



Proyecto HD-VERTERE: Impacto del pretratamiento de residuos en la explotación de vertederos

A. Lobo García de Cortázar, M. Cuartas Hernández, A. L. Esteban-García, A. Molleda Riaño, X. Moreno-Ventas Bravo, M. F. Román Sánchez, A. López Martínez, M. García Ortiz
Universidad de Cantabria | www.unican.es



INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han realizado grandes avances para la protección del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. En materia de Residuos Sólidos, en particular, se ha pasado en pocos años de contemplar el vertedero controlado (o "relleno sanitario") como la mejor solución técnica para su gestión a buscar opciones de vertido cero, mediante reciclaje y valorización de

gran parte de los materiales desechados. Por otro lado, y con el objetivo de minimizar las emisiones en vertedero, los rechazos finales suelen someterse a un proceso de estabilización antes de ser depositados. A consecuencia de esta evolución, las características de los materiales vertidos hoy en día son muy diferentes a los que se recibían en los vertederos tradicionales. Ello obliga a adaptar los criterios de diseño, explotación, clausura e incluso vigilancia y

mantenimiento posclausura, de estas instalaciones.

En Europa específicamente gran parte del residuo que llega a los vertederos ha pasado previamente por una planta de tratamiento mecánico-biológico (TMB). Estas plantas TMB incluyen etapas de separación de materiales reciclables que no hayan sido recuperados previamente, y posteriormente algún tipo de tratamiento biológico, aerobio o anaeróbico, llamado bio-



estabilización, que reduce la biodegradabilidad de la fracción orgánica para disminuir las emisiones líquidas y gaseosas en el vertedero.

Distintos grupos de investigación, fundamentalmente europeos, han estudiado a lo largo de la última década el comportamiento de estos nuevos residuos en vertedero. Se ha comprobado en laboratorio y en campo que, efectivamente, al estar más degradado el residuo que se vierte, la contaminación tanto gaseosa como líquida que éste genera en contacto con el agua es menor, y que los asentamientos durante la operación también se reducen. Sin embargo todavía quedan incógnitas abiertas, como cuantificar dicha reducción en distintos casos, o evaluar el efecto a largo plazo.

España es un caso particular dentro del espectro europeo. Mientras que en Alemania, Austria y otros países todo el residuo pretratado es eliminado, gran parte de las instalaciones de nuestro país incluyen un tratamiento de afino tras la bioestabilización, que permite separar las impurezas o "rechazos" de la materia orgánica estabilizada, que es empleada para acondicionamiento de suelo en distintos usos. Estas prácticas hacen que los resultados disponibles no sean directamente extrapolables a las instalaciones de nuestro país.

Para obtener información en este campo se viene desarrollando desde 2013 el proyecto HD-VERTERE: Hidrología y Degradación en VERTederos de REchazos (hdvertere.unican.es), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad en el marco del VI Plan Nacional I+D+i. El proyecto está liderado por el Grupo de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cantabria, que trabaja en colaboración con el Grupo de Ecología de la misma universidad y



otros centros de investigación, como el Departamento de Microbiología de la Universidad de Málaga, el Grupo de Gestión de Residuos Sólidos de la Universidad de Southampton y el Grupo de Geotecnia Ambiental de la Universidad de Braunschweig. Asimismo, las investigaciones se desarrollan con la colaboración de la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria, a través de la empresa pública MARE. HD-VERTERE tiene como objetivo conocer los procesos hidrológicos y de degradación en los nuevos vertederos de residuos municipales. De esta forma se podrá cuantificar el potencial contaminante de estas instalaciones, y así optimizar económica y ambientalmente su diseño y explotación en las distintas etapas de vida.

ACTIVIDADES DESARROLLADAS

El proyecto contempla distintos tipos de actividades, que abarcan trabajo de gabinete, tareas de laboratorio y de

campo. Los siguientes párrafos resumen las actividades y resultados principales obtenidos hasta el momento.

Caracterización detallada del residuo

Como primer análisis en detalle y para evaluar diferencias según el tipo de gestión del residuo municipal y el tratamiento mecánico biológico al que es sometido, se analizaron en laboratorio muestras del rechazo generado en varias plantas TMB.

