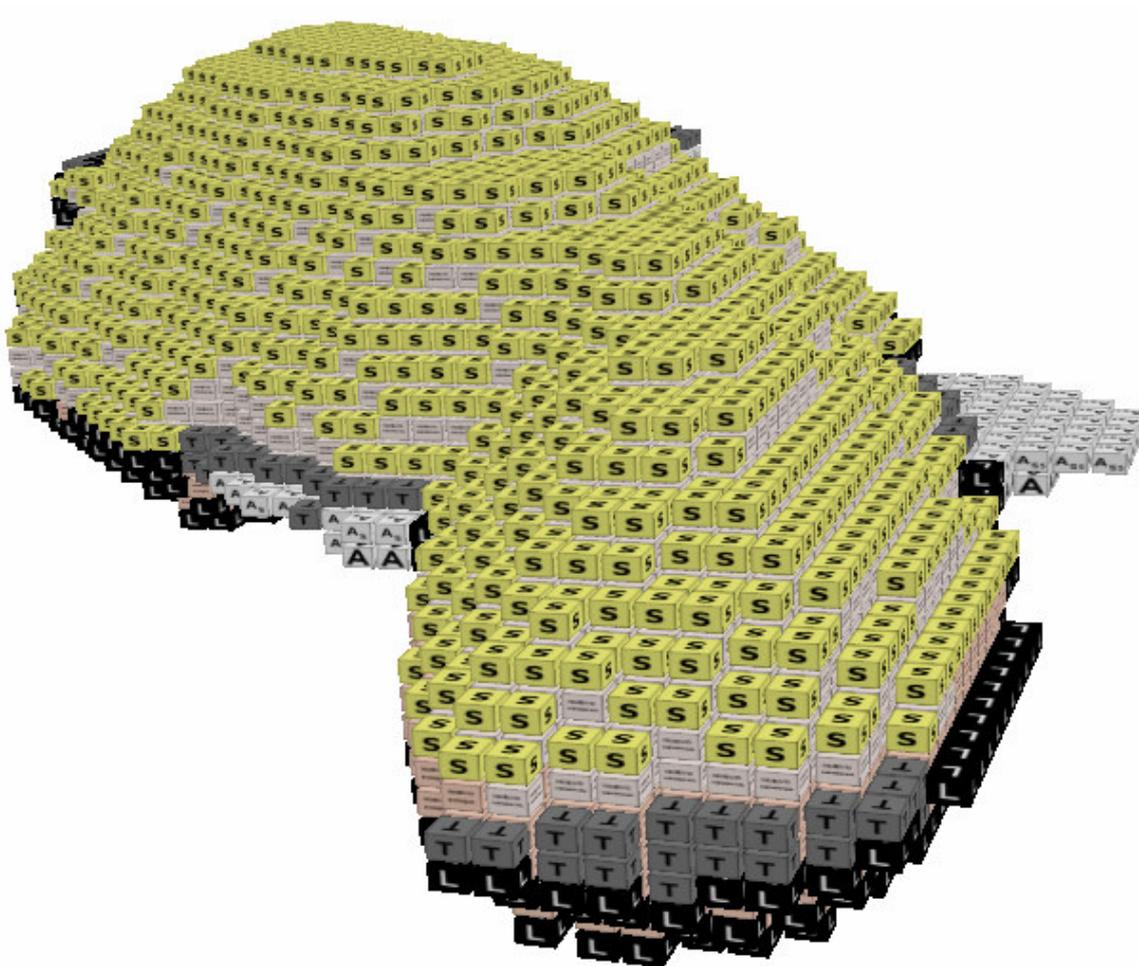


MODUELO 4.0 MANUAL DE USUARIO

Junio 2009



GRUPO
DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Departamento de Ciencias y Técnicas del
Agua y del Medio Ambiente



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Prólogo

La versión MODUELO 4.0 es una versión completamente renovada del programa, basada en los modelos incluidos en las versiones anteriores MODUELO 2 y MODUELO 3.0. Considerando los modelos matemáticos adoptados previamente para representar los distintos fenómenos a simular, se han optimizado los algoritmos de cálculo y programado en una nueva plataforma, que facilita el empleo del programa por parte del usuario así como su desarrollo y adaptación futuros.

Pretende ser una guía introducción al uso del programa. Para la justificación y desarrollo de los modelos incluidos se remite al lector los documentos técnicos descriptores de las versiones anteriores: "Desarrollo de MODUELO 2: herramienta para la evaluación ambiental de vertederos de residuos sólidos urbanos" (2003) y "Herramienta de gestión y biorrecuperación de suelos contaminados por vertederos de residuos sólidos urbanos. Manual Técnico" (2003).

En los siguientes apartados se presenta la estructura funcional del programa, los modos de introducción de datos, simulación y gestión de resultados.

En el propio programa se han insertado "ToolTips", letreros explicativos que aparecen al desplazar el puntero del ratón sobre los elementos de las distintas ventanas. La misión de estos letreros es describir la función de un determinado botón, mostrar las unidades de datos o resultados, el significado específico de una determinada variable, etc.

MODUELO 4.0

MANUAL DE USUARIO

Contenido

Prólogo	III
Índice de figuras	9
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 Descripción general del programa.....	12
1.2 Instalación y requerimientos mínimos del equipo.....	14
2 UNIDAD DE SIMULACIÓN	17
2.1 Introducción	17
2.2 Creación del modelo del terreno	19
2.2.1 Conversión del fichero DXF.....	19
2.2.2 Creación del modelo.....	27
2.2.3 Paletas de colores (Palettes)	34
2.2.4 Tipos de celdas (Cell types).....	37
2.2.5 Tipos de sistemas de recolección de lixiviados (Leachate collection types).....	47
2.2.6 Tipos de escorrentía (Run-off types).....	50
2.3 Modelo de generación de residuos (Waste generation model).....	55
2.3.1 Componentes (Components)	55
2.3.2 Periodos de generación (Generation periods).....	56
2.3.3 Simulaciones (Simulations)	62
2.4 Modelo meteorológico (Meteorological models).....	66
2.5 Tipos de sistemas de recirculación de lixiviados (Leachate recirculation types)	68
2.5.1 Tipos de sistemas de recirculación de lixiviados durante la explotación del vertedero (Leachate recirculation types during landfill operation).....	68
2.5.2 Tipos de sistemas de recirculación de lixiviados tras la clausura del vertedero (Leachate recirculation types after landfill closure)	73
2.6 Modelos de almacenamiento de lixiviado (Leachate storage models)	73
3 SIMULACIÓN	77
3.1 Generación de una nueva simulación (New model simulation)	77
3.2 Simulación visual (Visual simulate)	81

4	VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS	84
4.1	Resultados finales de cada celda (Final cell data in grid)	84
4.2	Resultados globales diarios (Global daily data in grid)	89
4.3	Resultados en el visor (Results in designer)	91
4.3.1	Resultados en el visor (Results in designer).....	91
4.4	Otros resultados de la simulación	96
4.4.1	Carpeta celdas (Cells).....	96
4.4.2	Carpeta tipos de recolección de lixiviados (Leachate collection types).....	101
4.4.3	Carpeta flujos de lixiviado (Leachate streams).....	101
4.5	Gráficas de resultados (View current data in graphic format)	102
5	ESTUDIO DE RESULTADOS MEDIANTE HOJA DE CÁLCULO EXTERNA.....	104
6	BIBLIOGRAFÍA.....	105

Índice de figuras

Figura 1. Ventana de inicio del programa MODUELO.....	15
Figura 2. Ventana principal del programa MODUELO	18
Figura 3. Menú Models de la ventana principal del programa	19
Figura 4. Ventana de definición de los parámetros de discretización del modelo del terreno	20
Figura 5. Ventana Datos del Conversor de Ficheros.....	22
Figura 6. Ventana Datos con los puntos originales importados del fichero DXF del terreno	23
Figura 7. Discretización del terreno y puntos originales del fichero DXF	25
Figura 8. Discretización del terreno y puntos originales del fichero DXF con celdas añadidas	25
Figura 9. Modelo del terreno con las cotas calculadas.....	26
Figura 10. Menú Models de la ventana principal del programa.	27
Figura 11. Menú principal del modelo de terreno.	28
Figura 12. Ventana Datos del Nuevo Modelo.	28
Figura 13. Ventana nombre de la vista seleccionada.	30
Figura 14. Ventana de la opción de vista del modelo <i>Visibility</i>	32
Figura 15. Ventana de la opción de vista del modelo <i>Symbols</i>	33
Figura 16. Selección y añadido de celdas en el terreno.....	34
Figura 17. Ventana de definición de un nuevo color en la paleta	35
Figura 18. Vista en tablas (Edit in grid) de las paletas de colores	36
Figura 19. "Arrastre" de la paleta de colores a la carpeta <i>Layers</i> del modelo	37
Figura 20. Ventana de definición de un nuevo tipo de celda Vertedero.....	38
Figura 21. Ventana de definición de un nuevo tipo de celda Suelo.....	44
Figura 22. Ventana de definición de un nuevo sistema de recolección de lixiviados tipo Grava	47
Figura 23. Ventana de definición de las direcciones de la escorrentía.....	51
Figura 24. Ejemplo de selección de celdas para definir un tipo de manejo de escorrentía superficial.....	52
Figura 25. Ejemplo de terreno con cuatro tipos de gestión de escorrentía superficial	52
Figura 26. Tipos de gestión de escorrentía superficial.....	53
Figura 27. Ejemplo de definición de un sistema gestión de agua mediante caballones.....	55
Figura 28. Ventana de definición de un nuevo periodo de generación de residuos	57

Figura 29. Ventana de definición de una nueva simulación de generación de residuos.....	63
Figura 30. Ejemplo de ventana de resultados de simulación de generación de residuos.....	65
Figura 31. Ventana de definición de un nuevo modelo meteorológico	66
Figura 32. Vista de fichero XLS a cargar con datos meteorológicos.....	67
Figura 33. Vista de datos de un día en un modelo climatológico.....	68
Figura 34. Ventana de definición de un nuevo sistema de recirculación de lixiviados tipo Prehumectación	69
Figura 35. Ventana de definición de un periodo de recirculación	70
Figura 36. Ventana de definición de un nuevo modelo de almacenamiento de lixiviados.....	74
Figura 37. Ventana de definición de las características del almacenaje de lixiviados.....	75
Figura 38. Ventana de definición de una nueva simulación.....	77
Figura 39. Ventana de definición de los modelos de la simulación.	78
Figura 40. Ventana de definición de las celdas a seguir en detalle a lo largo de la simulación.....	79
Figura 41. Ventana de definición de las opciones de simulación	80
Figura 42. Ventana de inicio de una simulación visual	82
Figura 43. Vista de un proyecto de simulación después de un mes simulado	83
Figura 44. Ventana inicial de los resultados finales de cada celda.....	84
Figura 45. Ventana inicial de resultados globales diarios.	89
Figura 46. Ejemplo de consulta de resultados en el visor gráfico.....	91
Figura 47. Ejemplo de gráfica de resultados.....	103



1 INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción general del programa

MODUELO es un programa de ordenador cuyo propósito general es la simulación de vertederos como herramienta para el diseño, gestión y biorrecuperación de vertederos de residuos sólidos urbanos. La versión 4 ha sido desarrollada sobre la plataforma .Net de Microsoft (.Net Framework 3.5) con el entorno de desarrollo Visual Studio 2008 y el lenguaje de programación C#. Como gestor de base de datos se utiliza SQL Server 2008. Permite estimar, diariamente, los datos de humedad, caudal de lixiviado, flujos a través del contorno, asientos y cantidad de biogás generado, a partir de una representación tridimensional de un vertedero cuya forma se actualiza instantáneamente mediante un modelo de producción y sobre la que se aplica un modelo de flujo no saturado tridimensional.

Se puede encontrar el diagrama de flujo que representa el funcionamiento básico del modelo tridimensional y una explicación del mismo en la documentación técnica que acompaña a las versiones anteriores.

Los datos de entrada para crear el modelo de vertedero se pueden dividir en cuatro grandes grupos, que el usuario define de manera independiente:

- Meteorología
- Producción de residuos
- Morfología, funcionamiento y modo de explotación del vertedero
- Gestión de lixiviados

Cada grupo de datos está constituido por una o más entidades que agrupan los datos necesarios, lo que permite crear simulaciones de diferentes escenarios combinando entidades seleccionadas de cada grupo. Los datos en cada caso se definen a través de las ventanas correspondientes. Para facilitar el manejo de series temporales de datos (series meteorológicas, de lixiviados enviados a plantas de tratamiento, series de residuos...) existe la opción de cargarlas directamente desde hojas de cálculo externas al programa (Microsoft Excel) donde pueden editarse si no se desea hacerlo directamente en el programa.

Como en versiones anteriores, la discretización temporal básica del programa `_el incremento unitario de tiempo en los cálculos_` se ha fijado en una hora. Esto hace posible emplear el modelo determinista de Horton para el cálculo de la infiltración,

evitando el empleo de tablas o gráficos experimentales que, por otra parte, tampoco están disponibles en España de manera generalmente aceptada como sucede con las curvas S.C.S. en EE.UU.

El área de vertido y el propio depósito de residuos sólidos, se discretiza tridimensionalmente a partir de una digitalización del terreno, consistente en un fichero de puntos con coordenadas x , y , z . Para controlar (y definir si se desea) visualmente la discretización el programa incluye una herramienta gráfica tridimensional (Diseñador Visual) que permite generar la geometría y definir elementos y características de los mismos de manera sencilla: situación de cada una de las celdas del vertedero, orden de llenado de las mismas, ubicación de los drenes, caballones, etc. Esta herramienta además se complementa con un visor de ficheros DXF que facilita al usuario la comparación de la representación del vertedero en MODUELO con las características reales de la instalación a simular.

Los datos del sistema (definición del modelo, resultados, etc.) se almacenan en una base de datos relacional SQL Server pudiendo ser exportados, desde la aplicación, a ficheros Microsoft Excel para su consulta y/o edición externa.

Como resultado de cada simulación se generan varias tablas:

- Seguimiento temporal de celdas
- Seguimiento temporal de sistemas de recolección de lixiviados
- Seguimiento temporal de distintas corrientes de lixiviados
- Estado final de las celdas del vertedero
- Seguimiento temporal de variables globales del vertedero

El programa permite consultar directamente los datos, crear gráficos combinando diversas series de datos o exportar los resultados a ficheros Microsoft Excel para su gestión y consulta externa. El estado de las celdas al final de cada simulación puede consultarse además a través del Visor Gráfico.

Por otro lado, el estado final de las celdas del vertedero después de una simulación puede ser utilizado como estado inicial para simulaciones posteriores, reduciendo de esta forma los tiempos de ejecución en simulaciones largas.

1.2 Instalación y requerimientos mínimos del equipo

Los requerimientos mínimos para la instalación y ejecución del sistema son: procesador Intel Pentium, 512 Mb de memoria RAM, 2 Gb de disco duro y sistema operativo Windows XP. Los requerimientos recomendados dependen de la magnitud del modelo a simular pero orientativamente podemos establecer un procesador Pentium Dual Core, 2 Gb de memoria RAM, 20 Gb dedicados de disco duro y sistema operativo Windows XP.

En cuanto al monitor, para una correcta visualización del programa, la resolución mínima sería de 1024x768 pixels. En cualquier caso, dada la arquitectura multidocumento de la interface es recomendable utilizar monitores con resoluciones mayores, especialmente para el análisis de resultados.

El programa emplea como gestor de Bases de Datos la versión 2008 del paquete Microsoft SQL Server 2008 Express Edition. Es por tanto imprescindible que el equipo tenga instalada esta versión para que el programa pueda ejecutarse. Además también necesita tener instalado el Microsoft .NET Framework 3.5 y la herramienta gráfica Microsoft SQL Server Management Studio Express. Estos tres programas se distribuyen gratuitamente.

El proceso de instalación de los programas necesarios para el funcionamiento de la versión 4.0 de MODUELO es el siguiente:

1. Instalar el Microsoft .NET Framework 3.5 siguiendo los pasos que aparecen en pantalla.
2. Instalar el Microsoft SQL Server 2008 Express Edition y, después, el Microsoft SQL Server Management Studio Express.
3. Copiar la carpeta MODUELO Ejecutable en un directorio del equipo (por ejemplo Archivos de Programa).
4. Abrir el programa SQL Server Management Studio Express.
5. Aparece una ventana para "conectar al servidor" en la que se muestra el nombre identificador del PC y el programa (nombrePC\SQL_EXPRESS). Anotar dicho nombre.
6. Pulsar la tecla *conectar*.
7. Abierto el programa SQL Server Management Studio Express pulsar el botón derecho sobre la carpeta Bases de datos y seleccionar la opción *Adjuntar*.
8. Aparece la ventana *Adjuntar bases de datos*. Pulsar el botón *Agregar*.

9. Seleccionar la base de datos a adjuntar (fichero de extensión.MDF, en este caso Moduelo.MDF) en la ventana correspondiente. Pulsar *Aceptar*.
10. Pulsar el símbolo + en la base de datos elegida para desplegar todas las carpetas.
11. Pulsar sobre la carpeta *Tablas*: aparecen todas las tablas de la base de datos.
12. Abrir la tabla *dbo.Usuarios* pulsando sobre ella el botón derecho y seleccionando la opción *Editar las primeras 200 filas*.
13. En el apartado *LoginWindows* aparecen dos nombres separados por una barra (\). El primero es el nombre del equipo y el segundo el del usuario de Windows. Cambiar en el apartado *LoginWindows* del *UsuarioID 1 (UsuarioNombre Administrator)* estos datos con los correspondientes al ordenador en el que se instala el programa. Pulsar INTRO.
14. Cerrar el SQL Server Management Studio Express.
15. En la carpeta *MODUELO Ejecutable* abrir el fichero de configuración, *Moduelo.exe.config* con el Bloc de notas. En la fila 26 de este fichero aparece el siguiente texto:

```
<dataSource id="Moduelo"... = XXX\SQL_EXPRESS ; Initial Catalog=...
```
16. Sustituir *XXX\SQL_EXPRESS* por el texto que aparecía al abrir SQL Server Management Studio Express (instrucción 5). Cerrar el archivo de bloc de notas guardando los cambios.
17. La aplicación se ejecuta con "Moduelo.exe". Aparece la Figura 1, donde, pulsando la opción *Windows integrated authentication*, se abrirá el programa.



Figura 1. Ventana de inicio del programa MODUELO

Para la desinstalación, es recomendable usar la opción "Agregar o quitar Programas" del Panel de Control de Windows, para evitar que queden archivos inútiles en carpetas del sistema.

Se recomienda disponer en la configuración de pantalla de su monitor el uso de "fuentes pequeñas" que es con la que se ha realizado el diseño de las ventanas. No obstante ha sido probado con las fuentes grandes y no debería dar ningún problema. Esta propiedad de Windows es accesible mediante la secuencia: "Menú Inicio" -> "menú Configuración" -> "menú Panel de Control" -> "Icono del monitor" -> "Pestaña de Configuración".

2 UNIDAD DE SIMULACIÓN

2.1 Introducción

Los datos necesarios para efectuar una simulación se han dividido en cuatro bloques:

- **Meteorología**, donde se almacenan las series temporales de las variables meteorológicas (humedad relativa del aire, precipitación, radiación solar, temperatura del aire, velocidad del viento)
- **Generación de residuos**, con todos los parámetros que caracterizan los residuos que llegan al vertedero (peso, composición, humedad, densidad, etc.)
- **Almacenamiento de lixiviados**, donde se definen las características del depósito de lixiviados así como las series temporales de los volúmenes que extraídos a plantas de tratamiento.
- **Modelo del vertedero**, con todos aquellos aspectos referentes a la disposición geométrica del vertedero (topografía del área de vertido, situación de cada celda, orden de llenado....) y características de la discretización (dimensiones horizontales de las unidades elementales en que se divide el modelo de vertedero, llamadas "celdas", espesor de las capas, tipología de las celdas, situación de los drenes, celdas sometidas a recirculación, escorrentía superficial,...). El modelo de vertedero se configura con distintos tipos de elementos cuyas características fija el usuario para cada instalación a estudiar:
 - Paleta de colores
 - Celdas
 - Gestión de la escorrentía.
 - Evacuación de lixiviados
 - Recirculación de lixiviados

El modelo de vertedero es la entidad fundamental de simulación, que se crea a partir de las entidades básicas. Para cada modelo el usuario puede definir distintos escenarios de simulación, combinando datos diferentes submodelos de meteorología, generación de residuos y almacenamiento de lixiviados.

Además se puede activar la simulación de distintos fenómenos en cada caso, según las **variables a estudiar**:

- Balance hidrológico superficial.
- Flujo vertical en el interior del vertedero.

- Flujo horizontal en el interior del vertedero.
- Biodegradación.
- Asentamiento.
- Almacenamiento de lixiviados.
- Recirculación de lixiviados.

Tanto las entidades básicas, como los modelos y las simulaciones de estos se gestionan desde la ventana principal "MODUELO" que se muestra en la Figura 2 a continuación.



Figura 2. Ventana principal del programa MODUELO

2.2 Creación del modelo del terreno

2.2.1 Conversión del fichero DXF

El programa lee el modelo de terreno a partir de ficheros XML. Este tipo de fichero se genera a partir de una representación del terreno sobre el que se localiza el vertedero obtenida por levantamiento topográfico o un plano digitalizado en formato DXF.

Esta operación comprende las siguientes etapas:

- Definición de los parámetros de discretización.
- Carga del fichero DXF.
- Modificación de los datos originales en caso necesario.
- Discretización del plano original.
- Modificación de la discretización en caso necesario.
- Cálculo de las cotas de las celdas del modelo.
- Creación del fichero XML.

Abierto el programa, se pulsa el botón derecho del ratón sobre la carpeta Models, y se selecciona el conversor de ficheros DXF *Open DXF Converter*, como muestra la Figura 3.

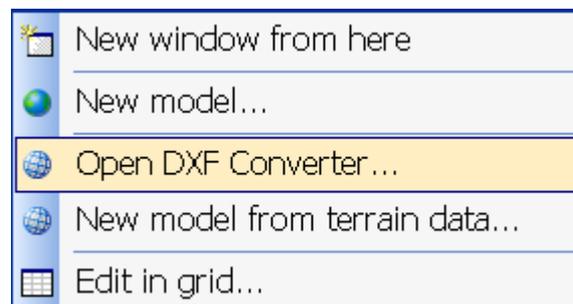


Figura 3. Menú Models de la ventana principal del programa

2.2.1.1 Parámetros de discretización

Al abrir el conversor de ficheros DXF aparece la ventana mostrada en la Figura 4.

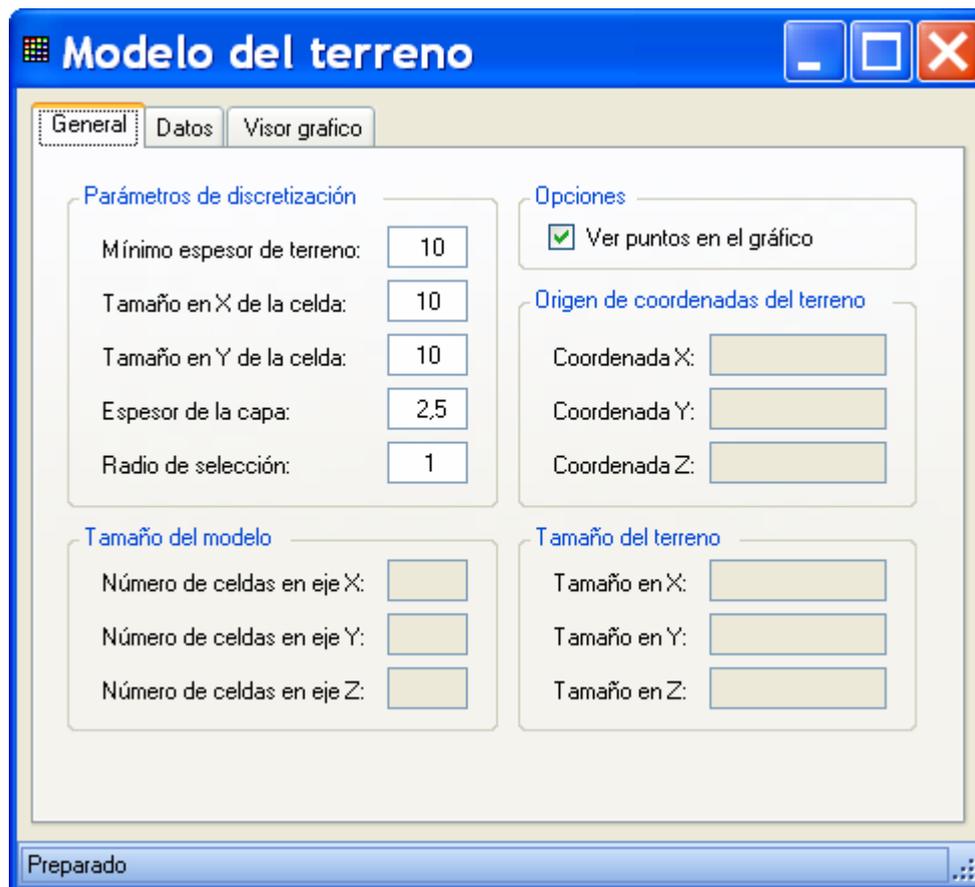


Figura 4. Ventana de definición de los parámetros de discretización del modelo del terreno

- Pestaña general (**General**)

En esta pestaña se definen los parámetros de discretización del modelo del vertedero.

Parámetros de discretización (Discretization parameters)

- Mínimo espesor del terreno (Minimum terrain thickness): espesor mínimo del terreno propuesto para el modelo del vertedero. Es el valor de la cota mínima del modelo del terreno (cota mínima expresada en los ejes de coordenadas del modelo). Este parámetro permite facilitar la representación gráfica del modelo, reduciendo la longitud del eje z en los casos en que el vertedero se encuentre en cotas elevadas. Debe ser menor que la cota mínima del modelo. Dato en m.
- Tamaño en X de la celda (Cell Xlength): longitud en X de cada celda del modelo de vertedero. Dato en m.
- Tamaño en Y de la celda (Cell Ylength): longitud en Y de cada celda del modelo de vertedero. Dato en m.

- Espesor de la capa (Layer thickness): altura de las capas en que el programa discretizará la altura del vertedero. Dato en m.
- Radio de selección (Selection radius): número de celdas que el programa creará alrededor de cada punto original del plano, pero sin ampliar los límites del modelo (dados por los puntos originales extremos en cada coordenada).

En esta pestaña también figuran los siguientes apartados, que se actualizarán automáticamente una vez una vez creado el modelo del terreno.

Tamaño del modelo (Model cells)

- Número de celdas en eje X (Number of cells in X): número de celdas del modelo del terreno en el eje X.
- Número de celdas en eje Y (Number of cells in Y): número de celdas del modelo del terreno en el eje Y.
- Número de celdas en eje Z (Number of cells in Z): número de celdas del modelo del terreno en el eje Z.

Opciones (Options)

- Ver puntos en el gráfico (View original points): permite visualizar los puntos del plano original al representar gráficamente el modelo.

Origen de coordenadas del terreno (Local axis origin)

Muestra las coordenadas del origen del modelo respecto al origen del plano original.

- Número de celdas en eje X (X coordinate): origen de la coordenada X del modelo respecto al sistema de coordenadas del plano original.
- Número de celdas en eje Y (Y coordinate): origen de la coordenada Y del modelo respecto al sistema de coordenadas del plano original.
- Número de celdas en eje Z (Z coordinate): origen de la coordenada Z del modelo respecto al sistema de coordenadas del plano original.

Tamaño del terreno (Model size)

- Tamaño en X (X size): longitud del terreno en el eje X. Dato en m.
- Tamaño en Y (Y size): longitud del terreno en el eje Y. Dato en m.
- Tamaño en Z (Z size): longitud del terreno en el eje Z. Dato en m.

2.2.1.2 Carga de los puntos originales del fichero DXF

Definidos los parámetros de discretización se selecciona la pestaña Datos (Data) (Ver Figura 5).

