

Ayuda Interfaz MELEF

© 2020 MELEF

Manual de usuario de la Interfaz Gráfica
del Sistema de Gestión
FreshWaterSheds V 3.X, Toolbox
FreshWaterSheds ArcGIS 9.3.1 y 10.x
y principales condiciones de simulación
del código
MELEF-FRESHWATERSHEDS

Dr. Jesús Horacio Hernández Anguiano
Dr. Francisco Padilla Benítez

Guanajuato, México. 2017

*Universidad de Guanajuato México
Universidad de La Coruña, España.*

MANUAL DE USUARIO

Toolbox FreshWaterSheds ArcGIS - Interfaz FreshWaterSheds - Código FreshWaterSheds

by MELEF



Productos MELEF.

Desarrolladores

Dr. Jesús Horacio Hernández Anguiano

Dr. Francisco Padilla Benítez

Guanajuato, México. 2019

copyrigth GEAMA - Universidad de La Coruña.



Interfaz de Usuario
MELEF

Ayuda Interfaz MELEF

© 2020 MELEF

All rights reserved. No parts of this work may be reproduced in any form or by any means - graphic, electronic, or mechanical, including photocopying, recording, taping, or information storage and retrieval systems - without the written permission of the publisher.

Products that are referred to in this document may be either trademarks and/or registered trademarks of the respective owners. The publisher and the author make no claim to these trademarks.

While every precaution has been taken in the preparation of this document, the publisher and the author assume no responsibility for errors or omissions, or for damages resulting from the use of information contained in this document or from the use of programs and source code that may accompany it. In no event shall the publisher and the author be liable for any loss of profit or any other commercial damage caused or alleged to have been caused directly or indirectly by this document.

Impreso: enero 2017 en Guanajuato México.

Editores

Dr. Jesús Horacio Hernández Anguiano
Dr. Francisco Padilla Benítez

Un agradacimiento especial para:

Los investigadores de la Universidad de La Coruña involucrados en este proyecto, quienes han contribuido de forma valiosa en el desarrollo del código FreshWaterSheds. Asimismo, es necesario el apoyo del proyecto del Ministerio de Educación y Ciencia CICYT (CGL2006-01452 y CGL2009-11258), al apoyo de la Xunta de Galicia (Programa María Barbeito) por su apoyo con becas de posgrado, a la Compañía minera LIMEISA por su fundamental participación con información y medios de apoyo, así como a la Fundación Europea de Ciencia.

Tabla de Contenido

Prefacio	8
Parte I Instalación y Configuración	9
Parte II A. Sistema de Gestión del modelo FreshWaterSheds (SIGFWS)	14
1 Programas que forman el SIGMELEF.....	15
2 Funcionamiento y acomplamiento del SIGMELEF.....	16
3 Procedimiento de trabajo.....	17
Parte III B. Guía rápida de uso de la Interfaz FreshWaterSheds	20
1 Gestionar un proyecto de simulación.....	21
2 Panel 1: control de la simulación.....	22
3 Panel 2: condiciones de simulación.....	24
4 Panel 3: parámetros y resolución del sistema.....	28
5 Introducción a los menús de la interfaz.....	32
Parte IV C. Menús y Herramientas	35
1 C1. Interfaz de Usuario FreshWaterSheds.....	36
Malla	36
Procesar Malla (geo-2dm).....	36
Propiedades	37
Generar PRN.....	37
Generar SEC.....	39
Generar SOL.....	40
Generar SLR/CND/SLC.....	42
Generar BDatos Transitoria.....	45
Resultados	45
Globales ETA.....	46
Caudales DEB.....	47
Nodales VNO-SOL-VEL.....	52
1D: VEL - VNO.....	55
2D: VEL - VNO - SOL.....	60
Balance hídrico Zonal.....	62
Análisis zonal de resultados.....	65
Herramientas	67
FFTemporalSeries.....	67
Gestión y cálculo de aforos.....	67
Datos Medidos.....	70
Configuración	74
Versión del código FreshWaterSheds.....	74
Versión de la Interfaz.....	74
2 C2. Toolbox FreshWaterSheds (ArcGIS).....	74

1. Importar Malla	76
1.1 Importar nudos-Malla.....	76
2. Zona no saturada (SOI)	77
(opcional) Actualizar SOIMELEF.shp.....	77
2.1 Nuevo ZonaNoSaturada.shp.....	77
2.2 Nuevo Ksuperficial.shp.....	78
2.3 Generar SOIMELEF.shp.....	79
3. Materiales - Sustrato I. (PRN)	80
(opcional) Actualizar PRNMELEF.shp.....	80
3.1 Crear Sustrato Impermeable.....	81
3.2 Nuevo Geología.shp.....	83
3.3 Generar PRNMELEF.shp.....	83
4. Condiciones de contorno (CND - SLC)	84
(opcional) Actualizar CNDMELEF-SLCMELEF.shp.....	84
4.1 Nuevo CND-SLC.shp.....	85
4.2 Generar CNDMELEF-SLCMELEF.shp.....	86
5. Recarga y usos de agua (SLR)	87
(opcional) Actualizar SLRMELEF.shp.....	87
5.1 Nuevo Recarga - UsosAgua.shp.....	88
5.2 Generar SLRMELEF.shp.....	89
6. Secciones de aforo (SEC)	90
(opcional) Actualizar SECMELEF.shp.....	90
6.1 Nuevo SeccionesAforo.shp.....	90
6.2 Generar SECMELEF.shp.....	91
Utilidades	92
Ajustar Espesor de Suelo.....	92
Ajustar por Pendiente - Vegetación.....	92
Ajustar tasa de infiltración.....	94
Generar ficheros de simulación.....	94
Generar fichero .COR de MELEF.....	94
Generar fichero .INI de MELEF.....	94
Hidrología	95
(Opcional) Hipsometría.....	95
(Opcional) Obtener Isocronas.....	96
(Opcional) Obtener MDT raster desde ASCII.....	97
1. Flow Accumulation and Flow Direction.....	98
2. Streams definition.....	99
3. Watershed delineation.....	99
Reacondicionamiento MDE y Malla.....	100
DEM Burning Elevation.....	100
DEM Burning Slope.....	101
DEM Reconditioning Multiple.....	102
Depression Evaluation.....	104
Fill Sinks	104
Generar bufer de ríos: Malla SMS.....	105
Redistribuir vértices.....	106
Subfunciones.....	107
Agregar ZONAINYEC.....	107
Renumerar Zonas.....	108
Sustrato Impermeable.....	109
3 C3. Toolbox FreshWaterSheds (QGIS).....	110

Parte V D. Ficheros de simulación**112**

1 Ficheros de entrada.....	113
COR	113
CND	113
ELE	114
INI	114
INP	115
PRN	116
SEC	117
SOI	117
SLC	118
SLR	118
2 Ficheros de resultados.....	119
DEB	119
ETA	120
FIN	123
SOL	123
VEL	124
VNO	124
3 Ficheros SIG.....	125
CNDMELEF	126
PRNMELEF	127
SECMELEF	128
SLCMELEF	128
SLRMELEF	128
SOIMELEF	129

Parte VI E. Funcionamiento y procedimientos 131

1 ArcMap (Toolbox MELEF).....	132
Reacondicionamiento MDE.....	132
Reacondicionamiento de un MDE.....	132
DEM Reconditioning Multiple.....	134
DEM Burning Slope.....	135
Generar ríos desde un MDE.....	136
Obtener Ríos a partir de un MDE.....	136
Evaluar y ubicar depresiones en el MDE.....	138
Evaluación del sustrato impermeable.....	140
Ajustar espesor de suelo por pendiente-vegetación.....	142
Añadir coordenadas X,Y a un shapefile de puntos.....	143
Barra de herramientas de edición.....	144
2 Interfaz de Usuario.....	145
Interpolación de datos.....	145
Interpolación como histograma con paso atrás.....	145
Método de interpolación lineal.....	146
Bases de datos de la Interfaz (.MAT).....	146
Estructura de la Base de Datos: Interfaz MELEF.....	146
Estructura de la Base de Datos: propiedades nodales MELEF.....	148
Estructura de la Base de Datos: Gestión y Cálculo de Aforos.....	149
Selección múltiple de ficheros.....	149
Base de Datos Transitoria XLS (BDatosTransitoriaXLS).....	150
Grabar Video.....	153
3 Modelo FreshWaterSheds.....	154
Modelo Subterráneo.....	154

Modelo Superficial	156
Modelos de interacción	161
Simulación de Compuertas	165
Simulación de Desagües	166
Simulación de Galerías Filtrantes	169
Inyección Automática	171

Parte VII F. Formación 174

1 Caso práctico 1: inundación de la mina de Meirama (cuenca del río Barcés).....	175
Práctica 1: preparar la interfaz de usuario MELEF para el modelo Barcés.	177
Práctica 2: Generar las condiciones de simulación en ArcGIS.	183
Práctica 3: preparar las bases de datos transitorios XLS.	185
Práctica 4: Generar ficheros de simulación y ejecución de MELEF.	185
2 Problemáticas y soluciones.....	185
3 Generar malla.....	185
IWFM Mesh Generator	185
Instalación del software.....	185
Crear Nueva Malla.....	186

Índice 200

Prefacio

El constante desarrollo del modelo numérico FreshWaterSheds y de sus capacidades, permiten generar nuevas soluciones numéricas que aproximan la realidad hidrológica de una cuenca.

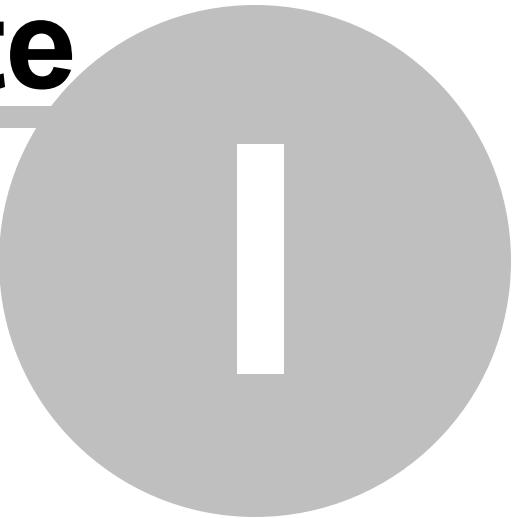
Todo ello, requiere de una constante evolución en la gestión de la información espacial, lo cual es posible mediante el Sistema de Gestión de FreshWaterSheds, el Toolbox FreshWaterSheds, y el constante desarrollo de la Interfaz Gráfica que es el centro de pre y posproceso de resultados.

Finalmente, el funcionamiento y las características de este Sistema de Gestión de FreshWaterSheds son presentadas en esta primera versión de Ayuda de Usuario.

MANUAL FreshWaterSheds

Modelo para simulación hidrológica
integrada de flujos regionales
subterráneo y superficial.

Parte



I

1 Instalación y Configuración

La interfaz FreshWaterSheds ha sido creada usando como lenguaje de programación Matlab R2012a (7.17, 32 bits) para Windows, por lo que es posible su instalación en cualquier sistema operativo que soporte esta versión de Matlab. Al ser un ejecutable independiente permite ejecutar el programa a través del Runtime de Matlab, el cual se puede descargar de forma gratuita desde Internet (<https://www.mathworks.com/products/compiler/mcr.html>). El Runtime contiene las librerías mínimas necesarias para que funcionen los ejecutables. Si ya tiene Matlab instalado en la versión R2012a (7.17, 32 bits) no es necesario instalar además el Runtime. Si no tiene instalado Matlab, descargue e instale el Runtime en la versión correcta, el programa Interfaz de Usuario FreshWaterSheds no se ejecutará sin el Matlab/Runtime instalado.

