que prácticamente debieron abordar la prevención junto con el remediamento a gran escala.

Dentro de todas estas consideraciones un tanto cualitativas y subjetivas debe consensuarse un criterio indiscutible: *Es preferible un tratamiento y una disposición final con cierto déficit de eficiencia inicial, que prolongar las situaciones de no consideración de la disposición controlada de los residuos, o su manejo individual fuera de control.*

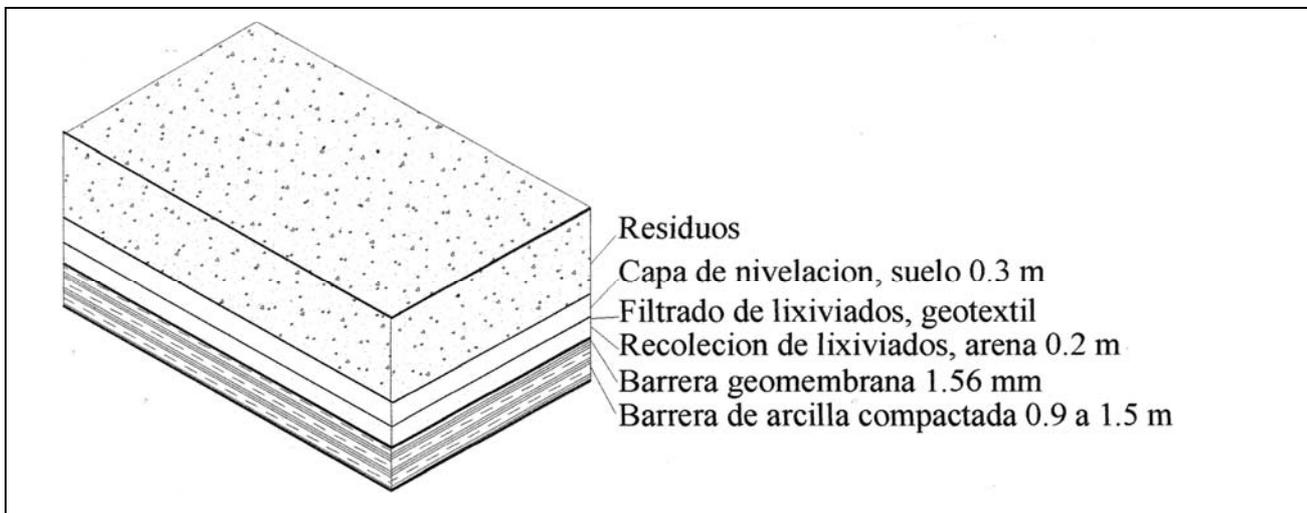
**FIGURA 1: SISTEMA DE RECUBRIMIENTO DOBLE. CON DRENAJE A TRAVÉS DE ARENA**



**FIGURA 2: SISTEMA DE RECUBRIMIENTO DOBLE. CON DRENAJE A TRAVÉS DE GRILLAS**



**FIGURA 3: SISTEMA DE RECUBRIMIENTO MIXTO. NO RECOMENDADO PARA RESIDUOS PELIGROSOS**



### 3. PLANTAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL

- 3.1. De la necesidad de su instalación.
- 3.2. De la elección del sitio.
- 3.3. De los estudios en el sitio elegido.
- 3.4. Del mejoramiento de las condiciones naturales del predio.
- 3.5. Del control y evaluación desde la prefactibilidad hasta el cierre.
- 3.6. Del tamaño del relleno.
- 3.7. De la legislación.

#### 3.1. De la necesidad de la Instalación

Dado que la bibliografía existente cubre en general este aspecto, solo mencionaremos la realidad local.

