

JOAN FELIUBADALO MÓLINS  
*Ingeniero Industrial.*

JAVIER FONT CISTERO  
*Doctor en Geología.*

LUIS MIGUEL DOMENECH RUBIO  
*Licenciado en Geología*

# Vertederos de residuos: impacto sobre el medio físico



**E**N la gestión de residuos se entiende por Vertedero Controlado o Depósito de Seguridad a todo emplazamiento natural o artificial implantado sobre formaciones geológicas que garanticen su estanqueidad durante un dilatado período de tiempo. Cuando el emplazamiento elegido no posee las mínimas condiciones exigibles, existe un amplio abanico de técnicas y métodos complementarios que permiten una sensible mejora de las características físicas naturales del depósito.

Los otros métodos de tratamiento de residuos industriales tradicionalmente utilizados: incineración, procesos físico-químicos y biológicos;

*La no existencia de plantas de eliminación y tratamiento de residuos, genera sin lugar a dudas, la proliferación de vertidos incontrolados.*

aunque poseen algunas indudables ventajas, tanto desde el punto de vista económico como del medio ambiente, implican el establecimiento de procesos o líneas de tratamiento de carácter industrial. Estos procesos más o menos sofisticados conllevan toda una serie de servidumbres inherentes a toda instalación de carácter industrial: averías, paros, revisiones periódicas, etc. Además, dado que la generación de residuos es continua, aunque con importantes fluctuaciones a lo largo del año, debe existir un sistema

complementario para absorber las puntas de producción, así como las posibles anomalías de funcionamiento; este sistema complementario es el Depósito de Seguridad.

Frecuentemente no son las anomalías producidas en etapas intermedias de la cadena de tratamiento las que obligan a la utilización de los depósitos de seguridad, sino que se trata del subproducto final de la cadena, lo que ha dado en llamarse el residuo del residuo. Este es el caso de las incineradoras, en las que la utilización de los depósitos

de seguridad viene obligado por el propio proceso de tratamiento, ya que la eliminación de las cenizas, a veces de alta toxicidad, así lo exige.

### IMPACTO AMBIENTAL

No existe una definición generalmente aceptada de lo que es el Impacto Ambiental, por tanto a la que sigue no hay que darle más valor que el de un intento de ofrecer una de ellas, a fin de centrar el tema objeto del presente artículo. Podemos, pues, definir el Impacto Ambiental de una instalación o actividad humana como el conjunto de alteraciones positivas o negativas que sufren los diversos factores que configuran el medio ambiente del entorno de dicha instalación o actividad como consecuencia de la implantación y/o el funcionamiento de aquéllas (figura 1).

El impacto ambiental no puede clasificarse de una forma única, sino que pueden darse al menos cuatro criterios de clasificación, los cuales no son mutuamente excluyentes: por razón al factor al que afectan, por su calidad, por su duración y por su posibilidad de corrección.

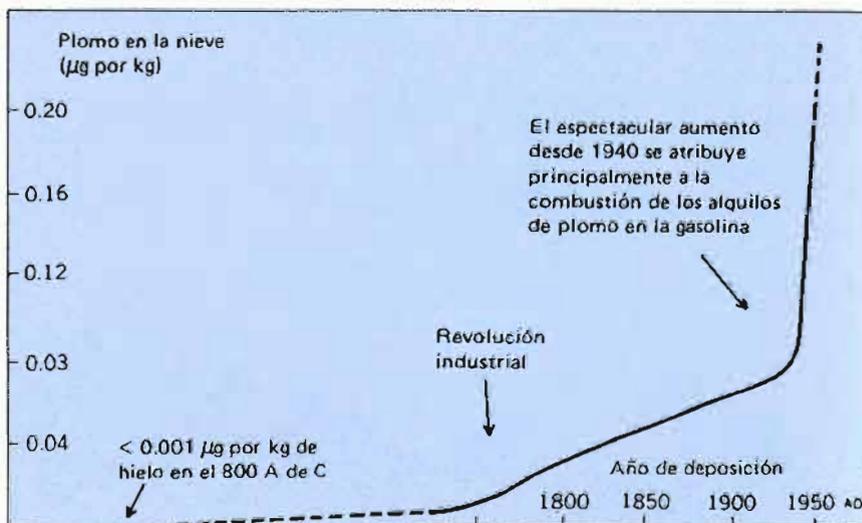
De entre los diferentes factores que pueden ser afectados, se pueden destacar los siguientes: paisaje, microclima, la gea (la tierra como soporte de vida), aguas subterráneas y superficiales, calidad del aire, nivel sonoro y la salud de los seres vivos.

Por su calidad, los impactos ambientales pueden clasificarse en positivos o negativos; por su duración, en transitorios o permanentes; por su posibilidad de corrección, podemos hablar de impactos reversibles o irreversibles. A estos criterios de clasificación podemos añadir otros, como pueden ser: la gradación de directos/indirectos, locales/generales y acumulativos/sinérgicos, entre otros.

Cabe señalar que estas clasificaciones, lejos de ser dicotómicas, incluyen una gradación continua entre los términos extremos.