- Pestaña Datos (**Data**)



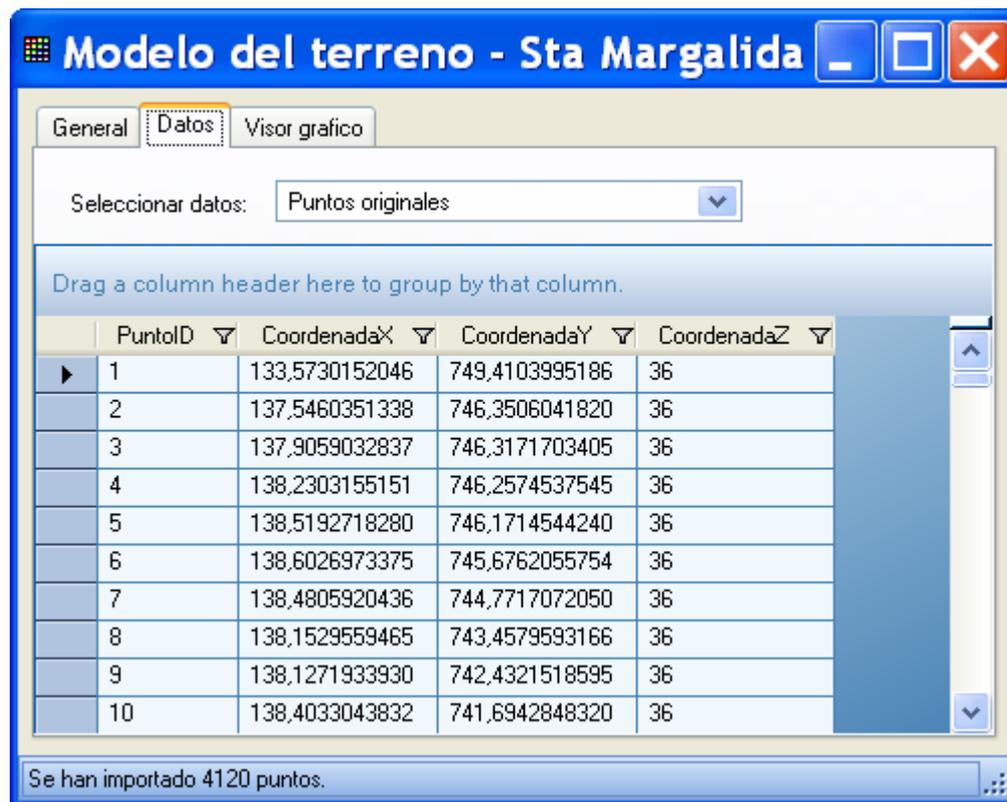
Figura 5. Ventana Datos del Conversor de Ficheros

Para importar los puntos originales del fichero DXF se selecciona el apartado "Puntos originales" en la casilla "Seleccionar datos:". Pulsando entonces el botón , aparece una ventana que permite seleccionar el fichero DXF a importar. Automáticamente se muestran los puntos originales en la pestaña datos, como aparece en la Figura 6.

2.2.1.3 Añadir o eliminar puntos originales

Los datos extraños o innecesarios pueden eliminarse de la tabla de datos y del modelo y también se puede añadir puntos.

Para eliminar basta seleccionar la fila en la que se encuentra el punto y pulsar el botón  (Eliminar los puntos originales seleccionados). Para añadir un punto se pulsa la casilla  de la última fila y aparece automáticamente el número de identificación del nuevo punto, del que el usuario debe completar las coordenadas. Para guardar los cambios se pulsa el botón .



PuntolD	CoordenadaX	CoordenadaY	CoordenadaZ
1	133,5730152046	749,4103995186	36
2	137,5460351338	746,3506041820	36
3	137,9059032837	746,3171703405	36
4	138,2303155151	746,2574537545	36
5	138,5192718280	746,1714544240	36
6	138,6026973375	745,6762055754	36
7	138,4805920436	744,7717072050	36
8	138,1529559465	743,4579593166	36
9	138,1271933930	742,4321518595	36
10	138,4033043832	741,6942848320	36

Figura 6. Ventana Datos con los puntos originales importados del fichero DXF del terreno

En esta pestaña, a través de la opción "Seleccionar datos:", se puede acceder también a otra información que se actualizará automáticamente al crearse el modelo del terreno:

Capas originales (Original layers)

Permite al usuario particularizar el espesor de cada capa en que se discretizará el terreno, especificando este valor para cada una de las deseadas.

Puntos del modelo (Model points)

Aparecen las coordenadas de los puntos originales del terreno respecto a los ejes del modelo, junto con sus índices X, Y y Z y el cuadrante de la celda en el que está el punto. Cada índice indica la posición de la celda que contiene el punto en el modelo (orden que ocupa la celda en el eje correspondiente desde el origen).

Capas del modelo (Model layers).

Número de capas del modelo del terreno y su espesor.

Cotas del modelo (Model elevation)

Para cada celda, representada por sus índices X e Y e informa si está activa (está incluida en el modelo de terreno). Para las celdas activas se presenta su cota calculada por el programa respecto a los ejes del modelo (que sirve de referencia para asignar la capa correspondiente) y el número de capas que ocupa el modelo de terreno en esa posición.

2.2.1.4 Discretización del terreno a partir de los puntos originales

- Pestaña Visor gráfico (**Graphic viewer**)

Importados los puntos originales y establecidos los parámetros de discretización, en la pestaña del Visor gráfico se pulsa el botón  para comenzar la discretización del plano a partir de los puntos originales. El resultado es la división en celdas cuadradas del plano representativo del terreno. La Figura 7 muestra un ejemplo de discretización de terreno junto con los puntos originales del terreno.

2.2.1.5 Añadir o eliminar celdas del terreno

Sobre el terreno discretizado se pueden añadir o quitar celdas pulsando el botón  y deslizando el ratón por encima de las celdas a añadir (en este caso celdas vacías) o eliminar.

Esto suele ser necesario cuando, por una baja densidad de puntos originales, en la discretización aparecen celdas vacías en el interior del plano, como ocurre en el ejemplo de la Figura 7, o cuando es preciso aumentar o disminuir el número de celdas en los extremos del terreno discretizado (ver Figura 8).

Si fuese necesario añadir celdas más allá de los límites del modelo generado es necesario crear un punto del terreno, en la fase previa de edición de datos los originales. El punto tendría las coordenadas adecuadas para que dar lugar a una celda en la zona en que se desean extender el modelo. En este caso se debería retroceder al apartado 2.2.1.3.

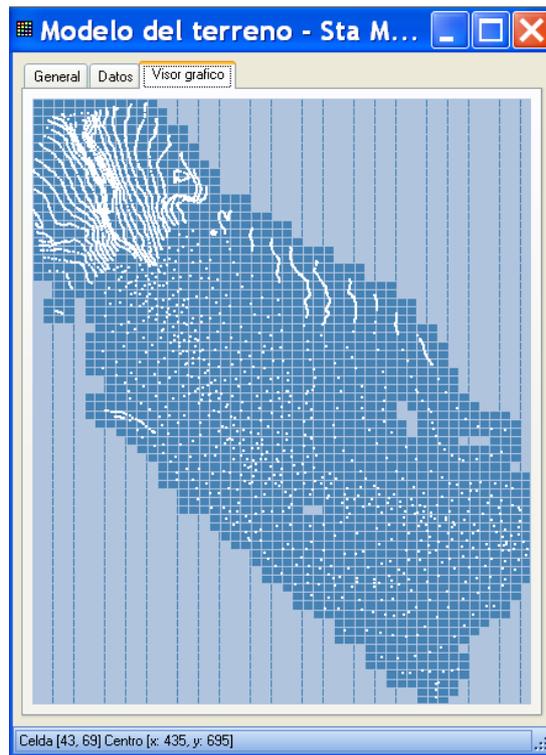


Figura 7. Discretización del terreno y puntos originales del fichero DXF

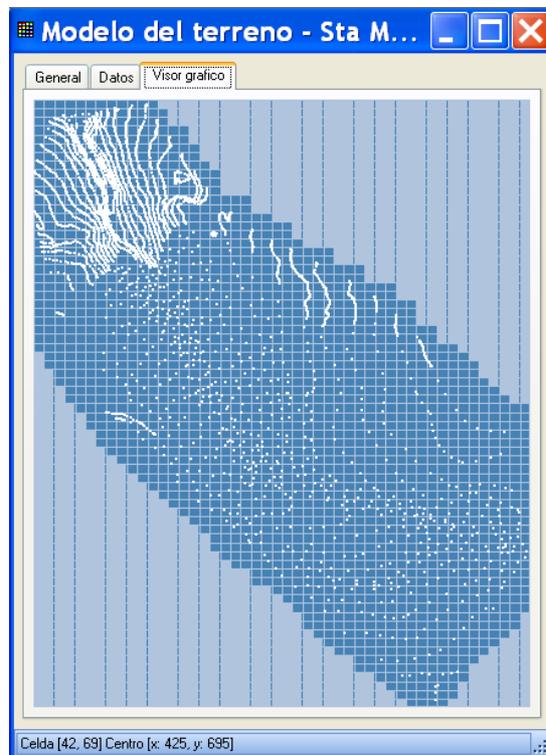


Figura 8. Discretización del terreno y puntos originales del fichero DXF con celdas añadidas

2.2.1.6 Cálculo de cotas

Para crear las cotas de cada celda en que se ha discretizado el plano se pulsa el botón



. El resultado es un modelo de terreno con cotas, como muestra la Figura 9.

2.2.1.7 Obtención del fichero XML a partir del fichero DXF

El modelo del terreno se guarda en formato XML desde la pestaña Datos. Se selecciona el apartado "cotas de modelo" en la casilla "Seleccionar datos:" y se pulsa

el botón .

Una vez creado el modelo, en la pestaña General se muestran los datos "Tamaño del modelo", "Origen de coordenadas del terreno" y "Tamaño del terreno", definidos en el apartado 2.2.1.1. Y en la pestaña Datos también queda disponible más información sobre el modelo creado.

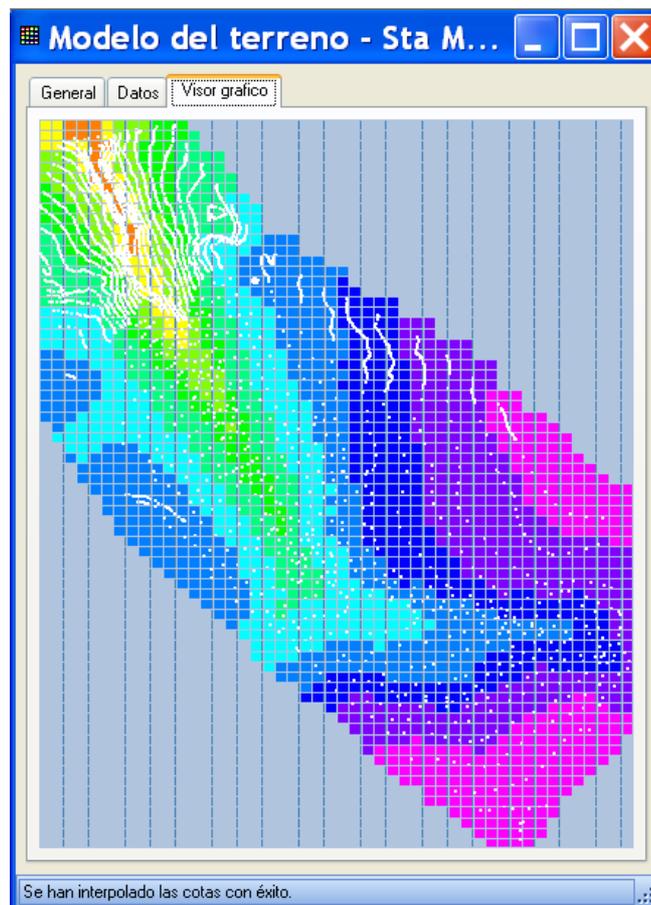


Figura 9. Modelo del terreno con las cotas calculadas

2.2.2 Creación del modelo

El modelo del vertedero se crea desde el modelo de terreno, que representa el vaso de vertido y su contorno. A partir del mismo, con ayuda del Diseñador Gráfico, el usuario configura la distribución de celdas de distintos tipos para representar el vertedero.

2.2.2.1 Modelo de terreno

2.2.2.1.1 Creación del modelo de terreno

El modelo de terreno se crea a partir del fichero XML generado según se indica en el apartado anterior.

Se pulsa el botón derecho del ratón sobre la carpeta *Models* y se selecciona el apartado de nuevo modelo de datos de terreno *New model from terrain data*, como muestra la Figura 10. Se selecciona el archivo XML deseado y se abre.

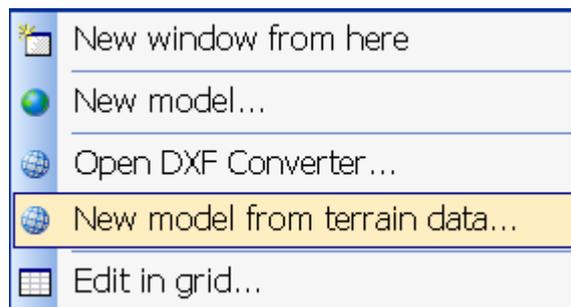


Figura 10. Menú Models de la ventana principal del programa.

Se crea entonces automáticamente el nuevo modelo, dentro del cual se incluyen cuatro carpetas:

- *Layers*, que agrupa las capas que incluye el modelo. Cualquier capa que se desee agregar al modelo de terreno debe ser primero definida en esta carpeta.
- *Terrain*, que incluye las celdas que representan el terreno donde se asienta el vertedero en el modelo.
- *Cells*, que agrupa las celdas que representan el vertedero.
- *Simulations*, que reúne las distintas simulaciones del vertedero que el usuario genere.

2.2.2.1.2 Propiedades

Pulsando sobre el nuevo modelo con el botón derecho del ratón aparece la ventana mostrada en la Figura 11. Se selecciona Propiedades y aparece la ventana de la Figura 12, en la que existen tres pestañas:

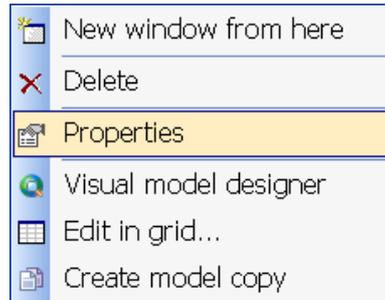


Figura 11. Menú principal del modelo de terreno.

- Pestaña general (**General**)

En esta pestaña se definen el código numérico identificador y el nombre del modelo. Se muestra el origen de coordenadas X, Y y Z del modelo, el tamaño en X e Y de las celdas y el número de celdas que configuran el modelo en los ejes X e Y.

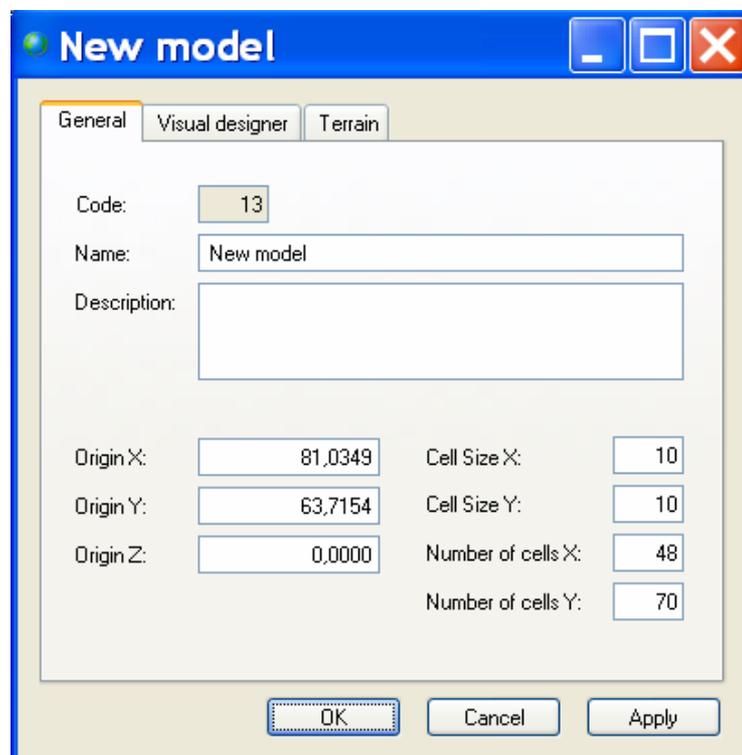


Figura 12. Ventana Datos del Nuevo Modelo.

- Pestaña diseño gráfico (**Visual designer**)

En esta pestaña se muestran las coordenadas X e Y de los extremos del modelo de terreno. El usuario puede cargar (o eliminar) una imagen de fondo para visualizarla en el *Visual model designer*. Esta opción es útil para cargar planos o fotos de referencia durante el proceso de llenado del modelo de vertedero.

Conversión de planos en fichero imagen

El primer paso para cargar como imagen un gráfico de referencia es capturarlo con el mismo tamaño y coordenadas que los extremos del fichero DXF que generó el modelo. Para ello se debe:

1. Copiar el fichero DXF inicial sobre el gráfico de referencia.
2. Trazar, desde los extremos del plano inicial, líneas rectas que enmarquen el gráfico de referencia.
3. Recortar, en el gráfico de referencia, todo lo que se salga del cuadro.
4. Imprimir la pantalla.
5. En un programa de edición de imágenes, pegar la pantalla impresa.
6. Cortar el cuadrado y borrar lo demás.
7. Pegar lo que se ha cortado y reducir la pantalla del dibujo hasta que sólo quede el cuadrado plano de referencia.
8. Guardar en cualquier formato de imagen. Ésta será la que se cargue en el modelo de terreno.

- Pestaña terreno (**Terrain**)

El usuario define dos parámetros que condicionan las filtraciones de líquido hacia (o desde) el exterior del vertedero a través de su contorno:

- Conductancia hidráulica equivalente (Equivalent conductance): facilidad para transmitir el agua del vaso de vertido, que depende del sistema de impermeabilización instalado y las propiedades del terreno adyacente. Dato en s^{-1} .
- Nivel freático externo (External water table): cota piezométrica del acuífero que afecta al vertedero. Dato en m, expresado en el sistema de coordenadas del modelo.

2.2.2.2 Diseñador gráfico

2.2.2.2.1 Manejo del Visor

Para distinguir las distintas capas del modelo en el visor gráfico, antes de abrir el modelo gráfico el usuario debe asignar una paleta de colores a la carpeta *Layers* del modelo. Para ello se arrastra la paleta de color elegida desde la carpeta *Palettes* hasta la carpeta *Layers*.

El modelo gráfico se abre pulsando el botón derecho del ratón sobre el modelo, y seleccionando la opción *Visual model designer*. Se muestra entonces una representación tridimensional del modelo del terreno creado.

La opción *Activate navigation mode*, (botón ) permite al usuario definir la vista más adecuada del modelo. El dibujo se mueve horizontal y verticalmente manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón, se gira pulsando el botón derecho y se acerca o aleja de la pantalla moviendo la rueda del ratón.

El botón  (opción *Save current view*), situado en la barra de herramientas de la barra superior de la ventana, permite guardar una vista concreta del modelo. Pulsándolo aparece la ventana de la Figura 13 para asignar un nombre a la vista.

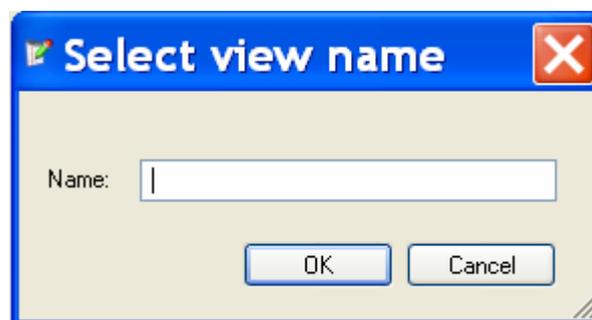


Figura 13. Ventana nombre de la vista seleccionada.

2.2.2.2.2 Opciones de visualización

El menú *Show model view options*, botón  (ofrece tres opciones de vista del modelo en la parte derecha de la pantalla.

- Visibilidad (**Visibility**) 

En un esquema de la planta del modelo, el usuario puede activar o desactivar la vista de parte o la totalidad del modelo, dejando visibles zonas concretas del mismo en la

representación tridimensional principal (ver Figura 14). En la parte izquierda de la misma ventana se muestra una columna en la que se representan las capas del modelo con los colores de la paleta seleccionada; éstas se pueden activar o desactivar para facilitar la visualización del modelo.

- Símbolos (**Symbols**) 

Permite seleccionar la parte y propiedades del modelo que se desea visualizar en la representación tridimensional principal (ver Figura 15).

General (General)

- Imagen visible (Image visible).
- Suelo visible (Floor visible).
- Terreno visible (Terrain visible).
- Celda visible (Cell visible).

Altitud (Altitude)

- Color de la altitud del terreno (Terrain altitude color).
- Color de la altitud de las celdas (Cell altitude color).

Tipos de celda (Cell types)

- Color del tipo de celda (Cell type color).
- Imagen del tipo de celda (Cell type image).
- Orden de llenado de la celda (Cell filling order).

Tipos de escorrentía (Run-off types)

- Color de la dirección de la escorrentía (Run-off direction color).
- Imagen de la dirección de la escorrentía (Run-off direction image).
- Color del manejo de la escorrentía (Run-off management color).
- Imagen del manejo de la escorrentía (Run-off management image).

Tipos de recolección de lixiviados (Leachate collection types)

- Color del tipo de recolección de lixiviados (LCS color).
- Imagen del tipo de recolección de lixiviados (LCS image).



Figura 14. Ventana de la opción de vista del modelo *Visibility*

Tipos de recirculación de lixiviados (Leachate recirculation types)

- Color del tipo de recirculación de lixiviados en operación (LRS operation color).
- Imagen del tipo de recirculación de lixiviados en operación (LRS operation image).
- Color del tipo de recirculación de lixiviados en clausura (LRS closure color).
- Imagen del tipo de recirculación de lixiviados en clausura (LRS closure image).

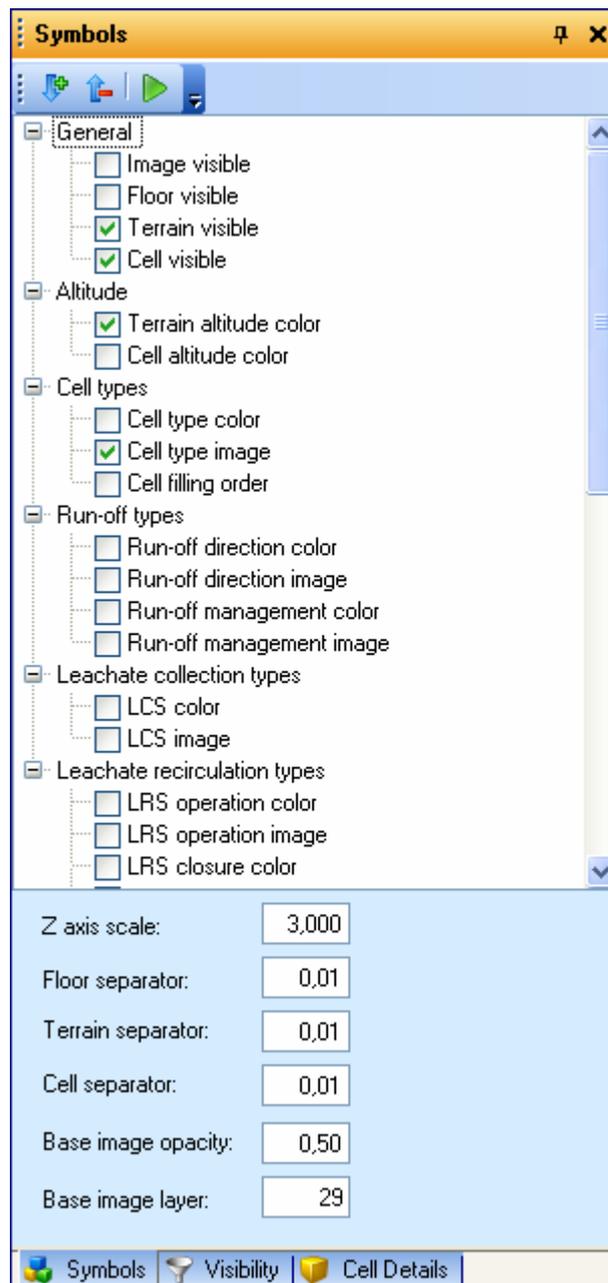


Figura 15. Ventana de la opción de vista del modelo *Symbols*

- Detalles de la celda (**Cell details**) 

Esta pestaña permite consultar el estado de cada celda después de una simulación. Para ello se selecciona la opción resultados en el visor (Results in designer) al pulsar con el botón derecho sobre la simulación realizada (Ver apartado 4.3).

También es posible consultar el estado de las celdas a lo largo de la simulación: en esta pestaña se muestran los resultados tras cada intervalo, cuando se realiza una simulación visual.

2.2.2.3 Modelo de vertedero

El modelo del vertedero se construye mediante la colocación sucesiva de las celdas que representan los distintos materiales/residuos según el historial de explotación que se desee simular.

Para ello se utiliza la barra de herramientas *Cell types*, en la que se elige el tipo de celda correspondiente. Para abrir dicha barra de herramientas se pulsa con el botón derecho la barra superior de la ventana y se selecciona las herramientas de *Cell types*.

Seleccionada la vista de trabajo, se pulsa el botón  (opción *Activate selection mode*), que congela la vista y permite seleccionar la zona en la que se desean añadir las nuevas celdas del tipo elegido.

Marcada la zona a añadir celdas y su tipo se pulsa el botón  (opción *Add cells of the specified type over the selection*), con el que se añade una capa de celdas del tipo seleccionado sobre la zona elegida (ver ejemplo en la Figura 16).

El botón  (opción *Delete selected cells*) permite eliminar las celdas seleccionadas, y el botón  (opción *Change selected cells type*) cambiar el tipo de celda.



Figura 16. Selección y añadido de celdas en el terreno.

2.2.3 Paletas de colores (Palettes)

Para facilitar la visualización de los datos del fichero XML se aplica al modelo una paleta de colores, que permite diferenciar las celdas según su cota. En el programa se proponen dos paletas, *Moduelo Classic 1* y *Moduelo Classic 2*, pero el usuario puede crear cuantas quiera personalizadas.

En el modelo visual cada capa del terreno y vertedero quedará representada por un color de la paleta, y por tanto la paleta elegida o definida por el usuario deberá comprender un número de colores suficiente para cubrir todas las capas del modelo.

- Creación de una nueva paleta de colores.

Para crear una paleta nueva se pulsa el botón derecho del ratón sobre la carpeta *Palettes* y se elige *New palette...*. Aparece entonces una ventana con una única pestaña general (General), en la que se define el nombre de la nueva paleta de colores.

Una vez creada la nueva paleta se incorporan los colores deseados de forma ordenada. Una opción para ello es pulsar el botón derecho del ratón sobre la nueva paleta y seleccionar *New color in palette*. Aparece la ventana de la Figura 17, donde se selecciona el color elegido.

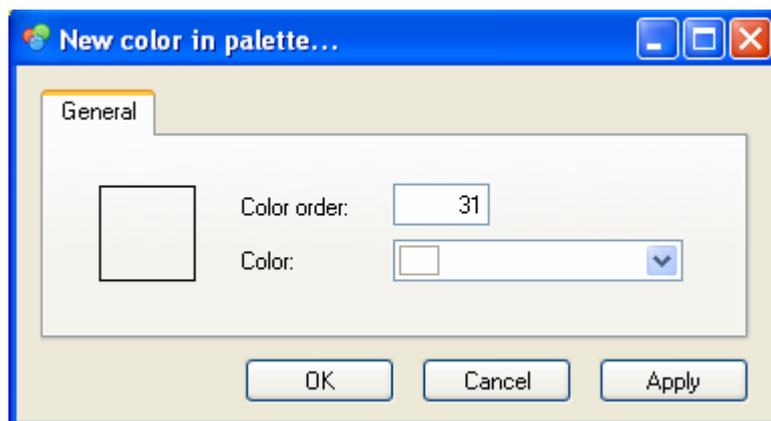


Figura 17. Ventana de definición de un nuevo color en la paleta

Otra manera de introducir los colores en la nueva paleta creada es editando la paleta en tablas, como aparece en la Figura 18. En la columna *Color Order* se escribe el código de orden del color elegido en el desplegable de la columna derecha *Color*. La operación se repite sucesivamente hasta que todos los colores de la paleta han sido creados.

- Asignación de la paleta de colores al modelo de terreno generado.

Para asignar la paleta de colores a un modelo de terreno se despliegan la carpeta *Palettes* y la del modelo elegido (de manera que todas las subcarpetas queden visibles) como muestra la Figura 19.

