
PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS URBANOS Y SUS IMPLICACIONES EN LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: EL EJEMPLO DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE COLMENAR VIEJO.

HERRÁEZ SÁNCHEZ DE LAS MATAS, Isabel¹; MONTERROSO PÉREZ, Laura²;
GALLEGO LÓPEZ, Silvia¹ y BAREA LUCHENA, Julio¹

¹Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid.

²ACTEA Gestión Ambiental, www.actea-ga.net

RESÚMEN

En la Comunidad de Madrid actualmente se recogen cada año más de dos millones de toneladas de residuos urbanos, que en gran parte son eliminados finalmente en depósitos ubicados en centros autorizados. Estas instalaciones han supuesto en el pasado, y aún siguen siendo en la actualidad, focos potenciales de riesgo para el medioambiente, y en concreto para las aguas subterráneas de la zona en la que se ubican. La recientemente aprobada Directiva de vertido 99/31/CEE ha establecido los requerimientos mínimos que deben presentar este tipo de instalaciones según las características de los residuos y los condicionantes geológicos del propio emplazamiento. De esta forma los nuevos depósitos controlados son ahora obras de ingeniería complejas y con una adecuada seguridad. El Centro de Tratamiento de Colmenar Viejo constituye un claro ejemplo de la evolución que han sufrido este tipo de instalaciones. El modo de construcción del nuevo vaso de vertido, inaugurado en octubre de 2000 y que se presenta en el vídeo adjunto a esta comunicación (Barea et al, 2000) reúne las medidas adoptadas para una evacuación más segura y fiable a largo plazo de los residuos urbanos eliminados mediante este tratamiento.

PALABRAS CLAVE: contaminación, aguas subterráneas, aureola de contaminación, lixiviado, residuos sólidos, depósitos de residuos, vaso de vertido, geotextil, geomembrana, geomalla, bentonita, geodren.

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos urbanos (RU) surgen como consecuencia de las actividades humanas cotidianas y, actualmente se han convertido en uno de los principales problemas de la sociedad.

La Normativa Estatal (Ley 10/1998 de Residuos y Ley 11/1997 de Envases y Residuos de Envases) fomenta como solución principal a la gestión de este tipo de residuos diferentes vías con el siguiente orden de jerarquización: 1) minimización de la producción de residuos, 2) reutilización, 3) reciclado 4) valorización energética y, finalmente 5) eliminación en depósitos controlados. A pesar de esto el vertido de residuos en depósitos controlados sigue siendo la opción más usada; la causa de esto estriba en que el vertido todavía se considera una de las opciones más económica para la disposición final de los residuos urbanos no susceptibles de aprovechamiento.

Así por ejemplo, en la Comunidad de Madrid, donde anualmente se generan más de dos millones de toneladas de RU, la práctica totalidad de los cuales, más del 80% (1994), son eliminados en alguno de los cinco depósitos de RU que se encuentran activos en la Comunidad, entre ellos el de Colmenar Viejo.

La principal problemática que plantea la evacuación de los RU en estos depósitos controlados es el hecho de que pueden suponer, y de hecho, está suponiendo en muchos casos, un grave riesgo de contaminación de las aguas subterráneas de la zona en donde se ubica el vaso de vertido.

Uno de los principales aspectos que la Directiva 99/31 sobre vertidos indica como requisitos a cumplir a la hora de seleccionar el emplazamiento es la no existencia de aguas tanto superficiales como subterráneas en la zona de vertido.

La presencia de aguas subterráneas, máxime si están próximas a la superficie del terreno, puede afectar tanto a la estanqueidad y estabilidad del depósito como a la generación de lixiviados al entrar en contacto los residuos con el agua subterránea. Con el fin de evitar este serio problema los depósitos de RU deben situarse en zonas en las que el riesgo de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas sea el mínimo posible, impermeabilizándose el fondo del depósito sobre el cual se situará el residuo, instalando drenes de recogida de lixiviados por el fondo y perimetralmente.

Por ello, previo a la ubicación de este tipo de depósitos será conveniente realizar los estudios geológicos e hidrogeológicos pertinentes de la zona de emplazamiento, de forma que en el caso de producirse una fuga puntual de lixiviados, esta no provoque daños irreversibles en las aguas subterráneas ni superficiales.