Es muy importante poder cualificar y cuantificar de una forma objetiva el impacto ambiental de una obra o instalación. Ello permite establecer la «tolerabilidad» o rechazo de aquéllas por parte de la sociedad, permitiendo así poder discutir y comparar diversas soluciones a un único problema. En España no es hasta 1986 que aparece una ley de impacto ambiental (Real Decreto 1.302/1986, de 28 de junio de 1986,

FIGURA 1. Evolución en la producción mundial de residuos mediante el estudio de la variación del contenido en plomo del hielo de Groenlandia.



*Es muy importante poder cualificar y cuantificar de una forma objetiva el impacto ambiental de una obra o instalación. Ello permite establecer la «tolerabilidad» o rechazo de aquéllas por parte de la sociedad, permitiendo así poder discutir y comparar diversas soluciones a un único problema.*



BOE 155, de 30 de junio de 1986) y una posterior reglamentación en 1988 (Real Decreto 1.131/1988, de 30 de septiembre de 1988, BOE 239, de 5 de octubre de 1988). Este marco legislativo establece una normativa y reglamentación para la evaluación del impacto ambiental, definida en el artículo 5 del Real Decreto 1.131/1988: «Se entiende como evaluación de impacto ambiental el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad causa sobre el medio ambiente».

En el punto 9 del Anexo del Real Decreto 1.302/1986 de evaluación de impacto ambiental aparece como instalación merecedora de dicha

evaluación, los depósitos de residuos tóxicos y peligrosos.

### IMPACTO AMBIENTAL DE LOS VERTEDEROS CONTROLADOS O DEPOSITOS DE SEGURIDAD

La gran variedad de residuos existentes en la actualidad diversifica en gran medida los tipos de impactos generados por los vertederos controlados. Ya sea por su origen, de naturaleza urbana o industrial, o por una consecuencia directa de éste, sus características físicas y químicas, la afeción al medio ambiente de los vertederos de dichos residuos tendrá unas características

*Si hubiera que elegir uno de los tres métodos principales de eliminación de residuos (incineración, tratamiento físico-químico y vertido controlado) que ofreciera más posibilidades de impactos ambientales negativos potenciales, sin duda se llevaría la palma el vertido controlado.*



*Vertedero de residuos sólidos urbanos e industriales asimilables a urbanos de Varcises. Se pueden observar las torres de evacuación de gases.*

particulares inherentes. Aun existiendo esta gran diversidad, se pueden generalizar una serie de impactos comunes a la mayoría de residuos, estando su intensidad en función de la naturaleza de éstos.

Si hubiera que elegir uno de los tres métodos principales de eliminación de residuos (incineración, tratamiento físico-químico y vertido controlado) que ofreciera más posibilidades de impactos ambientales negativos potenciales, sin duda se llevaría la palma el vertido controlado. Sin embargo, al tratarse de un método sencillo y que cuenta ya con un número considerable de instalaciones y de años de experiencia, se ha desarrollado todo un conjunto de técnicas de detección, control y corrección del impacto ambiental que, como se verá a continuación, han paliado en gran medida su incidencia negativa.

De entre los diferentes tipos de residuos confinados en vertederos controlados, posiblemente los residuos sólidos urbanos y los residuos industriales asimilables a urbanos son los que potencialmente pueden generar una mayor diversidad de impactos sobre el medio. Hay que señalar, sin embargo, que la intensidad de estos impactos es, por lo general, muy inferior a la de los vertederos de residuos industriales tóxicos y peligrosos.

En general podemos destacar los siguientes tipos de impactos:

#### **• Impacto sobre el paisaje y factores asociados**

Como es evidente, si el vertedero es de grandes dimensiones, conlleva una alteración del terreno, ya

*Los residuos sólidos urbanos, industriales asimilables a urbanos e industriales inertes, contienen una fracción considerable de elementos ligeros como papel y plásticos, que pueden ser fácilmente arrastrados por el viento, lo que ocasiona un impacto sobre las zonas no rellenadas del vertedero y sobre los terrenos próximos. Esta afección aún no siendo importante es molesta y escandalosa*

que implica relleno de valles y depresiones, formación de montículos, alteración de laderas, etc., lo que comporta la destrucción de unas extensiones considerables de vegetación y la alteración del hábitat de especies animales. Sin embargo, no todo son aspectos negativos, ya que puede ser un excelente método de rehabilitación de espacios, ampliamente degradados y profundamente distorsionados, como, por ejemplo, las extracciones de arcilla abandonadas. Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es que la vista de los vertederos no es nunca agradable, debido a su propia naturaleza; es por ello que hay que contemplar este hecho a la hora de realizar cualquier tipo de evaluación.

Los residuos sólidos urbanos, industriales asimilables a urbanos o industriales inertes, contienen una fracción considerable de elementos ligeros, como papel y plásticos, que pueden ser fácilmente arrastrados por el viento, lo que ocasiona un impacto sobre las zonas no rellenadas del vertedero y sobre los terrenos próximos. Esta afección, aun no siendo importante, es molesta y escandalosa.