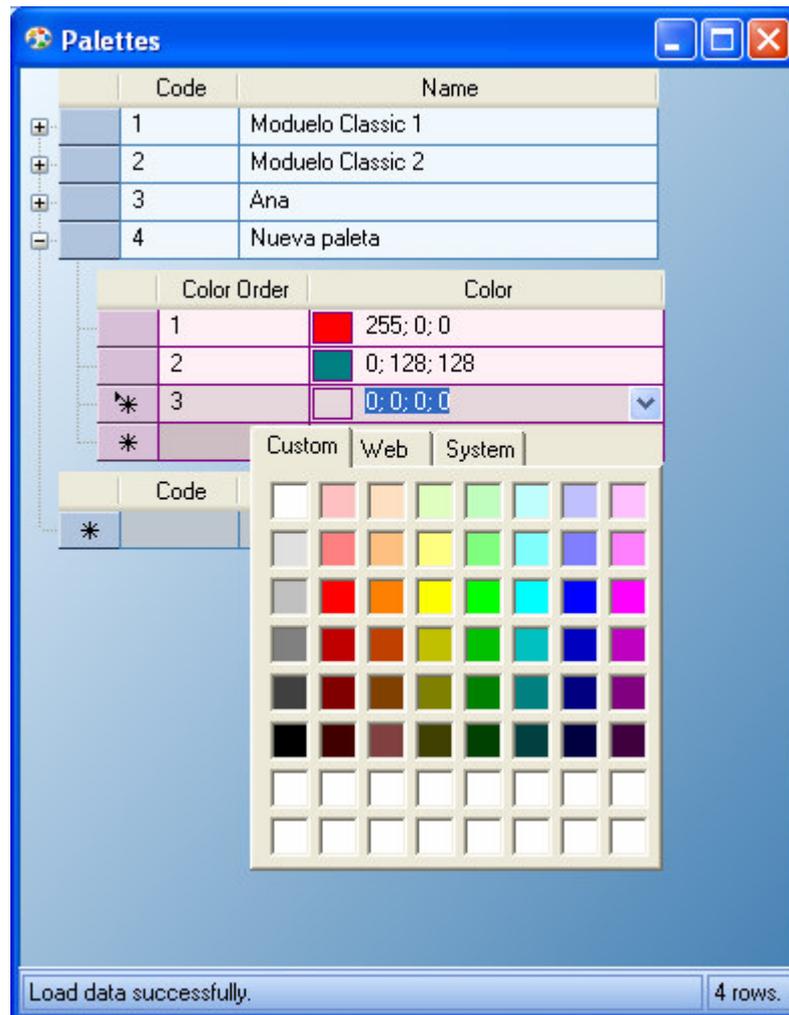


Figura 18. Vista en tablas (Edit in grid) de las paletas de colores

Entonces se selecciona la paleta de colores elegida y se "arrastra" hasta la carpeta *Layers* del modelo, como también se recoge en la Figura 19.

Hecho esto, al abrir el modelo mediante el *Visual model designer* se diferenciarán las capas del modelo con los colores de la paleta elegida.

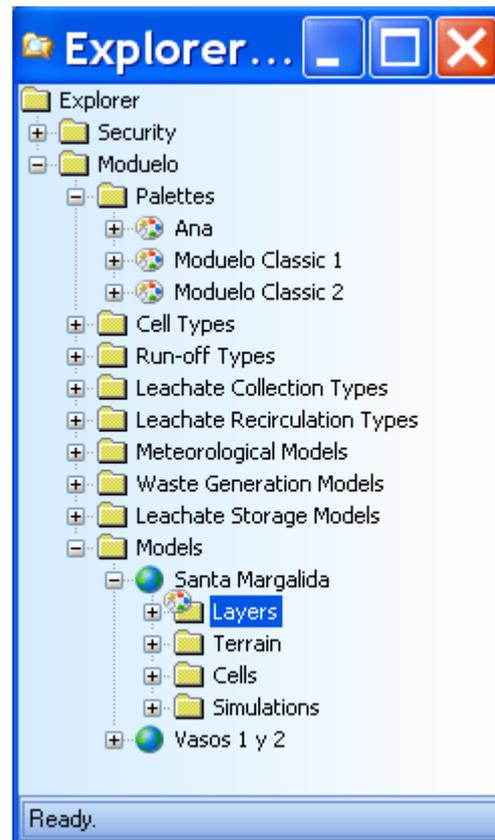


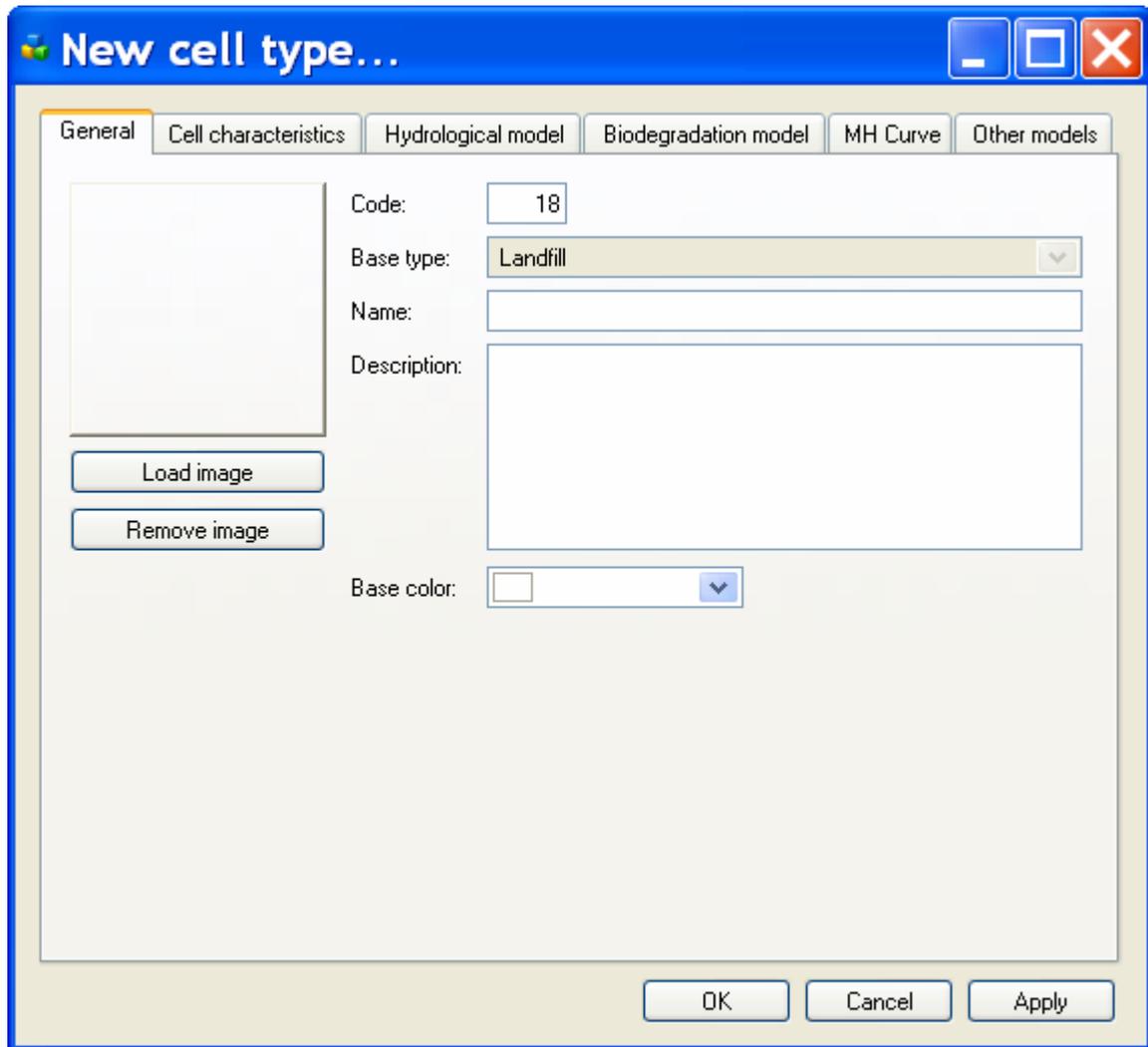
Figura 19. "Arrastre" de la paleta de colores a la carpeta *Layers* del modelo

2.2.4 Tipos del celdas (Cell types)

Una vez creado el fichero .XML se puede rellenar el vertedero con distintos tipos de celdas de las dimensiones elegidas en los parámetros de discretización. En MODUELO existen dos tipos principales de celda, "Vertedero" y "Suelo". El tipo Vertedero incluye una capa de residuo y su cobertura correspondiente, mientras que el tipo Suelo está compuesto de un material homogéneo (como el empleado para caballones, muros, o pantallas drenantes). En caso de estar en la última capa ambas serán además de tipo "Sellado", que se diferencia de las anteriores en las propiedades hidrológicas superficiales (en éstas últimas se produce evapotranspiración en lugar de evaporación simple).

2.2.4.1 Celdas vertedero y celdas vertedero sellado (Landfill and Closed landfill)

Para crear un subtipo de celda "Vertedero" o "Vertedero sellado" se pulsa el botón derecho del ratón sobre la carpeta *Landfill* o *Closed Landfill*, según corresponda, y se elige *New cell type*, que abre la ventana que se muestra en la Figura 20.



The image shows a software dialog box titled "New cell type...". It has a blue title bar with standard window controls (minimize, maximize, close). Below the title bar are several tabs: "General", "Cell characteristics", "Hydrological model", "Biodegradation model", "MH Curve", and "Other models". The "General" tab is selected. On the left side of the dialog, there is a large empty rectangular area for an image, with "Load image" and "Remove image" buttons below it. To the right of this area are the following fields: "Code:" with a text box containing "18"; "Base type:" with a dropdown menu showing "Landfill"; "Name:" with an empty text box; "Description:" with a larger empty text area; and "Base color:" with a color selection box and a dropdown arrow. At the bottom of the dialog are three buttons: "OK", "Cancel", and "Apply".

Figura 20. Ventana de definición de un nuevo tipo de celda Vertedero

- Pestaña general (**General**)

En esta pestaña se define el nombre del subtipo o tipo específico de celda, se incluye una breve descripción y se asigna el color base para identificar la celda en el modelo visual del terreno. El usuario puede también cargar una imagen con este objetivo.

- Pestaña características de las celdas (**Cell characteristics**)

Aquí se definen las características hidrológicas iniciales del residuo y del material de cobertura de la celda.

Características del residuo (Waste characteristics)

- Humedad residual inicial (Initial residual moisture): contenido mínimo de humedad que puede alcanzar el residuo cuando no está sometido a procesos de evaporación o evapotranspiración. Dato en porcentaje en peso húmedo.
- Capacidad de campo inicial (Initial field capacity): contenido de humedad del residuo por debajo del cual no hay pérdidas de la misma por gravedad. Está directamente relacionado con los valores de humedad residual inicial y humedad de saturación. Dato en porcentaje en peso húmedo.
- Humedad de saturación inicial (Initial saturation moisture): valor de la humedad para la que el residuo tiene todos sus poros llenos de agua. Dato en porcentaje en peso húmedo.
- Permeabilidad vertical inicial (Initial vertical hydraulic conductivity): conductividad hidráulica vertical en condiciones de saturación del residuo. Dato en m/s.
- Permeabilidad horizontal inicial (Initial horizontal hydraulic conductivity): conductividad hidráulica horizontal en condiciones de saturación del residuo. Dato en m/s.

Características de la cobertura (Cover characteristics)

- Espesor de cobertura (Cover thickness): espesor de la cobertura de la celda. Dato en m.
- Humedad inicial (Initial moisture content): humedad inicial del material de cobertura de la celda. Dato en porcentaje en peso húmedo.
- Densidad inicial (Initial density): densidad inicial del material de cobertura de la celda. Dato en kg/m³ en peso húmedo.
- Humedad residual inicial (Initial residual moisture): contenido mínimo de humedad que puede alcanzar el material de cobertura. Dato en porcentaje en peso húmedo.
- Capacidad de campo inicial (Initial field capacity): contenido de humedad del material de cobertura por debajo del cual no hay pérdidas de agua por gravedad. Dato en porcentaje en peso húmedo.

- Humedad de saturación inicial (Initial saturation moisture): valor de la humedad para la que el material de cobertura tiene todos sus poros llenos de agua. Dato en porcentaje en peso húmedo.
 - Permeabilidad vertical inicial (Initial vertical hydraulic conductivity): conductividad hidráulica vertical en condiciones de saturación del material de cobertura. Dato en m/s.
- Pestaña modelo hidrológico (**Hydrological model**)

Aquí el usuario introduce el valor de los parámetros necesarios para aplicar los distintos modelos hidrológicos.

Modelo de infiltración superficial (Surface infiltration model)

Se definen la tasa de infiltración de la capa de cobertura de la celda según la fórmula de Horton.

- Velocidad de infiltración mínima (Minimum infiltration rate): velocidad de infiltración de agua al final del aguacero. Dato en mm. Varía en función del tipo de suelo utilizado como material de cobertura, siendo el rango para suelos entre arenosos y arcillosos de 11,43 a 0. En limos y margas se utiliza el rango 7,62 - 1,27 mm.
- Velocidad de infiltración máxima (Maximum infiltration rate): velocidad de infiltración de agua al inicio del aguacero. Dato en mm. Varía en función del tipo de suelo utilizado como material de cobertura, siendo el rango para suelos entre arenosos y arcillosos de 127 a 25,4. En margas sin vegetación se utiliza 76,2 mm.
- Parámetro de Horton (Horton parameter): tasa de disminución de la infiltración a lo largo del tiempo. Dato en h⁻¹. Si no se dispone de este dato se recomienda un valor de 4,14 h⁻¹.

Modelo de evapotranspiración (Evapotranspiration model)

- Profundidad de evaporación (Evaporation depth): profundidad máxima que puede ser afectada por los fenómenos de evaporación o evapotranspiración. Depende de la permeabilidad de los materiales superficiales: en suelos arenosos varía entre 0,1 y 0,2 m, en suelos limosos entre 0,2 y 0,46 m y en suelos arcillosos entre 0,3 y 1,5 m. Dato en m.
- Punto de marchitez (Wilting point): mínimo contenido de humedad en el que puede quedar la celda por efecto de la evapotranspiración. Dato en % respecto a la humedad residual.

Modelo de escorrentía superficial (Run-off model)

- Máxima acumulación superficial (Maximum surface accumulation): altura máxima de almacenamiento de agua en superficie antes de que se produzca la escorrentía. Dato en m.

Modelo de flujo preferencial (Preferential flow model)

Se definen los parámetros del modelo de flujo a través de canales preferenciales.

- Fracción de volumen afectado por canales preferenciales (Fraction of volume affected by preferential channels): porcentaje del volumen de la celda que se encuentra con canales preferenciales. Este valor suele variar entre el 5 y el 50%. Dato en %.
- Factor de permeabilidad del material en la zona canalizada (Ratio preferential/homogeneous flow hydraulic conductivity). Representa el incremento de permeabilidad en la zona canalizada respecto al resto del volumen de la celda. Dato en tanto por uno.

Modelo de humedad residual (Residual moisture model)

- Humedad residual mínima del residuo (Minimum residual moisture of waste): humedad residual mínima que alcanzaría el residuo cuando la presión sobre el mismo es infinita. Dato en porcentaje en peso seco.
- Influencia de la presión en la humedad residual (Influence of load on the residual moisture): expresa la variación de la humedad residual del residuo con la sobrepresión. Dato en kg/m^2 .

- Pestaña modelo de biodegradación (**Biodegradation model**)

Aquí se definen los parámetros necesarios para modelizar la degradación del residuo.

- Tiempo de activación de la hidrólisis rápida (Readily hydrolysis activation time): tiempo de activación de la hidrólisis de los componentes rápidamente biodegradables. Dato en d.
- Tiempo de activación de la hidrólisis lenta (Slowly hydrolysis activation time): tiempo de activación de la hidrólisis de los componentes lentamente biodegradables. Dato en d.
- Tiempo de activación de la metanogénesis (Methanogenesis activation time): tiempo de activación de la metanogénesis. Dato en d.

- Constante de hidrólisis rápida (Ready hydrolysis rate): velocidad (de primer orden) de hidrólisis de los materiales rápidamente biodegradables en condiciones de humedad y temperatura óptimas. Dato en d^{-1} .
 - Constante de hidrólisis lenta (Slowly hydrolysis rate): velocidad (de primer orden) de hidrólisis de los materiales lentamente biodegradables en condiciones de humedad y temperatura óptimas. Dato en d^{-1} .
 - Constante de acetogénesis (Acetogenesis rate): velocidad de producción de acetato a partir de los compuestos intermedios en condiciones ideales. Dato d^{-1} .
 - Constante de metanogénesis acetofílica (Acetoclastic methanogenesis rate): velocidad de producción de metano a partir de acetato en condiciones ideales. Dato en d^{-1} .
 - Constante de metanogénesis hidrogenofílica (Hydrogenophilic methanogenesis rate): velocidad de producción de metano a partir de hidrógeno en condiciones ideales. Dato en d^{-1} .
 - Fracción de carbono transformada en compuestos intermedios en la hidrólisis (Fraction of carbon transformed to intermediate compounds in the hydrolysis): factor estequiométrico de la hidrólisis. Por defecto 0,76.
 - Fracción de carbono transformada en acetato en la hidrólisis (Fraction of carbon transformed to acetate in the hydrolysis): factor estequiométrico de la hidrólisis. Por defecto 0,2.
 - Fracción de carbono transformada en acetato en la acetogénesis (Fraction of carbon transformed to acetate in the acetogenesis): factor estequiométrico de la acetogénesis. Por defecto 0,68.
- Pestaña de la Curva Humedad-Hidrólisis (**MH Curve**)

Aquí se define la curva que relaciona la velocidad de hidrólisis con el grado de humedad de la celda. Este factor es un porcentaje que multiplica a las constantes de hidrólisis según la humedad que exista en la celda.

Puntos de la Curva Humedad Hidrólisis (Moisture Hydrolysis Curve Points)

En este apartado aparecen los puntos de la curva que se utilizan como referencia. Para cambiar la curva basta con cambiar los puntos en esta sección. Para comprobar la curva se puede introducir un valor de humedad en el apartado *Moisture (%)*: pulsando el botón *Test value* aparecerá en pantalla el porcentaje de la velocidad máxima de hidrólisis que se daría con esa humedad.

Para volver a la curva general hay que pulsar el botón *Set default curve*.

- Pestaña de otros modelos (**Other models**)

Aquí se definen los parámetros del modelo de temperatura y de asentamientos.

Modelo de temperatura (Temperature model)

- Calor específico (Specific heat capacity): calor específico del residuo seco en las condiciones en que es colocado en el vertedero. Un valor de referencia para residuos urbanos mezclados es 1.500 J/kg.°C. Dato en J/kg.°C.
- Conductividad térmica (Thermal conductivity): conductividad térmica del residuo seco en las condiciones en que es colocado en el vertedero. Como valor de referencia se utiliza 10 J/m.s.°C. Dato en J/m.s.°C.
- Tasa de consumo de oxígeno (Oxygen uptake rate): depende del tiempo de contacto del residuo con el aire. Dato en moles de O₂ por Kg de materia biodegradable seca expuesta a condiciones aerobias y por hora (mol O₂/kg dry mass.h).
- Tasa de generación de calor de origen aerobio (Aerobic heat generation ratio): generación de calor por cada mol de materia degradada aeróbicamente. Como valor de referencia se utiliza 460 kJ/mol O₂. Dato en Julios por mol de O₂ consumido (J/mol O₂)
- Tasa de generación de calor de origen anaerobio (Anaerobic heat generation ratio): calor generado en la producción de metano, El valor más utilizado es el de 45 kJ/mol CH₄. Dato en Julios por mol de CH₄ generado (J/mol CH₄).
- Espesor de cada tongada de residuo extendida (Thickness of waste compactation lift): altura de las tongadas según se van disponiendo en la celda. Dato en m.
- Tiempo entre tongadas (Time interval between lifts): tiempo en el que permanece expuesta cada tongada durante la construcción de la celda. Dato en h.

Modelo de asentamientos (Settlement model)

- Coeficiente de compactación (Compression ratio): coeficiente de consolidación para el cálculo de los Asientos Primarios por efecto del peso sobre el residuo. Los valores de éste índice en bibliografía oscilan entre 0,08 y 0,5, estando la mayoría entre 0,15 y 0,3. Dato adimensional.

- Coeficiente de pérdida de masa convertida en asientos (Mass-loss to settlement ratio): relaciona los Asientos Secundarios con la pérdida de masa de la celda durante la degradación. Adimensional.

2.2.4.2 Celdas suelo y celdas suelo sellado (Soil and Closed Soil)

Para crear un subtipo de celda tipo Suelo o celda Suelo Sellado se procede de igual manera que con la creación de los subtipo de celdas Vertedero o Vertedero Sellado pero en la carpeta *Soil* o *Closed Soil*. Esta vez no aparece la pestaña del modelo de biodegradación (ver Figura 21), ya que este tipo de celdas incluyen materiales no biodegradables.

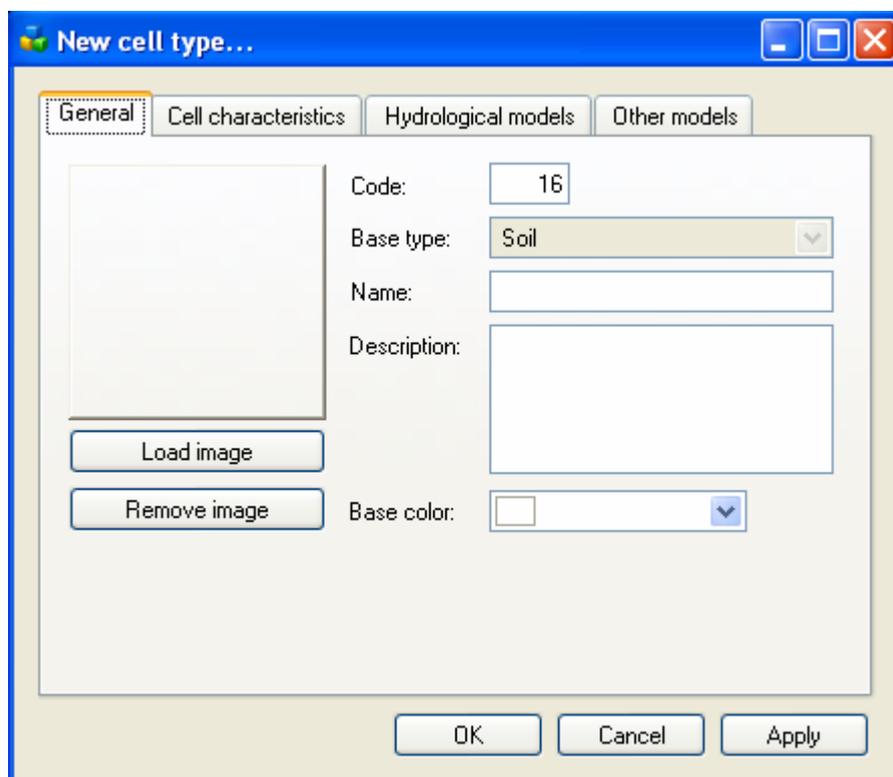


Figura 21. Ventana de definición de un nuevo tipo de celda Suelo

- Pestaña general (**General**)

En esta pestaña se define el nombre del subtipo o tipo específico de celda, se incluye una breve descripción y se asigna un color para identificar la celda en el modelo visual del terreno. El usuario también puede cargar una imagen con este objetivo.

- Pestaña características de las celdas (**Cell characteristics**)

Aquí se definen las características hidrológicas iniciales del material depositado en la celda.

- Humedad inicial (Initial moisture content): humedad inicial del material que forma la celda. Dato en porcentaje en peso húmedo.
- Densidad inicial (Initial density): densidad inicial del material que forma la celda. Dato en kg/m^3 (en peso húmedo).
- Humedad residual inicial (Initial residual moisture): mínima contenido de humedad que puede alcanzar retener el material que forma la celda cuando no está sometido a fenómenos de evapotranspiración. Dato en porcentaje en peso húmedo.
- Capacidad de campo inicial (Initial field capacity): contenido de humedad del material que forma la celda por debajo del cual no hay pérdidas de agua por gravedad. Directamente relacionado con los valores de humedad residual y de saturación. Dato en porcentaje en peso húmedo.
- Humedad de saturación inicial (Initial saturation moisture): valor de la humedad para la que el material de la celda tiene todos sus poros llenos de agua Dato en porcentaje en peso húmedo.
- Permeabilidad vertical inicial (Initial vertical hydraulic conductivity): conductividad hidráulica vertical en condiciones de saturación del material depositado en la celda. Dato en m/s.
- Permeabilidad horizontal inicial (Initial horizontal hydraulic conductivity): conductividad hidráulica horizontal en condiciones de saturación del material depositado en la celda. Dato en m/s.

- Pestaña modelo hidrológico (**Hydrological model**)

Aquí se definen los parámetros necesarios para aplicar los modelos hidrológicos.

Modelo de evapotranspiración (Evapotranspiration model)

- Profundidad de evaporación (Evaporation depth): profundidad máxima que puede ser afectada por la evaporación. Depende de la permeabilidad del material de la celda: en suelos arenosos varía entre 0,1 y 0,2 m, en suelos limosos entre 0,2 y 0,46 m y en suelos arcillosos entre 0,3 y 1,5 m. Dato en m.

- Punto de marchitez (Wilting point): es el mínimo contenido de humedad en el que puede quedar la celda por efecto de la evapotranspiración. Dato en % respecto a la humedad residual.

Modelo de infiltración superficial (Surface infiltration model)

Define la tasa de infiltración del material que forma la celda según la fórmula de Horton.

- Velocidad de infiltración mínima (Minimum infiltration rate): velocidad de infiltración de agua al final del aguacero. Dato en mm. Varía en función del tipo de suelo, siendo el rango para suelos entre arenosos y arcillosos de 11,43 a 0. En limos y margas se utiliza el rango 7,62 - 1,27 mm.
- Velocidad de infiltración máxima (Maximum infiltration rate): velocidad de infiltración de agua al inicio del aguacero. Dato en mm. Varía en función del tipo de suelo, siendo el rango para suelos entre arenosos y arcillosos de 127 a 25,4. En margas sin vegetación se utiliza 76,2 mm.
- Parámetro de Horton (Horton parameter): tasa de disminución de la infiltración a lo largo del tiempo. Dato en h^{-1} . Si no se dispone de este dato se recomienda un valor de $4,14 h^{-1}$.

Modelo de escorrentía superficial (Run-off model).

- Máxima acumulación superficial (Maximum surface accumulation): altura máxima de almacenamiento de agua en superficie antes de que se produzca la escorrentía. Dato en m.

- Pestaña de otros modelos (**Other models**)

Aquí se definen los parámetros del modelo de temperatura y de asentamientos.

Modelo de temperatura (Temperature model)

- Calor específico (Specific heat capacity): calor específico del residuo seco en las condiciones en que es colocado en el vertedero. Dato en $J/kg \cdot ^\circ C$.
- Conductividad térmica (Thermal conductivity): conductividad térmica del residuo seco en las condiciones en que es colocado en el vertedero. Dato en $J/m \cdot s \cdot ^\circ C$.

Modelo de asentamientos (Settlement model)

- Coeficiente de compactación (Compression ratio): coeficiente de consolidación para el cálculo de los Asientos Primarios por efecto del peso sobre el material. Dato adimensional.

2.2.5 Tipos de sistemas de recolección de lixiviados (Leachate collection types)

Rellenado el vertedero, se define el sistema de recolección de lixiviados. En MODUELO existen tres tipos principales de sistemas de recolección de lixiviados: "Grava", "Tubería" y "Pozo".

2.2.5.1 Grava (Gravel)

Para crear un sistema de recolección de lixiviados con grava se pulsa el botón derecho del ratón sobre la carpeta *Gravel* y se elige *New gravel LCS type*, que abre la ventana que se muestra en la Figura 22.