Dada la diversidad de condiciones climáticas, geológicas, socioeconómicas, de densidad poblacional, de actividad industrial, legislación, etc. que puede verificarse en el país, la decisión de instalar un depósito de residuos peligrosos debe tener en cuenta:

- La existencia y real aplicación de las normativas vigentes.
- La rentabilidad (en relación al volumen de residuos a tratar, actividad industrial, etc.). si el emprendimiento es privado y no cuenta con subsidios.
- La eliminación de la posibilidad de transporte a otro sitio.
- La imposibilidad de implementar otras alternativas de tratamiento en el lugar
- Las alternativas de depósitos individuales o de industrias vecinas en casos convenientes según las características de los residuos y las distancias de transporte.

#### 3.2. De la elección del sitio

Este es un punto crítico, ya que depende de múltiples factores. Los criterios también están suficientemente tratados aunque en general se habla poco de las soluciones a las principales dificultades que se encuentran en las búsquedas. Los lugares cercanos a centros industriales están generalmente poblados, y la actitud de rechazo es general en el caso de zonas residenciales, ya sea por temor a la contaminación, la desvalorización de la propiedad o simplemente por los cambios paisajísticos u otros, que introduzca la nueva actividad en la calidad de vida local.

Las condiciones naturales del sitio, así como las socioeconómicas etc. son suficientemente tratadas en la bibliografía (ver ítem 4), en este trabajo se proponen las siguientes acciones para facilitar la efectivización de

estos emprendimientos:

Legislación que beneficie a las propiedades vecinas a los sitios de tratamiento y acondicionamiento final, en el caso que las condiciones de disponibilidad de terrenos no permitan mantener distancias de más de 1000 metros al límite de propiedad mas próximo. Por ejemplo: exención del 100% de impuestos hasta una distancia de 500 metros del límite de la zona de amortiguación de la planta de tratamiento y del depósito y exención del 50% de impuestos entre 500 y 1000 metros. Qué tipo de impuestos, así como las distancias o proporcionalidades que sea necesario ponderar, deberán adecuarse según las necesidades y posibilidades locales.

Los autores consideran que la incineración no es en realidad el método ambientalmente mas conveniente, ya que la afectación atmosférica se puede tornar crítica en el futuro, y que debería minimizarse al máximo su utilización, que como sabemos hasta el momento es la única posibilidad para ciertos desechos.

El enterramiento aparece como más natural, seguro y confinable que cualquier forma de deposición superficial o transformación y eliminación en la atmósfera. Lógicamente luego de la reutilización . recuperación o reciclado. Tanto por las posibilidades del espesor cortical, como por la capacidad de transformación y asimilación natural de la misma y los sitios de elevada estanqueidad que ofrece.

#### 3.3. De los estudios en el sitio elegido

La legislación y la bibliografía cubren muchos aspectos. Sin embargo los autores han notado la ausencia del tratamiento en profundidad de un tema importante: La *estabilidad de la fundación*. principalmente en lo que involucra a los *asentamientos* de la misma.

Las condiciones actuales de las reglas del arte en estos emprendimientos presentan las siguientes características:

Para evitar la cercanía del nivel freático, o minimizar el movimiento de suelos por excavación, o ambos factores, se proyectan y están en construcción o explotación *cúmulos de hasta varias decenas de metros de altura* sobre el terreno natural.