#### **• Impacto sobre la atmósfera**

Los diversos impactos de los vertederos sobre la atmósfera (y también sobre el agua) poseen una característica que los diferencia de los demás, dado que suponen la transferencia de contaminación a un medio que la transporta y la extiende a puntos situados fuera del vertedero; dispersiones que son con frecuencia de control y corrección difíciles.

El impacto sobre la atmósfera se centra en tres aspectos principalmente: el polvo, la producción de gases y los olores. El primero de ellos es un factor importante de los residuos industriales inertes, que pueden llegar a tener entre un 20 y un 30 por 100 de minerales o partículas finas. Obviamente, el problema de la dispersión de polvo se agudiza en lugares expuestos al viento y en tiempo seco. Aparte de ser molesto, la inhalación prolongada de polvo puede producir enfermedades graves tales como silicosis o asbestosis.

Los residuos sólidos urbanos producen, debido a su fermentación, una gran cantidad de gases (biogases), siendo éstos principalmente



Vertedero controlado de residuos industriales inertes y asimilables a urbanos de «Can Fatjó» Cerdanyola. Propiedad de la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos. Barcelona.

$N_2$ ,  $CO_2$  e hidrocarburos de bajo peso molecular, principalmente el metano. Todos ellos son gases inodoros y por ello de difícil detección. De entre estos gases, el que presenta mayor peligrosidad es el metano, ya que es muy explosivo. Este gas es más ligero que el aire, por lo que tiende a ascender a través de grietas y fracturas de la masa vertida o de discontinuidades del terreno (este hecho se potencia aún más si el vaso es de naturaleza permeable). En caso de que existan edificios o construcciones huecas subterráneas en las proximidades al vertedero, el gas puede acumularse allí, con el consiguiente riesgo que ello supone.

En el caso de residuos industriales podemos encontrar materias que por reacción con el agua o el aire son susceptibles de inflamarse espontáneamente o emitir gases inflamables en concentraciones considerables. También pueden ser generados gases tóxicos y humos ácidos.

Hay que tener en cuenta que pueden generarse gases o sustancias volátiles que, aun no encontrándose en concentraciones peligrosas, su límite olfativo es tan bajo que producen molestias en los alrededores del vertedero.

#### • Generación de ruidos y vibraciones

El impacto ambiental de los vertederos por generación de ruidos no es especialmente importante. El ruido generado proviene únicamente de los camiones de transporte y vertido y de la maquinaria de obras públicas propia del vertedero. De hecho lo podríamos comparar al producido en una obra de movimientos de tierra, pero con la ventaja de

que en los vertederos no hay ni voladuras ni fragmentación de rocas con maquinaria de percusión.

#### • Contaminación de aguas

Como ya se ha comentado anteriormente, el impacto sobre el agua supone en la inmensa mayoría de los casos una transferencia de la contaminación a otro medio y un transporte a distancia de los contaminantes generados en el foco emisor de éstos.

Tanto los impactos sobre las aguas superficiales como los que tienen lugar sobre las aguas subterráneas se deben al gran poder disolvente del agua, produciéndose ya sea por el contacto de ésta con los residuos o por escorrentía superficial y percolación a través de ellos, o bien por el lavado de terrenos contaminados.

Las aguas subterráneas son un medio fácilmente vulnerable y muy castigado por las diferentes actividades humanas, siendo los vertederos de residuos uno de los principales focos potenciales de contaminación de acuíferos. Esta peligrosidad viene determinada fundamentalmente por dos factores: en primer lugar, la permeabilidad del vaso del vertedero y las características hidrogeológicas de la zona, y en segundo lugar, por las características físico-químicas de los residuos. Estas vendrían determinadas, en el caso de residuos tóxicos y peligrosos, por su solubilidad, actividad química y contenido en líquidos. Respecto a residuos sólidos urbanos o industriales asimilables a urbanos, hay que tener muy en cuenta la capacidad de generación de líquidos por la propia descomposición de la materia orgánica contenida en la basura; si es en medio aerobio, el

*Las aguas subterráneas son un medio fácilmente vulnerable muy castigado por las diferentes actividades humanas, siendo los vertederos de residuos uno de los principales focos potenciales de contaminación de acuíferos.*

agua generada poseerá una gran actividad química debido al incremento de  $CO_2$ , y si es medio anaerobio, se producirá una descomposición a ácidos orgánicos y posteriormente liberación de  $NH_4^+$  y S y una solubilización de gran cantidad de metales.

En cuanto a las características hidrogeológicas de la zona, cabe decir que el grado de afección está directamente relacionado con tres variables; éstas son: la situación de los residuos con respecto al nivel freático (lo cual determina el espesor del nivel no saturado y, por consiguiente, el grado de autodepuración que se puede producir), la transmisividad del acuífero y potencial de mezcla con el agua subterránea.

#### • Incendios

Existe gran cantidad de residuos que por su propia naturaleza (explosivos, inflamables, comburentes,

etc.) representan un gran peligro de cara a incendios y/o explosiones, pudiendo ocasionar daños importantes en el entorno del vertedero.