Algunos de los estudios que se recomiendan previos a la selección del emplazamiento de RU son (Herraéz, 1999): la caracterización hidrogeológica del emplazamiento, la determinación del movimiento del agua subterránea, el estudio de la calidad del agua y de los efectos de la contaminación y la probabilidad de que esta llegue al acuífero. Además son de suma importancia los estudios relacionados con la afección de las aguas subterráneas teniendo en cuenta los procesos de atenuación y retención en la zona no saturada, la propagación de los contaminantes mediante modelización, considerando las características hidráulicas, químicas y el comportamiento de los lixiviados.

La contaminación que sufren las aguas subterráneas depende, fundamentalmente, del tipo y cantidad de lixiviado que se genere, de la permeabilidad del sustrato, del contenido de arcillas presente en la formación geológica (por su carácter impermeable) y del poder autodepurador de la zona no saturada o saturada.

Por tanto siempre que resulte viable, deberá buscarse una geología que se caracterice por presentar materiales impermeables de manera que los propios materiales del vaso de vertido constituyan una barrera a la contaminación de las aguas subterráneas por los lixiviados. Bien es cierto que en muchas ocasiones será necesario reforzar esta barrera natural con otras barreras artificiales. La Directiva 99/31 recomienda al respecto que la barrera artificial tenga una permeabilidad menor de 10^{-9} m/s y un espesor mayor o menor de cinco metros si se trata de depósitos de residuos peligrosos o de depósitos de residuos no peligrosos, respectivamente.

Los lixiviados generados en el depósito de residuos a partir de los RU podrán llegar o no a las aguas subterráneas y contaminarlas dependiendo de diferentes factores (Herráez, 1981):

- a) *Climatológicos*, la producción de lixiviados es función de la precipitación (P) y evapotranspiración (ET) en la zona. Si $P > ET$ el lugar se considerará favorable a la propagación de la contaminación ya que la generación de lixiviados será elevada.
- b) *Topográficos*, las zonas elevadas suelen coincidir con zonas de recarga de los acuíferos, un depósito en esa zona puede contaminar un importante volumen de agua subterránea.
- c) *Geológicos*, las características de los materiales subyacentes al vaso de vertido, especialmente su permeabilidad, influyen directamente en la propagación de la contaminación de los acuíferos; esta contaminación se verá favorecida en terrenos cuya permeabilidad es mayor de 10^{-5} m/s, quedando dificultada en terrenos de baja permeabilidad, menor de 10^{-9} m/s.

Los materiales que sufren fenómenos de karstificación (calizas, dolomías), serán altamente vulnerables a la contaminación.

- d) *Hidrogeológicos*, profundidad del nivel saturado (se considera necesario al menos 10 m de espesor de la zona no saturada, EPA 1988) ya que la menor o mayor profundidad favorece la propagación o retención de contaminantes.
- e) *Hidrogeoquímicos*, Los lixiviados, una vez introducidos en el acuífero, definen una aureola de contaminación con origen en el depósito de residuos y que se dispersa siguiendo el flujo del agua subterránea. A lo largo de su recorrido la contaminación se irá atenuando gracias a los procesos hidrogeoquímicos de precipitación, intercambio iónico, adsorción, oxidación-reducción, complejación, etc.

De acuerdo con esto se definen tres zonas en base al contenido de oxígeno, la relación nitrógeno reducido/nitrato, a la presencia de metano y la relación manganeso/hierro. Estas zonas son (Baedecker & Back, 1979):

- Anaeróbica en el fondo del vertedero con generación de metano, amonio,

sulfhídrico y movilización de hierro y manganeso. La reducción de nitratos y sulfatos puede originar la precipitación simultáneamente de sulfuros y de hierro.

- De transición, o mezcla entre el lixiviado y el agua subterránea, las condiciones son menos –reductoras, coprecipitando el hierro y manganeso en forma de hidróxidos.
- Aeróbica, se produce un intercambio entre el agua subterránea y el lixiviado, alcanzando los nitratos y sulfatos los valores presentes en el acuífero.

Como consecuencia del peligro de contaminación de las aguas subterráneas por causa de la influencia de un depósito de residuos, surge en Europa la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido, donde se establecen las pautas y características que deben tener los depósitos de nueva creación. Pero además de los requisitos indicados en esta Directiva sería conveniente que se tuviera en cuenta, a la hora de seleccionar el emplazamiento más adecuado, otros aspectos que han sido valorados en un estudio realizado recientemente mediante análisis multicriterio (Monterroso et al, 2001).