Por otra parte, el toolbox FreshWaterSheds ha sido desarrollado para las plataformas de ArcGIS (ESRI) implementando Model Builder y Python Scripts, así como para la plataforma de QGIS 3x. Para la versión de ArcGIS se contemplan dos versiones, una para ArcMap 9.3.1 y otra para la versión 10.x (la cual puede funcionar para versiones desde la 10.0 y hasta la versión 10.6). Por lo tanto, es necesario tener una versión de ArcMap instalada igual o mayor que la versión 9.3.1 para poder implementar este Toolbox.

En lo que respecta al sistema operativo y las características del equipo de procesamiento se debe tener en cuenta que, ArcGIS, y su uso en la gestión y transformación de información espacial, es un software que demanda características más específicas para diseño gráfico. Mientras que, el Runtime de Matlab puede ser menos demandante en este aspecto, aunque el tiempo de cálculo va a depender directamente de la capacidad de procesamiento.

Por lo anterior, se recomiendan las siguientes características mínimas:

Sistema Operativo:	Windows 32 / 64 bits XP, Vista, 7, 8, 10.0
Procesador:	Pentium IV, Intel Core 2 Duo o superior (se pueden usar otras plataformas equivalentes)
RAM	> 1 GB
Disco Duro	> 50 GB de espacio libre (los resultados del modelo numérico pueden demandar esta capacidad de almacenamiento)
Tarjeta Gráfica	Con al menos 1 GB (para geoprocесamiento en ArcGIS y en especial con imágenes ráster).

Proceso de Instalación

Interfaz de Usuario FreshWaterSheds

1. Verifique si tiene instalado el Runtime de Matlab 2012a, o propiamente el software de Matlab en esa versión. Si ya tenía una versión de la interfaz de usuario funcionando correctamente, entonces ya no es necesario volver a instalar el Runtime/Matlab. Hasta ahora todas las versiones de la interfaz de usuario se han compilado en la versión de Matlab R2012a (7.17 32 bits).
2. Es recomendable iniciar la instalación de la interfaz de usuario utilizando permisos de administrador. Para ello, haga clic derecho sobre el ejecutable (.msi) y seleccione ejecutar como administrador. Esto evita problemas conocidos de permisos de acceso y edición de las bases de datos que gestiona el programa durante su funcionamiento. En versiones de Windows 7 y mayores, es posible que se requiera ir al programador de tareas para desde allí ejecutar la interfaz como administrador.

3. Al iniciar el software Interfaz FreshWaterSheds se demorará un par de minutos en desplegarse, ya que primero se cargan las librerías del Runtime/Matlab y posteriormente se carga la Interfaz.

Toolbox MELEF 9.3.1

1. Ejecutar el software ArcGIS y habilitar, si no lo está, la ventana del ArcToolbox.
2. Busque en el ArcToolbox el Toolbox MELEF, si no aparece entonces es necesario continuar con el paso Nº 3, de lo contrario vaya a la paso Nº 4.
3. Para añadir el Toolbox MELEF haga clic derecho sobre el texto ArcToolbox y seleccione New Toolbox (para abrir el ArcToolbox vaya al menú Geoprocessing>ArcToolbox). En la venta de búsqueda vaya a la carpeta de instalación de la interfaz de usuario (si no cambio la ruta de instalación esta debería ser C:\Program Files (x86)\Interfaz Freshwatersheds) y seleccione el fichero .tbx para la versión de ArcGIS que corresponda (véase la Figura 1).
4. Antes de iniciar un nuevo proyecto, recuerde definir las rutas de trabajo. Estas rutas de trabajo dirigen de forma automática gran parte de los resultados hacia las carpetas que defina como rutas de trabajo. Para definir las rutas de trabajo haga clic derecho sobre el ArcToolbox y seleccione la opción Environments... En la venta que se despliega modifique (véase la Figura 1) las rutas que aparecen en el apartado de Workspace como Current Workspace (ruta para resultados importantes) y Scratch Workspace (ruta para resultados intermedios que pueden eliminarse).

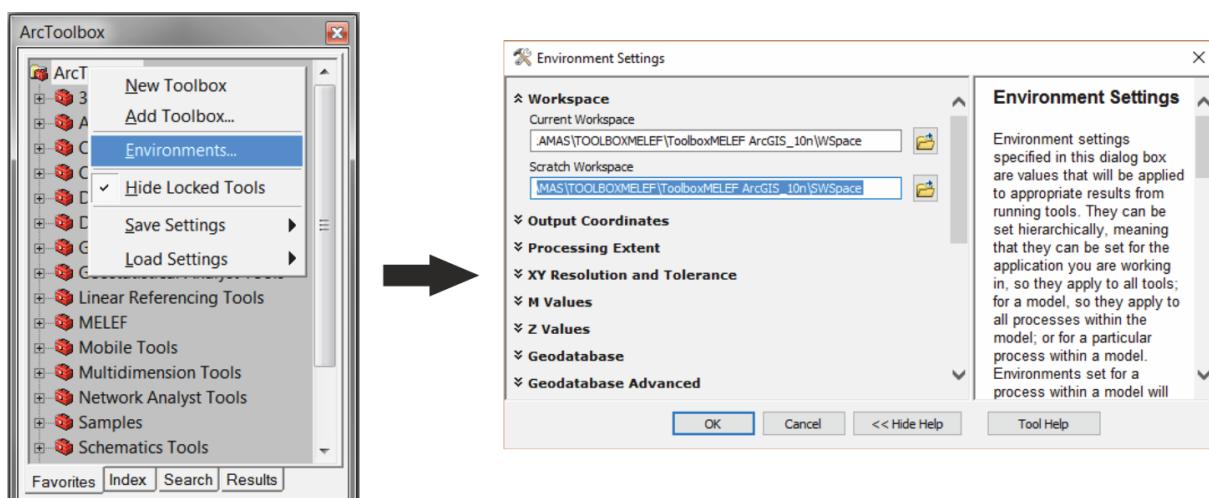


Figura 1. Ventana del ArcToolbox. Al hacer clic derecho sobre ArcToolbox es posible acceder a la configuración Environments para modificar las rutas de trabajo: Current Workspace y Scratch Workspace.

5. Finalmente, guarde la configuración para mantener cargado el Toolbox MELEF y no tener que repetir el procedimiento anterior. Al guardar la configuración también se guardan las rutas de trabajo definidas en el punto 4. Para guardar la configuración haga clic derecho sobre el ArcToolbox y seleccione la opción Save Settings>To Default.

Toolbox FreshWaterSheds 10x

1. Para versiones superiores a ArcGIS 9.3.1 se debe utilizar el Toolbox FreshWaterSheds 10x, el cual debería ser compatible con cualquier versión de ArcGIS 10.0 a 10.6.
2. Para ArcGIS 10.x es posible activar el ArcToolbox mostrado en la Figura 1 y seguir los 4 pasos mostrados para la versión de ArcGIS 9.3.1.
3. También, es posible abrir el Toolbox FreshWaterSheds desde la pestaña de ArcCatalog que a partir de la versión 10.0 viene incluida como una pestaña desplegable en ArcMap.

Toolbox FreshWaterSheds QGIS 3x

1. Instalar QGIS desde <https://www.qgis.org/en/site/> y descargar el software (QGIS Standalone Installer Version)
2. Abrir QGIS y abrir el menu "Configuración > Opciones..." y hacer clic en la pestaña "Procesos", Esto abre la ventana de la Figura 2, ver los pasos marcados en la figura.
3. Una vez esté en la ventana de la pestaña "Procesos" haga clic en los tres puntos (ver paso B de la figura) para abrir una nueva ventana y añadir en esta la ruta a la carpeta C:\Program Files (x86)\Interfaz Freshwatersheds\Scripts QGIS 3x.
4. Finalmente, una vez añada la ruta de la carpeta con los scripts, QGIS los añadirá en el árbol de cajas de herramientas de procesos como se muestra en la Figura 2.

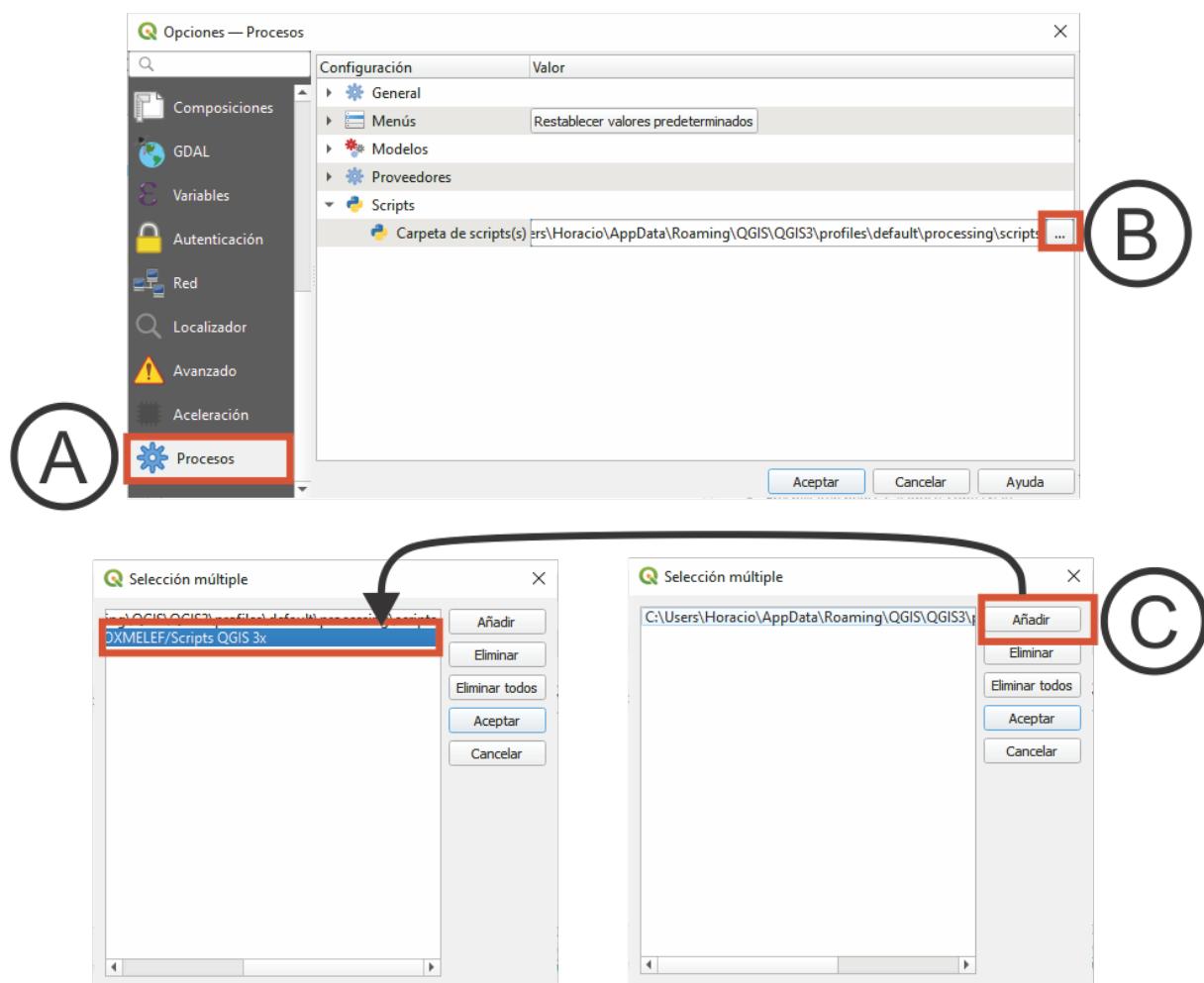


Figura 2. Proceso de instalación del Toolbox FreshWaterSheds QGIS 3x.