Los residuos sólidos urbanos, los industriales asimilables a urbanos e industriales inertes, pueden generar humos tóxicos como producto de su pirólisis: monóxido de carbono, aldehídos, hidrocarburos de alto peso molecular, heterocíclicos, etc. Estos humos generalmente se caracterizan por una gran opacidad, por lo que pueden generar accidentes de tráfico si la columna de humo invade vías de comunicación.

#### • Infecciones y plagas

Se reserva este último apartado al impacto generado por aquellos residuos que por su propia naturaleza pueden ocasionar enfermedades en el hombre, animales o plantas, o bien favorecer la existencia de organismos que actúen como vectores transmisores de enfermedades.

Algunos residuos tóxicos y peligrosos pueden contener microorganismos o liberar toxinas que, propagándose por diversos medios (agua, aire, suelo, etc.), pueden afectar a los seres vivos.

En los vertederos de residuos urbanos y en los industriales asimilables a urbanos es frecuente la proliferación de animales consumidores de residuos. Fundamentalmente pertenecientes a tres grupos: insectos (sobre todo moscas y coleópteros),

aves (córvidos y gaviotas) y roedores (ratas y ratones). Además del impacto de tipo estético que ocasionan estos animales, hay que contar que éstos actúan como vectores de enfermedades.

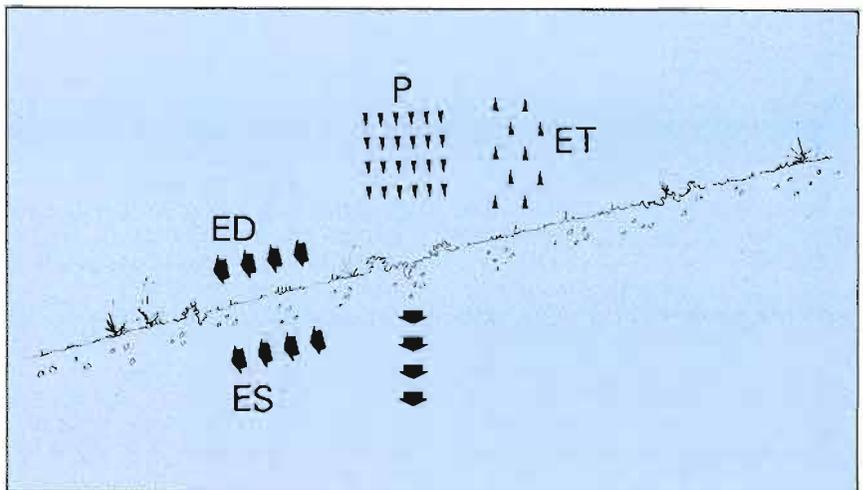
### MEDIDAS PREVENTIVAS, SISTEMAS DE CONTROL Y MITIGACION DEL IMPACTO

Los diferentes impactos que un vertedero controlado puede ocasionar en el medio ambiente deben ser evitados o minimizados. Para la consecución de tal fin es imprescindible, en primer lugar, un conocimiento, lo más detallado posible, del me-

canismos de transmisión de dichos impactos. Para conocer estas características se han de estudiar los siguientes aspectos: geología y geotecnia de los terrenos que conforman el emplazamiento del futuro vertedero, climatología, hidrología superficial, hidrogeología, paisaje, flora y fauna, nivel de ruidos y de polución del aire e intensidad de la circulación rodada (figura 2).

**Geología y geotecnia:** Es imprescindible situar el proyecto dentro de un marco geológico regional. Para ello debe consultarse la bibliografía existente sobre la zona. Posteriormente, y aumentando de escala, es recomendable proceder a la observación de fotografías aéreas

FIGURA 2. Estudio del medio físico.



*Los incendios y las plagas pueden presentarse en la fase de explotación y son de difícil previsión en la fase de proyecto. Ambos impactos pueden minimizarse adoptando las correctas medidas preventivas, tanto activas (control y vigilancia) como pasivas (existencia de medios de extinción), de cortafuegos y disponiendo los residuos de una forma correcta.*

dio físico que albergará al futuro vertedero. En segundo lugar, son necesarias una serie de medidas técnicas, tanto de prevención como de control de riesgos.

Es importante señalar que el estudio del medio físico, siempre ha de ser elaborado previamente a la realización del proyecto técnico del vertedero, ya que los diferentes aspectos y características determinadas en dicho estudio condicionarán en gran modo la serie de medidas técnicas y sistemas de control establecidas en el proyecto e incluso pueden hacer que se desestime el emplazamiento elegido.

#### Estudio del medio físico

El estudio del medio físico debe proporcionar una información lo más amplia y detallada posible de las características de los diferentes medios impactados y de las vías o me-

para así obtener un conocimiento fotogeológico del futuro emplazamiento.