Teniendo como marco los criterios recogidos en esta Directiva se han comenzado a efectuar nuevos depósitos de vertido, ya que el periodo de transposición se cumplía en abril del año 2001. Un ejemplo de las fases de evolución que han ido teniendo este tipo de instalaciones y que han visto reducidos considerablemente los posibles riesgos de contaminación de las aguas subterráneas son las distintas fases del Centro de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos de Colmenar Viejo y que se presenta mediante en video (Barea et al, 2000).

2. EL CENTRO DE TRATAMIENTO DE COLMENAR VIEJO

El Centro de Tratamiento de Colmenar Viejo fue inaugurado en el año 1985, dentro del Plan Coordinado de Actuación de Residuos Sólidos Urbanos (PCARSU) y ha ido paulatinamente evolucionando en sus instalaciones y en el acondicionamiento del vaso de vertido con sustanciales mejoras en la actualidad. Se sitúa a tres kilómetros de este municipio, en la carretera a San Agustín de Guadalix y recibe actualmente los residuos de 83 municipios de la zona Norte y Oeste de la Comunidad de Madrid, entre los cuales cabe destacar por su volumen de vertidos: Alcobendas, Collado Villalba, Colmenar Viejo, San Sebastián de los Reyes y Tres Cantos. Esta instalación permitió que dichos municipios vieran sustituidos sus puntos de vertido incontrolado por un depósito de residuos controlado.

2.1. Fases de operación

El depósito de residuos consta de tres fases de operación que se corresponden con el período de tiempo en el que fue construido y puesto en marcha.

- **Fase I:** iniciada en 1985, clausurada en 1995;
- **Fase II:** iniciada en 1995, clausurada en 2000.

• **Fase III:** Inaugurada en octubre del año 2000.

La **primera fase** de este Centro fue inaugurada en el año 1985. En la instalación del depósito de residuos se realizó un acondicionamiento del terreno consistente en la excavación del vaso y una red de drenaje inferior.

Aunque inicialmente se calculó una vida útil de dieciséis años, esta fase finalmente se clausuró en marzo de 1995, iniciándose entonces las obras de sellado. Estas se completaron en 1997 con una remodelación topográfica, la impermeabilización superior de la zona de vertido y los taludes, la canalización de aguas pluviales, control de aguas subterráneas, captación del biogás, control y recogida de lixiviados.

La **segunda fase** comenzó a funcionar en 1995 efectuándose durante su construcción la excavación y la ubicación de un dique de contención y una red de drenaje inferior. Esta fase se mantuvo en operación hasta el segundo semestre del año 2000, soportando un vertido medio diario de 1.000 toneladas. La cantidad total de residuos almacenados supera el millón de toneladas.

La elevada producción de lixiviados junto con la falta de una adecuada impermeabilización del vaso de vertido obligaron a instalar, en 1998, una red de pozos de extracción de lixiviados, una red de control de posibles fugas mediante piezómetros automáticos, pantallas de bentonita y zanjas perimetrales drenantes. Además se amplió la red de pozos de captación del biogás instalada inicialmente.

A finales de 1998 se procedió al sellado parcial de parte del depósito mediante la cubrición de los taludes con geomembranas y arcillas, quedando definitivamente sellada a finales del año 2000.

La **tercera fase** se inauguró en octubre del año 2000. Su construcción se proyectó en 1998 en vista de las carencias detectadas en las fases anteriores y teniendo como marco de referencia las exigencias de la Directiva de Vertido, en aquel momento, a punto de aprobación.

Se trata de un vaso de vertido construido en la vaguada contigua a la fase II, formado a su vez por tres vaguadas que se explotarán de forma sucesiva, de modo que nunca haya dos vasos en explotación (Ver Figura 1). Presenta una capacidad de casi tres millones de metros cúbicos, descontando el volumen de los diques y de las cubriciones. Su vida útil, según las previsiones de reducciones en las tasas de producción de residuos y fracciones susceptibles de ser dispuestas en depósitos controlados, está estimada en 12 años.