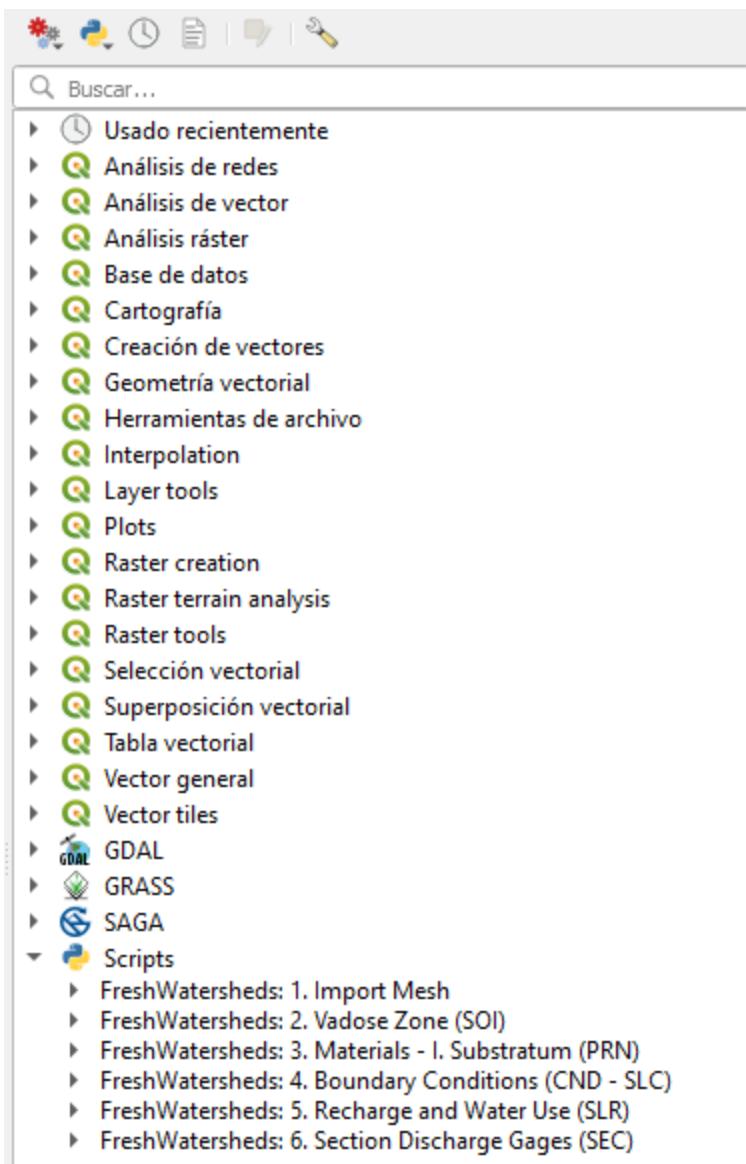


Figura 3. Localización del Toolbox FreshWaterSheds QGIS 3x una vez instalado.

MANUAL FreshWaterSheds

Modelo para simulación hidrológica
integrada de flujos regionales
subterráneo y superficial.

Parte



II

2 A. Sistema de Gestión del modelo FreshWaterSheds (SIGFWS)

La modelación hidrológica distribuida, mediante distintas tecnologías numéricas, dependen en gran medida de los Sistema de Gestión de Información para ser manejables, aplicables a distintas problemáticas y sobre todo para tomar decisiones a partir del análisis de resultados.

En la modelación hidrológica distribuida existen códigos comerciales de referencia como pueden ser Mike She, Mike Basin, ModFlow, entre otros modelos. El desarrollo de tecnologías numéricas distribuidas de bases físicas, que sean una alternativa a las soluciones comerciales, suelen ser poco relevantes cuando no aportan soluciones a procesos hidrológicos de difícil planteamiento. En este contexto, investigadores de la Universidad de La Coruña y de la Universidad de Guanajuato, suman esfuerzos para desarrollar una solución numérica con una serie de cualidades y capacidades que lo distinguen de otros códigos comerciales. Las cuales permiten resolver el flujo subterráneo y superficial de una región hidrológica de forma integrada. El modelo FreshWaterSheds considera capacidades novedosas para resolver el flujo regional subterráneo y superficial de manera integrada, así como para resolver problemas de intrusión salina desde el mar por medio de una interfase inmiscible de agua dulce-salada.

Además, el modelo FreshWaterSheds implementa una interfaz de usuario desarrollada en Matlab que facilita la gestión, en pre y pos-proceso, de información de entrada y de los resultados generados por el modelo.

Hoy en día los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta imprescindible para gestionar cualquier tipo de información con una componente espacial, y las capacidades que estos tienen son, en la mayoría de los casos, suficientes para gestionar cualquier modelo. Con la clara ventaja de poder contar con la potencia de análisis de los SIG.

Por lo anterior, se desarollo el Toolbox de gestión del código FreshWaterSheds, que en adelante llamaremos Toolbox MELEF, sobre la plataforma ArcGIS de ESRI. El Toolbox MELEF está integrado por seis grupos de herramientas y un grupo de utilidades. Los distintos grupos de herramientas están diseñados para gestionar de forma fácil la información para transformarla en condiciones de simulación.

Entonces, el sistema de gestión integra una serie de herramientas que automatiza procedimientos de trabajo que agilizan la preparación de las condiciones de simulación. Asimismo, la integración entre la interfaz de usuario y el Toolbox MELEF amplían las posibilidades de gestión, y de toma de decisiones, con la información que guarda relación con la hidrología de la cuenca de estudio.

Así pues, este manual detalla la estructura y el funcionamiento del código FreshWaterSheds y de su Sistema de Gestión (Toolbox MELEF e Interfaz de Usuario FreshWaterSheds).

2.1 Programas que forman el SIGMELEF

Actualmente el SIGFWS está conformado por los siguientes programas:

- **Surface Water Modeling System, Aquaveo SMS.** Aunque es posible explorar programas de licencia libre, o software libre, tal es el caso del mallador [Blue-Kenue](#), o el [mallador IWFM Mesh Generator](#) que se instala directamente en ArcGIS (versiones 10.x).
- **ArcGIS(9.3.1 - 10.6):** se trata de un programa clave en la gestión de la información geográfica necesaria para trasladar las condiciones de simulación al modelo discreto, y sobre este programa se ha generado el Toolbox FreshWaterSheds para automatizar de gestión de información hidrológica y de los flujos de trabajo. Aún así, es posible implementar software libre ya que la gestión de los parámetros nodales se realiza sobre ficheros vectoriales de SIG (shapefiles).

- **QGIS (versiones 3.x):** de forma alternativa a ArcGIS es posible utilizar QGIS para gestionar condiciones de simulación y condiciones de contorno del modelo FreshWaterSheds. Aunque, estas herramientas tienen limitaciones, principalmente en el Toolbox de Utilidades, resuelven la función primordial de generar ficheros de simulación para poder conectar con la Interfaz de Usuario FreshWaterSheds.
- **Interfaz de Usuario FreshWaterSheds V3.71:** programa de gestión desarrollado por el Dr. Jesús Horacio Hernández Anguiano en Matlab 2012a, del cuál se detalla su estructura y funcionamiento en el presente manual de usuario.
- **Modelo FreshWaterSheds** modelo de simulación de flujo conjunto subterráneo y superficial, con capacidad de interacción entre el flujo continental (agua dulce) y el medio costero (agua salada). Para más detalles sobre su funcionamiento consulte las siguientes publicaciones:
 - [2008. Numerical modelling of surfacewater/groundwater flows for freshwater/saltwater hydrology: the case of the alluvial coastal aquifer of the Low Guadalhorce River, Malaga, Spain. Environmental Geology.](#)
 - [2012. A numerical solution to integrated water flows: Application to the flooding of an open pit mine at the Barcés river catchment – La Coruña, Spain. Journal of Hydrology.](#)
 - [2015. A numerical solution for the integrated analysis of water resources management - Application to the Mero River Watershed - La Coruña Spain. Journal of Water REsource and Protection.](#)
 - [2015. Application of a numerical model designed for integrated watershed management. WIT Transactions on Ecology and The Environment.](#)
 - [2016. Improvements in Mero River Basin Water Supply Regulation Through Integration of a Mining Pit Lake as a Water Supply Source. Mine Water and the Environment.](#)
 - [2016. Modelling Integrated Extreme Hydrology. International Journal of Safety and Security Engineering.](#)

2.2 Funcionamiento y acoplamiento del SIGMELEF

Funcionamiento y acoplamiento de los distintos programas o elementos que componen el Sistema de Gestión del modelo FreshWaterSheds.

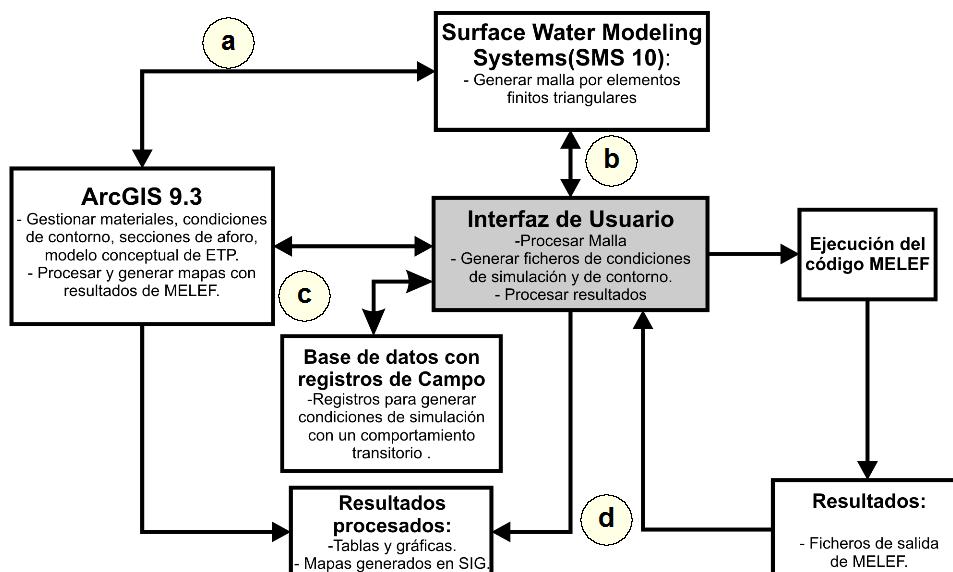


Figura A. 1. Estructura del Sistema de Gestión de FreshWaterSheds.

A continuación se describen algunas de las tareas realizadas en los distintos puntos de acoplamiento del Sistema de Gestión, las cuales se han resaltado con las etiquetas a, b, c y d en la Figura A.1:



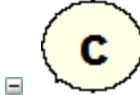
■ **a** Acoplamiento entre ArcGIS y SMS.

Acoplamiento entre el programa generador de la malla, SMS en sus diferentes versiones, y los Sistemas de Información Geográfica, ArcGIS 9.3.1 - 10.x. Ambos programas trabajan con el modelo de datos vectorial, shapefile, en el que se almacena la información necesaria para definir el modelo discreto. En este sentido, las capas de datos vectoriales como ríos, cuencas, embalses y lagos son preparados en ArcGIS, y posteriormente importadas en SMS para elaborar la malla por elementos finitos triangulares con una mayor densidad, de nodos y elementos, en las zonas susceptibles de presentar flujo superficial.



■ **b** Acoplamiento entre la Interfaz de Usuario y SMS.