Pasando a otra escala de investigación, mucho más detallada, se han de comprobar sobre el terreno los diferentes datos adquiridos previamente. Esta comprobación ha de realizarse mediante la confección de mapas y levantamientos geológicos (columnas estratigráficas, cortes, etc.), a partir de los cuales se determinará la naturaleza y espesor de los terrenos que conformarán el sustrato sobre el cual se asentará el futuro vertedero. También deben precisarse las relaciones tanto verticales como horizontales de dichos terrenos y la existencia de discontinuidades (fallas, diaclasas, planos de estratificación, etc.).

El conocimiento estructural de la zona estudiada obliga a la realización de trabajos de reconocimiento geológico a gran escala como, por ejemplo, averiguar la naturaleza de

las diferentes discontinuidades, su espaciamiento y frecuencia, el relleno de éstas por otros materiales plásticos, etc.

Para la adquisición de todos los conocimientos anteriormente citados, la observación visual ha de estar apoyada por estudios geofísicos, sondeos mecánicos, catas y diferentes ensayos y análisis de laboratorio tales como determinaciones petrográficas necesarias, granulometrías, contenido de materias orgánicas, determinación de la capacidad de carga del terreno, estudio de las diferentes propiedades físicas de las arcillas, determinando límites plásticos y naturaleza de éstas.

Es importantísimo averiguar el grado de sismicidad de la zona, ya que los movimientos sísmicos, por pequeños que sean, pueden provocar oscilaciones en el nivel freático y también generar fracturas o grietas en el material encajante.

Dentro del reconocimiento geológico se ha de contemplar la tarea de búsqueda, en la zona próxima al vertedero, de materiales susceptibles de poder ser aprovechados para la confección de capas intermedias y de recubrimiento final del depósito.

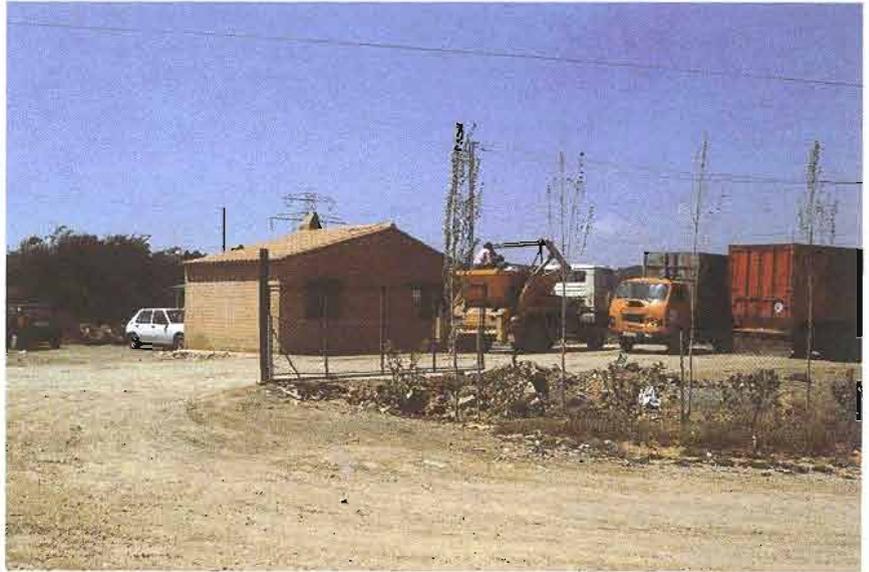
Por último, cabe señalar que debemos asegurarnos de la no existencia de yacimientos minerales de rendimiento económico o zonas con alto contenido científico en el futuro emplazamiento del vertedero.

**Climatología:** La realización de un estudio climatológico es imprescindible a la hora de poder elaborar un balance hídrico de la zona, el cual servirá posteriormente para el cálculo teórico del volumen de lixiviados que pueden generarse. También es necesario para poder evaluar con precisión el impacto sobre la atmósfera, ya que éste dependerá de la dirección e intensidad de los vientos de la zona

El estudio climatológico no deja de ser un mero tratamiento estadístico de diferentes datos, recogidos, si es posible, de varias estaciones meteorológicas próximas al futuro emplazamiento del vertedero. Para la realización de dicho estudio será imprescindible disponer de una serie de datos climatológicos. La FAO recomienda series de 30 años para caracterizaciones pluviométricas y de 15 años para las termométricas.

Recomendamos trabajar como mínimo con los siguientes datos:

— Precipitaciones: precipitaciones medias mensuales, precipitaciones medias anuales, número de días de lluvia y precipitaciones máximas en



*El control y vigilancia del acceso al vertedero es esencial para evitar el vertido de residuos no caracterizados.*

24 horas. Datos que servirán para la realización del balance hídrico y para el cálculo de precipitaciones máximas y períodos de retorno.

— Termometría: temperatura media anual, temperatura media mensual de máximas absolutas, temperatura media mensual de las máximas, temperatura media mensual de las mínimas y temperatura media mensual de las mínimas absolutas. Con estos datos se podrá calcular la evapotranspiración real, y potencial, así como caracterizar el régimen térmico del área.

— Otros datos: dirección de vientos dominantes y su intensidad, y días de niebla. Elaborando estos datos obtendremos información para determinar la posible propagación de humos y de contaminantes via atmósfera.