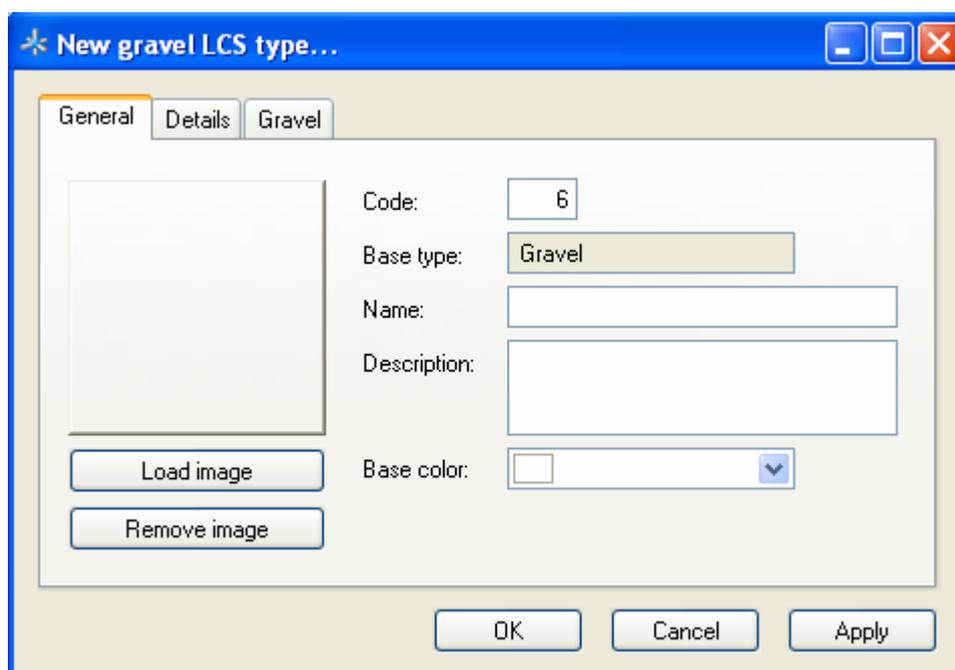


Figura 22. Ventana de definición de un nuevo sistema de recolección de lixiviados tipo Grava

- Pestaña general (**General**)

En esta pestaña se define el nombre del subtipo o tipo específico de sistema de recolección de lixiviados, se incluye una breve descripción del mismo y se asigna el

color base para identificar el sistema de recolección de lixiviados en el modelo visual del terreno. El usuario puede también cargar una imagen con este objetivo.

- Pestaña detalles (**Details**)
 - Pendiente de drenaje (Drainage slope): pendiente del sistema de recolección del lixiviado. Dato en tanto por uno.
 - Número de celdas servidas por el dren (Number of cells served by the drain): número de celdas del modelo cuyo lixiviado es conducido por el mismo sistema de drenaje. Condiciona la capacidad total de evacuación del mismo.
 - Pendiente de las capas hacia el dren (Layer's slope towards the drain): pendiente del terreno hacia el sistema de drenaje. Dato en tanto por uno.
 - Conductancia hidráulica equivalente bajo el dren (Equivalent hydraulic conductance under the drain): permite especificar unas condiciones particulares de impermeabilización bajo el dren (como en los casos en que se introduce una geomembrana bajo el conducto: la conductancia hidráulica bajo el dren en ese caso sería menor que en el resto de la capa). Dato en s^{-1} .

- Pestaña grava (**Gravel**)
 - Espesor de la grava (Gravel thickness): espesor de la capa de gravas que constituye el sistema de recolección de lixiviados. Dato en m.
 - Permeabilidad de la grava (Hydraulic conductivity of drainage gravel): conductividad hidráulica de la grava del drenaje. Dato en m/s.

2.2.5.2 Tubería (Pipe)

Para crear un sistema de recolección de lixiviados con tubería se procede de igual manera que con la creación de los sistemas de recolección de lixiviados con grava, pero en la carpeta *Pipe*.

- Pestaña general (**General**).

En esta pestaña se define el nombre del subtipo o tipo específico de sistema de recolección de lixiviados, se incluye una breve descripción del mismo y se asigna el color base para identificar el sistema de recolección de lixiviados en el modelo visual del terreno. El usuario puede también cargar una imagen con este objetivo.

- Pestaña detalles (**Details**).

- Pendiente de drenaje (Drainage slope): pendiente del sistema de recolección del lixiviado. Dato en tanto por uno.
 - Número de celdas servidas por el dren (Number of cells served by the drain): número de celdas del modelo cuyo lixiviado es conducido por el mismo tubo de drenaje. Condiciona la capacidad total de evacuación del mismo.
 - Pendiente de las capas hacia el dren (Layer's slope towards the drain): pendiente del terreno hacia el eje de evacuación de lixiviados. Dato en tanto por uno.
 - Conductancia hidráulica equivalente bajo el dren (Equivalent hydraulic conductance under the drain): permite especificar unas condiciones particulares de impermeabilización bajo el dren. Dato en s^{-1} .
- Pestaña tubería (**Pipe**).
 - Diámetro de la tubería (Pipe diameter): diámetro de la tubería que recoge y conduce el lixiviado. Dato en m.
 - Coeficiente de Manning (Manning coefficient): coeficiente de rugosidad de Manning, cuyo valor depende del material y estado de conservación de la tubería. Dato adimensional. En tuberías de hormigón se utiliza 0,013 y en tuberías de PVC con paredes internas lisas entre 0,009 y 0,011.

2.2.5.3 Pozo (Sump)

Para crear un sistema de recolección de lixiviados mediante pozo se procede de igual manera que con la creación de los sistemas de recolección de lixiviados anteriores, pero en la carpeta *Sump*.

- Pestaña general (**General**)

En esta pestaña se define el nombre del subtipo o tipo específico de sistema de recolección de lixiviados, se incluye una breve descripción del mismo y se asigna el color base para identificar el sistema de recolección de lixiviados en el modelo visual del terreno. El usuario puede también carga una imagen con este objetivo.
- Pestaña detalles (**Details**)
 - Pendiente de drenaje (Drainage slope): pendiente del sistema de recolección de lixiviado. Dato en tanto por uno.

- Número de celdas servidas por el dren (Number of cells served by the drain): número de celdas del modelo cuyo lixiviado es conducido por el mismo tubo de drenaje. Condiciona la capacidad total de evacuación del mismo.
 - Pendiente de las capas hacia el dren (Layer's slope towards the drain): pendiente del terreno hacia el punto de evacuación. Dato en tanto por uno.
 - Conductancia hidráulica equivalente bajo el dren (Equivalent hydraulic conductance under the drain): permite especificar unas condiciones particulares de impermeabilización bajo el dren. Dato en s^{-1} .
- Pestaña pozo (**Sump**)
 - Caudal máximo de bombeo (Maximum pumping flow): caudal máximo que puede bombearse desde el pozo. Dato en m^3/s .

2.2.6 Tipos de escorrentía (Run-off types)

Se utiliza para representar el drenaje superficial del vertedero: la gestión de aquellos volúmenes de agua que no se infiltran en las celdas superiores y, acumulados¹ en superficie, al superar la profundidad de almacenamiento superficial discurren en forma de escorrentía superficial.

Una vez representado en el modelo el sistema de recolección de lixiviados se define el tipo de escorrentía de cada capa. Para ello se especifica la dirección de evacuación del agua de escorrentía y la forma de gestionarla. En MODUELO existen cinco tipos de manejo del agua de escorrentía: "Combinada", "Conectada", "Dique", "No evacuada" y "No conectada".

2.2.6.1 Dirección de la escorrentía (Run-off direction)

Como se observa en la Figura 23, en MODUELO se pueden definir cuatro direcciones: "Abajo", "Izquierda", "Derecha" y "Arriba".

¹ La máxima profundidad de almacenamiento (*Maximum surface accumulation*) es introducida por el usuario en el modelo de escorrentía superficial (*Run-off model*) de la pestaña modelos hidrológicos (*Hydrological models*) de cada tipo de celda.

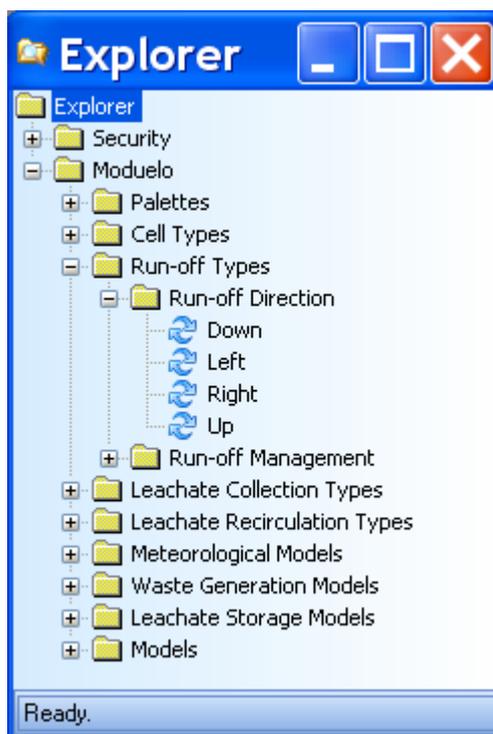


Figura 23. Ventana de definición de las direcciones de la escorrentía

La dirección del drenaje de la escorrentía se aplica en el caso de seleccionar un sistema combinado o mixto o mediante caballones. En los otros casos no es necesario indicar al programa el sentido de drenaje de la superficie del vertedero.

2.2.6.2 Manejo de la escorrentía (Run-off management)

La barra de herramientas de escorrentía se abre pulsando el botón derecho sobre la barra superior de la ventana principal. Se selecciona *Run-off Toolbar*. Para asignar a cada celda un tipo de gestión de escorrentía se elige el tipo de manejo de escorrentía correspondiente en la barra de herramientas.

Seleccionada la vista de trabajo, se pulsa el botón  (opción *Activate selection mode*), que congela la vista y permite seleccionar la zona en la que se desea añadir el tipo de escorrentía elegido.

Marcada la zona con el tipo de escorrentía elegida se pulsa el botón  (opción *Add selected run-off management*), con el que se añade este tipo a las celdas seleccionadas, como se observa en la Figura 24 y en la Figura 25.

MODUELO permite cinco tipos de gestión de la escorrentía superficial (ver Figura 26):

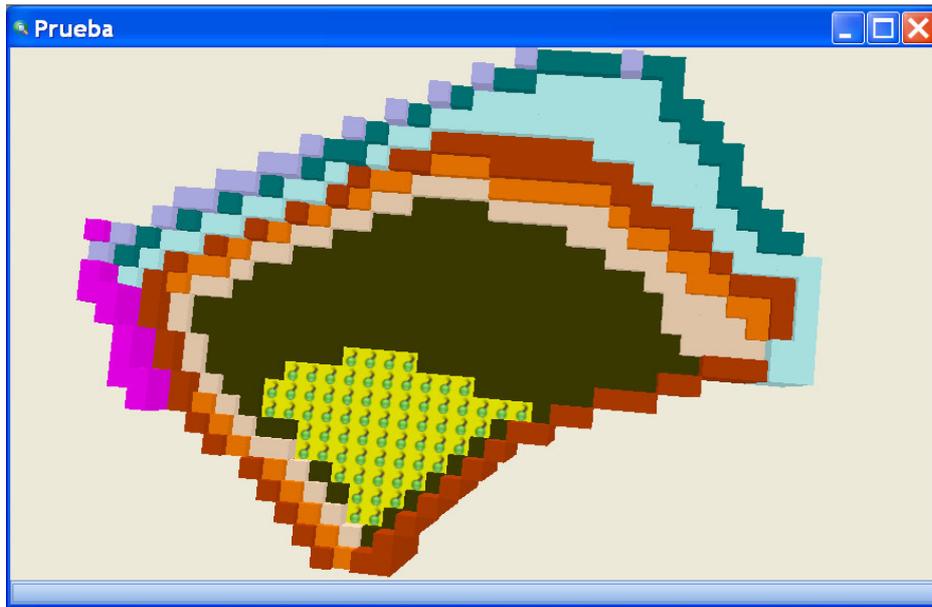


Figura 24. Ejemplo de selección de celdas para definir un tipo de manejo de escorrentía superficial.

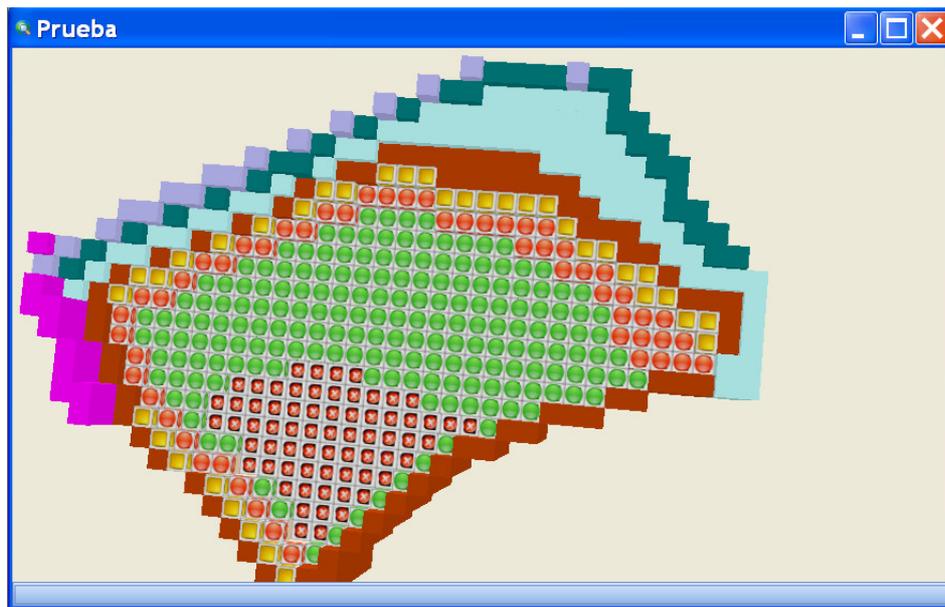


Figura 25. Ejemplo de terreno con cuatro tipos de gestión de escorrentía superficial

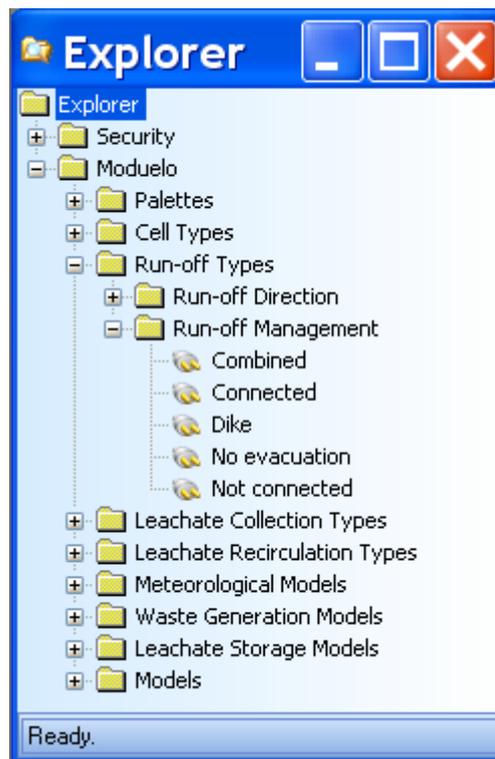


Figura 26. Tipos de gestión de escorrentía superficial

- Escorrentía no evacuada (**No evacuation**).  No evacuation
El volumen de agua no infiltrada no se puede evacuar del vertedero y permanece sobre las celdas hasta que se infiltra, evapora o evapotranspira.
- Escorrentía conectada (**Connected**).  Connected
Se asigna a la celda esta característica cuando el volumen de agua que escurre se evacua a través de un sistema de recogida de escurridos (una zanja perimetral, por ejemplo) conectado al sistema de recolección de lixiviados.
- Escorrentía no conectada (**Not connected**).  Not connected
En este caso el sistema de evacuación de aguas superficiales no está conectado a ningún sistema de recogida de lixiviados: la escorrentía superficial se gestiona independientemente.
- Combinado o mixto (**Combined**).  Combined

Representa una manera de gestión de los sistemas de drenaje inferior con varios conductos en paralelo. Cada conducto da servicio a un área del vertedero, y no se conecta al sistema de evacuación de lixiviados hasta que dicha área comienza a ser explotada depositando residuos. Mientras tanto el conducto sirve para evacuación de aguas de escorrentía, que no estarán contaminadas.

En una celda con drenaje superficial "combinado" la escorrentía se considera "no conectada" mientras no se haya colocado otra celda en la capa superior aguas arriba en la dirección de drenaje (el sistema de drenaje inferior de esa capa aún no está conectado a la red general de evacuación de lixiviados) y se considerará "conectada" en caso contrario.

- Gestión a través de caballones (Dike).  Dike

En muchos vertederos la colocación de los residuos se realiza compartimentando la superficie mediante caballones de baja permeabilidad que permiten controlar las escorrentías, conectando a la red general de lixiviados sólo las provenientes de las áreas en explotación (ver Figura 27).

En una celda con este tipo de gestión la escorrentía se considerará "no conectada" mientras no se hayan colocado celdas sobre el área entre caballones a la que pertenece. Al comenzar la explotación en determinado compartimento (limitado por uno o más caballones), toda la escorrentía de las celdas colocadas aguas arriba en la dirección de drenaje del caballón se considera "conectada", mientras que la escorrentía de las celdas situadas aguas abajo, es "no conectada". Según evoluciona la explotación del vertedero, los caballones "activos" varían y con ellos la consideración de la escorrentía en cada celda, que pasa de "no conectada" a "conectada".

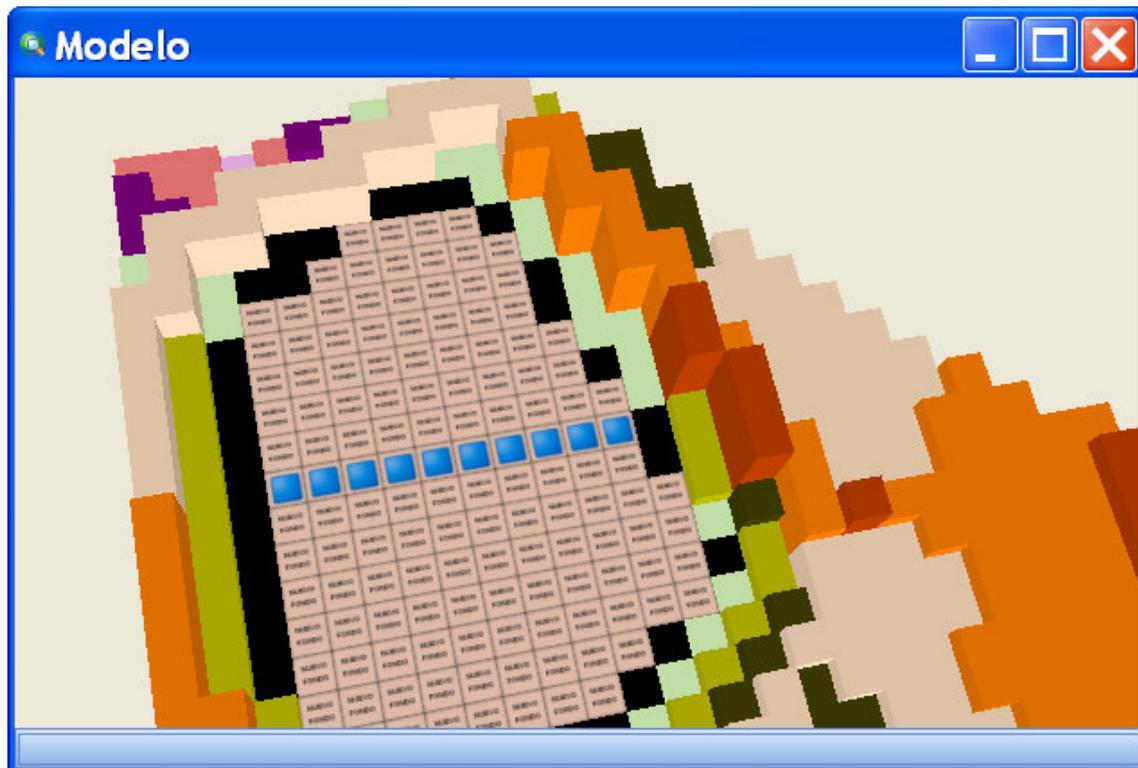


Figura 27. Ejemplo de definición de un sistema gestión de agua mediante caballones

2.3 Modelo de generación de residuos (Waste generation model)

Los modelos de generación de residuos permiten representar los distintos residuos que se vierten en el vertedero a lo largo de su historial de explotación. Cada modelo consta de tres módulos: componentes, periodos de generación y simulaciones.

2.3.1 Componentes (Components)

Éste módulo se emplea cuando el usuario dispone de información sobre la cantidad de los distintos materiales (componentes: papel, madera, metal, etc.) que llegan a vertedero.

Aquí se definen las propiedades de cada componente en cuanto a composición elemental, biodegradabilidad y otras características.

Para generar un nuevo componente se pulsa el botón derecho sobre la carpeta *Components* y se selecciona la opción *New component...* Aparece una ventana con dos pestañas:

- Pestaña general (**General**).

Se define el código numérico identificador, el nombre del componente y se puede incluir una breve descripción del mismo.

- Pestaña composición (**Composition**).

Composición (Composition)

Composición elemental del componente: contenidos en carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y cenizas. Datos en porcentaje.

Biodegradabilidad (Biodegradability)

- Biodegradabilidad (Biodegradability): se indica si el componente es inerte, rápida o lentamente biodegradable.
- Fracción biodegradable (Biodegradable fraction): si el componente es biodegradable, se especifica la fracción del mismo que se puede biodegradar. Dato en porcentaje.

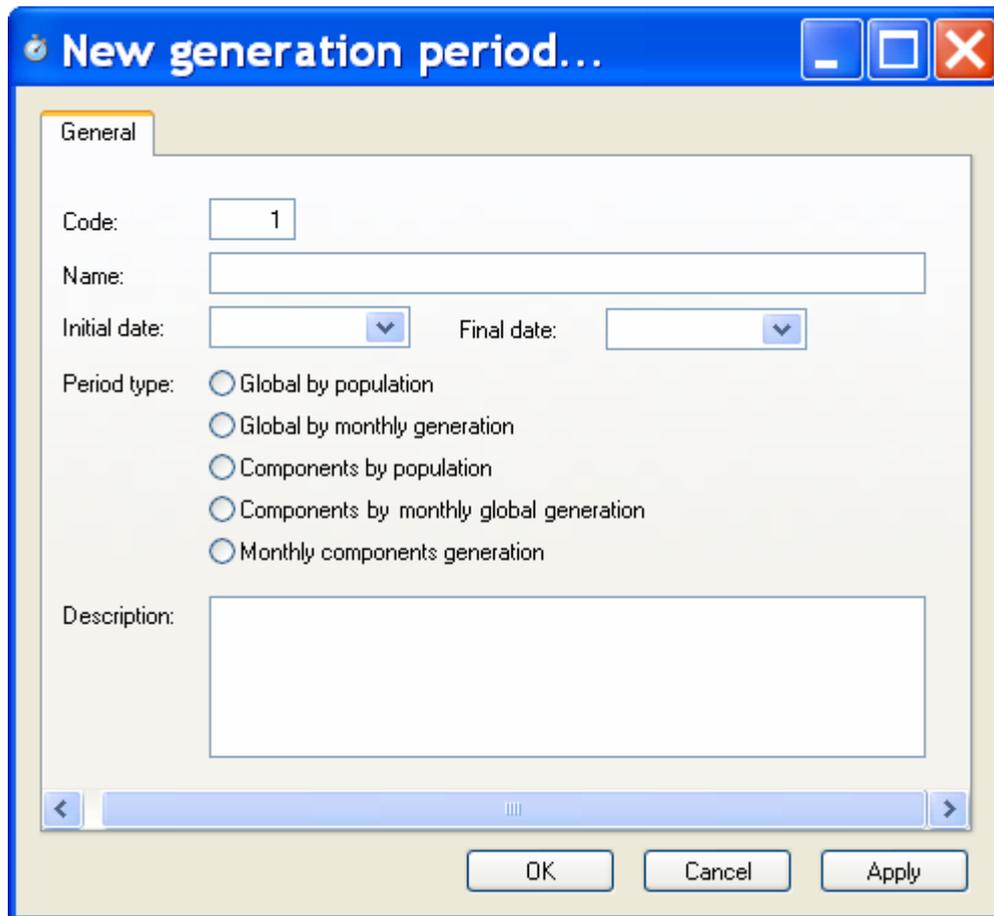
Otras características (Other characteristics)

- Contenido global de humedad (Global moisture content): humedad inicial del componente. Dato en porcentaje en peso húmedo.
- Densidad global (Global density): densidad inicial del componente. Dato en Tn/m^3 expresado en peso húmedo.
- Poder calorífico (Calorific power): poder calorífico típico del componente. Dato en kcal/kg en peso seco.

2.3.2 Periodos de generación (Generation periods)

Los períodos de generación permiten definir las distintas corrientes de residuos que llegan al vertedero a lo largo del tiempo.

Para crear un periodo de generación se pulsa el botón derecho del ratón sobre la carpeta *Generation periods* y se elige *New generation period*, que abre la ventana que se muestra en la Figura 28.



The image shows a software dialog box titled "New generation period...". It has a "General" tab selected. The "Code" field contains the number "1". The "Name" field is empty. There are two dropdown menus for "Initial date" and "Final date". Under "Period type", there are five radio button options: "Global by population", "Global by monthly generation", "Components by population", "Components by monthly global generation", and "Monthly components generation". A large empty text area is labeled "Description". At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Apply".

Figura 28. Ventana de definición de un nuevo periodo de generación de residuos

- Pestaña general (**General**).

En esta pestaña se define el código numérico identificador y el nombre del nuevo periodo de generación de residuos, la fecha de inicio y finalización y una breve descripción del mismo. Además se selecciona uno de los cinco tipos de periodos que se describen a continuación, según los datos de los que se disponga.

- Generación global por población (Global by population): en este tipo de periodo se especifica la población (número de habitantes) que genera los residuos, la tasa diaria de generación de residuos por habitante y las tasas de crecimiento, tanto de la población como de la generación de residuos.
- Generación global mensual (Global by monthly global generation): se conoce la generación mensual de residuos durante el período a definir.
- Generación por componentes y población (Components by population): se especifica la composición del residuo por componentes, así como la fracción reciclada de cada uno. Se introduce también la población (número de habitantes) generadora de los residuos y su tasa de crecimiento, la tasa diaria

de generación de residuos por habitante y las tasas de crecimiento de generación de residuos. Existe la posibilidad de seleccionar la opción *Growth rate by components* y definir las tasas de crecimiento de producción de cada componente; en este caso el usuario no define las tasas de crecimiento de la población ni de generación global de residuos.

- Generación por componentes y generación mensual (Components by monthly global generation): se conoce la composición del residuo por componentes a lo largo del tiempo así como la fracción reciclada de cada uno y la generación mensual global de residuos durante el período a definir.
- Generación mensual por componentes (Monthly components generation): se especifican los componentes y la generación mensual de cada uno durante el período a definir.

Para cada tipo de periodo de generación se generan pestañas diferentes elegidote introducción de datos, que se describen a continuación.

2.3.2.1 Generación global por población (Global by population)

- Pestaña composición global (**Global composition**)

Composición (Composition)

Composición global del residuo: contenido en carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y cenizas. Datos en porcentaje.

Biodegradabilidad (Biodegradability)

Se indica la fracción rápidamente biodegradable, la lentamente biodegradable y la fracción inerte. La suma de las tres debe de resultar 100. Dato en porcentaje.

- Pestaña generación por población (**Generation by population**)
 - Población inicial (Initial served population): número de habitantes que generan los residuos de la corriente correspondiente.
 - Tasa unitaria de generación diaria de residuos (Daily unit waste generation): cantidad de residuo que llega a vertedero por habitante y día. Dato en kg/hab/d en peso húmedo.
 - Tasa de crecimiento anual acumulativo de la población (Population annual accumulative growth rate): dato en porcentaje.
 - Tasa de crecimiento anual acumulativo de la generación de residuos (Global annual accumulative growth rate of unit waste generation): dato en porcentaje.

- Pestaña otras características (**Other characteristics**)
 - Factor de accesibilidad (Accessibility factor): representa la fracción de residuo que queda accesible a los microorganismos para su descomposición en el vertedero.
 - Factor de arrastre (Dragging factor): fracción de materia orgánica no biodegradable que pasa al lixiviado por “arrastre” en la hidrólisis de la materia degradable.
 - Contenido global de humedad (Global moisture content): contenido de humedad del residuo. Dato en porcentaje en peso húmedo.
 - Densidad global (Global density): densidad del residuo. Dato en Tn/m³ en peso húmedo.
 - Poder calorífico (Calorific Power): dato en kcal/kg en peso seco.

2.3.2.2 Generación global mensual (Global by monthly generation)

- Pestaña composición global (**Global composition**)

Composición (Composition)

Composición de global del residuo: contenido en carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y cenizas. Dato en porcentaje.