Acoplamiento entre la interfaz de usuario y el programa SMS. La interfaz de usuario genera, a partir de la malla de SMS, los ficheros de simulación .COR y .ELE que requiere el código FreshWaterSheds, así como dos ficheros ASCII para importar en ArcGIS y convertirlos en formato vectorial shapefile.



■ **c** Acoplamiento entre la Interfaz de Usuario y ArcGIS.

A partir de la tabla de atributos de los ficheros en formato vectorial, shapefiles, y la base de datos con registros transitorios, que son hojas Excel, la interfaz genera las condiciones transitorias de simulación del modelo FreshWaterSheds.



■ **d** Acoplamiento entre la Interfaz de Usuario y FreshWaterSheds.

Post-procesamiento de resultados. La interfaz procesa en gráficos y tablas los resultados de FreshWaterSheds, además de generar ficheros con la estructura requerida por ArcGIS para representar los resultados mediante modelos de representación continua "Mapas".

2.3 Procedimiento de trabajo

En cada nuevo proyecto de simulación se requiere medir o adquirir un mínimo de información para iniciar con la preparación del modelo discreto:

- Modelo Digital de Elevaciones hidrológicamente correcto.
- Caudales de agua superficial.
- Variables climáticas: precipitación; ET_p; Ep.
- Cartografía: geología; usos del suelo; tipo de vegetación.

El procedimiento de trabajo que hasta ahora se viene desarrollando con el SIGFWS para cada nuevo proyecto de simulación es el que se muestra en la Figura A.2.

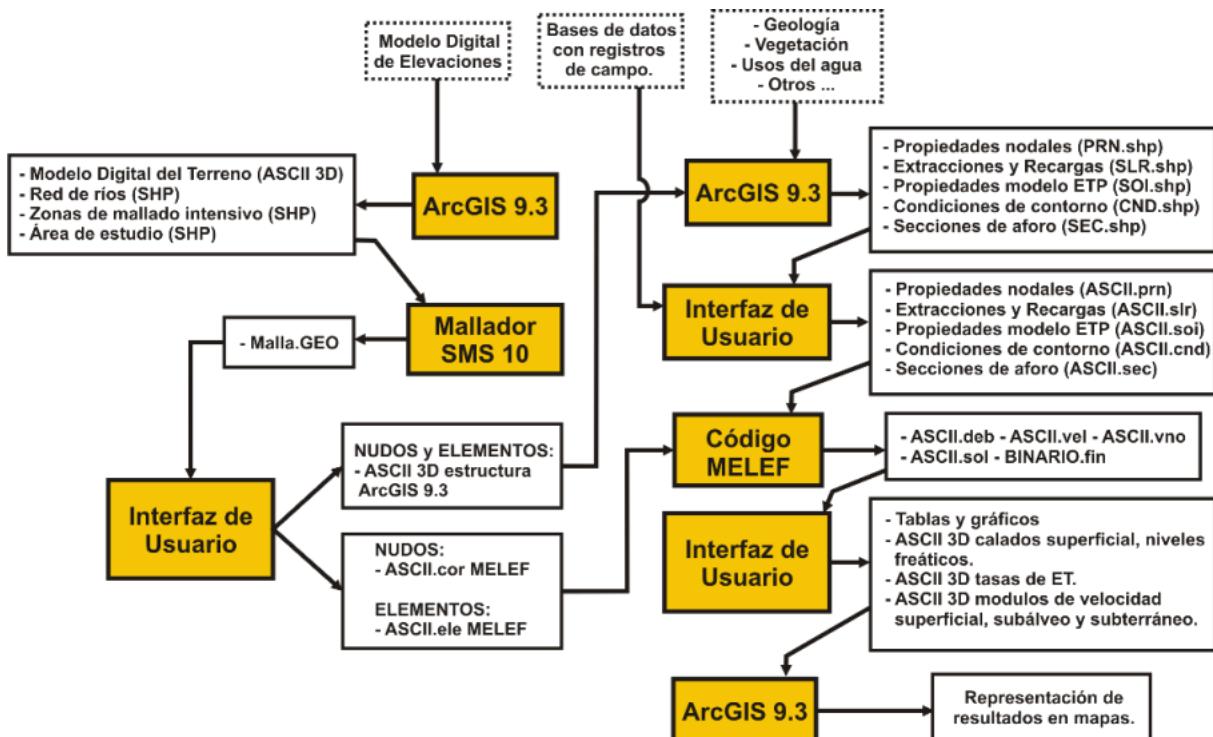


Figura A.2. Procedimiento de trabajo con el Sistema de Gestión del modelo FreshWaterSheds. Los marcos punteados representan los datos de entrada, y los marcos con línea continua son el resultado de aplicar alguno de los programas del sistema de gestión con recuadro sombreado.

Como se observa en la Figura A.2, se sigue el siguiente procedimiento de trabajo para preparar un nuevo proyecto de simulación:

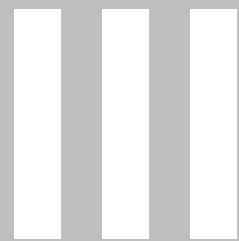
1. [Acondicionar el Modelo Digital de Elevaciones](#) (MDE) para corregir errores hidrológicos.
 - a. El río está obstaculizado topográficamente por una carretera o un puente y el río en la realidad discurre por un pazo a nivel u otro tipo de estructura hidráulica.
 - b. El MDE no refleja correctamente la ruta y el calado por donde discurre el río, tamaño de celda del MDE muy superior al ancho medio del río.
 - c. El MDE no refleja la elevación del terreno por debajo de los cuerpos de agua, como en lagos y embalses e incluso en algunos ríos de caudal importante.
2. Procesar el MDE hidrológicamente correcto para extraer en SIG la siguiente información.
 - a. Cuenca hidrográfica de la zona de estudio.
 - b. La red de ríos.
 - c. [Zonas de mallado diferenciado](#) (bufers a lo largo de la red de ríos y limitados por la cuenca hidrográfica) shapefile de polígonos.
3. Importar las zonas de mallado diferenciado del punto 2.c en SMS.
 - a. Generar la malla por elementos finitos triangulares a partir del shapefile de polígonos del punto 2.c (fichero .GEO - .2dm).
 - b. Renumerar la malla con sentido anti-horario y numerar de forma continua primero los nodos en la piel de la malla y después los nodos interiores.
4. Procesar el fichero .GEO - .2dm para exportar la geometría.
 - a. [Generar los ficheros .COR y .ELE](#) que utiliza FreshWaterSheds para leer la geometría de la malla.

- b. [Generar los ficheros para ArcGIS](#) nodos.txt y elementos.txt e importar estos ficheros con el ToolBoxMELEF. El Toolbox genera en formato vectorial de SIG las capas necesarias para iniciar con la gestión de las condiciones de contorno y de simulación del modelo discreto (este paso ha quedado sin uso ya que el Toolbox MELEF puede procesar ficheros .GEO - .2dm directamente).
5. [Generar los shapefiles con las condiciones de simulación.](#)
 - a. [Materiales](#): defina los parámetros de los materiales y determine la posición del sustrato impermeable.
 - b. [Usos de agua y precipitación](#): defina las zonas de precipitación, así como los bombeos, las derivaciones y las inyecciones de agua superficial.
 - c. [Propiedades del suelo y conductividad del medio superficial](#): defina la profundidad máxima de suelo asociado a la profundidad de las raíces de las plantas, la franja capilar del suelo y la conductividad que tendrá el medio superficial.
 - d. [Condiciones de contorno](#): defina las condiciones impuestas de nivel freático o bien condiciones abiertas mediante un gradiente impuesto en el contorno de la malla (CND); defina condiciones de recarga difusa o puntual en el contorno de la malla (SLC).
 - e. [Secciones de aforo](#): dibuje las secciones de aforo para llevar un control del flujo y velocidades en los medios subterráneo, subáereo, superficial y de escurrimiento.
6. Generar los ficheros de simulación de FreshWaterSheds.
 - a. Procesar con la interfaz de usuario los ficheros vectoriales shapefiles de SIG para [generar los ficheros de simulación](#).
 - b. [Configurar los parámetros globales](#) de la interfaz de usuario.
 - c. [Preparar la simulación](#) (copiar ficheros de simulación a la carpeta de ejecución del modelo).
 - d. [Ejecutar la simulación](#) (copia el ejecutable MELEF.exe y genera el fichero MELEF.bat para ejecutar el modelo).
7. Procesar los ficheros de resultados de FreshWaterSheds en gráficos y tablas.
 - a. [Resultados globales](#) del modelo.
 - b. [Resultados de caudales](#).
 - c. [Resultados nódulos](#): resultados puntuales de los niveles freáticos, velocidades y los usos del agua.
 - d. [Resultados con animación 1D y 2D](#).

MANUAL FreshWaterSheds

Modelo para simulación hidrológica
integrada de flujos regionales
subterráneo y superficial.

Parte



3 B. Guía rápida de uso de la Interfaz FreshWaterSheds

Introducción a las principales funciones de la interfaz de usuario del modelo FreshWaterSheds.

La interfaz FreshWaterSheds está estructurada en una ventana principal con tres paneles de configuración y una serie de menús para ejecutar distintas herramientas de pre y pos-proceso.

Haga clic sobre un enlace de interés:

- [Gestionar un proyecto de simulación.](#)
- [Panel 1: control de la simulación.](#)
- [Panel 2: condiciones de simulación.](#)
- [Panel 3: parámetros y resolución del sistema.](#)
- [Introducción a los menús de la interfaz.](#)

3.1 Gestionar un proyecto de simulación

□ Crear o abrir un proyecto de simulación:

Al ejecutar la interfaz se desplegará la ventana **Gestor de Proyectos** (Figura B.1), en esta ventana seleccione si desea crear un nuevo proyecto de simulación o abrir un proyecto existente. Para abrir nuevamente el **Gestor de Proyectos** vaya al menú **Proyecto > Gestor de Proyectos**.

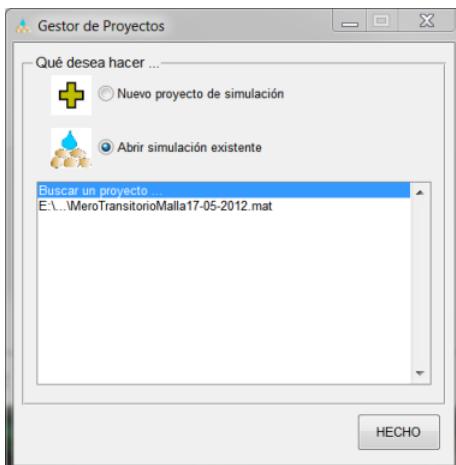


Figura B.1. Ventana gestor de proyectos de simulación.

También, puede generar un nuevo proyecto de simulación a través del menú **Proyecto > Nuevo proyecto (Ctrl + N)**, Figura B.2.

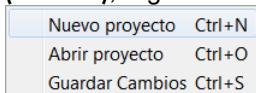


Figura B.2. Menú proyecto: nuevo proyecto.

Después de generar el proyecto la interfaz realiza las siguientes acciones:

- Mostrar en la parte inferior izquierda de la ventana principal el nombre del proyecto (Figura B.3).

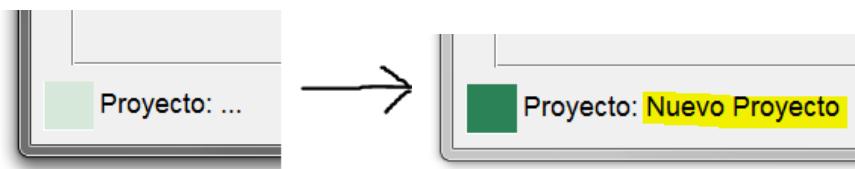


Figura B.3. El nombre del proyecto abierto se muestra en la ventana principal.