Para determinar opciones de recuperación y aprovechamiento, de cada muestra se evaluó por un lado el reparto porcentual de los distintos materiales (papel y cartón, cáscaras y semillas, madera, textil, plástico rígido, plástico flexible, goma, vidrio, cerámica y piedras, metal y huesos) y su distribución granulométrica, diferenciando materiales en las fracciones menor que 4 mm, mayor que 20 mm e intermedia.

Por otro lado se realizaron los ensayos típicos para evaluar el potencial



contaminante en vertedero, como son la humedad, potencial bioquímico de metano y lixiviabilidad.

Ensayos específicos

Se diseñaron ensayos en columnas de laboratorio de distintas dimensiones: columnas "pequeñas", de 8 cm de diámetro y 20 cm de altura, y columnas "intermedias", de 22 cm de diámetro y 80 cm de altura. Para estos ensayos fue necesario acondicionar el residuo, reduciendo el tamaño de partícula mediante tamizado (eliminando las partículas de mayor tamaño) o recortando las piezas mayores hasta reducirlas por debajo del tamaño máximo fijado (8 mm).

En ambas escalas y con el residuo acondicionado (bien por tamizado o por reducción de tamaño) se realizaron ensayos de percolación, para evaluar el efecto de lavado de contaminantes a medida que el agua va pasando a través del residuo, simulando así el efecto de la lluvia a lo largo del tiempo.

Además se llevaron a cabo ensayos de trazadores para analizar la evolución del flujo de agua en cada columna.

Para un mismo tipo de residuo, los

resultados de los ensayos variaron en función tanto de la escala como de las condiciones en que se introdujo el residuo, lo que implica que la información obtenida en laboratorio no es directamente trasladable a las condiciones de campo. En consecuencia no se puede confiar por completo en los ensayos estandarizados de lixiviación (UNE; Percolación) para estimar las emisiones que se darán en vertedero.

Construcción de celda experimental

Precisamente buscando relaciones entre observaciones de laboratorio y comportamiento en la realidad, en los últimos meses de 2014 se construyó una celda piloto experimental en el seno de la zona de explotación del vertedero de Meruelo (Cantabria, España), que forma parte del Complejo Medioambiental de Meruelo.

En Cantabria se recogen separadamente las fracciones de vidrio, envases ligeros, y papel y cartón. El complejo recibe la fracción resto de los residuos urbanos (materiales no recogidos separadamente, mezclados) recogidos en

toda la región. Esta fracción es tratada en una planta TMB que obtiene como resultado varias corrientes de material reciclable recuperado de la mezcla (entre ellos compost, que se emplea en agricultura) y rechazos del tratamiento de afino de esta última fracción. Los rechazos son enviados al vertedero para su adecuada estabilización final. Con este material de rechazo se configuró la celda piloto experimental, que se describe en los siguientes apartados.

LA CELDA PILOTO

Descripción

La celda piloto, de planta cuadrada con lado de 30 m y 4 m de altura, se construyó sobre la cobertura intermedia de la primera capa de residuos. Como aislamiento inferior se colocó una lámina plástica sobre la capa arcillosa intermedia, y un murete perimetral de 50 cm para aislamiento del contorno lateral. Además la celda quedó cubierta por 30 cm de material arcilloso similar al empleado como cobertura intermedia en las capas de explotación. Sobre la superficie se construyó otro murete perimetral de 50 cm de altura, para control de la escorrentía superficial en la zona piloto.

El diseño y construcción se basaron en experiencias anteriores del equipo de investigación en instrumentación y seguimiento de vertederos [Lobo et al., 2006]. Además de sistemas convencionales para el seguimiento y toma de muestras de lixiviados y escorrentía (dos pares de caudalímetros / conductivímetros en línea), se instalaron varios elementos de monitorización continua in situ en varios puntos en el interior del residuo. Esto ha hecho posible un seguimiento detallado de los procesos hidrológicos y de degradación en respuesta a las condiciones ambientales y de operación. La instrumentación está distribuida dentro de la masa de residuos en 3 niveles y 4 puntos cada nivel (Figura 1), e incluye cuatro