Biodegradabilidad (Biodegradability)

Se indica la fracción rápidamente biodegradable, la lentamente biodegradable y la fracción inerte. La suma de las tres debe de resultar 100. Dato en porcentaje.

- Pestaña generación mensual global (**Monthly global generation**)

El usuario debe completar la columna de generación (Generation) con las toneladas de residuo que llegan a vertedero cada mes.

- Otras características (**Other characteristics**)

- Factor de accesibilidad (Accessibility factor): representa la fracción de residuo que queda accesible a los microorganismos para su descomposición en el vertedero.
- Factor de arrastre (Dragging factor): fracción de materia orgánica no biodegradable que pasa al lixiviado por “arrastre” en la hidrólisis de la materia degradable.

- Contenido global de humedad (Global moisture content): contenido de humedad del residuo. Dato en porcentaje en peso húmedo
- Densidad global (Global density): densidad del residuo. Dato en Tn/m³ en peso húmedo.
- Poder calorífico (Calorific Power): dato en kcal/kg en peso seco.

2.3.2.3 Generación por componentes y población (Components by population)

- Pestaña composición por componentes (**Composition by components**)

Desde la carpeta *Components* se arrastran todos los componentes que aparecen en la corriente de residuos a definir. Para cada componente se especifica el porcentaje que representa inicialmente en la mezcla total generada y la fracción reciclada del mismo, ambos en peso húmedo.

- Pestaña generación por población (**Generation by population**)

- Población inicial (Initial served population): número de habitantes que generan los residuos de la corriente correspondiente.
- Tasa unitaria de generación diaria de residuos (Daily unit waste generation): cantidad de residuo generada por habitante y día. Dato en kg/hab/d en peso húmedo.
- Tasa de crecimiento por componentes (Growth rate by components): permite definir el crecimiento de la generación de residuos componente a componente. Si se selecciona esta casilla no se introducen más datos en esta pestaña. En caso contrario se introducen también los parámetros siguientes.
- Tasa de crecimiento anual acumulativo de la población (Population annual accumulative growth rate): dato en porcentaje.
- Tasa de crecimiento anual acumulativo de la generación de residuos (Global annual accumulative growth rate of unit waste generation): dato en porcentaje.

- Otras características (**Other characteristics**)

- Factor de accesibilidad (Accessibility factor): representa la fracción de residuo que queda accesible a los microorganismos para su descomposición en el vertedero.
- Factor de arrastre (Dragging factor): fracción de materia orgánica no biodegradable que pasa al lixiviado por "arrastre" en la hidrólisis de la materia degradable.

- Densidad global (Global density): el usuario puede optar por definir una densidad global del residuo en vertedero, o seleccionar que se calcule la densidad de la mezcla a partir de la densidad de cada componente en vertedero, para lo que habría que seleccionar la casilla *By components*. En el primer caso se introduce el dato en Tn/m³ en peso húmedo.
- Poder calorífico (Calorific Power): el usuario puede optar por definir un poder calorífico global del residuo o seleccionar que se calcule a partir de las características de cada componente, para lo que habría que seleccionar la casilla *By components*. En el primer caso se introduce el dato en kcal/kg en peso seco.

2.3.2.4 Generación por componentes y generación global mensual (Components by monthly global generation)

- Pestaña composición por componentes (**Composition by components**)

Desde la carpeta *Components* se arrastran todos los componentes que aparecen en la corriente de residuos a definir. Para cada componente se especifica el porcentaje que representa inicialmente en la mezcla total generada y la fracción reciclada del mismo, ambos en peso húmedo.

- Pestaña generación global mensual (**Monthly global generation**)

El usuario debe completar la columna de generación (*Generation*) con las toneladas de residuo generadas mensualmente en el periodo seleccionado.

- Otras características (**Other characteristics**)

- Factor de accesibilidad (Accessibility factor): representa la fracción de residuo que queda accesible a los microorganismos para su descomposición en el vertedero.
- Factor de arrastre (Dragging factor): fracción de materia orgánica no biodegradable que pasa al lixiviado por "arrastre" en la hidrólisis de la materia degradable.
- Densidad global (Global density): el usuario puede optar por definir una densidad global del residuo en vertedero, o seleccionar que se calcule la densidad de la mezcla a partir de la densidad de cada componente en vertedero, para lo que habría que seleccionar la casilla *By components*. En el primer caso se introduce el dato en Tn/m³ en peso húmedo.

- Poder calorífico (Calorific Power): el usuario puede optar por definir un poder calorífico global del residuo o seleccionar que se calcule a partir de las características de cada componente, para lo que habría que seleccionar la casilla *By components*. En el primer caso se introduce el dato en kcal/kg en peso seco.

2.3.2.5 Generación mensual por componentes (Monthly components generation)

- Pestaña composición por componentes (**Composition by components**)

Desde la carpeta *Components* se arrastran todos los componentes que aparecen en la corriente de residuos a definir.

- Pestaña generación por componentes (**Generation by components**)

El usuario debe completar la columna de generación (Generation) con las toneladas de cada componente que llegan a vertedero cada mes.

- Otras características (**Other characteristics**)

- Factor de accesibilidad (Accessibility factor): representa el grado de accesibilidad de los microorganismos al residuo para su descomposición.
- Factor de arrastre (Dragging factor): fracción de materia orgánica que pasa al lixiviado mediante lavado.
- Densidad global (Global density): se puede optar por poner una densidad global del residuo, en cuyo caso el dato sería en Tn/m³ en peso húmedo, o seleccionar que la densidad del residuo la calcule por componentes para lo que habría que seleccionar la casilla *By components*.
- Poder calorífico (Calorific Power): se puede optar por poner un poder calorífico global del residuo, en cuyo caso el dato sería en kcal/kg en peso seco, o seleccionar que lo calcule por componentes para lo que habría que seleccionar la casilla *By components*.

2.3.3 Simulaciones (Simulations)

Para crear una simulación de la generación de residuos se pulsa el botón derecho del ratón sobre la carpeta *Simulations* y se elige *New waste simulation*, que abre la ventana que se muestra en la Figura 29.

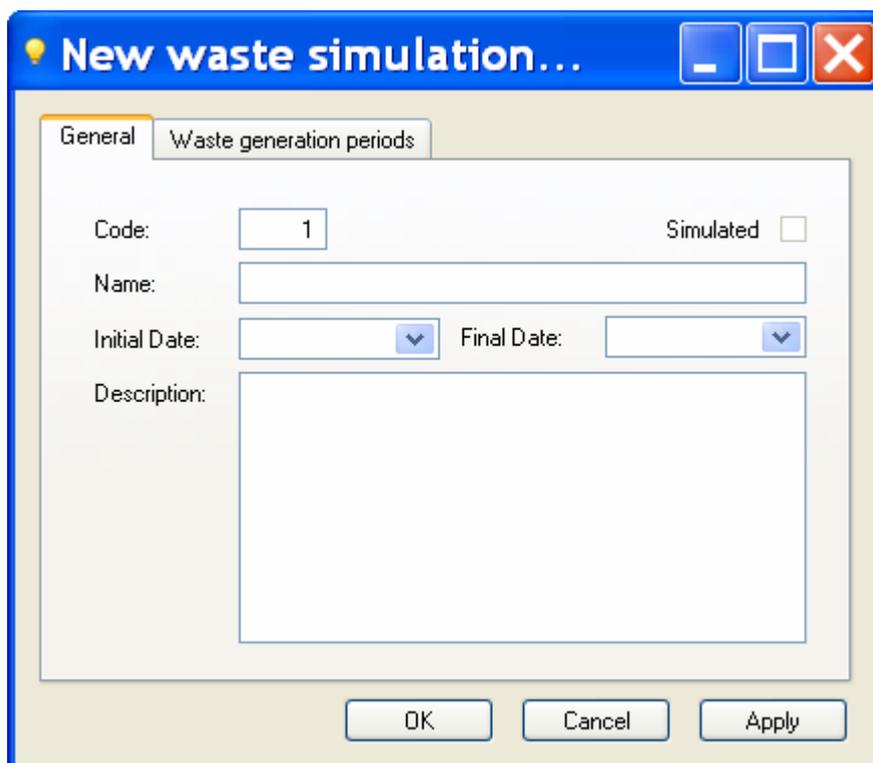


Figura 29. Ventana de definición de una nueva simulación de generación de residuos

- Pestaña general (**General**).

En esta pestaña se define el código numérico identificador, nombre de la nueva simulación de generación de residuos, la fecha de inicio y finalización de la simulación y una breve descripción de la misma.

- Pestaña periodos de generación de residuos (**Waste generation periods**).

A esta pestaña se arrastran los periodos de generación de residuos a incluir en la simulación desde la carpeta *Generation periods*.

Resultados de la simulación

Los resultados guardados tras la simulación pueden ser consultados por el usuario a través de la opción Ver en Tabla (*View in grid*), que aparece al pulsar el botón derecho sobre la simulación realizada (terminada una simulación el icono  se transforma en una bombilla encendida .

Los resultados generales de la simulación son los siguientes:

- Residuo generado (Generated Waste): Cantidad global de residuos generada durante el período simulado. Dato en Tn en peso húmedo.

- Residuo reciclado (Recycled Waste): Cantidad global de residuos reciclada durante el período simulado. Dato en Tn en peso húmedo.
- Residuo vertido (Landfilled Waste): Cantidad global de residuos que llega a vertedero durante el período simulado. Dato en Tn en peso húmedo.
- Contenido de humedad (Moisture content): dato en porcentaje en peso húmedo, referido a los residuos que llegan a vertedero.
- Densidad (Density): dato Tn/m³ en peso húmedo, referido a los residuos que llegan a vertedero.
- Poder calorífico (Calorific power): dato en kcal/kg en peso seco, referido a los residuos que llegan a vertedero.
- Materia rápidamente biodegradable (Readily biodegradable): dato en Tn en peso seco, referido a los residuos que llegan a vertedero.
- Materia lentamente biodegradable (Slowly biodegradable): dato en Tn en peso seco, referido a los residuos que llegan a vertedero.
- Materia orgánica no biodegradable (Organic non biodegradable): dato en Tn en peso seco, referido a los residuos que llegan a vertedero.
- Cenizas (Ashes): dato en Tn en peso seco, referido a los residuos que llegan a vertedero.
- Factor de accesibilidad (Accessibility factor).
- Factor de arrastre (Dragging factor).

También se muestran los resultados de composición: cantidades de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y cenizas (datos en Tn en peso húmedo) que componen cada fracción del residuo: rápidamente biodegradable (*Readily biodegradable*), parte no biodegradable de los componentes rápidamente biodegradables (*Readily non biodegradable*), lentamente biodegradable (*Slowly biodegradable*), parte no biodegradable de los componentes lentamente biodegradables (*Slowly non biodegradable*), inerte (*Inert*) y no biodegradable total (*Total non biodegradable*). Tanto los resultados generales como los de composición se pueden consultar para cada mes de la simulación (Figura 30).

Waste Model	Code	Name	Initial Date	Final Date	Generated Waste	Recycled Waste	Landfilled Waste (wet)	Landfilled Waste (dry)		
Vaso 4 Antiguo	1	Vaso 4 Antiguo	01/08/2005	31/12/2005	454.811,000	0,000	454.811,000	170.638,510		
Total by elements										
Element	Readily Biodegradable	Readily Non Biodegradable	Slowly Biodegradable	Slowly Non Biodegradable	Inert	Total Non Biodegradable				
Carbon	6.223,605	0,000	6.223,605	0,000	26.133,250	26.133,250				
Hydrogen	765,615	0,000	765,615	0,000	3.213,401	3.213,401				
Oxygen	4.871,946	0,000	4.871,946	0,000	20.404,989	20.404,989				
Nitrogen	206,290	0,000	206,290	0,000	876,057	876,057				
Sulphur	17,284	0,000	17,284	0,000	72,464	72,464				
Ashes	15.307,866	0,000	15.307,866	0,000	65.153,136	65.153,136				
Total by months										
Year	Month	Generated Waste	Recycled Waste	Landfilled Waste (wet)	Landfilled Waste (dry)	Moisture Content	Density	Calorific Power	Readily Biodegradable	Slowly Biodeg
2005	8	133.469,000	0,000	133.469,000	38.706,010	71,00	0,70	2.901,00	2.107,000	
2005	9	37.674,000	0,000	37.674,000	10.925,460	71,00	0,70	3.320,00	1.135,199	
2005	10	99.176,000	0,000	99.176,000	28.761,040	71,00	0,70	2.739,00	1.952,069	
2005	11	34.944,000	0,000	34.944,000	17.472,000	50,00	0,70	3.320,00	1.815,411	
2005	12	149.548,000	0,000	149.548,000	74.774,000	50,00	0,70	2.739,00	5.075,061	
Simulated periods										
Period name										
V4 A Zona E										
V4 A Zona C Saturada										
V4 A Zona D Saturada										
V4 A Zona C NO Saturada										
V4 A Zona D NO Saturada										

Figura 30. Ejemplo de ventana de resultados de simulación de generación de residuos.

2.4 Modelo meteorológico (Meteorological models)

Para comenzar la edición de los datos meteorológicos se pulsa con el botón derecho sobre la carpeta de modelos meteorológicos (*Meteorological models*) y se selecciona la opción *New meteorological model*. Aparecerá la ventana de la Figura 31 en la que se definen el código numérico identificador, el nombre del modelo, la latitud en la que se encuentra localizado el vertedero y, si el usuario desea, una descripción del modelo meteorológico.

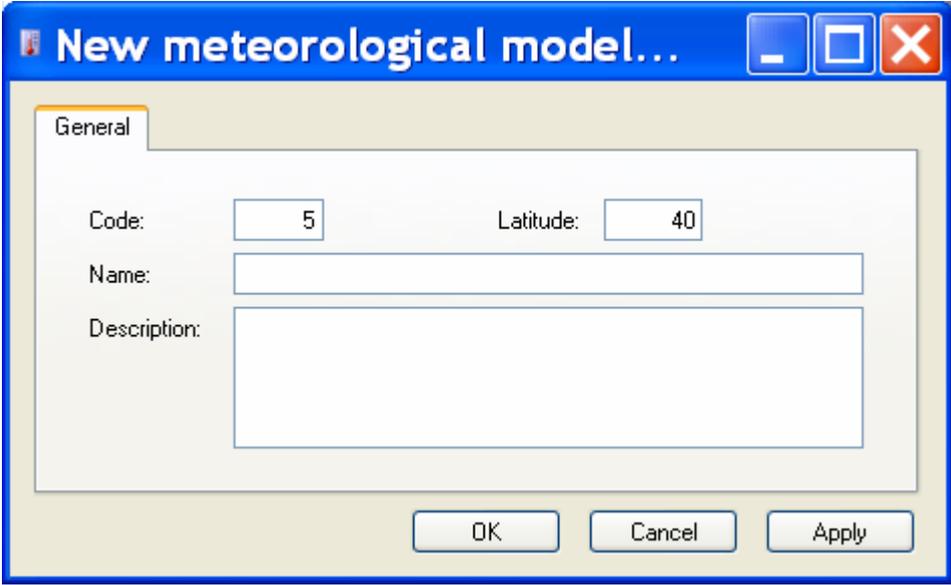


Figura 31. Ventana de definición de un nuevo modelo meteorológico

Los datos se cargan desde un fichero tipo XLS creado previamente. Para ello se pulsa el botón derecho de ratón sobre el nuevo modelo y se selecciona la opción *Import meteorological records*.

El fichero XLS a importar puede tener cualquier nombre, pero debe constar de una sola hoja con los datos que se llame *MeteorologicalRecords*. En la primera fila deben aparecer los siguientes apartados (ver Figura 32).

- **RelativeHumidity**: humedad relativa media diaria en porcentaje.
- **AverageTemperature**: temperatura media diaria en °C.
- **AverageWindSpeed**: velocidad media diaria del viento en km/h.
- **Insolation**: número de horas diarias de sol.

- **PH1; PH2; PH3; PH4; PH5; PH6; PH7; PH8; PH9; PH10; PH11; PH12; PH13; PH14; PH15; PH16; PH17; PH18; PH19; PH20; PH21; PH22; PH23; PH24:** precipitación horaria correspondiente a cada una de las horas del día, en mm.
- **DailyPrecipitation:** precipitación diaria en mm.
- **MaximumTemperature:** temperatura máxima diaria en °C.
- **MinimumTemperature:** temperatura mínima diaria en °C.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Date	RelativeHumidity	AverageTemperature	AverageWindSpeed	Insolation	PH1	PH2	PH3	PH4	PH5	PH6	PH7	PH8
2	20060101	62,00	11,00	14,11	5,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	20060102	61,00	10,40	20,11	6,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00
4	20060103	79,00	8,00	5,11	6,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	20060104	83,00	7,90	4,91	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	20060105	86,00	6,90	3,61	2,15	0,00	0,37	0,00	0,37	1,83	0,00	1,47	0,00
7	20060106	88,00	7,80	2,51	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	20060107	87,00	8,90	8,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,10	0,00	0,00	0,00
9	20060108	81,00	10,60	8,81	5,85	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00
10	20060109	82,00	10,70	6,21	5,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	20060110	83,00	8,00	7,31	8,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	20060111	82,00	8,60	3,61	6,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	20060112	86,00	7,20	1,71	8,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
14	20060113	86,00	8,00	1,31	3,40	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00
15	20060114	85,00	6,80	1,91	6,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	20060115	83,00	7,20	4,91	7,20	0,00	0,37	0,00	0,37	1,83	0,00	1,47	0,00
17	20060116	82,00	7,80	5,21	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	20060117	79,00	10,00	2,31	7,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	20060118	82,00	11,10	5,61	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	20060119	79,00	10,80	9,71	6,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 32. Vista de fichero XLS a cargar con datos meteorológicos

Con el fichero XLS se cargan todos los datos en el modelo creado, desde donde pueden editarse en la tablas que se muestran al pulsar sobre el modelo meteorológico con el botón derecho y elegir la opción *View in grid*, como se muestra en la Figura 33.

Code	Name	Latitude	Description
4	Sta Margalida	40	

Days											
Date	Precipitation	Relative Humidity	Maximum Temperature	Minimum Temperature	Average Temperature	Average Wind Speed	Insolation	Potential Evaporation	Potential Evapotranspiration		
01/01/2006	0,0	62	15,0	7,7	11,0	14,112	5,1	1,585133	1,735738		

Hours	
Hour	Precipitation
1	0,0
2	0,0
3	0,0
4	0,0
5	0,0
6	0,0
7	0,0
8	0,0
9	0,0
10	0,0
11	0,0
12	0,0
13	0,0
14	0,0
15	0,0
16	0,0
17	0,0
18	0,0
19	0,0
20	0,0
21	0,0
22	0,0
23	0,0
24	0,0
*	

Figura 33. Vista de datos de un día en un modelo climatológico

2.5 Tipos de sistemas de recirculación de lixiviados (Leachate recirculation types)

Rellenado el vertedero, se definen los sistemas de recirculación de lixiviados durante la explotación del vertedero (During landfill operation) y en el período postclausura (After landfill closure).

2.5.1 Tipos de sistemas de recirculación de lixiviados durante la explotación del vertedero (Leachate recirculation types during landfill operation)

En MODUELO existen siete tipos principales de sistemas de recirculación de lixiviados durante la etapa de explotación del vertedero: "Prehumectación del residuo" (Prewetting), "Riego en el frente de vertido" (Tipping area spraying), "Riego mediante difusores" (Surface spraying), "Lagunas sobre la superficie" (Surface pond), "Inyección mediante conducciones horizontales" (Horizontal injection), "Inyección mediante pozos verticales" (Vertical injection) y "Extracción mediante pozos verticales" (Vertical extraction).

2.5.1.1 Prehumectación (Prewetting), Riego en el frente de vertido (Tipping area spraying), Riego mediante difusores (Surface spraying), Lagunas sobre la superficie (Surface pond), Inyección mediante conducciones horizontales (Horizontal injection)

Para crear un sistema de recirculación de lixiviados por prehumectación se pulsa el botón derecho del ratón sobre la carpeta *Prewetting* y se elige *New LRS type*, que abre la ventana que se muestra en la Figura 34.

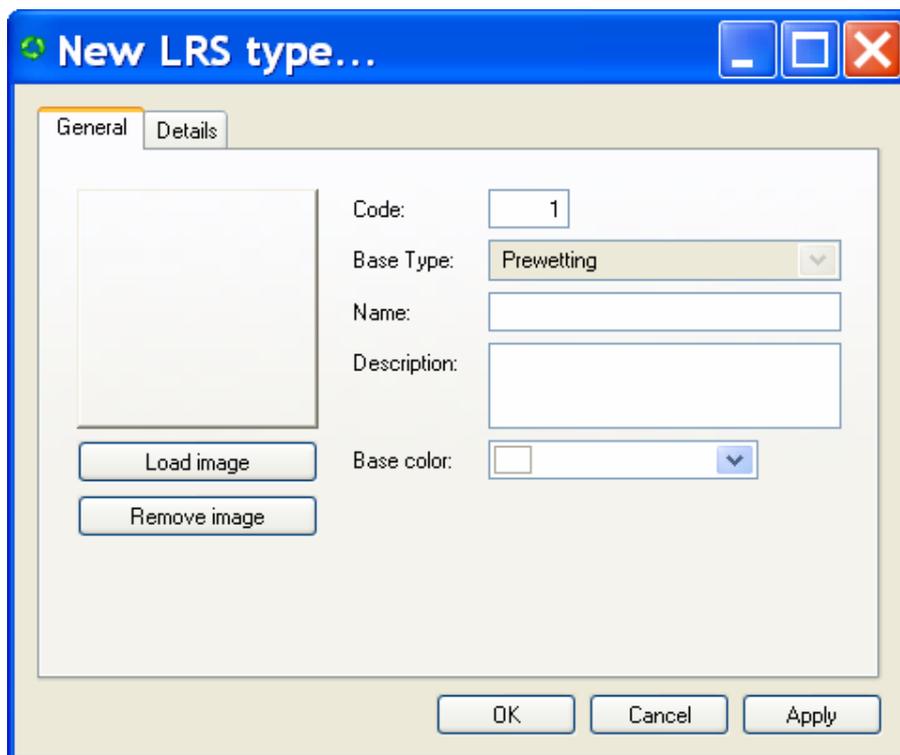


Figura 34. Ventana de definición de un nuevo sistema de recirculación de lixiviados tipo Prehumectación

- Pestaña general (**General**)

En esta pestaña se define el código y nombre del subtipo o tipo específico de sistema de recirculación de lixiviados, se incluye una breve descripción del mismo y se asigna el color base para identificarlo en el modelo visual del terreno. El usuario puede también cargar una imagen con este objetivo.

- Pestaña detalles (**Details**)

Volumen diario de recirculación por celda (Recirculation flow per cell): el volumen de lixiviado que se introducirá en la celda siempre que su capacidad de recepción

de humedad y la disponibilidad de lixiviados almacenados lo permitan. Dato en m^3/d .

Condición para la recirculación (Recirculation condition)

Permite seleccionar una o dos condiciones sin las cuales no se producirá este tipo de recirculación: que la escorrentía en el día anterior no supere el valor introducido por el usuario ó/y que el volumen de lixiviado recogido el día anterior no supere el valor correspondiente, introducido también por el usuario.

- Escorrentía menor que (Run-off lower than): permite al usuario establecer el valor de la escorrentía superficial por encima del cual el día siguiente no se produce recirculación en el sistema del tipo definido. Dato en m^3/d .
- Lixiviado menor que (Leachate lower than): permite al usuario establecer el valor del volumen de lixiviado recogido por encima del cual el día siguiente no se produce recirculación en el sistema del tipo definido. Dato en m^3/d .

Creado un subtipo de sistema de recirculación de lixiviados por humectación, es necesario definir en qué períodos de tiempo estará activo. Para ello se pulsa con el botón derecho del ratón sobre el subtipo creado y se selecciona *New LRS period*, que abre una ventana como la mostrada en la Figura 35.

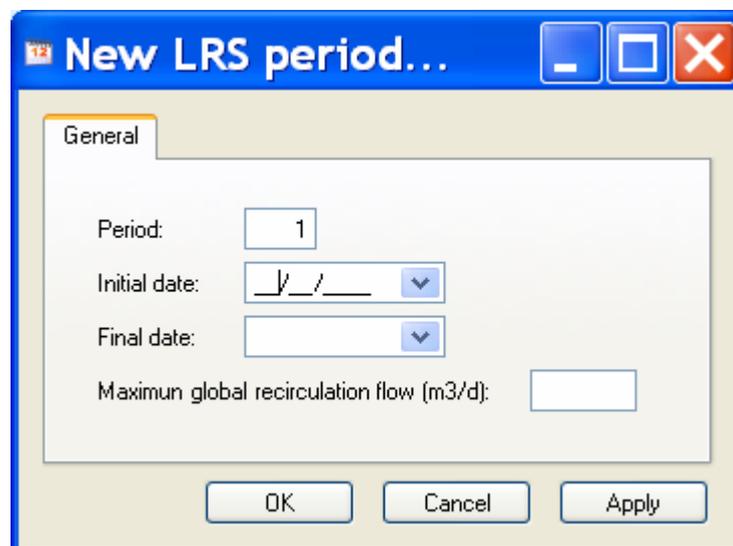


Figura 35. Ventana de definición de un periodo de recirculación

- Pestaña general (**General**)
 - Período (Period): número identificador del período a definir.
 - Fecha inicial (Initial date): día en que se comienza a practicar el subtipo de recirculación de que se trata.

- Final date (Final date): día en que finaliza la recirculación del subtipo correspondiente.
- Máximo volumen diario global de recirculación (Maximum global recirculation flow): volumen máximo que se puede recircular entre todas las celdas del subtipo correspondiente. Dato en m³/d.

Para los tipos Riego en el frente de vertido, Riego mediante difusores, Lagunas sobre la superficie e Inyección mediante conducciones horizontales se procede de manera análoga a lo anterior, partiendo de la carpeta correspondiente en cada caso.

2.5.1.2 Inyección en pozos verticales (Vertical injection)

Para crear un sistema de recirculación de lixiviados en pozos verticales se procede de igual manera que para la creación de otros sistemas de recirculación de lixiviados (en esta ocasión a partir de la carpeta Vertical injection). En este caso los parámetros a introducir son diferentes.

- Pestaña general (**General**)

En esta pestaña se define el código y nombre del subtipo o tipo específico de sistema de recirculación de lixiviados, se incluye una breve descripción del mismo y se asigna el color base para identificarlo en el modelo visual del terreno. El usuario puede también cargar una imagen con este objetivo.

- Pestaña detalles (**Details**)

Volumen diario de recirculación por pozo (Recirculation flow per well): el volumen de lixiviado que se introducirá en la celda siempre que su capacidad de recepción de humedad y la disponibilidad de lixiviados almacenados lo permitan. Dato en m³/d.

Condición para la recirculación (Recirculation condition)

Permite seleccionar una o dos condiciones sin las cuales no se producirá este tipo de recirculación: que la escorrentía en el día anterior no supere el valor introducido por el usuario ó/y que el volumen de lixiviado recogido el día anterior no supere el valor correspondiente, introducido también por el usuario.

- Escorrentía menor que (Run-off lower than): permite al usuario establecer el valor de la escorrentía superficial por encima del cual el día siguiente no se produce recirculación en el sistema del tipo definido. Dato en m³/d.

- Lixiviado menor que (Leachate lower than): permite al usuario establecer el valor del volumen de lixiviado recogido por encima del cual el día siguiente no se produce recirculación en el sistema del tipo definido. Dato en m^3/d .

Características del pozo (Well characteristics)

- Superficie lateral perforada (Perforated lateral surface): porcentaje de la superficie lateral del pozo que está perforada (a través de la cual circulará el agua desde el interior del pozo hacia el residuo).
- Radio del pozo (Well radius): radio del pozo de inyección vertical de lixiviado. Dato en m.
- Profundidad del pozo (Well depth): longitud del pozo desde la celda en que se define (el pozo está activo cuando la celda está en superficie). Dato en número de capas desde la celda superficial hasta el fondo.

Como en el resto de subtipos de recirculación, definidos los parámetros anteriores han de crearse los períodos de recirculación correspondientes, según lo expuesto en el apartado anterior.

2.5.1.3 Extracción en pozos verticales (Vertical extraction)

Para crear un sistema de extracción de lixiviados con tubería se procede de igual manera que para la creación de otros sistemas de recirculación de lixiviados (en esta ocasión a partir de la carpeta Vertical extraction). En este caso los parámetros a introducir son diferentes.