- Generar cinco sub-directorios en el directorio del proyecto y un archivo de extensión .mat (Figura B.4). En el fichero .mat se almacena toda la configuración de parámetros del proyecto. Los sub-directorios permiten gestionar toda la información proveniente de los Sistemas de Información Geográfica, los resultados de las simulaciones del modelo, las bases de datos de variables medidas o adquiridas y los informes con los análisis de los resultados.



Figura B.4.
Estructura de un
Proyecto de
simulación.

■ Barra de herramientas:



Utilice el menú proyecto y la barra de accesos directos para crear, abrir, guardar o cerrar la edición de un proyecto de simulación.



Acceso directo para crear un nuevo proyecto de simulación.



Abrir un proyecto de simulación: la interfaz almacena la ruta del último proyecto abierto, seleccione el fichero .mat para cargar la configuración del proyecto.



Guardar los cambios: guarda en la base de datos .mat los cambios generados en la configuración del proyecto.



Cerrar la edición del proyecto: utilice esta opción para trabajar con las herramientas de la interfaz sin modificar la base de datos .mat de un proyecto.

3.2 Panel 1: control de la simulación

Panel de control para gestionar la ejecución del modelo. Haga clic sobre la figura para aumentar el tamaño.

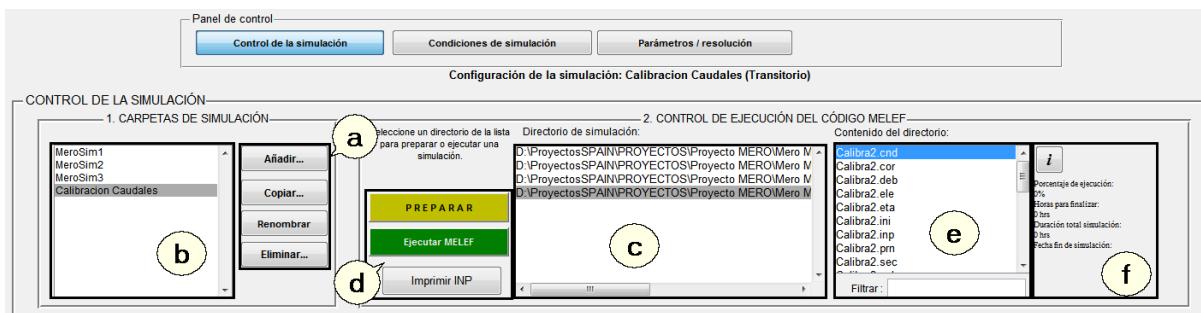
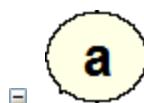


Figura B.5. Panel 1: panel de control de la ejecución de la simulación.

Los recuadros **a**, **b**, **c**, **d**, **e** y **f** de la Figura B.5 se describen a continuación.



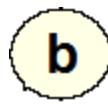
Botones para editar las carpetas de simulación:

Añadir....: crea una nueva carpeta de simulación en el recuadro **b**.

Copiar....: copia la configuración de los parámetros y variables de la carpeta de simulación seleccionada en el recuadro **b**.

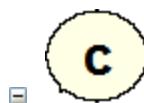
Renombrar: cambia el nombre de la carpeta de simulación seleccionada en el recuadro **b**.

Eliminar: elimina la carpeta de simulación seleccionada en el recuadro **b**.



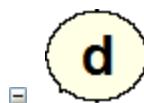
Lista de las carpetas de simulación:

Carpetas de simulación: seleccione una carpeta de simulación para activar los paneles 2 y 3 de configuración de parámetros, o para ejecutar una de las acciones del recuadro **a**.



Lista de los directorios de ejecución:

Directrios de ejecución: seleccione una ruta de la lista para activar los botones del recuadro **d**; seleccione una ruta para mostrar los ficheros que contiene en el recuadro **c**; haga doble clic sobre una ruta de la lista para abrir el explorador de Windows.



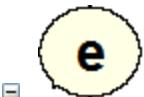
Botones para ejecutar del modelo:

Preparar simulación: prepara el directorio de simulación seleccionado en el recuadro **c**, para ejecutar el modelo. La preparación consiste en copiar los ficheros de simulación, y generar el fichero INP con la configuración de los parámetros globales y de resolución del sistema. Si existen ficheros de una ejecución anterior entonces los actualiza (antes se le solicitará confirmación de esta acción).

Ejecutar FreshWaterSheds: una vez preparado el directorio de simulación el modelo puede ejecutarse.

Antes de ejecutar, la interfaz verifica que no existen ficheros de resultados de una simulación anterior con el mismo nombre. Si existen ficheros de resultados la interfaz le consultará qué hacer con estos: eliminar los ficheros; renombrar los ficheros; cancelar la ejecución. Si existe el fichero de error de ejecución fort.8 se le pedirá confirmación para eliminarlo y continuar, o cancelar la ejecución.

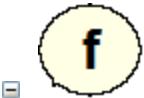
Imprimir INP: imprima el fichero INP directamente sin tener que preparar la simulación ni generar los restantes ficheros de simulación .



Lista de ficheros de simulación y resultados:

Ficheros de ejecución y resultados: esta ventana muestra los ficheros del directorio de simulación. Seleccione un directorio de ejecución en la ventana del recuadro **c** para ver su contenido. Haga doble clic sobre uno de los ficheros para abrirlo. Seleccione un fichero y presione la tecla Supr. para eliminarlo.

Filtrar ficheros: introduzca un filtro para mostrar los ficheros de interés. Puede introducir múltiples filtros separados por una coma o por un punto y coma. En la Figura B.% HMFIGURECOUNTER3-1% se ha aplicado un filtro múltiple para prn, slr, vno e inp, el filtro es: [.prn, .slr, .vno; .inp].



Información de la ejecución en curso:

Tiempo restante de ejecución: seleccione un directorio en el recuadro **e** y presione el botón **i** para mostrar el porcentaje de ejecución de la simulación, la fecha en que comenzó la simulación y el tiempo restante para finalizar.

3.3 Panel 2: condiciones de simulación

Panel de control para configurar los incrementos de tiempo, las condiciones de simulación e impresión de los resultados.

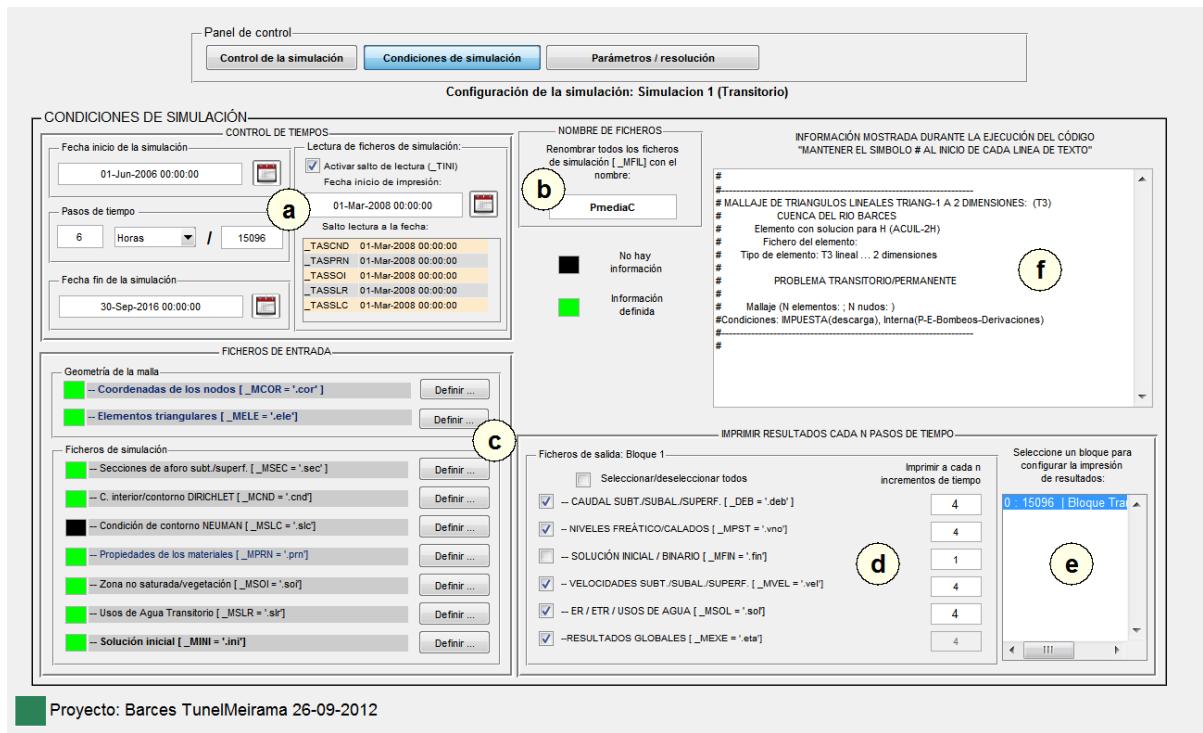


Figura B.6. Panel 2: condiciones de simulación

Los recuadros **a**, **b**, **c**, **d**, **e** y **f** de la Figura B.6 se describen a continuación.

a Control de tiempos:

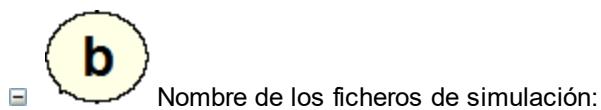
Fecha inicio de la simulación: defina una fecha de inicio de la simulación. Escriba directamente en el campo de texto, o bien presione el botón con el icono de calendario para seleccionar desde un calendario la fecha de inicio.

Pasos de tiempo: del menú desplegable seleccione la unidad de tiempo, segundos - minutos - horas - días, y posteriormente escriba el incremento de tiempo que desea utilizar, en la Figura B.6 observará que hay un incremento de tiempo de 6 horas, a la derecha del menú desplegable de unidades indique el total de pasos de tiempo de simulación. NOTA: el total de pasos de tiempo es evaluado automáticamente al definir la fecha final de simulación y se evalúa restando a la fecha final la inicial y el resultado se divide, en las unidades correspondientes, con el incremento de tiempo.

Fecha fin de la simulación: defina una fecha de fin de la simulación.

Lectura de los ficheros de simulación: active el salto de lectura para ejecutar una simulación en un tiempo diferente a la fecha de inicio. La fecha de inicio de impresión (_TINI) es el tiempo con el que el modelo comienza a imprimir los resultados, mientras que las fechas mostradas en los ficheros _TASCND, _TASPRN ... indican el salto de lectura que el modelo hará en estos ficheros de simulación. Al habilitar esta opción y modificar por una fecha superior a la fecha de inicio de la simulación, se modificará el número de pasos de tiempo y el trabajo total NEXE en el fichero .INP, aunque esta reducción en los pasos de tiempo no será visible en la ventana de la interfaz. NOTA: si define un salto de lectura es posible que además

deba cambiar la solución inicial para que coincida con la del salto de lectura (vea el apartado c, ficheros de entrada).



Nombre de los ficheros: la interfaz utiliza este nombre cuando presiona el botón **preparar simulación** y renombrar los ficheros de simulación al copiarlos en el directorio de ejecución. El nombre de la simulación no puede superar los 8 caracteres de longitud, no puede tener espacios en blanco y tampoco caracteres especiales como son ",!,&,%,(/,).".



Los ficheros de entrada se pueden dividir en dos bloques: el primero es el bloque de ficheros que contienen la geometría de la malla; el segundo es el bloque de ficheros con las condiciones de simulación.

Presione el botón **Definir...**, a la derecha de cada fichero de entrada, para desplegar el cuadro de diálogo de la Figura B.7, donde puede elegir una de las tres opciones disponibles que son: elegir, generar o desactivar el correspondiente fichero de entrada.