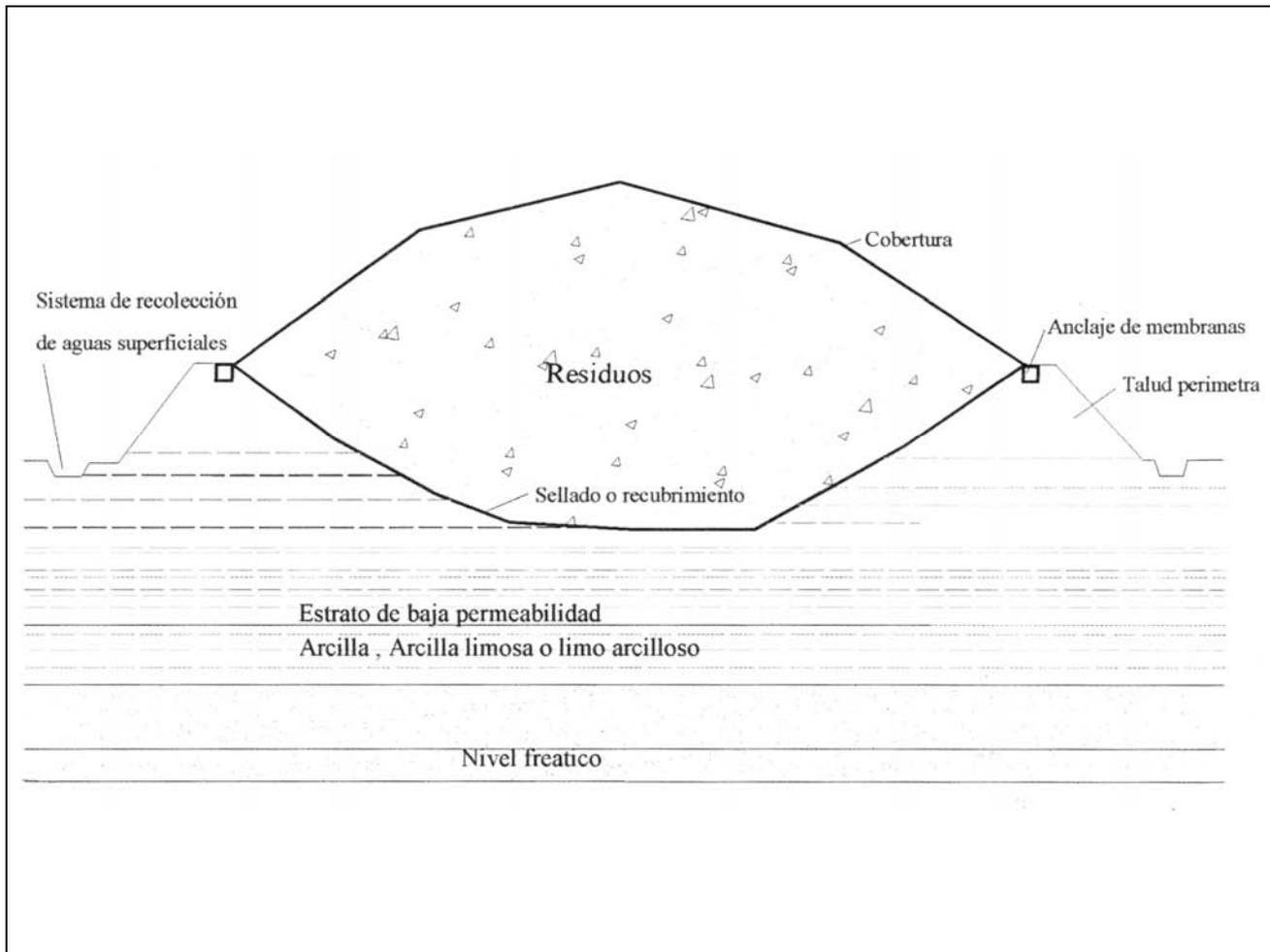
Las condiciones buscadas son de una formación natural de *baja permeabilidad*, que normalmente es un nivel de *arcillas, arcillas limosas, limos arcillosos arcillas limoarenosas*, etc. Si no existe debe construirse, ya que además de ser técnicamente necesario, lo establecen las normativas y legislación vigente.

Es frecuente que por debajo de ellos se presente un nivel arenoso, que generalmente se buscará que tenga una zona no saturada del mayor espesor posible, para detectar

tempranamente mitigar, demorar o corregir posibles fugas. En zonas donde la fluctuación del nivel de agua libre es importante, es aconsejable prever un margen de varios metros al máximo nivel freático esperado, teniendo en cuenta también el asentamiento previsto. La legislación pide un mínimo de 1.5 metros del fondo de la impermeabilización al nivel máximo esperado.