- Pestaña general (**General**)

En esta pestaña se define el código y nombre del subtipo o tipo específico de sistema de recirculación de lixiviados, se incluye una breve descripción del mismo y se asigna el color base para identificarlo en el modelo visual del terreno. El usuario puede también cargar una imagen con este objetivo.

- Pestaña detalles (**Details**)

Volumen diario de extracción por pozo (Extraction flow per well): el volumen de lixiviado que se introducirá en la celda siempre que su capacidad de recepción de humedad y la disponibilidad de lixiviados almacenados lo permitan. Dato en m^3/d .

Características del pozo (Well characteristics)

- Radio del pozo (Well radius): radio del pozo vertical de extracción. Dato en m.

- Profundidad del pozo (Well depth): longitud del pozo desde la celda en que se define (el pozo está activo cuando la celda está en superficie). Dato en número de capas desde la celda superficial hasta el fondo.

Como en el resto de subtipos de recirculación, definidos los parámetros anteriores han de crearse los períodos de recirculación correspondientes, según lo expuesto en el apartado anterior.

2.5.2 Tipos de sistemas de recirculación de lixiviados tras la clausura del vertedero (Leachate recirculation types after landfill closure)

En MODUELO existen cinco tipos principales de sistemas de recirculación de lixiviados durante la etapa postclausura del vertedero: "Riego mediante difusores" (Surface spraying), "Lagunas sobre la superficie" (Surface pond), "Inyección mediante conducciones horizontales" (Horizontal injection), "Inyección mediante pozos verticales" (Vertical injection) y "Extracción mediante pozos verticales" (Vertical extraction).

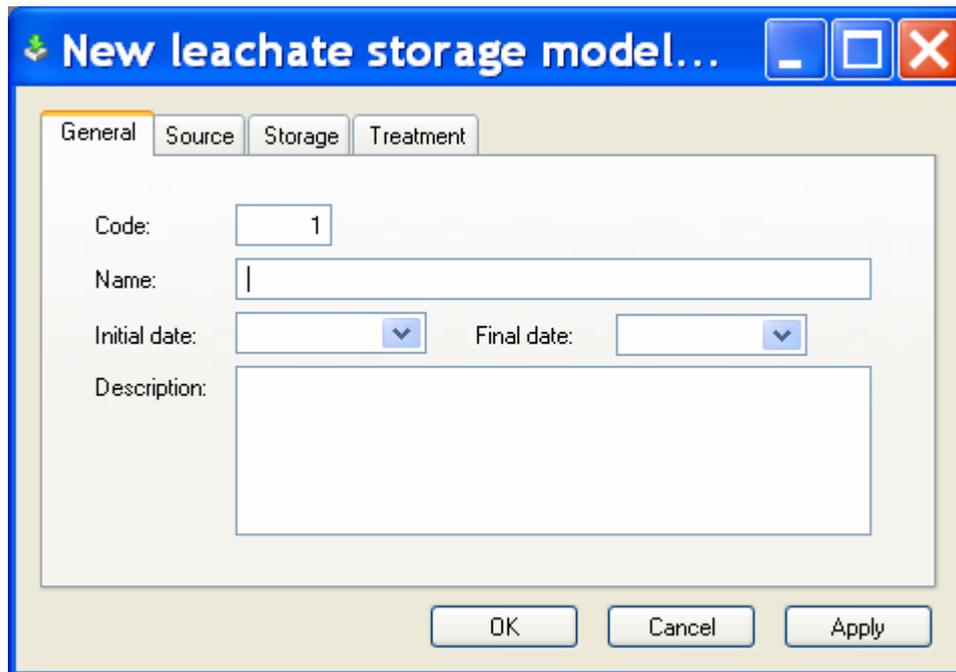
Para crear subtipos de cualquiera de estos sistemas se procede de manera análoga a los casos equivalentes para el vertedero en explotación.

2.6 Modelos de almacenamiento de lixiviado (Leachate storage models)

El modelo de almacenamiento de lixiviados permite simular depósitos de almacenamiento donde se mezclan distintas corrientes de líquido generadas en el vertedero para su posterior recirculación, envío a estaciones de tratamiento, ...

El modelo de almacenamiento establece la cantidad y características principales (contenido de contaminantes) del lixiviado almacenado en el depósito a lo largo de la simulación.

Para crear un modelo de almacenamiento de lixiviados se pulsa el botón derecho del ratón sobre la carpeta *Leachate storage models* y se elige *New storage model*, que abre la ventana que se muestra en la Figura 36.



The image shows a software dialog box titled "New leachate storage model...". It has four tabs: "General", "Source", "Storage", and "Treatment". The "General" tab is selected. Inside the dialog, there are several input fields: "Code" with the value "1", "Name" (empty), "Initial date" and "Final date" (both with dropdown arrows), and "Description" (a large text area). At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Apply".

Figura 36. Ventana de definición de un nuevo modelo de almacenamiento de lixiviados.

- Pestaña general (**General**)

En esta pestaña se define el código numérico identificador y el nombre del modelo de almacenamiento de lixiviados, se especifica la fecha inicial y final del periodo en que el depósito de almacenamiento está activo y también se puede incluir una breve descripción del mismo

- Pestaña fuentes (**Source**)

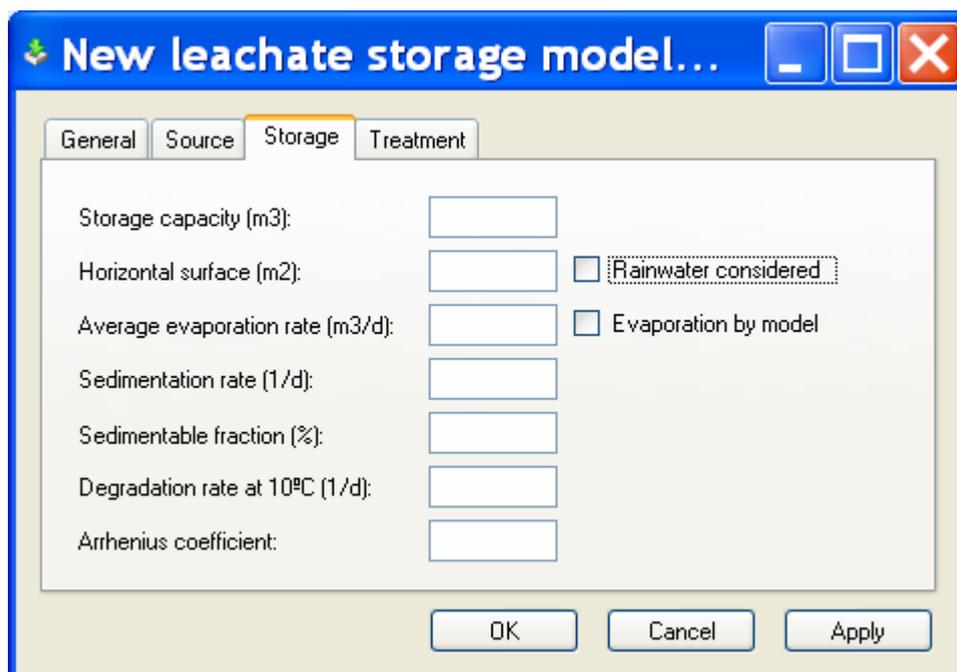
Permite señalar qué corrientes son conducidas al depósito para su almacenamiento. Para elegir la escorrentía conectada (*Connected runoff*), la escorrentía no conectada (*Non connected runoff*) se pulsa el botón correspondiente. Los sistemas de recolección cuyos lixiviados son conducidos al depósito se incorporan al modelo "arrastrándolos" hasta esta pestaña en tipo de sistema de recolección de lixiviados (*LCS type*).

- Pestaña almacenamiento (**Storage**)

Se muestran los parámetros relacionados con el depósito de almacenamiento de los lixiviados (Figura 37):

- Capacidad de almacenamiento (*Storage capacity*): volumen máximo de lixiviado que se puede almacenar. Dato en m³.

- Superficie horizontal (Horizontal surface): área de la superficie libre del lugar donde se almacena el lixiviado. Dato en m^2 .
- Tasa de evaporación media (Average evaporation rate): volumen diario medio de evaporación. Dato en (m^3/d) .
- Tasa de sedimentación (Sedimentation rate): velocidad de sedimentación (de primer orden) de la fracción sedimentable de los contaminantes del lixiviado. Dato en d^{-1} .
- Fracción sedimentable (Sedimentable fraction): de los contaminantes en el lixiviado. Dato en %.
- Tasa de degradación a $10^{\circ}C$ (Degradation rate at $10^{\circ}C$): velocidad de degradación (de primer orden) de la fracción degradable de los contaminantes en el lixiviado. Dato en d^{-1} .
- Coeficiente de Arrhenius (Arrhenius coefficient): constante de variación de la tasa de degradación con la temperatura. Dato adimensional.



The image shows a software dialog box titled "New leachate storage model...". It has four tabs: "General", "Source", "Storage" (which is selected), and "Treatment". The "Storage" tab contains several input fields and checkboxes. The fields are: "Storage capacity (m3)", "Horizontal surface (m2)", "Average evaporation rate (m3/d)", "Sedimentation rate (1/d)", "Sedimentable fraction (%)", "Degradation rate at 10°C (1/d)", and "Arrhenius coefficient". There are two checkboxes: "Rainwater considered" and "Evaporation by model". At the bottom of the dialog box are three buttons: "OK", "Cancel", and "Apply".

Figura 37. Ventana de definición de las características del almacenaje de lixiviados.

En esta pestaña el usuario puede definir si se considera el efecto del agua de lluvia aportada directamente sobre el depósito (*Rainwater considered*) y el modelo de evaporación (*Evaporation by model*) seleccionando la casilla que corresponda. Para considerar el fenómeno de evaporación puede definirse una tasa media de

evaporación, en lugar de recurrir al modelo incorporado a MODUELO (aplicado también en el balance superficial de aguas del vertedero).

- Pestaña tratamiento (**Treatment**)

El usuario define el volumen de lixiviado extraído diariamente del almacén para su tratamiento (Daily treated), mediante una serie de datos en m³.

3 SIMULACIÓN

3.1 Generación de una nueva simulación (New model simulation)

Creados los modelos de terreno, meteorológico y de generación de residuos se puede plantear una simulación. Para ello se pulsa el botón derecho del ratón sobre la carpeta *Simulations* del modelo de terreno creado y se elige la opción *New model simulation*. Aparece entonces la ventana que se muestra en la Figura 38.

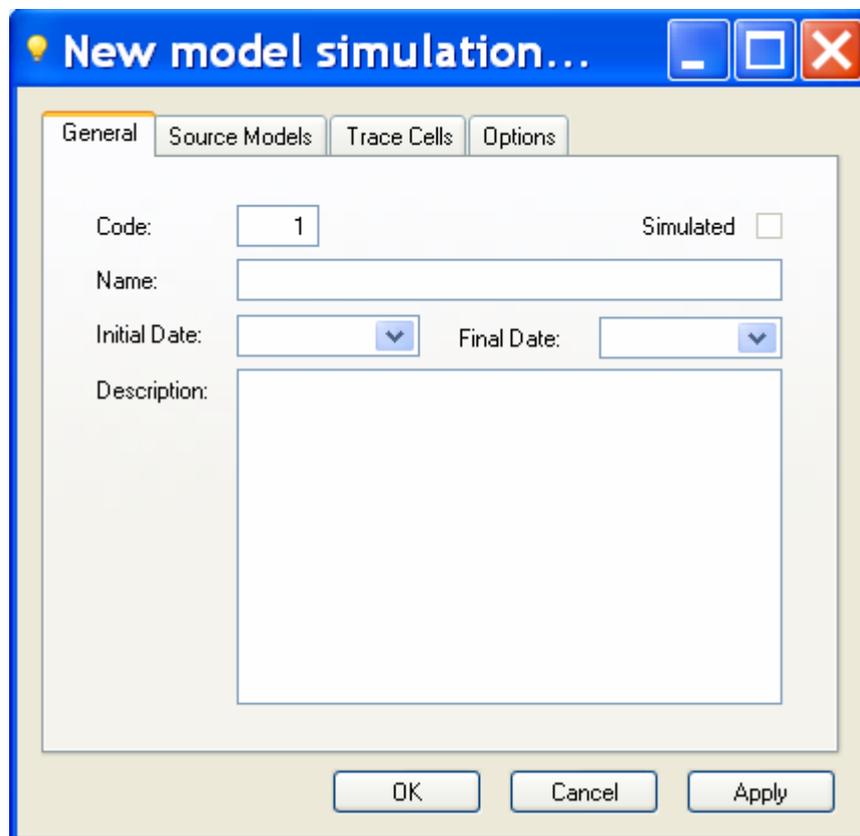


Figura 38. Ventana de definición de una nueva simulación.

- Pestaña general (**General**)

Se define el nombre de la simulación y las fechas de comienzo y fin de la misma. Se puede incluir además una descripción de la simulación.

- Pestaña modelos de origen (**Source models**) (Figura 39)

Hasta esta ventana se "arrastra" el modelo meteorológico (*Meteorological model*) y la simulación del modelo de generación de residuos (*Waste generation model and simulation*) elegida.

Si la simulación incluye recirculación de lixiviados es necesario indicar (del mismo modo que los modelos meteorológicos y de generación de residuos) el modelo de almacenamiento de lixiviados (*Leachate storage model*) definido.

Existe la posibilidad de realizar simulaciones "encadenadas": simulaciones cuya situación inicial está definida por los resultados de una simulación anterior, cuyo período de tiempo termina en la fecha anterior a la de comienzo de la siguiente. Para ello se debe "arrastrar" la simulación inicial al apartado simulación base del modelo (*Base model simulation*).

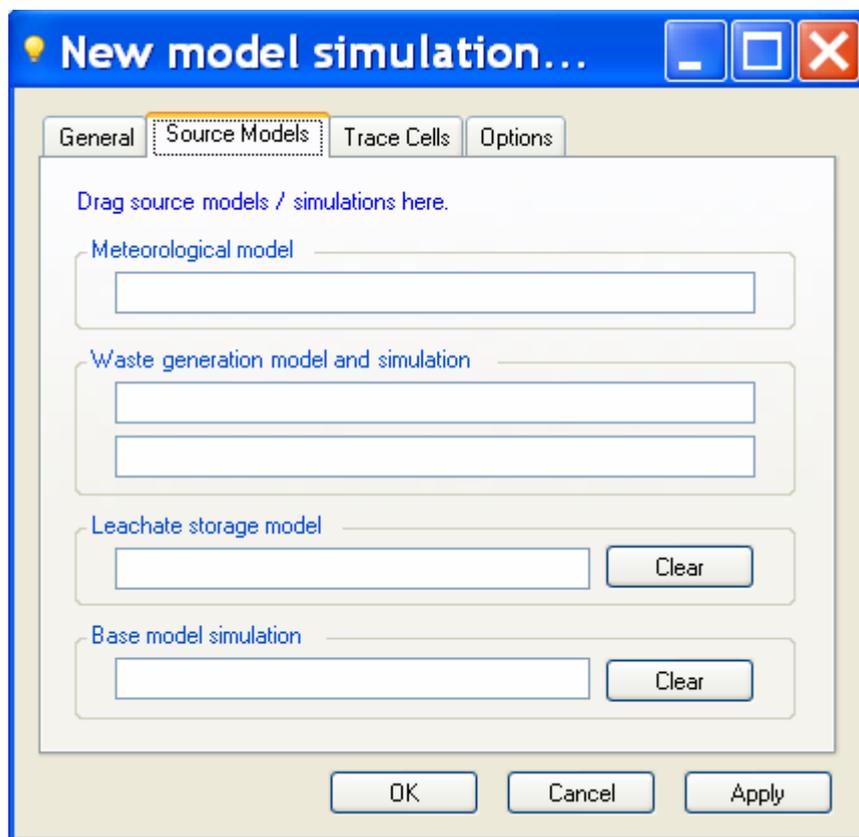


Figura 39. Ventana de definición de los modelos de la simulación.

- Pestaña rastreo de celdas (**Trace cells**) (Figura 40)

En esta pestaña se definen aquellas celdas de las que se desee llevar un seguimiento detallado a lo largo del período de simulación. Se escribe en la casilla correspondiente el número de identificación de la celda (*Cell ID*) a seguir y se pulsa el botón añadir (*Add*). El programa guardará a lo largo de la simulación una serie

de variables de las celdas seleccionadas que quedarán disponibles entre los resultados al final de la simulación (ver apartado 4.4.1).

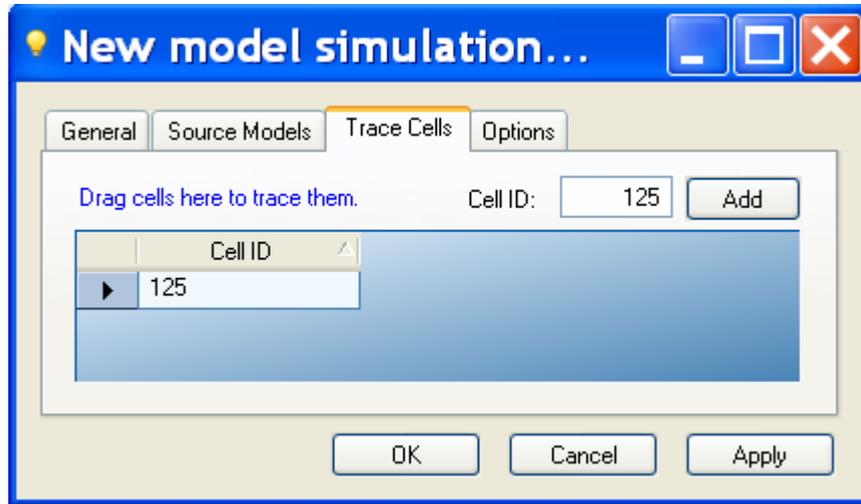


Figura 40. Ventana de definición de las celdas a seguir en detalle a lo largo de la simulación.

- Pestaña opciones (**Options**) (Figura 41)

Permite definir cada cuanto tiempo (simulado) se guardan los resultados diarios de simulación y el paso de tiempo entre los mismos.

Por otro lado el usuario debe elegir los modelos a simular (columna izquierda en la Figura 41) y el tipo de datos a guardar entre los resultados (columna derecha en la Figura 41) (ver apartado 4).

Para un mismo tipo de simulación (con los mismos modelos activos), cuanto menor sea paso de tiempo entre los resultados, mayor frecuencia de registro de datos y mayor cantidad de resultados a registrar, más lenta será la simulación.

Columna izquierda de la ventana *Options*

- Evaluación del agua superficial (Evaluate surface water): activa los modelos de balance superficial de agua.
- Evaluación del flujo vertical (Evaluate vertical flow): activa los modelos del flujo vertical entre celdas.
- Evaluación del flujo horizontal (Evaluate horizontal flow): activa los modelos de flujo horizontal entre celdas.
- Evaluación de la degradación (Evaluate biodegradation): activa los modelos de degradación de los residuos.

- Evaluación del almacenamiento de lixiviado (Evaluate leachate storage): activa el modelo de almacenamiento de lixiviados.
- Evaluación de la recirculación (Evaluate recirculation): activa los modelos de recirculación de lixiviados.

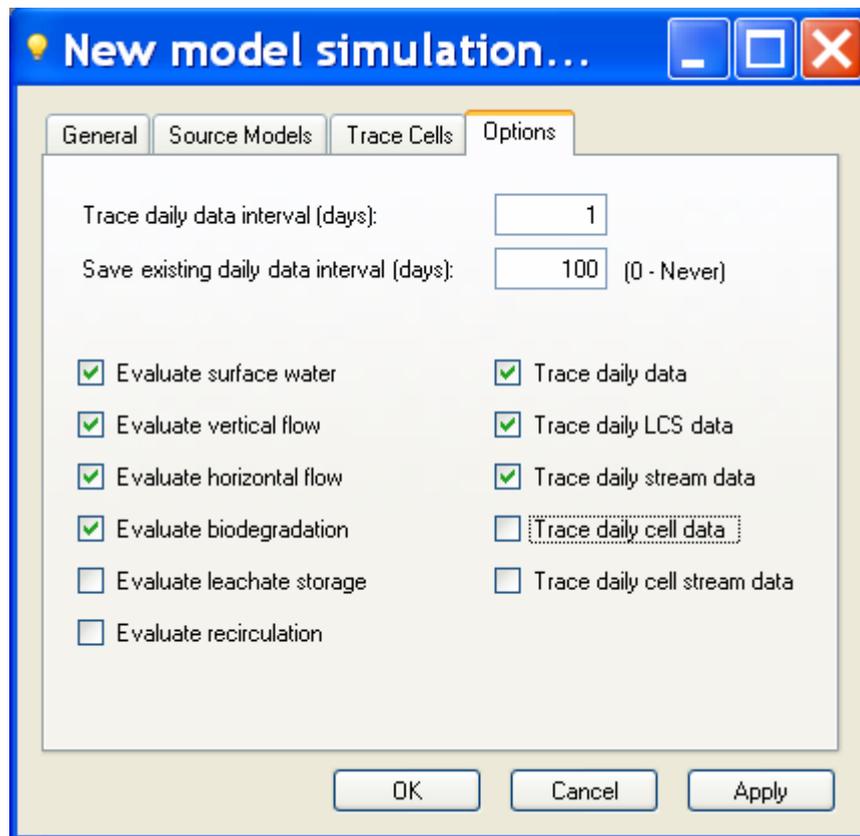


Figura 41. Ventana de definición de las opciones de simulación

Columna derecha de la ventana *Options*

- Registro de datos diarios (Trace daily data): se registran resultados diarios globales del vertedero durante toda la simulación. (Ver apartado 4.2).
- Registro de datos diarios de los sistema de recolección de lixiviados (Trace daily LCS data): recopila los resultados diarios de los lixiviados recogidos por cada sistema de recolección de lixiviado. (Ver apartado 4.4.2).
- Registro de datos diarios de distintos flujos de lixiviado (Trace daily stream data): recoge los resultados diarios de los distintos flujos líquidos en el vertedero: lixiviado almacenado disponible para recirculación (*Available leachate*), lixiviado recogido (*Collected leachate*), filtraciones laterales (*Lateral seepage*), filtraciones por el fondo (*Bottom leakage*), lixiviado recirculado (*Recirculated leachate*), lixiviado tratado (*Treated leachate*), excedente de

lixiviado (Surplus leachate) y lixiviado extraído (Extracted leachate). (Ver apartado 4.4.3).

- Registro de datos diarios de celdas (Trace daily cell data): recoge los resultados diarios correspondientes a las celdas seleccionadas en la pestaña *Trace cells*. (Ver apartado 4.1).
- Registro de datos diarios de distintos flujos en cada celda (Trace daily cell stream data): recopila las características de los distintos flujos líquidos en las celdas seleccionadas en la pestaña *Trace cells*. (Ver apartado 4.1).

Para realizar una nueva simulación que sustituya a una realizada (aparece el símbolo ) , para cambiar parámetros de simulación (activando nuevos modelos, por ejemplo) se debe "limpiar" la simulación (*Clear simulation*): el programa elimina todos los resultados y la simulación se muestra como no simulada (aparece el símbolo ) .

3.2 Simulación visual (Visual simulate)

Para revisar si el modelo construido es correcto (orden de llenado de las celdas, por ejemplo) o realizar el seguimiento de algunas celdas durante la simulación, el usuario puede realizar una Simulación Visual.

Definida la simulación deseada, se pulsa el botón derecho del ratón sobre la opción *Visual simulate*. Se muestra entonces una ventana con el modelo de terreno, sin celdas del vertedero. Los parámetros de la simulación se definen en la barra de herramientas de simulación, que se muestra en la barra superior al pulsar con el botón derecho sobre la misma y seleccionar *Simulation toolbar* (ver Figura 42).

En el recuadro en blanco de esta herramienta se introduce el número de días a simular en cada paso. El botón  (*Simulate next selected days number*) acciona la simulación del intervalo marcado: sobre el modelo visual se observa la incorporación de nuevas celdas según el modelo de explotación (generación de residuos y terreno) definido por el usuario. El botón  (*Simulate all remaining days with the specified step*) acciona la simulación hasta la fecha final definida por el usuario. Por último, el botón  (*Stop simulation*) detiene la simulación. (Ver Figura 43).

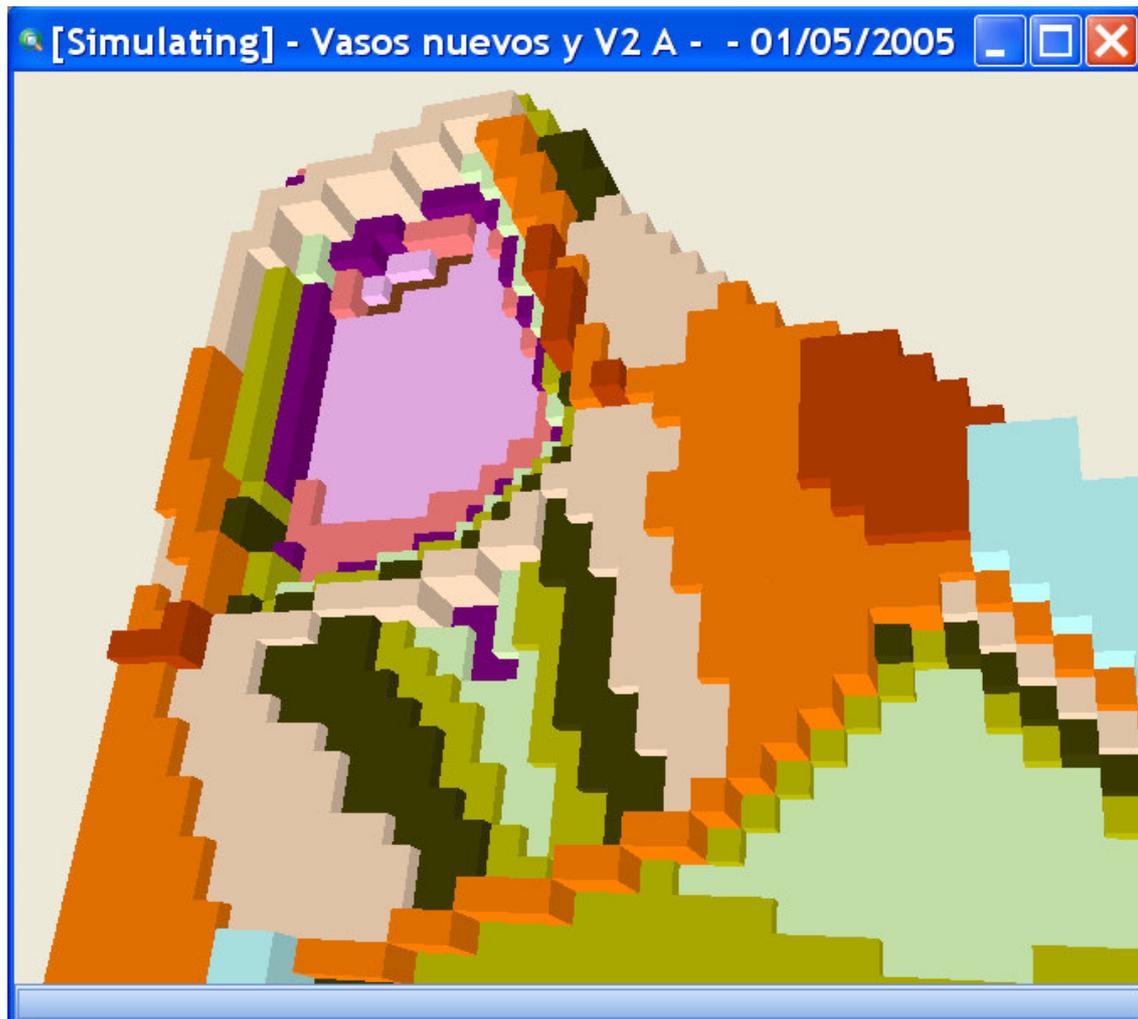


Figura 42. Ventana de inicio de una simulación visual

Las herramientas *Visibility* y *Symbols* permiten modificar las opciones de visualización, como se comentó en el apartado 2.2.2.2.2, mientras que la opción *Cell details* permite consultar el estado de cada celda al final de cada intervalo de simulación (ver apartado 4.3).