2.2. Construcción del vaso de vertido

En la construcción del actual vaso de vertido (fase III) se han adoptado los diferentes requerimientos (ARPROMA, 2000) establecidos en la Directiva 1999/31/CE. Esta norma



Figura 1. Vista aérea de las vaguadas que constituyen el vaso de vertido de la fase III durante su construcción.

establece que “la protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas de superficie se realizará mediante la combinación de una barrera geológica y un revestimiento inferior, en la explotación, y un revestimiento superior durante la clausura”.

Previamente a la construcción de un depósito controlado es preciso caracterizar geológica e hidrogeológicamente el emplazamiento, puesto que de ello depende en gran medida la estabilidad y estanqueidad del vaso de vertido y en definitiva los riesgos de afecciones al entorno.

Una vez seleccionado el emplazamiento para esta instalación, se procedió a excavar la zona para acondicionar el terreno y dar forma al vaso, efectuando una limpieza y desbroce del mismo. Con el objetivo de asegurar la contención y apoyo de los residuos se construyeron dos diques cerrando las vaguadas este y oeste en su parte inferior. Después se procedió a la instalación del revestimiento del vaso con materiales aislantes para limitar y controlar el movimiento de los lixiviados y de los gases. Este vaso de vertido cuenta con diferentes capas para la protección de las aguas subterráneas y la recogida de los lixiviados, de diferente composición y/o disposición en el fondo y los taludes laterales.

2.2.1. Capas de revestimiento del fondo

El fondo del vaso de vertido está cubierto por una capa de arcilla y dos geomembranas, de polietileno de alta densidad, que sirven como barreras mixtas impermeables para impedir el movimiento del lixiviado y del gas fuera del vaso de vertido. Las geomembranas se protegen a su vez por capas de geotextil de polipropileno, que además evitan la mezcla con las capas de arena y grava (Ver Figura 2).

Las capas de arena o grava sirven para la recogida y drenaje de lixiviados o de posibles aguas subterráneas en el fondo del vaso de vertido. Estas capas de drenaje se completan con una instalación de tuberías corrugadas y perforadas para recoger los lixiviados o las aguas subterráneas.

La geomalla y el geotextil sirven además para conducir el lixiviado presentando una capacidad de drenaje semejante a una arena gruesa.

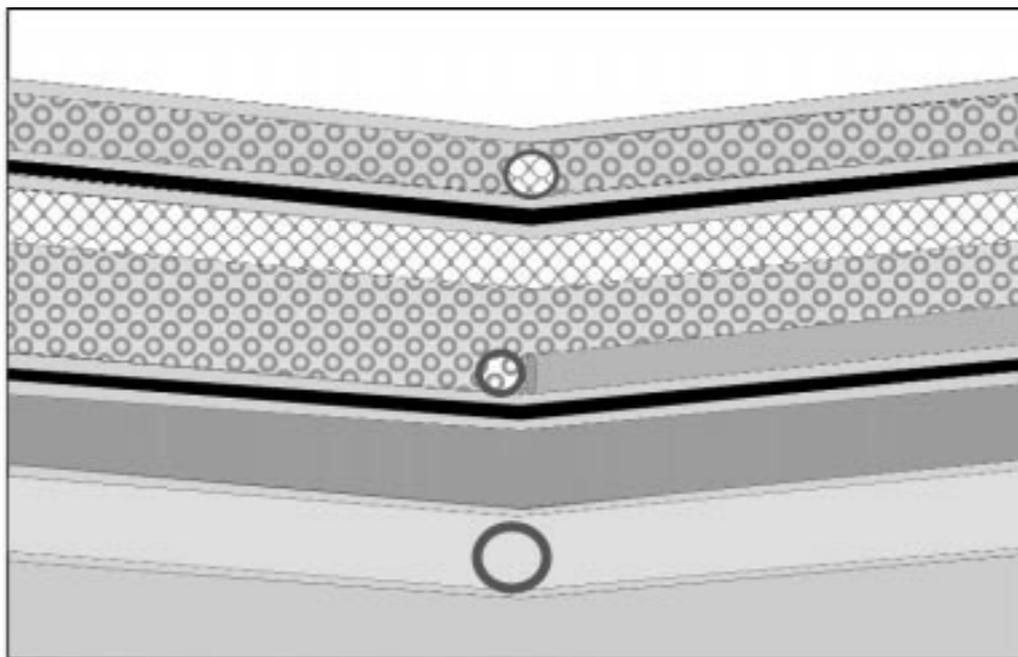


Figura 2. Sistema de impermeabilización del fondo del vaso de vertido

2.2.2. Capas de revestimiento de los taludes

El sistema de revestimiento de las paredes del vaso es diferente al empleado para el fondo (Ver Figura 3) por condicionantes de la pendiente y de la operatividad, de tal forma que:

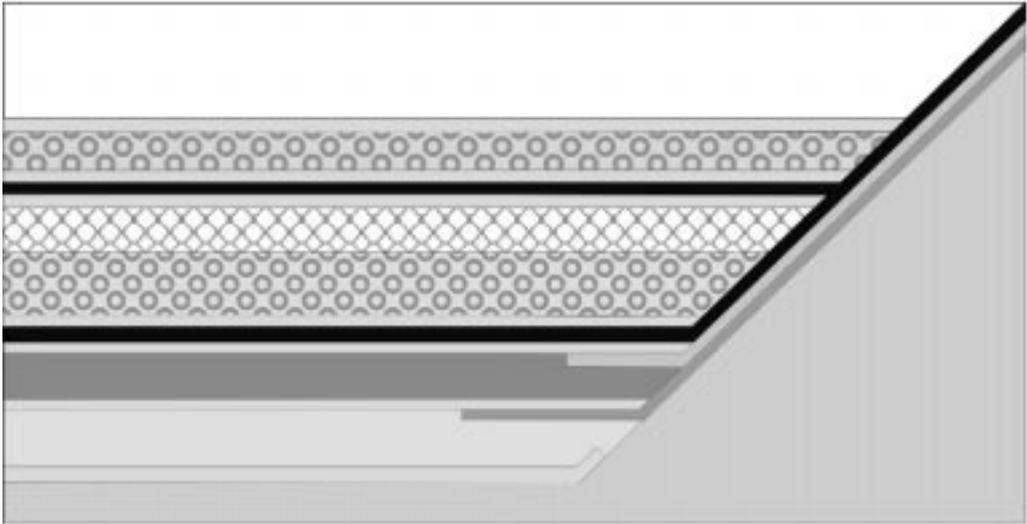


Figura 3. Sistema de impermeabilización de los taludes del vaso de vertido.

La capa de arcilla de 50 cm se convierte en una capa de bentonita sódica. La capa de drenaje es un geodren o geomalla. Además la geomembrana empleada es texturizada o rugosa por ambas caras para evitar deslizamientos en las zonas de pendiente mayor de 6%.

2.2.3. Drenajes para la recogida de lixiviados y aguas limpias

En el depósito de Colmenar se han instalado tres sistemas de drenaje para asegurar la evacuación de las aguas subterráneas y los lixiviados de forma separada (Ver Figura 2).

El primero, por el fondo del vaso, sirve para recoger las posibles surgencias de agua subterránea quedando constituido por una capa de gravas y una tubería de drenaje, en los taludes se sustituye por una geomalla o geodren, solapándose ambas. Las aguas recogidas por esta red de drenaje se canalizan a un depósito del cual descargan por gravedad directamente al arroyo.

El segundo sistema de drenaje queda limitado por geomembranas y funciona como sistema de detección de fugas de lixiviados de la capa superior. Consta de una capa de gravas y una tubería de drenaje colocada en forma de espina de pez recorriendo todo el fondo del depósito.

El tercer sistema, similar al anterior pero con un tamaño de grava menor, es el que canaliza el lixiviado hacia un sumidero al pie del dique. Desde allí mediante el bombeo a través de

dos tuberías se transporta directamente a la balsa de lixiviados. Además cuenta con un sistema de evacuación por gravedad como mecanismo de seguridad.

Todos los sistemas de recogida de lixiviados y de almacenamiento son de polietileno de alta densidad, resistentes a la corrosión.

Las aguas pluviales son recogidas mediante cunetas perimetrales que rodean los dos vasos de vertido y desaguan directamente en los arroyos.