**Hidrología:** Partiendo de la fórmula general del balance hídrico en el sistema atmósfera-litósfera-biosfera.

$$P = ED + ES + ETR$$

cadena de tratamiento de los residuos industriales, donde:

— ETR es la cantidad de agua que se evapora o es transpirada por los vegetales. Se calcula a partir de la ETP (evapotranspiración potencial);

— ED es la cantidad de agua precipitada que circula por la superficie del terreno sin infiltrarse;

— ES es la cantidad de agua infiltrada y circula por los acuíferos.

Se puede determinar la cantidad de agua infiltrada susceptible de generar lixiviados y también permite el cálculo de la escorrentía superfi-

*El estudio del medio físico debe proporcionar una información lo más amplia y detallada posible de las características de los diferentes medios impactados y de las vías o mecanismos de transmisión de dichos impactos.*

cial, conociendo previamente la capacidad de infiltración del terreno.

Respecto al conocimiento de la hidrología superficial, es imprescindible encuadrar la zona estudiada dentro del marco general de la red hidrográfica que constituye el drenaje natural de las aguas superficiales. También deben verificarse los niveles de calidad de los diferentes cursos de agua.

El estudio de las aguas subterráneas debe centrarse en la caracterización de éstas. Es esencial conocer la profundidad del nivel freático y fluctuaciones de éste, la relación e interconexión entre diferentes acuíferos, situar zonas de recarga y descarga, y conocer la hidroquímica, determinando la calidad de las aguas subterráneas antes de la construcción del vertedero.

Deben realizarse medidas de la permeabilidad del subsuelo. Estas pueden tener lugar mediante ensa-

yos de laboratorio o mediante ensayos *in situ*. Nosotros recomendamos los segundos, ya que éstos son más representativos de las condiciones naturales del terreno. Los ensayos *in situ* están basados principalmente en la inyección de agua en el terreno a través de sondeos mecánicos.

**Paisaje, flora y fauna:** Recomendamos la recopilación de datos acerca de actividades agrícolas y comerciales de la zona. También, inventariar especies vegetales y faunísticas, poniendo especial interés en la no existencia de individuos o comunidades protegidas, y vigilando la posible afección a ecosistemas característicos y representativos. La realización de un análisis topográfico centrado en el problema de pendientes y posibles visuales, especialmente desde zonas habitadas y transitadas, también es esencial.

**Ruidos y polución del aire:** Implica la situación del nivel de calidad ambiental respecto a ruidos, olores y polución atmosférica. Asimismo, requiere el inventariado de los diferentes focos de contaminantes ya existentes en la zona.

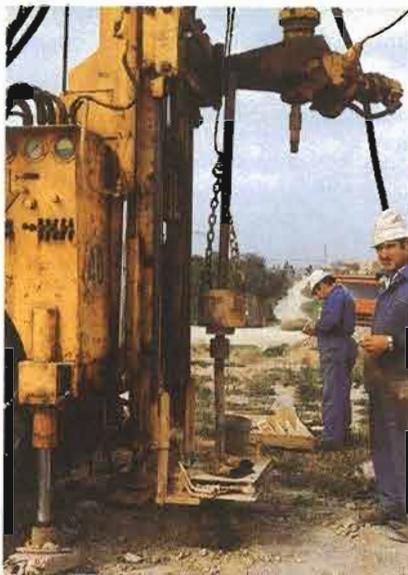
**Circulación:** El análisis de la infraestructura de acceso (carreteras, vías férreas, etc.) es necesario a la hora de ubicar un vertedero en una zona determinada. Este análisis implica también un estudio de la evolución futura de estas infraestructuras.

#### **Medidas técnicas de prevención y mitigación de riesgos**

Las diferentes medidas a tomar son necesarias en todas y cada una de las fases de la realización y posterior funcionamiento del vertedero controlado, ya sea en la elaboración del proyecto, acondicionamiento y construcción, sellado y cierre de la instalación.

Como ya se ha comentado anteriormente, el estudio del medio físico condicionará el proyecto técnico del vertedero. De esta forma deberán tomarse una serie de medidas correctoras de los diferentes impactos que el vertedero pueda generar.

Con respecto al impacto sobre el paisaje, se deberá elegir el emplazamiento que altere lo menos posible a dicho factor ambiental. Como medidas técnicas correctoras cabría citar el establecimiento de una cortina arbórea de ocultación de vistas y el evitar la formación de taludes de residuos con la cobertura diaria



*Los sondeos mecánicos permiten una caracterización litostratigráfica del subsuelo y la realización de diferentes ensayos «in situ» (pruebas de permeabilidad y diferentes ensayos geomecánicos).*

de éstos. La dispersión de residuos ligeros puede evitarse instalando pantallas perimetrales móviles.

El impacto sobre la atmósfera puede mitigarse, de una forma preventiva, mediante la instalación de dispositivos de recogida, desodorización y evacuación de gases.