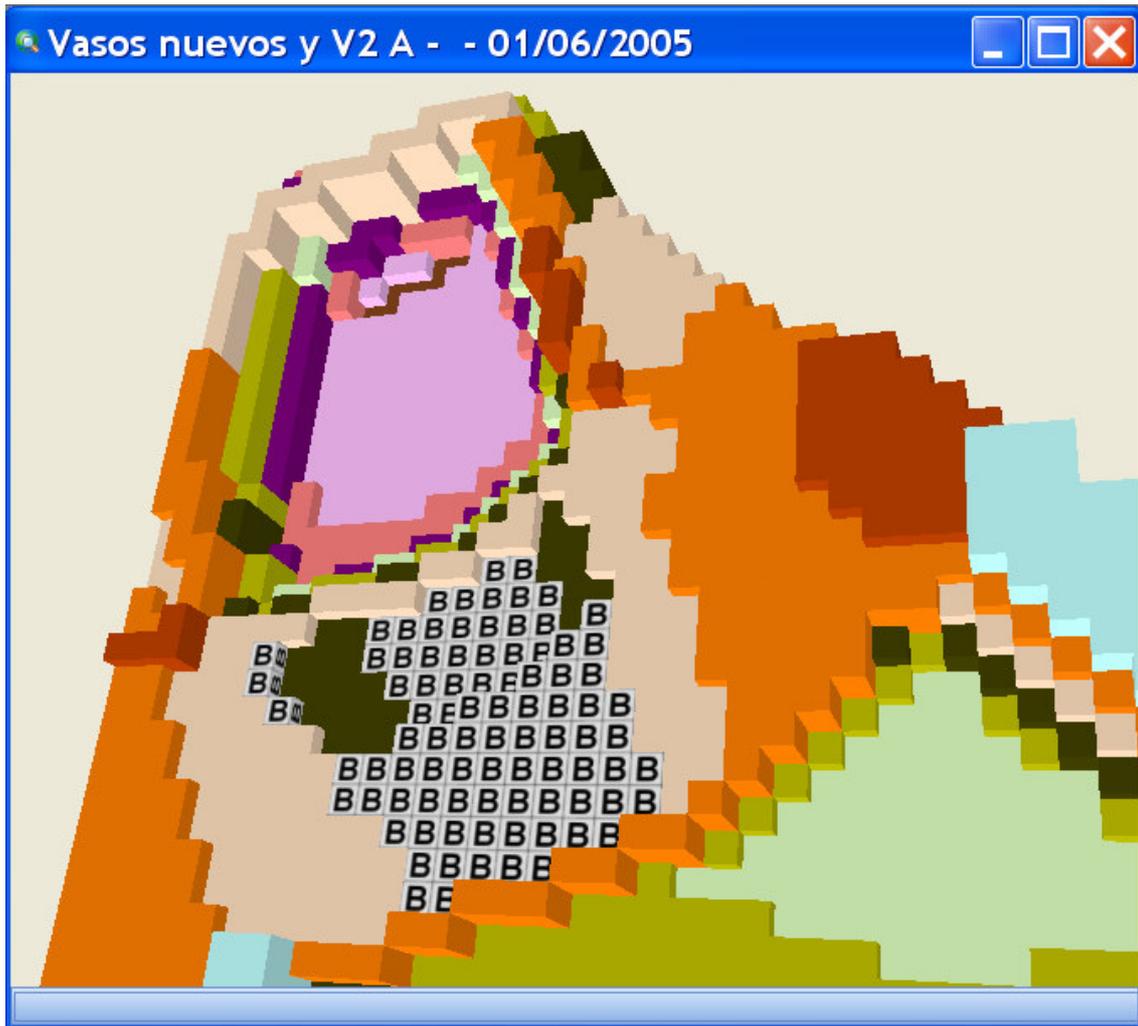


Figura 43. Vista de un proyecto de simulación después de un mes simulado

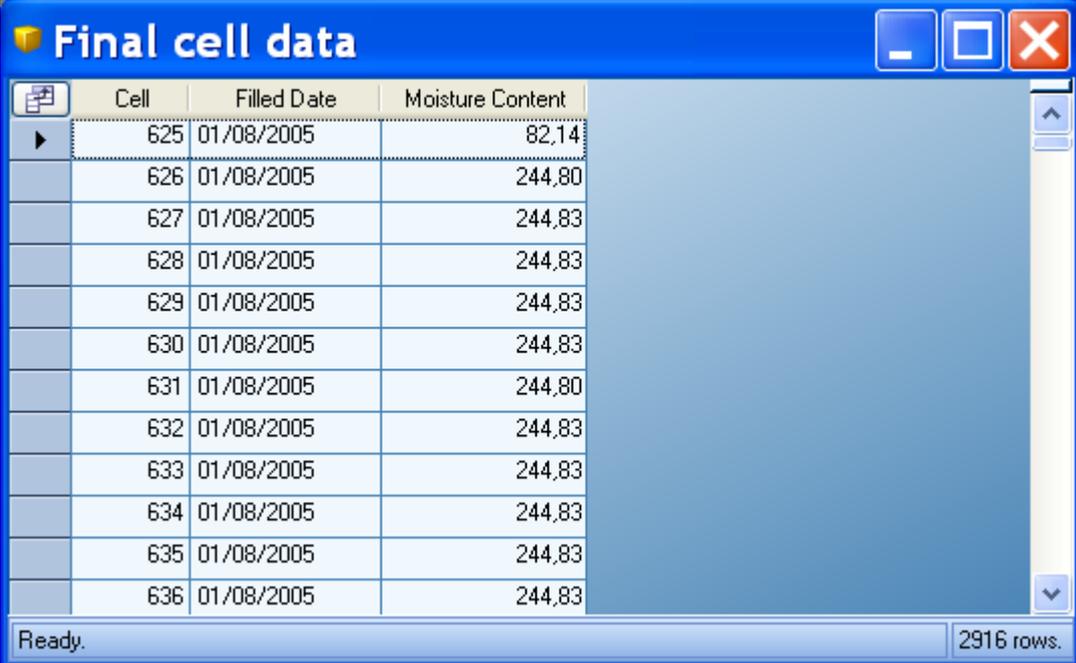
4 VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

Existen varias opciones para consultar los resultados de cada simulación:

- Resultados finales de cada celda (Final cell data in grid).
- Resultados globales diarios (Global daily data in grid).
- Resultados en el visor (Results in designer).
- Graficado de datos (View current data in graphic format).

4.1 Resultados finales de cada celda (Final cell data in grid)

Se pueden consultar el estado de todas las celdas del modelo en la fecha final de simulación pulsando el botón derecho sobre la simulación finalizada (bombilla encendida) y seleccionando la opción *Final cell data in grid*. Aparece entonces la ventana mostrada en la Figura 44.



Cell	Filled Date	Moisture Content
625	01/08/2005	82,14
626	01/08/2005	244,80
627	01/08/2005	244,83
628	01/08/2005	244,83
629	01/08/2005	244,83
630	01/08/2005	244,83
631	01/08/2005	244,80
632	01/08/2005	244,83
633	01/08/2005	244,83
634	01/08/2005	244,83
635	01/08/2005	244,83
636	01/08/2005	244,83

Figura 44. Ventana inicial de los resultados finales de cada celda.

Pulsando el botón  aparece una lista de los datos disponibles. Elegidos los datos de interés, éstos se muestran en la ventana de resultados finales de cada celda. Los resultados que se pueden consultar en este apartado son:

- Código identificador de la celda (Cell).
- Fecha de llenado o colocación de la celda (Filled date)
- Espesor total de la celda (Total thickness): dato en m.
- Espesor de residuo (Waste thickness): dato en m.
- Peso total (Total weight): dato en kg en peso seco.
- Peso del residuo (Waste weight): dato en kg en peso seco.
- Peso de la cobertura (Cover weight): dato en kg en peso seco.
- Cota del fondo (Bottom elevation): dato en m.
- Cota de la superficie (Top elevation): dato en m.
- Humedad de saturación (Saturation moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Humedad residual (Residual moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Humedad en capacidad de campo (Capacity moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Contenido de humedad (Moisture content): dato en porcentaje en peso seco.
- Humedad de saturación de la cobertura (Cover saturation moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Humedad residual de la cobertura (Cover residual moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Humedad en capacidad de campo de la cobertura (Cover capacity moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Contenido de humedad de la cobertura (Cover moisture content): dato en porcentaje en peso seco.
- Profundidad de agua acumulada en superficie (Surface water depth): dato en m.
- Conductividad hidráulica vertical (Vertical hydraulic conductivity): dato en m/s, correspondiente al residuo, en las celdas Landfill o Closed Landfill, o a toda la celda, en las celdas Soil o Closed Soil.
- Conductividad hidráulica vertical de la cobertura (Vertical hydraulic conductivity cover): dato en m/s.
- Conductividad hidráulica horizontal (Horizontal hydraulic conductivity): dato en m/s, correspondiente al residuo, en las celdas Landfill o Closed Landfill, o a toda la celda, en las celdas Soil o Closed Soil.
- Humedad mínima (Minimum moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Fracción de canales preferenciales (Preferential channels fraction): dato en porcentaje.

- Modelo de flujo vertical (Vertical flow model): tipo de modelo de flujo vertical vigente.
- Humedad mínima (Minimum moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Valor de la curva de humedad actual (Moisture curve value): dato en porcentaje en peso seco.
- Tiempo modificado para el flujo vertical lento (Vertical flow time): dato en d.
- Tiempo de máximo gradiente para el flujo vertical lento (Maximum gradient time): dato en d.
- Máximo espesor de saturación para el flujo vertical lento (Maximum saturation thickness): dato en m.
- Parámetro β (Beta): del modelo de flujo vertical lento vigente. Dato adimensional.
- Espesor de saturación para el flujo lento (Saturation thickness): dato en m.
- Cota de saturación (Saturation elevation): dato en m.
- Tiempo modificado para el flujo vertical preferencial (Preferential vertical flow time): dato en días.
- Tiempo de máximo gradiente para el flujo preferencial (Preferential maximum gradient time): dato en días.
- Espesor máximo de saturación para el flujo preferencial (Preferential maximum saturation thickness): dato en m.
- Parámetro β para el flujo preferencial (Preferential beta): dato adimensional.
- Espesor de saturación para el flujo preferencial (Preferential saturation thickness): dato en m.
- Cota de saturación para flujo preferencial (Preferential saturation elevation): dato en m.
- Agua consumida (Consumed water): dato en kg.
- Metano en la mezcla de gases (Methane): dato en kg.
- Dióxido de carbono en la mezcla de gases (Carbon dioxide): dato en kg.
- Hidrógeno en la mezcla de gases (Hydrogen): dato en kg.
- Oxígeno en la mezcla de gases (Oxygen): dato en kg.
- Nitrógeno en la mezcla de gases (Nitrogen): dato en kg.
- Asentamiento primario acumulado (Primary settlement): dato en m.
- Asentamiento primario remanente (Remaining primary settlement): dato en m.
- Asentamiento secundario (Secondary settlement). dato en m.

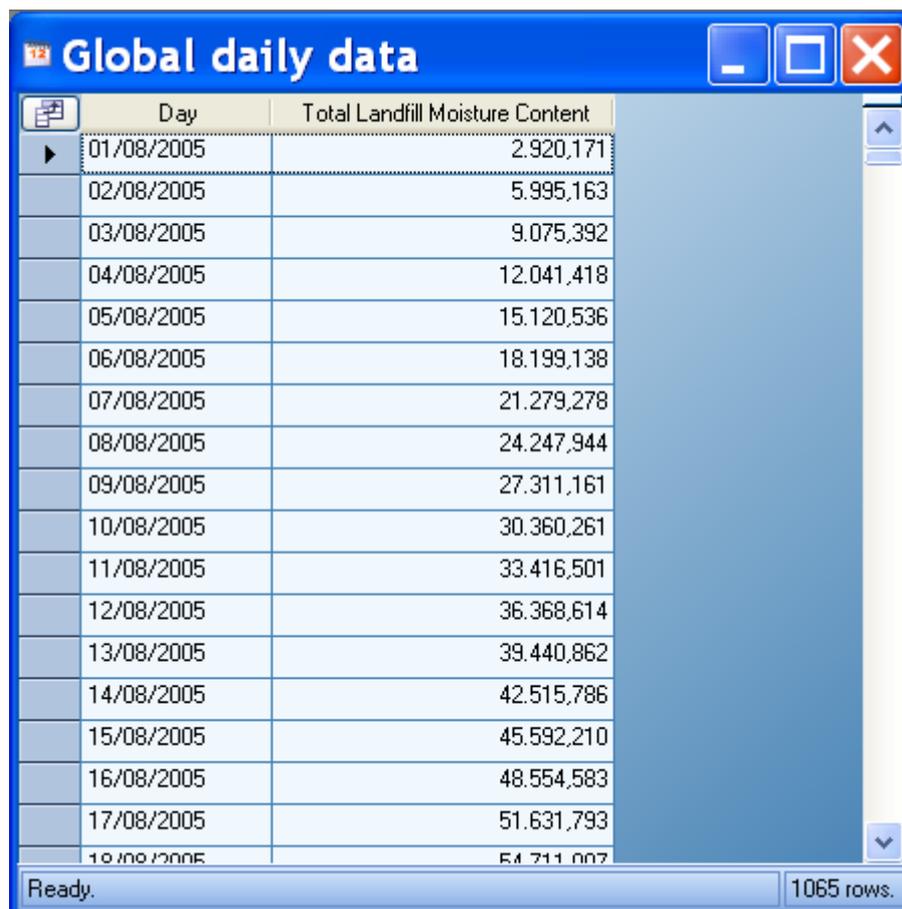
- Asentamiento secundario remanente (Remaining secondary settlement): dato en m.
- Presión media por sobrecarga (Average overload pressure): dato en kg/m^2 .
- Máxima presión media por sobrecarga (Maximum average overload pressure): dato en kg/m^2 .
- Densidad del sólido (Solid density): dato en kg/m^3 .
- Peso específico aparente de la celda (Apparent specific weight): dato en kg/m^3 .
- Temperatura (Temperature): dato en $^{\circ}\text{C}$.
- Conductividad térmica (Thermal conductivity): dato en $\text{J/m}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$
- Factor de accesibilidad (Accessibility factor): dato adimensional.
- Factor de arrastre (Dragging factor): dato adimensional.
- Posición X (Position X): dato adimensional.
- Posición Y (Position Y): dato adimensional.
- Posición Z (Position Z): dato adimensional.
- Carbono sólido no accesible (Cna (solid carbon non accessible)): dato en kg.
- Carbono sólido accesible rápidamente biodegradable (Crb (solid carbon accessible readily biodegradable)): dato en kg.
- Carbono sólido accesible lentamente biodegradable (Csb (solid carbon accessible slowly biodegradable)): dato en kg.
- Carbono sólido accesible no biodegradable (Cnb (solid carbon accessible non biodegradable)): dato en kg.
- Hidrógeno sólido no accesible (Hna (solid hydrogen non accessible)): dato en kg.
- Hidrógeno sólido accesible rápidamente biodegradable (Hrb (solid hydrogen accessible readily biodegradable)): dato en kg.
- Hidrógeno sólido accesible lentamente biodegradable (Hsb (solid hydrogen accessible slowly biodegradable)): dato en kg.
- Hidrogeno sólido accesible no biodegradable (Hnb (solid hydrogen accessible non biodegradable)): dato en kg.
- Oxígeno sólido no accesible (Ona (solid oxygen non accessible)): dato en kg.
- Oxígeno sólido accesible rápidamente biodegradable (Orb (solid oxygen accessible readily biodegradable)): dato en kg.
- Oxígeno sólido accesible lentamente biodegradable (Osb (solid oxygen accessible slowly biodegradable)): dato en kg.

- Oxígeno sólido accesible no biodegradable (Onb (solid oxygen accessible non biodegradable)): dato en kg.
- Nitrógeno sólido no accesible (Nna (solid nitrogen non accessible)): dato en kg.
- Nitrógeno sólido accesible rápidamente biodegradable (Nrb (solid nitrogen accessible readily biodegradable)): dato en kg.
- Nitrógeno sólido accesible lentamente biodegradable (Nsb (solid nitrogen accessible slowly biodegradable)): dato en kg.
- Nitrógeno sólido accesible no biodegradable (Nnb (solid nitrogen accessible non biodegradable)): dato en kg.
- Azufre sólido no accesible (Sna (solid sulphur non accessible)): dato en kg.
- Azufre sólido accesible rápidamente biodegradable (Srb (solid sulphur accessible readily biodegradable)): dato en kg.
- Azufre sólido accesible lentamente biodegradable (Ssb (solid sulphur accessible slowly biodegradable)): dato en kg.
- Azufre sólido accesible no biodegradable (Snb (solid sulphur accessible non biodegradable)): dato en kg.
- Carbono de compuestos intermedios disuelto (DCcho (dissolved intermediate carbon)): dato en kg.
- Hidrógeno de compuestos intermedios disuelto (DHcho (dissolved intermediate hydrogen)): dato en kg.
- Oxígeno de compuestos intermedios disuelto (DOcho (dissolved intermediate oxigen)): dato en kg.
- Acetato disuelto (DAC (Dissolved acetate)): dato en kg.
- Nitrógeno amoniacal disuelto (DNH3 (Dissolved ammonia nitrogen)): dato en kg.
- Sulfuro de hidrógeno disuelto (DSH2 (Dissolved hydrogen sulphide)): dato en kg.
- Dióxido de carbono disuelto (DCO2 (Dissolved carbon dioxide)): dato en kg.
- Hidrógeno disuelto (DH2 (Dissolved hydrogen)): dato en kg.
- Metano disuelto (DCH4 (Dissolved methane)): dato en kg.
- Nitrógeno disuelto (DN2 (Dissolved nitrogen)): dato en kg.
- Oxígeno disuelto (DO2 (Dissolved oxygen)): dato en kg.
- Carbono no biodegradable disuelto (DCnb (Dissolved non biodegradable carbon)): dato en kg.
- Hidrógeno no biodegradable disuelto (DHnb (Dissolved non biodegradable hydrogen)): dato en kg.

- Oxígeno no biodegradable disuelto (DONb (Dissolved non biodegradable oxygen)): dato en kg.
- Nitrógeno no biodegradable disuelto (DNnb (Dissolved non biodegradable nitrogen)): dato en kg.
- Azufre no biodegradable disuelto (DSnb (Dissolved non biodegradable sulphur)): dato en kg.

4.2 Resultados globales diarios (Global daily data in grid)

Para consultar los resultados diarios referentes al vertedero en su globalidad al final de la simulación se pulsa el botón derecho sobre la simulación finalizada (bombilla encendida) y se selecciona la opción *Global daily data in grid*: aparece la ventana que se muestra en la Figura 45.



The screenshot shows a window titled "Global daily data" with a table containing two columns: "Day" and "Total Landfill Moisture Content". The data shows a steady increase in moisture content from 2.920,171 on 01/08/2005 to 54.711,007 on 18/08/2005. The status bar at the bottom indicates "Ready." and "1065 rows."

Day	Total Landfill Moisture Content
01/08/2005	2.920,171
02/08/2005	5.995,163
03/08/2005	9.075,392
04/08/2005	12.041,418
05/08/2005	15.120,536
06/08/2005	18.199,138
07/08/2005	21.279,278
08/08/2005	24.247,944
09/08/2005	27.311,161
10/08/2005	30.360,261
11/08/2005	33.416,501
12/08/2005	36.368,614
13/08/2005	39.440,862
14/08/2005	42.515,786
15/08/2005	45.592,210
16/08/2005	48.554,583
17/08/2005	51.631,793
18/08/2005	54.711,007

Figura 45. Ventana inicial de resultados globales diarios.

Pulsando el botón  aparece la lista de resultados disponibles: se eligen los datos que sean de interés y aparecerán en la ventana de resultados globales diarios. Los resultados que se pueden consultar en este apartado son:

- Fecha (Day).
- Precipitación total (Total precipitation height): dato en mm.
- Volumen total de precipitación sobre la superficie del vertedero (Total precipitation volume): dato en m³.
- Precipitación evaporada (Evaporated precipitation volume): dato en m³.
- Agua superficial evaporada (Evaporated surface volume): dato en m³.
- Infiltración (Infiltrated volume): dato en m³.
- Escorrentía superficial conectada (Conneted run-off): dato en m³.
- Escorrentía superficial no conectada (Non conneted run-off): dato en m³.
- Agua superficial total (Total surface water): dato en m³.
- Contenido de humedad total en el vertedero (Total landfill moisture content): dato en m³.
- Máximo contenido de humedad del vertedero (Maximum landfill moisture content): dato en m³.
- Metano liberado (Released methane): dato en kg.
- Dióxido de carbono liberado (Released carbon dioxide): dato en kg.
- Hidrógeno liberado (Released hydrogen): dato en kg.
- Oxígeno liberado (Released oxygen): dato en kg.
- Nitrógeno liberado (Released nitrogen): dato en kg.
- Metano generado (Generated methane): dato en kg.
- Dióxido de carbono generado (Generated carbon dioxide): dato en kg.
- Hidrógeno generado (Generated hydrogen): dato en kg.
- Oxígeno generado (Generated oxygen): dato en kg.
- Nitrógeno generado (Generated nitrogen): dato en kg.
- Asiento primario medio (Average primary settlement): dato en m.
- Asiento secundario medio (Average primary settlement): dato en m.
- Volumen del vertedero (Landfill volume): dato en m³.
- Volumen "liberado" por el asentamiento (Extra volume): dato en m³.
- Temperatura media (Average temperature): dato en °C.
- Agua consumida en la degradación (Water consumed): dato en kg.

4.3 Resultados en el visor (Results in designer)

4.3.1 Resultados en el visor (Results in designer).

Existe otra manera de consultar los resultados en pantalla, mediante la opción *Results in designer* que aparece al pulsar el botón derecho sobre la simulación acabada (bombilla encendida).

En esta opción se muestra el modelo de terreno del vertedero con todas las celdas colocadas durante la simulación con el asentamiento sufrido durante la misma. El estado de cada una al final de la simulación se puede consultar pulsando la pestaña *Cells details*, de la ventana que aparece a la derecha al pulsar el botón  (Show model view options) en la barra superior de la ventana principal.

Seleccionada la vista de trabajo, se pulsa el botón  (opción *Activate selection mode*), que congela la vista y permite seleccionar la celda de la que se desea consultar los resultados finales. En la ventana *Cells details* se muestran los resultados de diferentes celdas al desplazar el puntero sobre ellas.

La Figura 46 muestra un ejemplo de visualización de resultados en el visor.

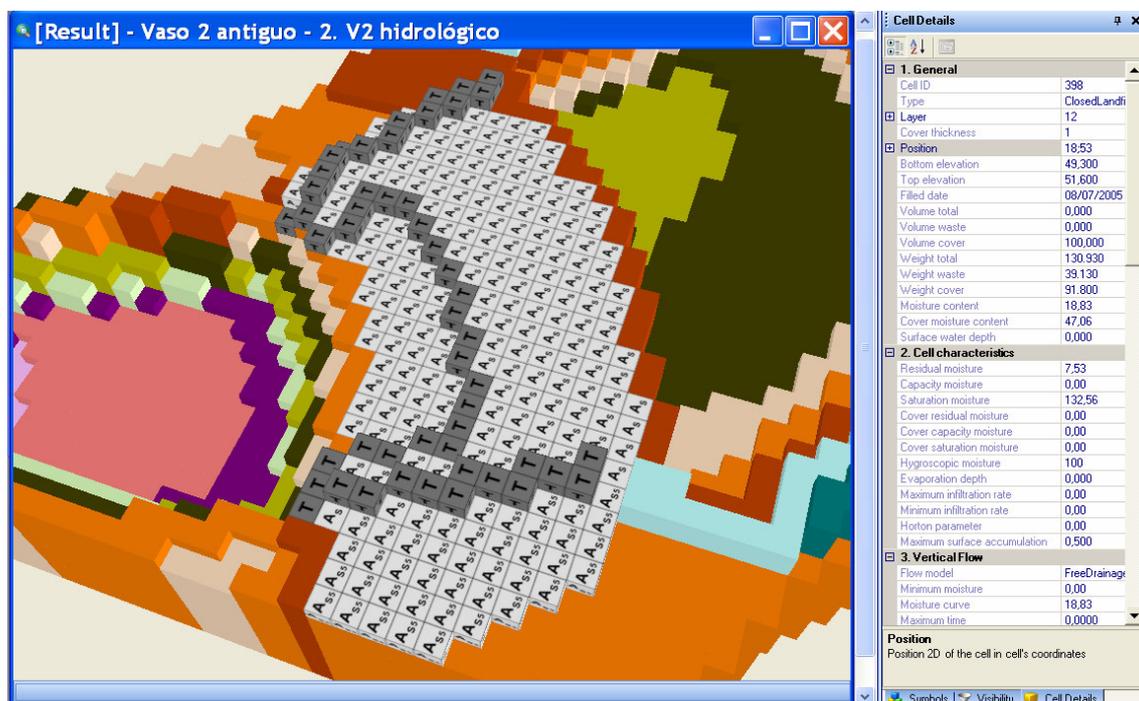


Figura 46. Ejemplo de consulta de resultados en el visor gráfico

La información que mostrada en la pestaña *Cells details* se puede organizar de dos formas diferentes: por orden alfabético o agrupada por categorías. Los parámetros mostrados en cada categoría se enumeran a continuación.

- General (**General**).
 - Número de identificación de la celda (Cell ID)
 - Tipo de celda (Type).
 - Capa (Layer) a la que pertenece la celda.
 - Espesor de la capa (Layer thickness): dato en m.
 - Espesor de la cobertura (Cover thickness): dato en m.
 - Posición de la celda (Position): posición horizontal de la celda en coordenadas expresadas como número de celdas.
 - X: posición de la celda en el eje X del modelo de terreno.
 - Y: posición de la celda en el eje Y del modelo de terreno.
 - Cota inferior (Bottom elevation): en coordenadas absolutas, dato en m.
 - Fecha de llenado (Filled date): fecha de creación.
 - Volumen total (Total volume): dato en m³.
 - Volumen total de residuo en la celda (Waste volume): dato en m³.
 - Volumen total de cobertura en la celda (Cover volume): dato en m³.
 - Peso total (Total weight): dato en kg en peso seco.
 - Peso de residuo en la celda (Waste weight): dato en kg en peso seco.
 - Peso de la cobertura en la celda (Cover weight): dato en kg en peso seco.
 - Contenido de humedad del residuo en la celda (Moisture content): dato en porcentaje en peso seco.
 - Contenido de humedad de la cobertura de la celda (Cover moisture content): dato en porcentaje en peso seco.
 - Profundidad de agua acumulada en superficie (Surface water depth): dato en m.
- Características de las celdas (**Cell characteristics**).
 - Humedad residual del residuo en la celda (Residual moisture): dato en porcentaje en peso seco.

- Humedad en capacidad de campo del residuo en la celda (Capacity moisture): dato en porcentaje en peso seco.
 - Humedad de saturación del residuo en la celda (Saturation moisture): dato en porcentaje en peso seco.
 - Humedad residual de la cobertura en la celda (Cover residual moisture): dato en porcentaje en peso seco.
 - Humedad en capacidad de campo de la cobertura de la celda (Cover capacity moisture): dato en porcentaje en peso seco.
 - Humedad de saturación de la cobertura de la celda (Cover saturation moisture): dato en porcentaje en peso seco.
 - Humedad higroscópica (punto de marchitez) como porcentaje de la humedad residual (Hygroscopic moisture): dato en porcentaje.
 - Profundidad de evaporación (Evaporation depth): dato en m.
 - Máxima tasa de infiltración (Maximum infiltration rate): dato en mm/h.
 - Mínima tasa de infiltración (Minimum infiltration rate): dato en mm/h.
 - Parámetro de Horton (Horton parameter): velocidad de disminución de la capacidad de infiltración. Dato en h^{-1} .
 - Máxima acumulación de agua en superficie (Maximum surface accumulation): dato en m.
- Flujo vertical (**Vertical flow**).
 - Tipo de modelo de flujo vertical vigente (Flow model).
 - Humedad mínima (Minimum moisture): dato en porcentaje en peso seco.
 - Valor de la curva de humedad actual (Moisture curve value): dato en porcentaje en peso seco.
 - Tiempo de máximo gradiente para el flujo lento (Maximum gradient time): dato en d.
 - Tiempo de flujo vertical para el flujo lento (Time): dato en d.
 - Máximo espesor de saturación para el flujo lento (Maximum saturation thickness): dato en m.
 - Espesor de saturación para el flujo lento (Thickness): dato en m.
 - Tiempo de máximo gradiente para el flujo preferencial (Preferential maximum gradient time): dato en d.
 - Tiempo modificado para el flujo vertical preferencial (Preferential time): dato en d.