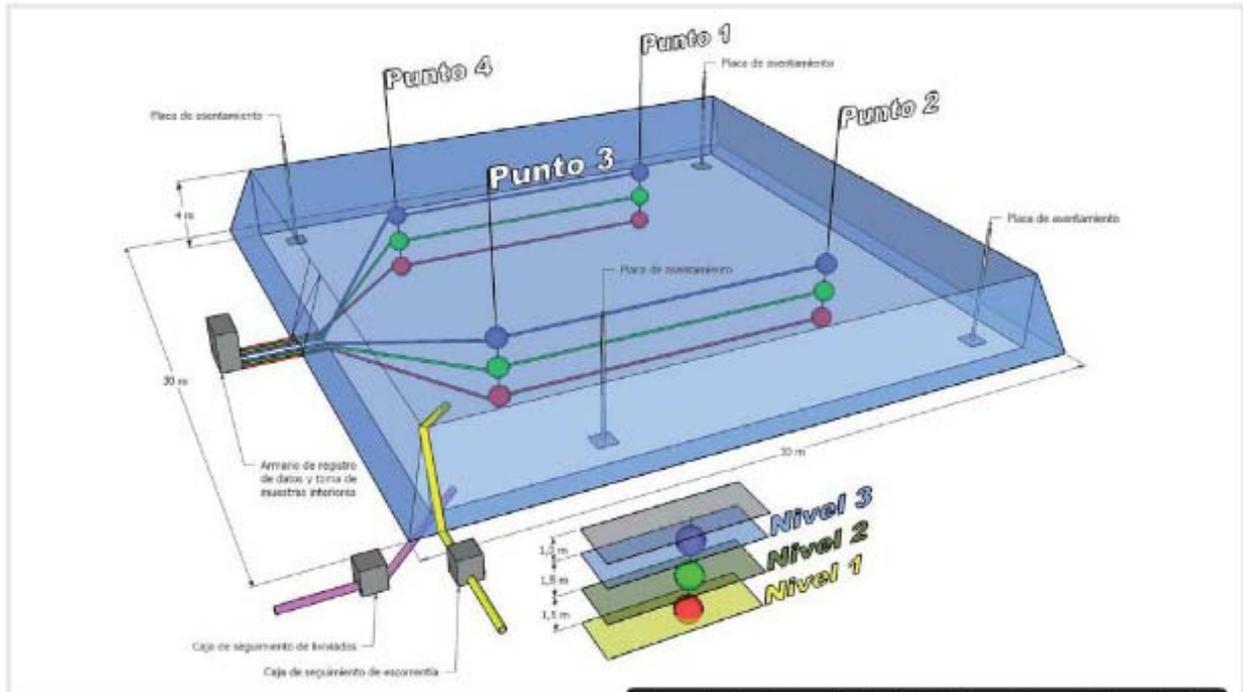


Figura 1. Puntos, niveles y otros elementos de instrumentación en la celda experimental

piezómetros (situados en el nivel inferior), 12 termómetros (PT100) y 12 tomamuestras de gas / líquido.

El plan experimental incluye la recopilación y análisis de los datos de instrumentación, y el muestreo periódico y análisis en laboratorio del lixiviado, escorrentía y del gas recogido tanto en los tomamuestras interiores como en la superficie de la celda.

Además se está evaluando la evolución microbiológica en el tiempo mediante análisis puntuales de muestras de lixiviado con PCR-DGGE (denaturing gradient gel electrophoresis).

Primeros resultados

El Gráfico 1 recoge los registros de temperatura de las sondas PT100 en contacto con el residuo a distintas profundidades en los puntos 2 y 4 durante los primeros meses de seguimiento. Cada punto de seguimiento está representado por el número de situación en planta (2 ó 4 en este caso), seguido del número correspondiente a la profundi-