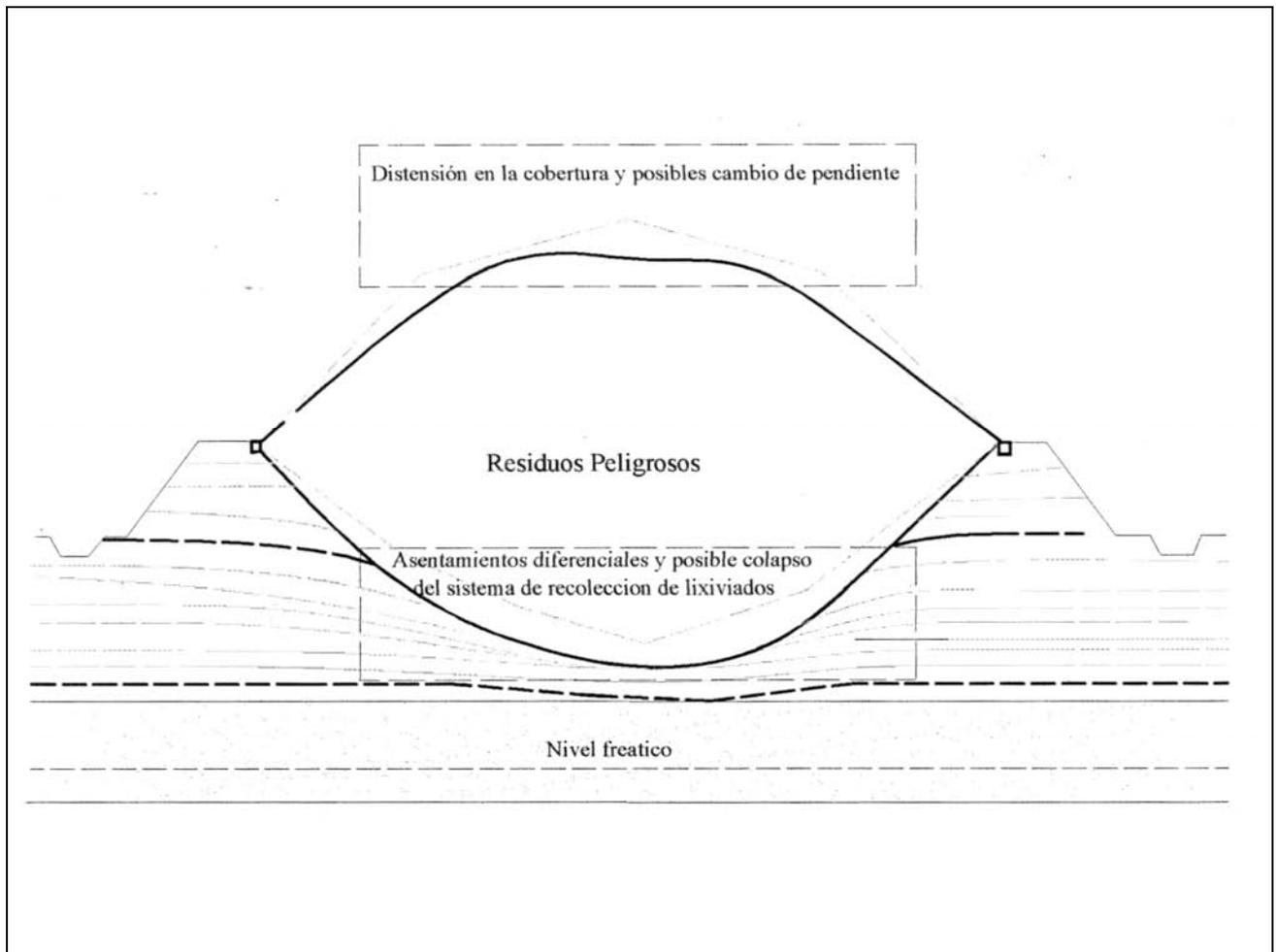
*Como se podrá observar son las condiciones ideales para un asentamiento lento e inevitable y cuya única incógnita es la magnitud, que dependerá principalmente de las dimensiones del depósito, del espesor y características del nivel natural impermeable y de la densidad de los residuos.*