La contaminación de las aguas superficiales se evitará con una buena elección del emplazamiento del vertedero. Asimismo es conveniente la construcción de una cuneta perimetral que intercepte y conduzca las aguas de escorrentía que efluyan al vaso, impidiendo su irrupción en él. Las aguas de lluvia que caigan directamente sobre el vertedero pueden recogerse mediante sistemas de drenaje internos y posteriormente analizarlas y tratarlas antes de verterlas a cauces públicos.

Las aguas subterráneas son uno de los factores ambientales más vulnerables. La solución preventiva es simple, pero no sencilla. Esta consiste en asentar el vertedero en terrenos de alta impermeabilidad. La legislación autonómica de Cataluña contempla este hecho al referirse a la situación de los vertederos de residuos industriales (Orden de 17 de octubre de 1984. Residuos industriales. Normativa técnica para los vertederos controlados de residuos industriales). Esta ley establece que los terrenos susceptibles de recibir residuos industriales especiales, tengan un coeficiente de permeabilidad  $K < 10^{-9}$  m/s en un grosor de 10

metros. También, según dicha ley, los terrenos con permeabilidades comprendidas entre  $K = 10^{-6}$  m/s y  $K = 10^{-9}$  m/s en un grosor de 10 metros son susceptibles de recibir residuos industriales inertes o asimilables a urbanos.

Un segundo tipo de medidas preventivas respecto a la protección de la calidad de las aguas subterráneas, es la impermeabilización artificial del vaso, mediante la instalación de geomembranas o el relleno y posterior compactado con materiales impermeables (arcillas).

Los lixiviados se recogerán en «balsas de lixiviados» y posteriormente se tratarán y evacuarán.

Con respecto a la prevención de riesgos durante la fase de construcción y explotación, es esencial que ésta se realice siguiendo las normas técnicas del proyecto, con una correcta puesta en obra y empleando materiales adecuados.

Los incendios y las plagas pueden presentarse en la fase de explotación y son de difícil previsión en la fase de proyecto. Ambos impactos pueden minimizarse adoptando las correctas medidas preventivas, tanto activas (control y vigilancia) como pasivas (existencia de medios de extinción, de cortafuegos) y disponiendo los residuos de una forma correcta.

#### **MÉTODOS DE CONTROL Y CUANTIFICACION DEL IMPACTO AMBIENTAL**

En general, los impactos ambientales son difícilmente cuantificables y objetivables. Cabe señalar, sin embargo, que existen tres tipos de impacto que de una u otra forma pueden ser medidos; son éstos: los impactos sobre la atmósfera, sobre las aguas y el ruido.

#### **Control del impacto sobre la atmósfera**

Se han de realizar dos tipos de control: control de emisión y control de inmisión. El objeto del primero es detectar migraciones incontroladas y acotar zonas donde deben instalarse dispositivos de intercepción y evacuación de gases. Por otro lado, el objeto de los controles de inmisión es la medida de los contaminantes en puntos distintos del de emisión, con el fin de conocer la dispersión de los contaminantes.

Las mediciones pueden realizarse con métodos instrumentales directos, o bien con métodos indirectos,

haciendo pasar un volumen de aire conocido por un material adsorbente (carbón activo) o absorbente (agua o soluciones acuosas). En general, los métodos instrumentales directos se utilizan para la medición de los gases más comunes (metano, dióxido de carbono, etc.) y los métodos indirectos para las sustancias tóxicas.

### Control del impacto sobre el agua

También se puede hablar de controles de emisión e inmisión.

El control de emisión se realiza mediante la instalación de piezómetros, pozos de pequeño diámetro perforados en la masa de residuos, llegando como mínimo hasta el terreno natural del vaso. Estos pozos están entubados con PVC ranurado, lo que permite la extracción de muestras de agua para su posterior análisis.

El control de inmisión se establece mediante muestreos en pozos y surgencias de los alrededores y en corrientes superficiales aguas abajo. Para la realización de este tipo de control será necesario disponer de un inventario de pozos y surgencias de agua, así como muestras representativas del estado de las aguas antes de comenzar la explotación del vertedero. Estos valores servirán como referencia o «blanco» (ver Tabla I).

### Control de ruido y vibraciones

Se realiza mediante medidas directas con sonómetros y vibrómetros.

## LEGISLACION

### Residuos

Ley 42/1975, de 19 de noviembre, sobre desechos y residuos sólidos urbanos. *B.O.E.*, núm. 280, 21-11-75.

Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos. *B.O.E.*, núm. 120, 20-5-86.

Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986 Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.

Decreto 64/1982, de marzo, por el que se aprueba la reglamentación parcial del tratamiento de los desechos y residuos. *D.O.G.C.*, núm. 218, 21-4-82.

Ley 6/1983, de 7 de abril, sobre Residuos Sólidos Industriales. *D.O.G.C.*, núm. 321, 20-4-83.

Orden de 17 de octubre de 1984, sobre las normas técnicas para los vertederos controlados de residuos industriales. *D.O.G.C.*, núm. 501, 4-1-85.

Orden de 17 de octubre de 1984, sobre Clasificación residuos sólidos industriales. *D.O.G.C.*, núm. 485, 19-12-84.