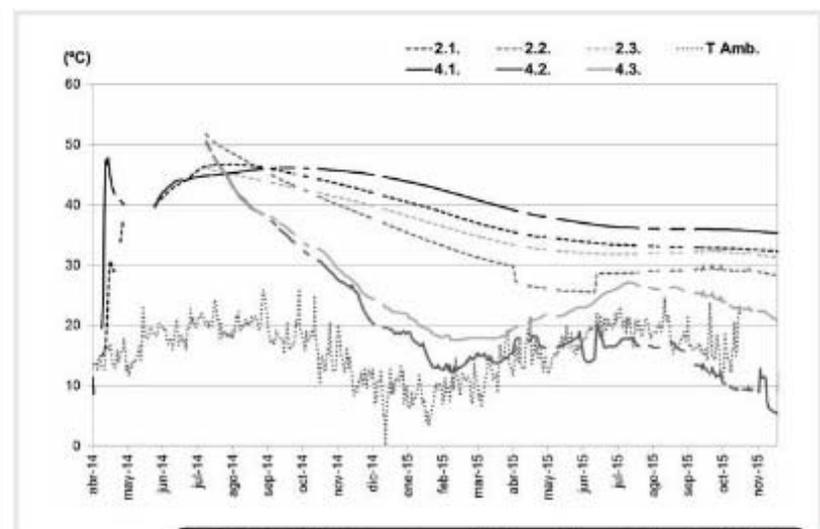


Gráfico 1. Evolución de temperaturas en seis de los puntos de seguimiento en la celda piloto

dad del sensor (1 el nivel más profundo, 2 el intermedio y 3 el más superficial).

Los rechazos de afino se llevan a vertedero inmediatamente después del TMB, en el que se alcanzan temperaturas por encima de los 50°C. Esto explica las altas temperaturas registradas desde la construcción de la celda piloto. Sin embargo, mientras que los termómetros

situados en el fondo se mantienen en valores elevados, el resto registra un descenso continuo de la temperatura, provocado por la influencia del contorno. Este efecto es más pronunciado en los puntos 3 y 4 porque se encuentran más próximos al perímetro de la celda en contacto con el aire (el resto está confinado entre residuos del propio ver-



Tabla 1. Rango de algunos parámetros de calidad del lixiviado durante los primeros meses de seguimiento

Parámetros*	Celda experimental	Vertedero tradicional joven	Vertedero tradicional maduro
pH	7,9 - 9,4	4,5 - 7,5	6,5 - 7,5
DBO5 (mg/L)	200 - 16.000	2.000 - 30.000	100 - 200
DQO (mg/L)	10.000 - 73.000	3.000 - 60.000	50 - 500
COT(mg/L)	3.000 - 27.000	1.500 - 20.000	80 - 160
SDT (mg/L)	21.000 - 72.000	8.000 - 50.000	1.000 - 3.000
NT (mg/L)	3.000 - 7.500	100 - 1.000	80 - 120
N-NH4 (mg/L)	2.000 - 5.600	10 - 800	20 - 40
Cl ⁻ (mg/L)	1.000 - 13.000	200 - 3.000	100 - 500

* DBO5: Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días; DQO: Demanda química de oxígeno; COT: Carbono orgánico total; SDT: sólidos disueltos totales; NT: nitrógeno total; Cl⁻: cloruros.

tedero). En una instalación real este efecto de contorno tendrá una influencia menor, pues al ser el volumen mayor de residuos, la superficie y profundidad de enterramiento aumentan, favoreciendo un mayor aislamiento. Modificando las prácticas de explotación (cobertura intermedia, alturas de capa, etc.) las altas temperaturas pueden favorecerse para acelerar la degradación, o atenuarse en caso de riesgo de incendio, por ejemplo.

Las primeras medidas de caudal de lixiviado muestran una respuesta rápida del caudal a la lluvia. Al tener que circular por una altura pequeña, el agua llega rápidamente al fondo de la celda, aumentando el caudal al comenzar la lluvia y descendiendo en cuanto ésta cesa. El pequeño espesor de la celda ha dificultado el seguimiento continuo de caudales: se han llegado a medir valores entre 5 L/h en tiempo seco y 100 L/h con lluvia, lo que impide seguir con precisión, con un mismo instrumento, todo el rango.

La calidad del lixiviado se analiza en muestras puntuales tomadas cada mes. La Tabla 1 reúne los rangos en que han variado distintos parámetros hasta el momento, en comparación con rangos de referencia observados en vertederos "convencionales" jóvenes y maduros (Tchobanoglous et al., 1994).