**FIGURA 4: ESQUEMA DE UN RELLENO DE SEGURIDAD**



Si asumimos una forma lenticular en corte para un depósito típico (fig. 1) y una densidad de 1.2 tn/m<sup>3</sup> de los residuos, vemos que los asentamientos serán diferenciales y generarán tensiones y deformaciones importantes en los distintos materiales de protección y acondicionamiento (membranas, geotextiles, mallas, capas de suelo-bentonita, hormigones pobres o morteros colocados para tránsito, suelo-cemento, etc.), que por otra parte tienen disímiles respuestas a los esfuerzos mecánicos, por ejemplo estiramientos, resistencias, etc. Para un depósito de 40 metros de altura, se puede estimar una carga de 4.8 kg/cm<sup>2</sup> en la vertical de la cresta,

tendiendo gradualmente a 0 hacia el terraplén perimetral. Debe tenerse en cuenta que a los fines prácticos la compactación que se realice superficialmente a la rasante y la que se obtenga en los 90 cm de impermeabilización, no será relevante ante la magnitud y dimensiones del depósito, mas bien se comportará como parte de él. Las tensiones más importantes se localizarán en los anclajes de los bordes del depósito, para los elementos de protección inferiores, mientras que en los superiores se producirá una distensión o aflojamiento, producido tanto por el asentamiento de la fundación como del cuerpo del relleno en sí. (fig. 5).

**FIGURA 5: ESQUEMA DE UN RELLENO DE SEGURIDAD CON PROBLEMAS DE ESTABILIDAD**

Estos efectos esperados deben llamar la atención sobretudo a los proyectos con paquetes o capas que incluyen materiales drenantes de reducido espesor como geotextiles y grillas, ( figs. 1, 2 y 3).

Dado que los asentamientos serán diferenciales, además de los niveles y cotas absolutas, variarán las pendientes, por lo que debe preverse la compensación o al menos prever la corrección durante la explotación. Los tubos de drenaje, recolección de lixiviados y gases deberán contemplar también estas particulares condiciones de deformación de la fundación.

Si en el terreno natural de fundación se alternan capas de reducido espesor de arenas y arcillas, el fenómeno de consolidación se verá favorecido por la situación de drenaje, y por lo tanto el asentamiento se acelerará.

Es importante por lo tanto programar un cronograma de explotación, en el que el avance y acondicionamiento temporario de la explotación (excavación o cúmulo) permita prever las correcciones necesarias para

el acondicionamiento final.

Tanto en depósitos de plantas de alta tecnología, como en los que presentan condiciones mínimas de operación, se ha observado un procedimiento que no contempla la construcción de celdas terminadas que permitan comprobar experimentalmente una aproximación o proyección a los valores finales de asentamientos de la fundación.

#### 3.4. Del mejoramiento de las condiciones naturales del predio

Dado que es frecuentemente difícil reunir todas las condiciones requeridas para la instalación de estos emprendimientos, y que partimos del concepto que la disposición final de residuos en vertederos controlados y depósitos de seguridad seguirá siendo la solución viable y óptima por lo menos a mediano plazo en numerosos casos, deben considerarse adecuaciones técnicas y soluciones constructivas para los sitios que presenten deficiencias en algunos de los parámetros buscados.