Los lixiviados de este vaso junto con los procedentes de las fases una y dos, son bombeados a la balsa de regulación. De aquí pasan a la planta de tratamiento donde son sometidos a un proceso biológico aerobio y a un sistema de ultrafiltración en membranas orgánicas. Mediante este sistema se elimina el 90 % del nitrógeno y la materia orgánica y el 99 % de los sólidos en suspensión, alcanzando los niveles adecuados para poder verter al arroyo.

2.3. Instalaciones accesorias

Además de esta compleja constitución del vaso de vertido el nuevo centro de tratamiento de Colmenar cuenta con diferentes instalaciones

- Edificios de control y oficinas
- Laboratorios
- Básculas
- Red de alumbrado, alcantarillado y agua potable.
- Surtidor para el combustible
- Vías de acceso
- Área de recepción de voluminosos
- Cierre perimetral
- Así como la planta de reciclaje y recuperación de envases.
- A estas instalaciones se añadirá en un futuro un punto limpio.

3. CONCLUSIONES

Actualmente la selección de los nuevos emplazamientos para el vertido de RU deberá cumplir la Directiva 99/31/CE, que tendría que ser transpuesta a la legislación española en este año 2001. Sin embargo para la ubicación de los vertederos existentes anteriormente no se tuvieron, en muchos casos, más consideraciones que la proximidad al centro productor y el efecto visual obviando otros problemas como la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas de la zona.

Este motivo ha provocado no pocos casos de contaminación de las aguas subterráneas debido a las inadecuadas características hidrogeológicas y de estanqueidad y estabilidad

del terreno, pero que en muchas ocasiones han pasado desapercibidos, por falta de mecanismos de vigilancia y control.

Se pone de relieve actualmente la importancia que reviste un buen reconocimiento hidrogeológico del emplazamiento durante la selección del mismo así como una caracterización del estado de calidad química del agua subterránea.

Por otra parte la ejecución del vaso de vertido considerando los requisitos de permeabilidad indicados en la Directiva 99/31 y en los casos necesarios utilizando materiales de revestimiento sintéticos suficientemente ensayados hará que se eviten y minimicen los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas garantizando las condiciones de impermeabilidad y estanqueidad.

Para asegurar el buen funcionamiento y la ausencia de problemas de fugas de lixiviados se requieren además sistemas de vigilancia y control, piezómetros, pozos de captación y sistemas de evacuación y extracción inmediata de lixiviados que funcionen durante tanto la fase de explotación como la fase de clausura, debiendo estar operativos durante un periodo postclausura de treinta años, según indica la Directiva.

BIBLIOGRAFIA

- ARPROMA (2000) "Estación de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos de Colmenar Viejo (UTG 3) Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional. Arrendamientos y Promociones de la Comunidad de Madrid. Dirección de Calidad Ambiental. Comunidad Autónoma de Madrid.
- BAEDECKER, M.J. & BACK, W. (1979) "Hydrogeological processes and chemical reactions at a landfill" *Ground Water* 17, nº 5, 429-437.
- BAREA, J.; GALLEGO, S.; HERRÁEZ, I. (2000) "Construcción de un depósito controlado. El Centro de Tratamiento de Colmenar Viejo" Vídeo de 20 minutos. Comunidad de Madrid-Universidad Autónoma de Madrid.
- HERRÁEZ, I. (1981) " Factores condicionantes de la contaminación de las aguas subterráneas por vertidos sólidos urbanos en el área Metropolitana de Madrid" Jornadas sobre Análisis y Evolución de la contaminación de las aguas subterráneas en España. Barcelona. CIHS/AIH, pp.263-269.
- HERRÁEZ, I. (1999) "La contaminación de las aguas subterráneas por vertederos y depósitos enterrados en España: visión desde la investigación". Jornadas sobre La contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente. Valencia, pp295-304.
- HERRÁEZ, I.; BAREA, J.; GÓNZALEZ-GALLEGO, J; MIR, A.; LÓPEZ-SAMANIEGO, E. (1998) " Asesoramiento para el acondicionamiento y sellado del vertedero de Colmenar Viejo, 2ª fase" Informe interno para la Dirección General de Calidad Ambiental. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional. Comunidad de Madrid.
- MONTERROSO, L.; OROMENDIA, E.; HERRÁEZ, I. (2001) "Evaluación del emplazamiento de vertederos mediante análisis multicriterio basado en la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos" *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, vol. XXIV, pp. 341-350. VII Simposio de Hidrogeología. Murcia.