El pH básico del lixiviado es típico de un vertedero maduro, donde el residuo queda bastante degradado. No coincide, sin embargo, con lo observado en laboratorio, donde se obtuvieron valores iniciales por debajo de 7. Esto parece indicar que alguno de los materiales utilizados en vertedero y no analizados en laboratorio (árido de drenaje, cobertura) altera la composición del lixiviado generado. En la actualidad se están realizando ensayos de lixiviación sobre

los materiales empleados en la celda para comprobar este extremo. En cualquier caso debe tenerse en cuenta esta influencia, sobre todo al tratar de extrapolar análisis parciales, por ejemplo de laboratorio, a la realidad.

Las altas concentraciones de sólidos disueltos en general, así como de compuestos orgánicos (DQO, DBO, COT) y especialmente del nitrógeno amoniacal, muestran que el residuo todavía no está estabilizado. Por otro lado, estas concentraciones muestran gran variación con el caudal de lixiviado, con altos valores cuando el caudal es pequeño que disminuyen al crecer el caudal, lo que revela el efecto de dilución por lluvia. Estudiando la evolución de algunos contaminantes (Gráfico 2), se comprueba también que las concentraciones descienden paulatinamente en el tiempo, mostrando el efecto de lavado a medida que el agua va arrastrando la contaminación. Para muchos componentes las notables concentraciones iniciales descienden hasta menos de un tercio al cabo de los tres primeros meses. Es consecuencia de la liberación de contaminantes sólidos que se ha producido en el pretrata-



Tendido de la instrumentación en la celda experimental

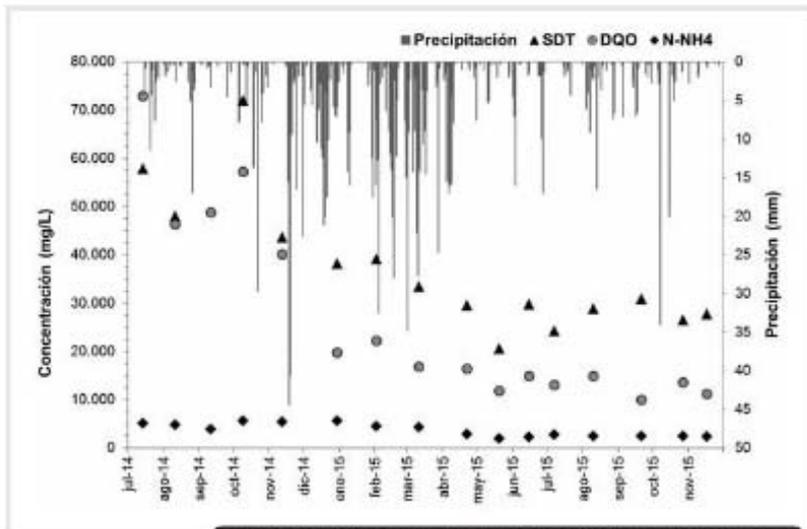


Gráfico 2. Evolución de algunos contaminantes del lixiviado en la celda experimental

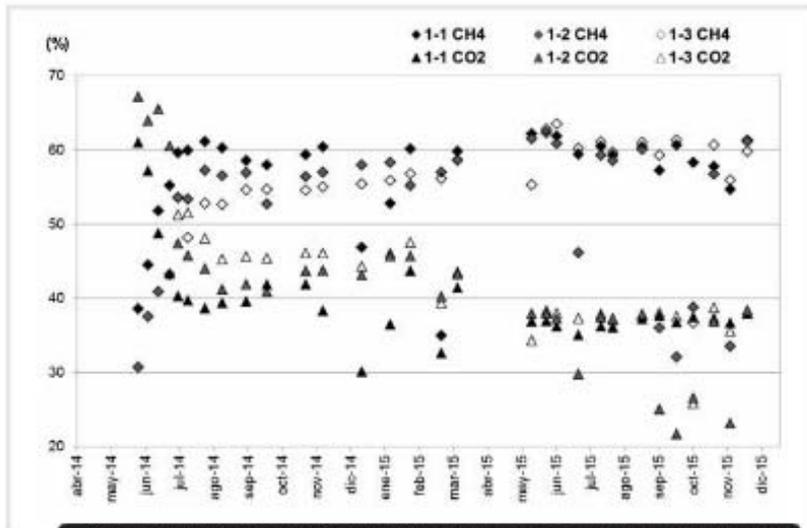


Gráfico 3. Evolución de la composición del gas a distintas alturas del punto 1, interior a la celda experimental

miento biológico. Al llegar a vertedero estos compuestos se solubilizan y son arrastrados fácilmente, disminuyendo enseguida la cantidad disponible.