Algunas de las posibilidades a considerar deben incluir:

- Compra de terrenos limítrofes en una franja de amortiguación no inferior a 500 metros.
- Compensación, resarcimientos o indemnización acordados y razonables a casos puntuales de viviendas situadas dentro de esos límites.
- Sobredimensionamientos: Si bien este es un concepto técnico inaceptable sobre todo por una razón de costos o esfuerzos, lo consideramos necesario como solución en los casos de condiciones desfavorables en cuanto a asentamientos, fundamentalmente teniendo en cuenta que la experiencia en esta especialidad aún no reúne la variedad suficiente de casos y el tiempo requerido de existencia, como para que existan criterios confiables en coeficientes de seguridad. La experiencia demuestra que en algunos rellenos la densidad de los residuos es un parámetro que no se controla como debería, teniendo en cuenta su importancia en las cargas que finalmente transmitirán a la fundación.
- Sobredimensionamiento proyectado expresamente de todas las condiciones de estabilidad del depósito, drenaje superficial, interno, colectores, sistemas de impermeabilización y estanqueidad subterráneas y superficiales. Esto implica la adopción de materiales que verifiquen las más altas performances y calidad disponibles en el mercado ( tracción, estiramiento, desgarrar, punzado, permeabilidad) en el caso de las membranas geotextiles y grillas, y resistencia y espesores en el caso de tubos y cañerías.
- Refuerzo del terraplén perimetral mediante un núcleo de enrocado colocado o de gaviones con relleno de los espacios vacíos o un conjunto compacto alternativo, que a la vez cumpla la función de una sobrecarga en la zona en que el plano potencial de deslizamiento (curva) se acerca a la superficie.
- Sobredimensionamiento de los canales laterales de intercepción y drenaje del escurrimiento superficial, en los casos en que el depósito se sitúe en condiciones desfavorables ( de pendiente o de encauzamientos incipientes). Estos deberán proyectarse de manera de no incrementar el riesgo de deslizamiento.
- Planes de alerta temprana de contingencias y acciones a desarrollar para atenuar, detener, controlar y mitigar sus efectos, incluyendo la contratación de seguros.
- Acciones que favorezcan la calidad de vida de los vecinos en otros aspectos (por ejemplo económicos o culturales).
- En ambientes donde las características geológicas determinan la elección de sitios en roca, incluyendo la

posible existencia previa de canteras, el acondicionamiento y las condiciones a investigar pueden diferir bastante.

En este caso el estudio se centrará en el aspecto estructural, sismicidad, mineralogía o composición química, permeabilidad primaria y secundaria. Los tratamientos de acondicionamiento y mejoramiento de las condiciones de fundación, pueden ser inyecciones de impermeabilización de cemento con o sin un bajo porcentaje de bentonita en fracturas (zonas falladas, diaclasadas o fisuradas), procedimiento en el que puede emplearse simplemente la gravedad como recurso suficiente para obtener la presión necesaria, en ciertos casos. La superficie de la excavación o rasante puede acondicionarse con un sistema que no introduzca incompatibilidades entre elementos elásticos, estirables y rígidos, o por ejemplo una pantalla bituminosa, arcilla, suelo cemento o equivalente principalmente si las rocas presentan permeabilidad primaria.

### 3.5. Del control y evaluación desde la prefactibilidad hasta el cierre

Como se dijo anteriormente la falta de número y tiempo transcurrido para la evaluación suficiente de casos en explotación localmente y de experiencia a nivel mundial en rellenos acondicionados cerrados, aplicable a distintas condiciones naturales, determina que se deban extremar los cuidados tanto en la elección del sitio, como en la elección de los procesos, instalaciones adecuadas a las necesidades, explotación y acondicionamiento final.

Esto implica una evaluación técnica minuciosa de los anteproyectos presentados, así como una supervisión en la investigación previa de las condiciones naturales del o los sitios propuestos, construcción, instalaciones, montajes, excavaciones, acondicionamiento y colocación de los sistemas de impermeabilización y drenaje, cálculos de estabilidad del depósito y en general un seguimiento de toda la explotación cierre y acondicionamiento final del relleno.