Orden de 31 de octubre de 1984, sobre las directrices aprobadas para la gestión de residuos sólidos industriales. *D.O.G.C.*, núm. 489, 28-11-84.

Decreto Legislativo 2/1986, de 4 de agosto, de adecuación de la ley 6/1983, de 7 de abril, sobre residuos industriales, a la normativa comunitaria.

Orden de 9 de abril de 1987, sobre impermeabilización de vertederos. *D.O.G.C.*, núm. 833, 29-4-87.

Orden de 9 de abril de 1987, sobre impermeabilización de vertederos. *D.O.G.C.*, núm. 833, 29-4-87.

## Impacto Ambiental

Real Decreto Legislativo 1.302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental. *B.O.E.*, núm. 155, 30-6-86.

Real Decreto, 886/1988, de 15 de julio, sobre prevención de accidentes mayores en determinadas actividades industriales. *B.O.E.*, núm. 187, 5-9-88.

Real Decreto, 1.131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1.302/1986, de 28 de junio de Evaluación de Impacto Ambiental. *B.O.E.*, núm. 239, 5-10-88.

TABLA I. CONTAMINANTES QUIMICOS ORGANICOS EN AGUAS.

Procedencia más probable		
Residuos urbanos	Residuos industriales	Indistinta
<b>Acidos orgánicos.</b> <b>Alcoholes.</b> <b>Aldehidos.</b> <b>Esteres.</b> <b>Cetonas.</b> <b>Amidas.</b> <b>Aminas.</b> <b>Mercaptanos.</b>	<b>Alkilbencenos.</b> <b>Alkilnaftalenos.</b> <b>Hydrocarburos</b> <b>parafínicos lineales</b> <b>o cíclicos.</b> <b>Derivados halogenados.</b>	<b>Terpenos.</b> <b>Plastificantes</b> <b>(ftalatos de dibutilo</b> <b>y dioctilo).</b> <b>Detergentes (auril</b> <b>sulfatos, derivados</b> <b>del óxido de etileno,</b> <b>etc.).</b> <b>Fenoles.</b>

## BIBLIOGRAFIA

AIROLA, T. y KOSSON, D.: «Digital Analysis of Hazardous Waste Site Aerial Photographs». *Journal Water, Pollution Control Federation*. Vol. 61, n.º 2, pp. 180-183 (1989).

ANSOLA MONFORTE, J. M.: «Vertederos Controlados de Residuos Industriales: Situación Actual en el País Vasco». *Revista Técnica del Medio Ambiente*, n.º 3, pp. 35-40 (1988)

CLARK, B. B. et al.: «Assessment of major industrial applications». *Research Repertory*, n.º 13. Department of Environment, London (England) (1976).

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M. R. (Ed.). «Hydrología Subterránea». Ed. Omega, 2396 p., Barcelona (1976).

CUSTODIO, E.: «Aguas Subterráneas y Contaminación de Acuíferos: Diagnóstico de Vulnerabilidad de las Aguas Subterráneas por Vertidos Controlados». *1.º Curso de Ordenación del Territorio*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Lérida (España) (1981).

DAWSON, G.: «Hazardous Waste Management». *John Wiley and Sons*. 532 p., New York (1986).

ESTEVAN BOLEA, M. T.: «Evaluación del Impacto Ambiental». Ed. MAPFRE, Madrid (1984).

FAWCETT, H. Ed.: «Hazardous and Toxic Materials: Safe handling and disposal». 2 Ed. *John Wiley and Sons*. 514 p., New York (1988).

LEOPOLD, L.: «A Procedure for Evaluating Environmental Impacts». *U.S.*

*Geological Survey Circular*. 645-1971. Washington (U.S.A.) (1971).

MARTINEZ ORGADO, C.: «Los Residuos Tóxicos y Peligrosos». *Unidades Temáticas Ambientales de la Dirección General de Medio Ambiente*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 90 p., Madrid (1988).

MOORE, J.: «The Changing Environment». *Springer-Verlag*, 239 p., Berlin (1986).

RELEA, F.: «La Recerca de l'Equilibri entre el Progrés i la Natura». *Espais*, noviembre-diciembre 1988, pp. 16-21 (1988).

RELEA, F.: «Recomanacions Tècniques per a la Restauració i Condicionament dels Espais Afectats per Activitats Extractives». *Generalitat de Catalunya*. Departament de Política Territorial y Obras Públicas. Barcelona (1987).

SALOMONS, W. Ed.: «Environmental Management of Solid Waste Degraded Material and Mine Tailings». *Springer-Verlag*. 396 p., Berlin (1988).

TERZAGHI, PECK R. B.: «Soils Mechanics in Engineering Practice». *John Wiley and Sons*. New York (1967).

VARIOS AUTORES: «Procesi Tecnologie ed Impatto Ambientale dello Scarico Controlato». *Cagliari (Italia)*. *Actas del Congreso del mismo titulo* (1987).

VARIOS AUTORES: «Residuos Tóxicos y Peligrosos: Tratamiento y Eliminación de Residuos». *Monografías de la Dirección General de Medio Ambiente*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid (1989). ■