El descenso en el tiempo es más pronunciado en los componentes orgánicos, fruto de una degradación activa que también se manifiesta en el biogás. Es destacable el caso del nitrógeno amoniacal que, a pesar de una disminución inicial, mantiene concentraciones muy por encima de las habituales. La causa es la amonificación del nitrógeno orgánico en la planta TMB, que deja

disponible gran cantidad de nitrógeno amoniacal desde el momento del depósito del residuo. En vertederos convencionales la liberación del amonio es un proceso gradual, pues no ha habido descomposición previa, y por ello este compuesto suele ser problemático en el largo, y no en el corto plazo.

El Gráfico 3 muestra la composición del gas recogido en los tomamuestras situados a distintas alturas en el punto 1, dentro de la celda. Tres meses después de la construcción de la celda la composición del gas es similar en todos los pun-

tos, con gran concentración de CH_4 que sobrepasa la de CO_2 , lo que revela que la metanogénesis ya se ha instaurado.

IMPLICACIONES EN LA EXPLOTACIÓN

La principal consecuencia de estos resultados es que los vertederos de rechazos actuales no deben confundirse con depósitos de residuos inertes. En contacto con la atmósfera y el agua de lluvia los rechazos generados en plantas TMB en nuestro país se van a degradar, dando lugar a contaminación del lixiviado y a gases que pueden resultar molestos, tóxicos y tener efecto en el calentamiento global.

Existe una gran variación en la contaminación potencial entre residuos pretratados en plantas diferentes. Sin embargo, hay aspectos que son comunes en todas las situaciones actuales. Desde el punto de vista operacional, por ejemplo, el residuo a depositar presenta una granulometría más homogénea, y mayor proporción de partículas finas, lo que está permitiendo alcanzar mayores grados de compactación durante la operación, pero también provoca molestias por suspensión de finos (polvo) o formación de barro después de las lluvias.

Según lo que hemos observado hasta el momento, el lixiviado que puede generarse presenta concentraciones muy elevadas de contaminantes, fundamentalmente orgánicos, desde la puesta en marcha de la explotación. Ello obliga a tener previsto un tratamiento o gestión adecuada desde el comienzo, que debe considerar especialmente las altas concentraciones iniciales de nitrógeno amoniacal. Este contaminante solía ser problemático en el largo plazo, pero la degradación biológica previa al vertido parece favorecer su liberación. En consecuencia, se prevén concentraciones menores en el futuro, al ir quedando lavado el residuo.

La rápida liberación de la materia só-



lida provoca una instauración acelerada de las condiciones metanogénicas, lo que implica que, en operación, deberá adelantarse la cobertura de los residuos para reducir las emisiones de efecto invernadero. Además, si se pretende un aprovechamiento del biogás, los sistemas de extracción activa deberían instalarse en coordinación con el avance en el área de explotación.

TRABAJO FUTURO

La aparición temprana de mayores cargas contaminantes en forma líquida y gaseosa implica que el potencial contaminante se reduce aceleradamente y, por tanto, que las emisiones futuras serán menores. El vertedero se convierte, por tanto, en una instalación sostenible a largo plazo, que es lo que se pretende con el pretratamiento del residuo. Para comprobar este extremo todavía nos falta evaluar tanto la cantidad de contaminación liberada en el futuro como los plazos en que se producirá esta liberación.

El Grupo de Ingeniería Ambiental seguirá investigando en esta dirección. En lo que atañe a este proyecto, se continuará manteniendo el seguimiento de la celda, analizando las diferencias entre laboratorio y campo y modelizando ma-



temáticamente los resultados. Para ello se ha creado un modelo de la celda experimental con la herramienta de simulación dinámica de vertederos MODUELO (Cuartas, 2013) (Figura 2). Una de las tareas en curso es la calibración del modelo con los datos de campo, con el objetivo de obtener parámetros que permitan trasladar lo observado en la celda experimental a instalaciones con residuos parecidos pero distinta meteorología u otras formas de explotación.