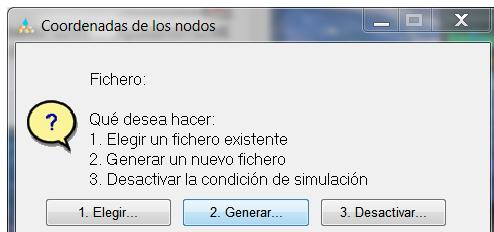


Figura B.7. Cuadro de dialogo para definir los ficheros de simulación.

En la Figura B.7:

1. **Elegir...**: esta opción le permite seleccionar un fichero existente y reutilizarlo en la simulación.
2. **Generar...**: esta opción despliega la herramienta necesaria para generar el fichero de simulación.
3. **Desactivar...**: esta opción desactiva la condición de simulación.

Geometría de la malla: los ficheros de la geometría de la malla son generados a partir del fichero .geo - .2dm del programa SurfaceWaterModelingSystem SMS.

- **Coordenadas de los nodos:** fichero .cor con las coordenadas xy de los nodos de la malla de elementos triangulares de tres nodos.
- **Elementos triangulares:** fichero .ele de elementos triangulares que contiene la relación de números de nodos que forman cada elemento triangular.

Ficheros de simulación:

- **Secciones de aforo:** fichero .sec que almacena los números de nodo que forman una sección de aforo donde el modelo lleva un control del flujo subterráneo, subávleo y superficial que pasa por la sección.
- **Condición impuesta DIRICHLET en el interior/contorno:** fichero .cnd que almacena los números de nodo con una condición impuesta de nivel freático o de descarga por gradiente impuesto.
- **Condición impuesta NEUMAN:** fichero .slc que almacena los números de nodo con una condición impuesta en el contorno de entrada de flujo puntual o difuso.
- **Propiedades de los materiales:** fichero .prn que almacena las propiedades de los materiales, la cota topográfica y la posición del sustrato impermeable de todos los nodos de la malla.
- **Zona no saturada/vegetación:** fichero .soi que almacena las variables del modelo de evapotranspiración como son: el espesor de suelo asociado a la máxima longitud de las raíces de las plantas, las variables de evaporación y transpiración potencial y la franja capilar del suelo. Asimismo, almacena uno de los parámetros del modelo superficial: la conductividad del medio superficial.
- **Usos de agua:** fichero .slr que almacena los diferentes usos del agua del modelo discreto: pozos de bombeo, derivaciones de agua superficial, inyecciones de agua, la precipitación, zonas de recarga y descarga difusa conocida como son los regadíos o zonas de recarga a acuíferos.
- **Solución inicial:** fichero .ini que almacena el nivel freático de los nodos y que sirve para definir la solución inicial con la cual comienza a calcular el modelo.

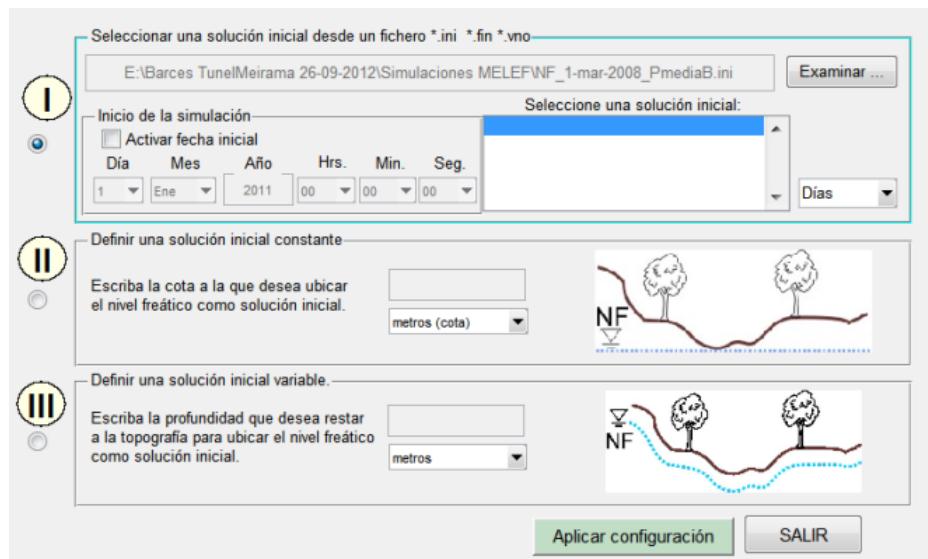
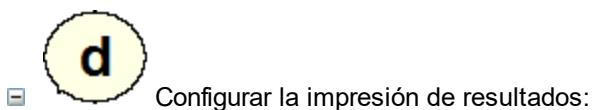


Figura B.8. Ventana para generar la solución inicial de la simulación.

Al presionar el botón definir... se despliega la ventana de la Figura B.8. para seleccionar o generar una solución inicial de la simulación. En la ventana existen tres opciones para generar una solución inicial:

- I. seleccione un fichero de extensión .ini - .fin - .vno para seleccionar del fichero una solución inicial de niveles freáticos. Después de seleccionar una solución inicial presione el botón **Aplicar configuración**. Si el fichero tiene extensión .vno entonces la herramienta genera a partir de este un fichero .ini.
- II. Introduzca las cota a la cual desea situar la solución inicial del nivel freático, esta solución implica un nivel freático constante igual para todo el modelo discreto.

- III. Introduzca a que profundidad de la topografía desea ubicar el nivel freático y obtener una solución variable en todo el modelo discreto, la herramienta genera un fichero .ini.



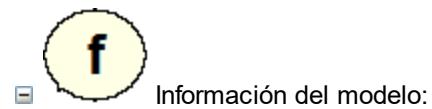
Configurar la impresión de resultados:

Impresión de resultados: defina la frecuencia de impresión de los resultados, en unidades de incrementos de tiempo, y active o desactive las casillas para definir que resultados desea imprimir. La frecuencia de impresión del fichero ETA está relacionada con la del fichero VNO, y no es posible definir frecuencias de impresión distintas, razón por lo que esta opción está deshabilitada para el fichero de resultados globales.



Lista de bloques de ejecución:

Bloques de configuración: seleccione un ítem del recuadro para configurar la impresión de resultados de ese bloque. Genere los bloques de configuración en el [Panel 3: parámetros y resolución del sistema](#).



Información del modelo:

Información de la simulación: esta información se muestra en la ventana MS-DOS durante la ejecución del modelo. Edite la información que se muestra por defecto (opcional).

3.4 Panel 3: parámetros y resolución del sistema

Panel de control para gestionar los parámetros globales y de resolución del sistema.

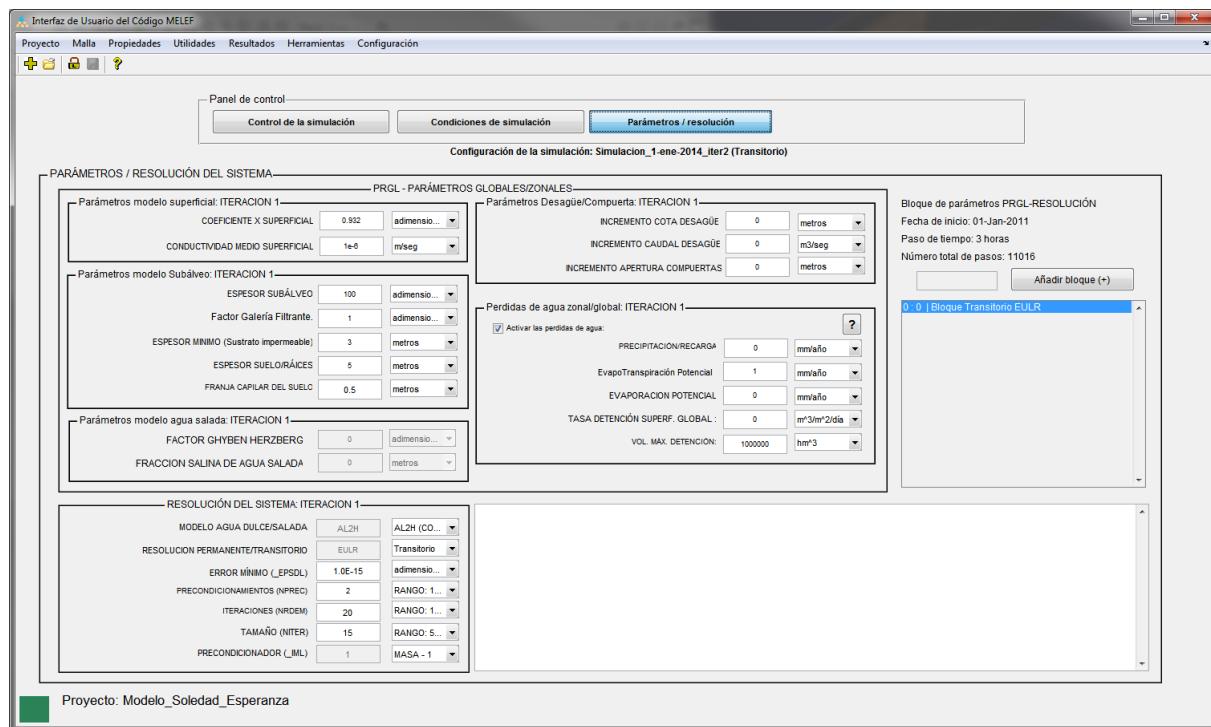
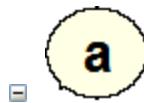


Figura B.9. Panel 3: parámetros y resolución del sistema

Los recuadros **a, b, c, d, e, f y g** de la Figura B.9 se describen a continuación.



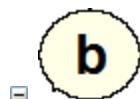
Parámetros del modelo superficial:

Estos parámetros definen el comportamiento hidrodinámico del flujo superficial en el modelo.

Coeficiente X superficial: el factor X se encarga de modificar la transmisividad del medio superficial y por lo tanto de definir que tan rápido o lento puede fluir el agua en un río o cuerpo de agua. El rango de valores que puede tomar este coeficiente es mayor que cero y menor que uno (funcionamiento convencional). El funcionamiento convencional del factor X, el cual se presenta cuando la pendiente en las zonas en las que espera aparezca agua superficial sean inferiores que 20°, define que la transmisividad de cualquier nodo de la malla que presente agua superficial puede regirse por un valor global para todos los nodos de la Malla. Por otra parte, cuando existen zonas que presentan agua superficial con pendientes mayores a 20° (por ejemplo cauces de montaña con una pendiente moderada a alta), es recomendable utilizar un factor de X que dependa de la pendiente para evitar problemas de convergencia del modelo. Para definir un factor X que varíe en función de la pendiente, incluya el signo negativo en el valor (p. ej. X = -0.93) para establecer este funcionamiento y al mismo tiempo el valor máximo (valor absoluto) que puede alcanzar este factor.

Conductividad medio superficial: Las ecuaciones formales del flujo superficial definen un factor que limita o incrementa la velocidad del flujo en función de la rugosidad/fricción del cauce o terreno por el que fluye el agua. De forma equivalente, la conductividad del medio superficial tiene este efecto de rugosidad o fricción según las condiciones

del cauce o ladera por las que fluye/escurre el agua. El valor de la conductividad del medio superficial puede variar entre 1e-1 a 1e-10 (m/seg), donde valores mayores implican mayor velocidad del agua (menor rugosidad) y valores menores implican menor velocidad del agua (mayor rugosidad).



Parámetros del modelo subálveo:

En este sub-panel se agrupan los parámetros globales, algunos de los cuales se pueden definir zonalmente, necesarios para controlar el funcionamiento del sub-suelo o zona no saturada en el modelo numérico.