- Máximo espesor de saturación para canales preferenciales (Preferential maximum thickness): dato en m.
- Espesor de saturación para canales preferenciales (Preferential thickness): dato en m.
- Composición del sólido (**Composition solid**).
 - Carbono no accesible (Non accessible carbon): dato en kg en peso seco.
 - Carbono rápidamente biodegradable (Readily biodegradable carbon): dato en kg en peso seco.
 - Carbono lentamente biodegradable (Slowly biodegradable carbon): dato en kg en peso seco.
 - Carbono no biodegradable (Non biodegradable carbon)): dato en kg en peso seco.
 - Hidrógeno no accesible (Non accessible hydrogen): dato en kg en peso seco.
 - Hidrógeno rápidamente biodegradable (Readily biodegradable hydrogen): dato en kg en peso seco.
 - Hidrógeno lentamente biodegradable (Slowly biodegradable hydrogen): dato en kg en peso seco.
 - Hidrógeno no biodegradable (Non biodegradable hydrogen)): dato en kg en peso seco.
 - Oxígeno no accesible (Non accessible oxygen): dato en kg en peso seco.
 - Oxígeno rápidamente biodegradable (Readily biodegradable oxygen): dato en kg en peso seco.
 - Oxígeno lentamente biodegradable (Slowly biodegradable oxygen): dato en kg en peso seco.
 - Oxígeno no biodegradable (Non biodegradable oxygen)): dato en kg en peso seco.
 - Nitrógeno no accesible (Non accessible nitrogen): dato en kg en peso seco.
 - Nitrógeno rápidamente biodegradable (Readily biodegradable nitrogen): dato en kg en peso seco.
 - Nitrógeno lentamente biodegradable (Slowly biodegradable nitrogen): dato en kg en peso seco.
 - Nitrógeno no biodegradable (Non biodegradable nitrogen)): dato en kg en peso seco.
 - Azufre no accesible (Non accessible sulphur): dato en kg en peso seco.

- Azufre rápidamente biodegradable (Readily biodegradable sulphur): dato en kg en peso seco.
- Azufre lentamente biodegradable (Slowly biodegradable sulphur): dato en kg en peso seco.
- Azufre no biodegradable (Non biodegradable sulphur): dato en kg en peso seco.
- Asentamientos (**Settlements**).
 - Coeficiente de asentamiento por compresión (Compression ratio): dato adimensional.
 - Ratio pérdida de masa / asentamiento (Mass loss ratio): dato adimensional.
 - Presión media por sobrecarga (Average overload pressure): dato en kg/m^2 .
 - Máxima presión por sobrecarga (Maximum overload pressure): dato en kg/m^2 .
 - Asentamiento primario acumulado (Primary settlement): dato en m.
 - Asentamiento primario remanente (Remaining primary settlement): dato en m.
 - Asentamiento secundario (Secondary settlement): dato en m.
 - Asentamiento secundario remanente (Remaining secondary settlement): dato en m.
 - Peso específico aparente de la celda (Apparent specific weight): dato en kg/m^3 en peso seco.
- Componentes disueltos (**Composition dissolved**).
 - Carbono de compuestos intermedios (Intermediate carbon): dato en kg.
 - Hidrógeno de compuestos intermedios (Intermediate hydrogen): dato en kg.
 - Oxígeno de compuestos intermedios (Intermediate oxygen): dato en kg.
 - Acetato (Acetate): dato en kg.
 - Nitrógeno amoniacal disuelto (Dissolved ammonia nitrogen): dato en kg.
 - Sulfuro de hidrógeno disuelto (Dissolved hydrogen sulphide): dato en kg.
 - Dióxido de carbono disuelto (Dissolved carbon dioxide): dato en kg.
 - Hidrógeno gas disuelto (Dissolved hydrogen): dato en kg.
 - Metano disuelto (Dissolved methane): dato en kg.
 - Nitrógeno gas disuelto (Dissolved nitrogen): dato en kg.
 - Oxígeno gas disuelto (Dissolved oxygen): dato en kg.
 - Carbono no biodegradable (Non biodegradable carbon): dato en kg.
 - Hidrógeno no biodegradable (Non biodegradable hydrogen): dato en kg.

- Oxígeno no biodegradable (Non biodegradable oxygen): dato en kg.
- Nitrógeno no biodegradable (Non biodegradable nitrogen): dato en kg.
- Azufre no biodegradable (Non biodegradable sulphur): dato en kg.
- Composición de la mezcla de gases (**Composition gases**).
 - Dióxido de carbono (Carbon dioxide): dato en kg.
 - Hidrógeno (Hydrogen): dato en kg.
 - Metano (Methane): dato en kg.
 - Oxígeno (Oxygen): dato en kg.
 - Nitrógeno (Nitrogen): dato en kg.

4.4 Otros resultados de la simulación

Dentro de cada simulación aparecen tres carpetas que contienen información de la simulación. La carpeta *Cells* contiene los resultados de las celdas seleccionadas en la pestaña *Trace cells* de la simulación, en la carpeta *Leachate collection types* aparece la información de cada sistema de recolección de lixiviados definido por el usuario en el modelo y la carpeta *Leachate Streams* contiene los resultados de otros flujos de lixiviado calculados en el modelo.

4.4.1 Carpeta celdas (Cells)

En esta carpeta aparecen las celdas seleccionadas en la pestaña *Trace cells* de la simulación. Al pulsar con el botón derecho sobre cada celda y elegir la opción *View in grid* aparece una ventana en la que se pueden mostrar las series de resultados deseadas pulsando el botón . Los resultados que se pueden consultar en esta ventana, para cada día de simulación (Day) son:

- Peso del residuo seco (Waste dry weight): dato en kg en peso seco.
- Peso específico aparente de la celda (Apparent specific weight): dato en kg/m^3 .
- Cota del fondo de la celda (Bottom elevation): dato en m.
- Cota de la superficie de la celda (Top elevation): dato en m.
- Humedad residual (Residual moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Humedad de saturación (Saturation moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Profundidad de agua acumulada en superficie (Surface water depth): dato en m.

- Contenido de humedad de la cobertura (Cover moisture content): dato en porcentaje en peso seco.
- Contenido de humedad (Moisture content): dato en porcentaje en peso seco, correspondiente a la celda completa si es tipo Soil o Closed Soil o a la parte de residuo si es Landfill o Closed Landfill.
- Conductividad hidráulica horizontal (Horizontal hydraulic conductivity): dato en m/s, correspondiente a la celda completa si es tipo Soil o Closed Soil o a la parte de residuo si es Landfill o Closed Landfill.
- Conductividad hidráulica vertical (Vertical hydraulic conductivity): dato en m/s, correspondiente a la celda completa si es tipo Soil o Closed Soil o a la parte de residuo si es Landfill o Closed Landfill.
- Fracción de canales preferenciales (Preferential channels fraction): dato en porcentaje.
- Modelo de flujo vertical (Vertical flow model): tipo de modelo de flujo vertical vigente.
- Humedad mínima (Minimum moisture): dato en porcentaje en peso seco.
- Valor de la curva de humedad actual (Moisture curve value): dato en porcentaje en peso seco.
- Tiempo modificado para el flujo vertical lento (Vertical flow time): dato en d.
- Tiempo de máximo gradiente para el flujo vertical lento (Maximum gradient time): dato en d.
- Máximo espesor de saturación para el flujo vertical lento (Maximum saturation thickness): dato en m.
- Parámetro β (Beta): del modelo de flujo vertical lento vigente. Dato adimensional.
- Espesor de saturación para el flujo lento (Saturation thickness): dato en m.
- Cota de saturación (Saturation elevation): dato en m.
- Tiempo modificado para el flujo vertical preferencial (Preferential vertical flow time): dato en días.
- Tiempo de máximo gradiente para el flujo preferencial (Preferential maximum gradient time): dato en días.
- Espesor máximo de saturación para canales preferenciales (Preferential maximum saturation thickness): dato en m.
- Parámetro β para el flujo preferencial (Preferential beta): dato adimensional.
- Espesor de saturación para el flujo preferencial (Preferential saturation thickness): dato en m.

- Cota de saturación para flujo preferencial (Preferential saturation elevation): dato en m.
- Metano en la mezcla de gases (Methane): dato en kg.
- Dióxido de carbono en la mezcla de gases (Carbon dioxide): dato en kg.
- Oxígeno en la mezcla de gases (Oxygen): dato en kg.
- Hidrógeno en la mezcla de gases (Hydrogen): dato en kg.
- Nitrógeno en la mezcla de gases (Nitrogen): dato en kg.
- Metano liberado (Methane): dato en kg.
- Dióxido de carbono liberado (Carbon dioxide): dato en kg.
- Oxígeno liberado (Oxygen): dato en kg.
- Hidrógeno liberado (Hydrogen): dato en kg.
- Nitrógeno liberado (Nitrogen): dato en kg.
- Metano generado (Methane): dato en kg.
- Dióxido de carbono generado (Carbon dioxide): dato en kg.
- Hidrógeno generado (Hydrogen): dato en kg.
- Presión media por sobrecarga (Average overload pressure): dato en kg/m².
- Asentamiento primario acumulado (Primary settlement): dato en m.
- Asentamiento primario remanente (Remaining primary settlement): dato en m.
- Asentamiento secundario (Secondary settlement): dato en m.
- Asentamiento secundario remanente (Remaining secondary settlement): dato en m.
- Carbono sólido no accesible (Cna (solid carbon non accessible)): dato en kg.
- Carbono sólido accesible rápidamente biodegradable (Crb (solid carbon accessible readily biodegradable)): dato en kg.
- Carbono sólido accesible lentamente biodegradable (Csb (solid carbon accessible slowly biodegradable)): dato en kg.
- Carbono sólido accesible no biodegradable (Cnb (solid carbon accessible non biodegradable)): dato en kg.
- Hidrógeno sólido no accesible (Hna (solid hydrogen non accessible)): dato en kg.
- Hidrógeno sólido accesible rápidamente biodegradable (Hrb (solid hydrogen accessible readily biodegradable)): dato en kg.
- Hidrógeno sólido accesible lentamente biodegradable (Hsb (solid hydrogen accessible slowly biodegradable)): dato en kg.

- Hidrogeno sólido accesible no biodegradable (Hnb (solid hydrogen accessible non biodegradable)): dato en kg.
- Oxígeno sólido no accesible (Ona (solid oxygen non accessible)): dato en kg.
- Oxígeno sólido accesible rápidamente biodegradable (Orb (solid oxygen accessible readily biodegradable)): dato en kg.
- Oxígeno sólido accesible lentamente biodegradable (Osb (solid oxygen accessible slowly biodegradable)): dato en kg.
- Oxígeno sólido accesible no biodegradable (Onb (solid oxygen accessible non biodegradable)): dato en kg.
- Nitrógeno sólido no accesible (Nna (solid nitrogen non accessible)): dato en kg.
- Nitrógeno sólido accesible rápidamente biodegradable (Nrb (solid nitrogen accessible readily biodegradable)): dato en kg.
- Nitrógeno sólido accesible lentamente biodegradable (Nsb (solid nitrogen accessible slowly biodegradable)): dato en kg.
- Nitrógeno sólido accesible no biodegradable (Nnb (solid nitrogen accessible non biodegradable)): dato en kg.
- Azufre sólido no accesible (Sna (solid sulphur non accessible)): dato en kg.
- Azufre sólido accesible rápidamente biodegradable (Srb (solid sulphur accessible readily biodegradable)): dato en kg.
- Azufre sólido accesible lentamente biodegradable (Ssb (solid sulphur accessible slowly biodegradable)): dato en kg.
- Azufre sólido accesible no biodegradable (Snb (solid sulphur accessible non biodegradable)): dato en kg.
- Carbono de compuestos intermedios disuelto (DCcho (dissolved intermediate carbon)): dato en kg.
- Hidrógeno de compuestos intermedios disuelto (DHcho (dissolved intermediate hydrogen)): dato en kg.
- Oxígeno de compuestos intermedios disuelto (DOcho (dissolved intermediate oxygen)): dato en kg.
- Acetato disuelto (DAC (Dissolved acetate)): dato en kg.
- Nitrógeno amoniacal disuelto (DNH3 (Dissolved ammonia nitrogen)): dato en kg.
- Sulfuro de hidrógeno disuelto (DSH2 (Dissolved hydrogen sulphide)): dato en kg.
- Dióxido de carbono disuelto (DCO2 (Dissolved carbon dioxide)): dato en kg.
- Hidrógeno disuelto (DH2 (Dissolved hydrogen)): dato en kg.

- Metano disuelto (DCH₄ (Dissolved methane)): dato en kg.
- Nitrógeno disuelto (DN₂ (Dissolved nitrogen)): dato en kg.
- Oxígeno disuelto (DO₂ (Dissolved oxygen)): dato en kg.
- Carbono no biodegradable disuelto (DC_{nb} (Dissolved non biodegradable carbon)): dato en kg.
- Hidrógeno no biodegradable disuelto (DH_{nb} (Dissolved non biodegradable hydrogen)): dato en kg.
- Oxígeno no biodegradable disuelto (DON_b (Dissolved non biodegradable oxygen)): dato en kg.
- Nitrógeno no biodegradable disuelto (DN_{nb} (Dissolved non biodegradable nitrogen)): dato en kg.
- Azufre no biodegradable disuelto (DS_{nb} (Dissolved non biodegradable sulphur)): dato en kg.

Además se guardan los resultados diarios correspondientes a los distintos flujos de lixiviado que se dan en la celda: lixiviado disponible para recirculación (*Available leachate*), lixiviado recogido en los sistemas de recolección de lixiviados (*Collected leachate*), filtraciones laterales (*Lateral seepage*), filtraciones por el fondo (*Bottom leakage*), lixiviado recirculado (*Recirculated leachate*), lixiviado tratado (*Treated leachate*), excedente de lixiviado (*Surplus leachate*) y lixiviado extraído (*Extracted leachate*).

De todos estos tipos de flujos los resultados de simulación disponibles son, para cada fecha simulada (Day):

- Volumen del flujo (Volume): dato en m³.
- Demanda química de oxígeno DQO (COD): dato en mg O₂/L.
- Demanda bioquímica de oxígeno DBO (BOD): dato en mg O₂/L.
- Carbono de compuestos intermedios disuelto (DC_{cho} (dissolved intermediate carbon)): dato en kg.
- Hidrógeno de compuestos intermedios disuelto (DH_{cho} (dissolved intermediate hydrogen)): dato en kg.
- Oxígeno de compuestos intermedios disuelto (DO_{cho} (dissolved intermediate oxygen)): dato en kg.
- Acetato disuelto (DAC (Dissolved acetate)): dato en kg.
- Nitrógeno amoniacal disuelto (DNH₃ (Dissolved ammonia nitrogen)): dato en kg.
- Sulfuro de hidrógeno disuelto (DSH₂ (Dissolved hydrogen sulphide)): dato en kg.

- Dióxido de carbono disuelto (DCO₂ (Dissolved carbon dioxide)): dato en kg.
- Hidrógeno disuelto (DH₂ (Dissolved hydrogen)): dato en kg.
- Metano disuelto (DCH₄ (Dissolved methane)): dato en kg.
- Nitrógeno disuelto (DN₂ (Dissolved nitrogen)): dato en kg.
- Oxígeno disuelto (DO₂ (Dissolved oxygen)): dato en kg.
- Cenizas disueltas (DASH (Dissolved ashes)): dato en kg.
- Carbono no biodegradable disuelto (DC_{nb} (Dissolved non biodegradable carbon)): dato en kg.
- Hidrógeno no biodegradable disuelto (DH_{nb} (Dissolved non biodegradable hydrogen)): dato en kg.
- Oxígeno no biodegradable disuelto (DO_{nb} (Dissolved non biodegradable oxygen)): dato en kg.
- Nitrógeno no biodegradable disuelto (DN_{nb} (Dissolved non biodegradable nitrogen)): dato en kg.
- Azufre no biodegradable disuelto (DS_{nb} (Dissolved non biodegradable sulphur)): dato en kg.

4.4.2 Carpeta tipos de recolección de lixiviados (Leachate collection types)

En esta carpeta se guardan los resultados correspondientes a cada sistema de recolección de lixiviados incluidos en el modelo simulado.

Pulsando el botón derecho sobre la celda y seleccionando la opción *Results in grid* aparece una ventana en la que se pueden mostrar, seleccionándolos al pulsar el botón



, los resultados enumerados en el apartado anterior para las distintas corrientes de lixiviado.

4.4.3 Carpeta flujos de lixiviado (Leachate streams)

En esta carpeta aparecen los resultados correspondientes a otros flujos globales de lixiviado en el vertedero:

- Lixiviado disponible para recirculación (Available leachate).
- Lixiviado recogido (Collected leachate).

- Filtraciones laterales (Lateral seepage).
- Filtraciones por el fondo (Botton leakage).
- Lixiviado recirculado (Recirculated leachate).
- Lixiviado tratado (Treated leachate).
- Excedente de lixiviado (Surplus leachate).
- Lixiviado extraído de los pozos verticales de extracción (Extracted leachate).

Pulsando el botón derecho sobre cada tipo de flujo y seleccionando la opción *Results in grid* aparece una ventana en la que se muestran, una vez añadidos pulsando el botón . Los resultados descritos en el apartado 4.4.1.

4.5 Gráficas de resultados (View current data in graphic format)

El programa incluye una herramienta de dibujo que permite analizar gráficamente los resultados. La herramienta se activa en todas las opciones en las que se pueden consultar los resultados en formato "Grid". Los resultados a incluir en la gráfica deben aparecer en la ventana de datos: se pulsa entonces el botón  (*View current data in graphic format*), que abre una ventana con el gráfico correspondiente (ver Figura 47).

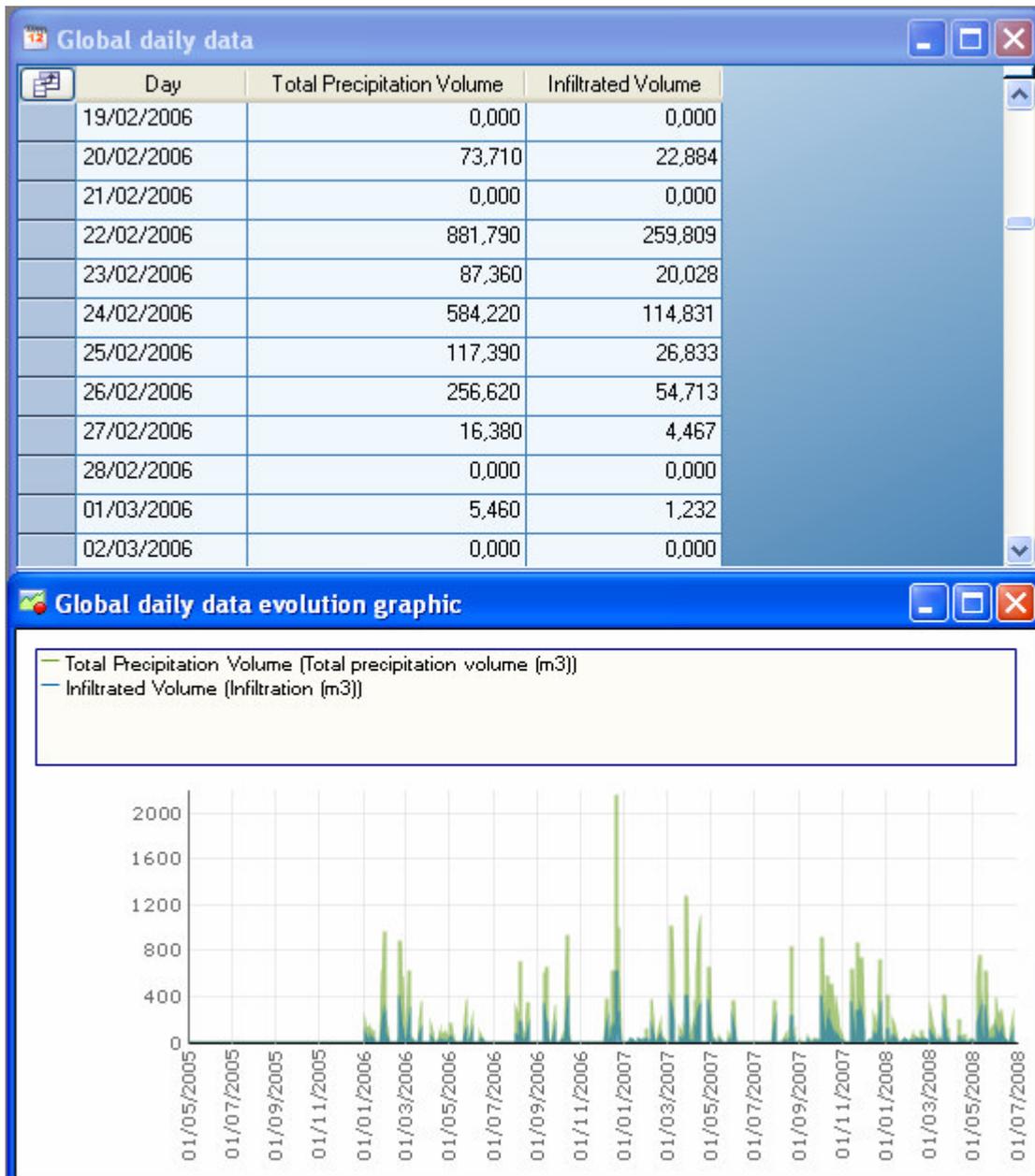


Figura 47. Ejemplo de gráfica de resultados.

5 ESTUDIO DE RESULTADOS MEDIANTE HOJA DE CÁLCULO EXTERNA

En los procesos de calibración y validación es conveniente comparar directamente, gráfica o matemáticamente (con cálculo de desviaciones, etc.), los resultados de simulación con las series de campo de que se disponga. Para ello los resultados del programa en todos sus formatos se pueden exportar a un fichero XLS pulsando el botón  (barra superior de la ventana principal) donde pueden procesarse de manera externa.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Bengtsson L., Bendz D, Hogland W, Rosqvist H. y Åkesson M. (1994).** Water balance for landfills of different age. *Journal of Hydrology*, Vol. 158, Nº 3-4, pp. 203-217.
- Bleiker D.E., McBean E. y Farquhar G. (1993).** Refuse sampling and permeability testing at the Brock West and Keele Valley Landfill. *Actas del congreso 16th International Madison Waste Conference*, 22-23 septiembre 1993, University of Wisconsin-Madison, Estados Unidos, pp. 548-567
- Herrero J. y Montero O. (1999).** MODUELO. Modelo hidrológico, biológico y de producción para el diseño de vertederos. Manual de Usuario y documentación técnica. Grupo de Ingeniería Ambiental. Universidad de Cantabria. Documento de uso interno.
- Huber W.C. y Dickinson R.E. (1988).** Storm Water Management Model, Version 4. Part A: User's Manual. EPA/600/3-88/001a. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, United States.
- Huitric R. L., Raksit S. y Haug R. T. (1980).** Moisture retention of landfilled solid waste. County Sanitation Districts of Los Angeles County, Los Angeles, United States.
- Jiménez J. A. y Justo J. L. (1975).** Geotecnia y cimientos I. Propiedades de los suelos y de las rocas. Editorial Rueda D. L. Madrid (2ª edición).
- Koda E. y Zakowicz S. (1999).** Physical and hydraulic properties of the MSW for water balance of the landfill. *Environmental Geotechnics*, Sêco e Pinto Ed., Balkema, Rotterdam, Holland.
- Korfiatis G. P., Demetracopoulos A. C., Bourodimos E. y Nawy E. G. (1984).** Moisture transport in a solid waste column. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 110, Nº 4, pp. 780-796.
- Lobo A., Herrero J., Montero O., Fantelli M. y Tejero I. (2002).** Modelling for Environmental Assessment of Municipal Solid Waste Landfills (Part 1: Hydrology). *Waste Management and Research*, Vol. 20, Nº 2, pp. 198-210.
- Lobo A., Herrero J., Montero O., Fantelli M. y Tejero I. (2002).** Modelling for Environmental Assessment of Municipal Solid Waste Landfills (Part 2: Biodegradation). *Waste Management and Research*, Vol. 20, Nº 6, pp. 514-528.
- Lobo, A. (2003).** Desarrollo de MODUELO 2: herramienta para la evaluación de la contaminación producida en vertederos de residuos sólidos urbanos. Tesis Doctoral, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, España.

- Lobo, A., Muñoz J., Sánchez M. y Tejero I. (2003).** Comparative analysis of three hydrological landfill models through a practical application (MODUELO, HELP and MODUELO 1) Actas del Congreso "Sardinia 2003, 9th International Landfill Symposium EDITORIAL: CISA, Centro de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cagliari, Italia. Edición en CD.
- Lobo, A.; Sánchez, M.; Esteban, A. L.; Cruces J. y Tejero, I. (2003a).** MODUELO 3. Herramienta de gestión y biorrecuperación de suelos contaminados por vertederos de residuos sólidos urbanos. Manual de usuario.
- Lobo, A.; Sánchez, M.; Esteban, A. L.; Cruces J. y Tejero, I. (2003b).** MODUELO 3. Herramienta de gestión y biorrecuperación de suelos contaminados por vertederos de residuos sólidos urbanos. Manual técnico.
- Lobo A., Muñoz J., Tejero I. (2004).** Assessment of a new waste biodegradation model for MODUELO. Waste Management and the Environment II. Editorial C.A. BREBBIA, Wessex Institute of Technology, R.U., S. KUNGOLOS, University of Thessaly, Greece, V. POPOV, Wessex Institute of Technology, R.U. y H. ITOH, University of Nagoya, Japan. pp.419-428. ISBN: 1-85312-738-8.
- Lobo, A, Cobo N. y López A. (2006).** Assessment of landfill stability with the aid of simulation. Actas del Congreso "Waste 2006: sustainable waste and resource management", Stratford upon Avon, 19-21 Septiembre
- Lobo, A., López A. y Cobo N. (2007):** Mathematical simulations of a landfill within the assessment of municipal solid waste management alternatives. Actas del Congreso "Sardinia 2007, 11th International Waste Management and Landfill Symposium EDITORIAL: CISA, Centro de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cagliari, Italia. Edición en CD.
- Lobo, A., López A., Cobo N. y Tejero I. (2007).** Prediction of biodegradation and settlement in a MSW laboratory assay through the models incorporated in Moduelo landfill simulation tool. Actas del Congreso "2nd Hydro-Physico-Mechanics of Wastes", Southampton (Inglaterra), Abril 2007.
- Lobo A. y Tejero I. (2007).** Application of simulation models to the diagnosis of MSW landfills: an example. Waste Management, vol.27, nº 5, pp. 691-703.
- Lobo A. y Tejero I. (2007).** MODUELO 2: a new version of an integrated simulation model for municipal solid waste landfills. Environmental Engineering and Software, vol. 22, nº 1, pp. 59-72.
- Lobo, A., López A., Cobo N. y Tejero I. (2008).** Simulation of the MSW Southampton reactors through MODUELO. Waste and Resource Management. (En imprenta).
- Manassero M., Van Impe W.F. y Bouzza A., (1997).** Waste disposal and containment. Environmental geotechnics. Kamon (ed) Rotterdam, Holland.

- Oweis I.S., Smith D.A., Ellwood R.B. y Greene D.S. (1990).** Hydraulic characteristics of municipal refuse. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 116, N. 4, pp. 539–553.
- Porta J., López-Acevedo M. y Roquero C. (2003).** *Edafología para la agricultura y el Medio Ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Rosqvist H. y Destouni G. (2000).** Solute transport through preferential pathways in municipal solid waste. *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 46, pp. 39-60.
- Rosqvist N. H., Dollar L. H. y Fouri A. B. (2005).** Preferential flow in municipal solid waste and implications for long –term leachate quality: valuation of laboratory-scale experiments. *Waste Management and Research*, Vol. 23, pp. 367-380.
- Shroeder P.R., Dozier T.S., Zappi P.A., McEnroe B.M., Sjostrom J.W. y Peton R.L. (1994).** The hydrologic evaluation of landfill performance (HELP) model. Engineering documentation for version 3. EPA/600/R-94/168b. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, United States.
- Stegmann R. y Ehrig H. J. (1989).** Leachate production and quality results of landfill processes and operation. *Actas del congreso Sardinia 89 Second International Landfill Symposium*. CISA, Centro de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cagliari, Italia. Vol. XXVIII, pp.1–16.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1994)** *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. McGraw Hill, Madrid. ISBN: 0-07-063237-5.