REFERENCIAS

- Cuartas, M. (2013). Optimización del diseño de vertederos de residuos sólidos basada en modelización. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. Santander, España, 348 pp.
- Lobo, A., López A. y Cobo, N. (2006). Instrumentación para el control de vertederos de residuos urbanos. Revista Técnica de Medio Ambiente (RETEMA), C & M Publicaciones. N°114, pp. 72 – 80.
- Tchobanoglous, G., Theisen H. y Vigil, S. (1994). Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw Hill, Madrid.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, a través del proyecto CTM2012-35055, y cofinanciado por el Fondo Europeo para el Desarrollo Regional, FEDER (periodo de operación 2007-2013).

Los autores agradecen la colaboración del Gobierno de Cantabria, a través de la empresa pública MARE, y la UTE Vertedero de Meruelo, empresa explotadora del vertedero.

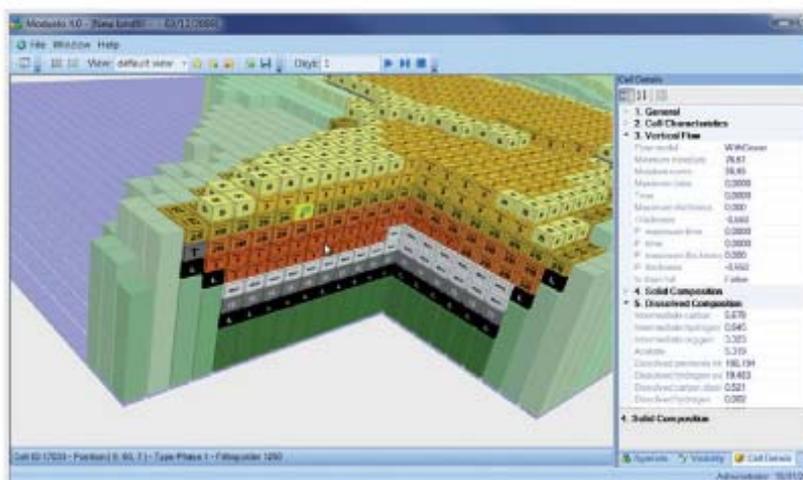


Figura 2. Discretización del terreno en la herramienta MODUELO. Ejemplo de pantalla de consulta de resultados

28
AÑOS DE
TRAYECTORIA
1987 - 2015

RETEMA

Revista Técnica de Medio Ambiente

www.retema.es

Nº 187 | NOVIEMBRE/DICIEMBRE 2015



REPORTAJE
Centro de Valorización
de Residuos de
SOLOGAS

Nuevo paquete sobre
economía circular:
cerrando el círculo

REPORTAJE
Optimización del
Centro de Tratamiento
de Gavà - Viladecans

Impermeabilización de
la celda E del vertedero
de Milà II, Menorca

Alternativas para el
aprovechamiento
energético de RSU

SUMARIO

NOVIEMBRE - DICIEMBRE 2015

AÑO XXVIII - N° 187

CDR FRENTE A LA BAJADA DE PRECIOS DE COMBUSTIBLES FÓSILES

Página 6

NUEVO PAQUETE SOBRE ECONOMÍA CIRCULAR: CERRANDO EL CÍRCULO
CARLOS MARTÍNEZ ORGADO. FUNDACIÓN PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR

Página 8

REPORTAJE

CENTRO DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE SOLOGAS. AS SOMOZAS, GALICIA

Página 17

ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Página 34

IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CELDA E DEL VERTEDERO DE MILÀ II. MENORCA

Página 44

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESTOS DE PODA MEDIANTE GASIFICACIÓN

Página 52

REPORTAJE

OPTIMIZACIÓN DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE GAVÀ-VILADECANS. BARCELONA

Página 59

PROYECTO HD-VERTERE: IMPACTO DEL PRETRATAMIENTO DE RESIDUOS EN LA EXPLOTACIÓN DE VERTEDEROS

Página 70

REPORTAJE

REMODELACIÓN DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE LORCA. MURCIA

Página 78

CONTROL DE EMISIONES DE PARTÍCULAS EN EQUIPOS DE COMBUSTIÓN DE BIOMASA

Página 84

LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL NUEVO PEMAR

Página 92

NOTICIAS

Página 104