Es importante tener en cuenta que uno de los puntos centrales de este trabajo, la *estabilidad del depósito*, es un parámetro que debe evaluarse especialmente al abandonar el sitio, ya que el depósito será para siempre una zona topográficamente sobre elevada artificialmente y sometida a los agentes de intemperización y naturales en general.

Por lo tanto los controles además del monitoreo y rutinas previstas normalmente deberán incluir:

- Control periódico de asentamientos (absolutos, respecto a puntos fijos y relativos del cuerpo del depósito y su entorno) y su comparación con los asentamientos durante la explotación. Verificación de su rango dentro de los previstos en el diseño.

- Control de la sección y operatividad de los canales drenantes.
- Análisis de los procesos de erosión, y medidas correctivas en los casos que interesen la estabilidad del conjunto.

### 3.6. Del tamaño del relleno

Este aspecto es de sentido común, y por lo tanto sólo se lo considera a fin de recordar que los problemas así como los diseños y soluciones, diferirán de un depósito pensado para un polo industrial importante, a un pequeño relleno compartido o propio de un establecimiento industrial. La elección del sitio por ejemplo, puede admitir condiciones menos favorables en cuanto a estabilidad, si el volumen esperado de residuos es pequeño. Lo mismo vale para la evaluación de mitigaciones de impactos locales y prevención de contingencias, sobre todo en consideración a la tipificación de los residuos.

### 3.7. De la legislación

Este es un tema complejo ya que presenta dos abordajes: La parte de la legislación que regula la operación de los rellenos y la que exige el tratamiento y disposición en los mismos a las industrias.

La legislación nacional (ley 24051 y decreto reglamentario 831/93) es un marco importante para el desarrollo y perfeccionamiento a nivel local (provincial por ejemplo), de las normativas que deberán regir estas actividades.

Resulta claro que la imperiosa necesidad de regular esta temática impulsó la adaptación rápida de normativas que no siempre se adaptan a las realidades naturales y socioeconómicas locales.

Deberían salvarse expresiones no del todo comprensibles como:

“1. La formación geológica debe ser miocénica” y

“2. Las profundidades permitidas de inyección son del orden de 2000 a 3500 mts., por debajo de la superficie del terreno natural”,

que aparecen en el decreto reglamentario, referidos a las operaciones de eliminación por inyección profunda del anexo III de la ley 24051.

Lo cual, como se puede ver, no es algo técnicamente adaptable o útil.

El eje de la cuestión, pasa entonces por la elaboración en el menor tiempo posible que permita un tratamiento óptimo, de leyes y reglamentaciones que adapten la legislación y las normativas vigentes a las realidades locales, sobre todo de condiciones naturales como clima, geología (geomorfología, aguas superficiales y subterráneas, litología, tectónica, sismicidad,) fauna y flora, con un espectro tan amplio en nuestro país. Por ejemplo, en Entre Ríos hay regiones donde cumplir con condiciones óptimas de distancia mínima a un curso de agua de orden 1 o a un cauce temporario y a la vez llenar los otros requisitos para elección del sitio es muy difícil, mientras que en provincias con clima más seco y otra morfología este factor puede no tener relevancia.

Por último, se pone especial énfasis en que independientemente de las dificultades a resolver en todas las instancias, la disposición final, acondicionamiento en rellenos de seguridad y todo proceso previo y posterior que implique el manejo controlado y racional de residuos en general debe ser prioritario y preferible a la falta de control y manejo discrecional con destino a veces desconocido y consecuencias imprevisibles.

El manejo racional, tratamiento y acondicionamiento seguro de residuos peligrosos facilita la compatibilidad entre el desarrollo industrial, la calidad de vida y la estabilidad Ambiental.

## 4. BIBLIOGRAFÍA

TCHOBANOGLIOUS G., ET AL 1998.

Gestión Integral de Residuos Sólidos.  
*McGraw-Hill, Inc.*

LA GREGA M. ET AL 1998.

Gestión de Residuos Tóxicos.  
*McGraw-Hill, Inc.*