Espesor subálveo: factor que incrementa artificialmente el espesor del medio subterráneo a medida que este se aproxima desde el sustrato impermeable hacia la superficie del suelo. Por lo tanto, este factor incrementa tantas veces el espesor del subálveo con base en el espesor del medio subterráneo. Este factor permite la correcta transición entre los medios subterráneo y superficial.

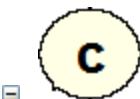
Factor Galería Filtrante: factor que define si la galería es totalmente filtrante (Factor = 1) o nada filtrante (Factor = 0), u otro valor entre 0 y 1 para ajustar la capacidad de filtración de agua en la Galería.

Espesor mínimo (sustrato impermeable): el sustrato impermeable utiliza las propiedades hidráulicas de los materiales, pero limitando su transmisividad con un espesor mínimo constante.

Espesor de suelo raíces: espesor global relacionado con la profundidad máxima de las raíces de las plantas. Este espesor es utilizado por el modelo de evapotranspiración para definir las curvas de transpiración de las plantas. Además, este espesor sirve para delimitar la zona subálvea, y con ello la valoración de las velocidades del flujo subálveo.

Franja capilar del suelo: la franja capilar del suelo es utilizado para determinar las curvas de evaporación freática de agua desde el suelo sin vegetación.

RAU Inicial /CCAMPO_PM [% 0-1]: define el porcentaje inicial de RAU (escala de 0-1). Uno de los parámetros que almacena el fichero de simulación .SOI es el volumen en mm (Litros/m²) de agua que retiene el suelo y que funciona como Reserva de Agua Utilizable por las plantas para ser evapotranspirada (RAU = Capacidad de Campo - Punto de Marchitez).

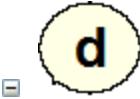


Parámetros modelo agua salada:

Estos parámetros definen el comportamiento del flujo subterráneo, continental y costero, con una aproximación de la interfase in-miscible.

Factor de Ghyben Herzberg: este factor varía con frecuencia entre los valores de 25 y 30.

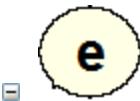
Fracción salina de agua salada: para aquellos nodos con una condición de contorno de flujo continental/costero, defina que fracción de la columna de agua es salada (revisar definición).



Parámetros Desagüe/Compuerta:

La capacidad del modelo numérico de simular desagües intermedio/fondo, así como compuertas, en una presa requieren de tres parámetros que permitan ajustar su funcionamiento:

- Incremento cota desagüe:** parámetro de ajuste que permite incrementar [metros] la cota topográfica de los nodos de zonas con una condición de desagüe. Este parámetro tiene como objetivo dar estabilidad al modelo por lo que debe ser mayor que cero. Un valor igual a cero desactiva todos los desagües de la simulación.
- Incremento caudal desagüe:** parámetro de ajuste que permite incrementar o disminuir el caudal [m^3/seg] evaluado internamente por el modelo para un desagüe.
- Incremento apertura compuerta:** parámetro de ajuste que permite modificar la apertura de la compuerta y desalojar un mayor o menor caudal. Los valores mayores que cero generan una apertura menor simulada de la compuerta y por lo tanto un menor caudal desalojado, por el contrario un valor menor que cero genera una apertura simulada mayor de la compuerta y por lo tanto un caudal mayor desalojado.



Pérdidas de agua zonal / global:

En este sub-panel se establecen los parámetros que definen las perdidas de agua tanto globales como zonales. Tenga en cuenta el siguiente funcionamiento:

1. La precipitación global se suma a la recarga zonal del fichero .SLR;
2. El modelo ETP-EP se activa cuando los valores globales de la ETP o del volumen máximo de detención sean mayores que cero;
3. Los valores zonales de la ETP y EP del fichero .SOI prevalecen sobre los valores globales;
4. La tasa de detención global prevalece sobre la detención zonal del fichero .SLR, interpretándose esta última, si existiese, como extracciones zonales ($m^3/m^2/seg$).

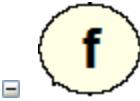
Precipitación / recarga: defina la recarga o precipitación global. Las unidades de recarga pueden ser en mm/seg - mm/min - mm/hrs - mm/día - mm/mes - mm/año. La interfaz transforma dichas unidades en la unidad estándar de simulación m/seg.

Evapotranspiración potencial: defina un valor global de evapotranspiración potencial (ETP). Para activar la evapotranspiración zonal (fichero .SLR) imponga un valor mínimo de ETP global diferente de cero, p.e. 1mm/año.

Evaporación potencial: defina un valor global de evaporación potencial en cualquiera de las unidades preestablecidas.

Tasa de detención superficial global: defina un valor global de detacción o derivación de agua superficial en las unidades preestablecidas.

Volumen máximo de detención: introduzca un valor diferente de cero para activar las derivaciones de agua superficial zonal/global y el modelo ETP-EP, una vez las derivaciones acumulan este volumen entonces paran de derivar agua.



Resolución del Sistema:

Edite la configuración que definen el tipo de modelo que se va a resolver continental o costero, el tipo de régimen permanente o transitorio, y la resolución del algoritmo iterativo GMRES que da solución al sistema.

Modelo de agua dulce/salada: seleccione el modelo continental (AL2H) o el modelo de interacción continental/costero (AL2S)

Resolución permanente/transitorio: seleccione el tipo de resolución del sistema (Transitorio - Permanente).

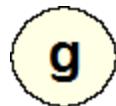
Error mínimo (_EPSDL): establezca un valor mínimo de error, por defecto se utiliza el valor 1.0E-15.

Precondicionamientos (NPREC): parámetro del método de resolución GMRS, define el número de veces que se evalúa Tamaño(NITER).

Iteraciones (NRDEM): parámetro del método de resolución GMRS, define el número de veces que se evalúa Precondicionamientos (NPREC).

Tamaño (NITER): parámetro del método de resolución GMRS, define el tamaño de la sub-matriz que es resuelto por el método.

Precondicionador (_IML): seleccione un valor de cero o uno (Unidad - Masa), definen el método de convergencia del método GMRS.



- Añadir bloque de parámetros PRGL-RESOLUCIÓN:

Añada nuevos bloques de configuración de los parámetros globales y de la resolución del sistema en el Panel 3. Asimismo, en cada bloque puede variar la configuración de la impresión de los resultados en el Panel 2.

Añadir Bloque (+): botón para añadir un nuevo bloque de configuración de parámetros y de resolución del sistema. Introduzca un paso de tiempo en el campo que hay a la izquierda del botón para introducir un bloque configuración. Seleccione un bloque de la lista, abajo del botón añadir bloque, para configurar los parámetros y la resolución del sistema del Panel 3.



- Añadir comentarios y observaciones:

Comentarios y observaciones: agregue comentarios u observaciones de la configuración de la simulación (opcional).

3.5 Introducción a los menús de la interfaz

Descripción de menús:

- *Malla:*

Procesar Malla (geo-2dm): procesa los ficheros .geo y .2dm (Aquaveo SMS 10) para generar la geometría de la malla con el formato requerido por el modelo (.COR y .ELE). Además, le permite generar ficheros de texto con la estructura requerida para importar los nodos y elementos de la malla en ArcGIS ([Toolbox MELEF](#)).

- *Propiedades:*

Los sub-menús de este apartado dan acceso a las herramientas que generan las condiciones de simulación del modelo. Las herramientas requieren ficheros vectoriales de SIG, shapefiles de puntos (nodos de la malla), cuya tabla de atributos contenga las propiedades zonales de cada nodo. El comportamiento transitorio zonal de los parámetros se puede definir mediante hojas Excel.

Generar SEC: genera el fichero [.SEC](#) con las secciones transversales para medir caudales en el modelo, las secciones vienen definidas en el fichero SECMELEF.shp.

Generar PRN: genera el fichero [.PRN](#) con las propiedades de geología y topografía, se requiere el fichero [PRNMELEF.shp](#).

Generar SOI: genera el fichero [.SOI](#) de propiedades del suelo y conductividad hidráulica superficial, se requiere el fichero [SOMELEF.shp](#).

Generar SLR/CND/SLC: genera los ficheros [.SLR](#) - [.CND](#) - [.SLC](#): en el fichero [.SLR](#) se definen las condiciones impuestas y las entradas o salidas de agua del dominio, se requiere el fichero [SLRMELEF.shp](#); en el fichero [.CND](#) se definen las condiciones de contorno y la imposición de niveles y condiciones abiertas, se requiere el fichero [CNDMELEF.shp](#); en el fichero [.SLC](#) se definen las entradas de flujo por los contornos, se requiere el fichero [SLCMELEF.shp](#).

Generar estructura BDatos Transitoria: genera la estructura de la base de datos transitoria, hoja Excel, a partir de la tabla de atributos de un shapefile. Seleccione un shapefile correspondiente a las condiciones de simulación PRN-SOI-SLR-CND-SLC.

□ **Utilidades:**

Editar archivos / carpetas: abre el explorador de Windows en el directorio del proyecto.

□ **Resultados:**

Globales ETA: herramienta para generar gráficos 1D con los resultados globales impresos en el fichero [ETA](#).

Caudales DEB: herramienta para generar gráficos 1D con los resultados de las secciones de aforo impresos en el fichero [DEB](#).

Nodales VNO-SOL: herramienta para generar gráficos 1D con los resultados puntuales de niveles freáticos ([VNO](#)), así como de evapotranspiración y de los usos del agua ([SOL](#)).

Animación 1D-2D:

1D: VEL - VNO: herramienta para generar animaciones de la variación temporal a lo largo de un perfil transversal, en el caso de los resultados de niveles freáticos del fichero [VNO](#), y de la variación espacial de los vectores de velocidad, en el caso del fichero de resultados de velocidades [VEL](#).

2D: VNO - SOL - VEL: herramienta para generar animaciones de la variación temporal y espacial de los niveles freáticos, de la evapotranspiración y de los usos del agua en las zonas delimitadas por el usuario.

Balance Zonal: herramienta para generar balances hídricos en las zonas delimitadas por secciones de aforo. La herramienta genera dos gráficos, uno del balance total con las diferentes compo-

nentes del balance hídrico, y otro que muestra el incremento de almacenamiento de los materiales: diferencia entre el balance total y el volumen de agua superficial almacenada en la zona de análisis.

Análisis Zonal de resultados: herramienta para procesar resultados de los ficheros .SOI en zonas delimitadas en ficheros shapefiles de nodos generados en SIG. Estas zonas pueden ser los diferentes materiales, los distintos usos del suelo, las zonas con derivaciones de agua, zonas con pozos de bombeo, inyecciones de agua, etc. Además, permite imprimir la información de caudales de las secciones de aforo, aunque esta capacidad está activa también en la herramienta para procesar caudales. Esta herramienta dejará de existir en futuras versiones y sus capacidades pasarán a la herramienta de Balance Zonal.

Herramientas:

FFTTemporalSeries: herramienta de análisis de series temporales con la Transformada Rápida de Fourier (Fast Fourier Transform). Analice tendencias estacionales, obtenga series estacionales, ajuste funciones de densidad, y genere predicciones de la precipitación. Herramienta en construcción.

Gestión de aforos: interfaz gráfica para gestionar y evaluar los caudales medidos en campo con el método Área-Velocidad. Herramienta en construcción.

Exportar Diver (MON) a XLS: Herramienta para convertir los datos almacenados en ficheros MON (ASCII) en formato Excel para su procesamiento fuera del software de Schlumberger (Diver-Office).

Datos Medidos: herramienta que permite gestionar los datos Medidos en campo y generar ficheros .XLS y .CSV. Los ficheros .XLS y .CSV son implementados por las herramientas de resultados [Globales](#), [Caudales](#) y [Nodales](#) para generar comparaciones de resultados con los datos medidos en campo.

Configuración:

Versión del código FreshWaterSheds: herramienta que permite consultar o modificar el fichero .exe de ejecución del código FreshWaterSheds.

Versión de la Interfaz: muestra información de la versión de la interfaz y fecha de compilación, los autores del código numérico y de la interfaz de usuario, así como la versión de Matlab sobre la cual está compilada.

MANUAL FreshWaterSheds

Modelo para simulación hidrológica
integrada de flujos regionales
subterráneo y superficial.

Parte



IV

4 C. Menús y Herramientas

4.1 C1. Interfaz de Usuario FreshWaterSheds

4.1.1 Malla

Descripción del funcionamiento de la herramienta **Procesar Malla (geo - 2dm)** y **Procesar Malla IWFM (.dat)**.

El objetivo de esta herramienta es poder importar ficheros que generan programas para crear mallas de elementos finitos triangulares, y exportar estas mallas a otros formatos como son la geometría de la malla del modelo FreshWaterSheds (ficheros .COR y .ELE), así como, ficheros ASCII para importar la malla en los Sistemas de Información Geográfica como capas vectoriales de puntos y polígonos.

Actualmente esta herramienta sirve para importar la malla generada por:

1. El software Aquaveo SMS, en sus formatos .geo y .2dm. .
 - o [Procesar Malla \(geo - 2dm\)](#)
3. El software IWFM Mesh Generator en su formato .dat.
2. Las futuras versiones implementarán herramientas para importar mallas de software libre, tal es el caso del mallador [Blue-Kenue](#)

4.1.1.1 Procesar Malla (geo-2dm)

Herramienta para procesar la malla generada por Aquaveo SMS, en sus formatos .geo - .2dm.

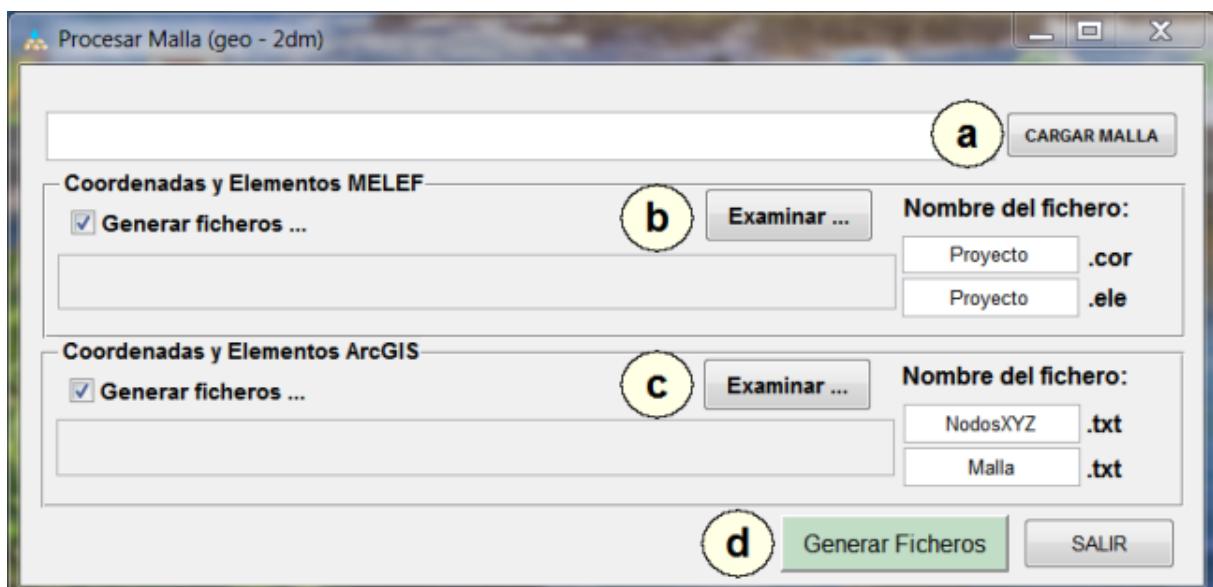
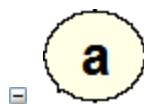


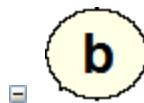
Figura C. 1. Herramienta para procesar los ficheros .geo y .2dm y generar ficheros con la geometría de la malla para el modelo MELEF y SIG.

Los apartados **a**, **b**, **c** y **d** de la Figura C.1 se describen a continuación:



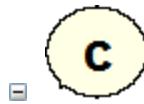
Geometría de la malla:

Cargar Malla: despliega el explorador para seleccionar el fichero de formato .geo - .2dm. La herramienta verifica que la malla sea de elementos triangulares lineales (de tres nodos), aunque, puede procesar las mallas con elementos triangulares de seis nodos y generar la geometría en ficheros de texto para los Sistemas de Información Geográfica.



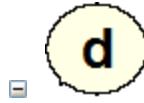
Geometría de la malla para FreshWaterSheds:

Coordenadas y Elementos FreshWaterSheds: active la casilla para generar los ficheros .COR y .ELE, haga clic sobre el botón **Examinar ...** para seleccionar la ruta donde serán generados los ficheros.



Geometría de la malla para SIG:

Coordenadas y Elementos ArcGIS: active la casilla para generar ficheros de texto con la geometría de la malla, haga clic sobre el botón **Examinar ...** para seleccionar la ruta donde se generarán los ficheros. En ArcGIS, utilice el Toolbox MELEF para importar estos ficheros.



Ejecutar herramienta:

Generar Ficheros: presione el botón para imprimir los ficheros y almacenar la ruta del fichero en la base de datos .mat de la interfaz. Esta ruta es almacenada por la interfaz para localizar donde están los ficheros de simulación al preparar la simulación para ejecutar el modelo.

4.1.2 Propiedades

Descripción de las herramientas implementadas en la interfaz de usuario para generar los diferentes ficheros de simulación.

El objetivo de estas herramientas es generar las condiciones de simulación del modelo, a partir de shapefiles y bases de datos transitorias (BDatos Transitoria), que tengan una variabilidad espacial y temporal.

Siga los enlaces de introducción del funcionamiento de estas herramientas de propiedades:

- [Generar SEC](#)
- [Generar PRN](#)
- [Generar SLR/CND/SLC](#)
- [Generar BDatos Transitoria](#)

4.1.2.1 Generar PRN

La herramienta **Generar PRN** permite generar, a partir del fichero vectorial **PRNMELEF.shp** y una [base de datos XLS](#), el fichero de propiedades nodales. El fichero de propiedades nodales **PRN** contiene las pro-

piedades de geología y topografía del modelo discreto. Imponga una variabilidad temporal de estas propiedades a través de la base de datos XLS.

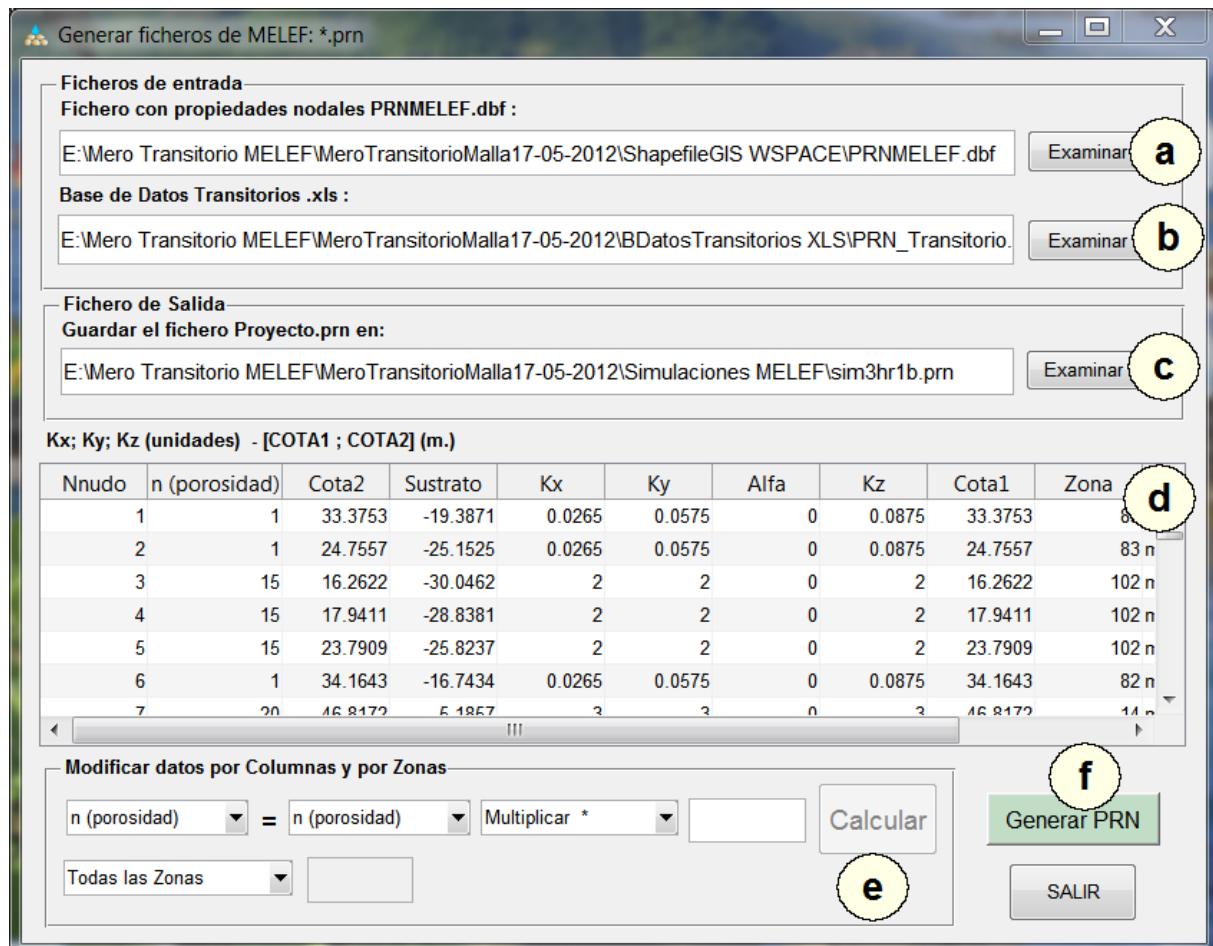
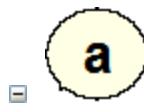


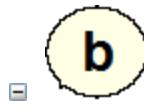
Figura C.2. Herramienta para generar las propiedades nódulas de geología y topografía del modelo discreto.

Los apartados **a**, **b**, **c**, **d**, **e** y **f** de la Figura C.2 se describen a continuación:



a Fichero de entrada vectorial:

Fichero de propiedades nódulas (Examinar): despliega el explorador para seleccionar el fichero PRNMELEF.shp. La herramienta verifica que la estructura de la tabla de atributos sea válida, y si la tabla es válida entonces se carga en la tabla de la herramienta (vea el apartado d).



b Fichero de entrada XLS:

Base de Datos Transitorio (Examinar): despliega el explorador para seleccionar una base de datos XLS con la variación temporal de las propiedades zonales. Si la tabla de atributos de

PRNMELEF no tiene definidas zonas de comportamiento transitorio, entonces este apartado es deshabilitado automáticamente.

-  **C** Fichero de salida PRN:

Fichero de salida (Examinar): despliega el explorador para seleccionar el directorio y el nombre del fichero PRN que será generado. Por defecto la herramienta establece la ruta y un nombre para el fichero. Es recomendable utilizar la ruta que aparece por defecto. Modifique el nombre del fichero según sus necesidades de gestión.

-  **d** Tabla de atributos de la interfaz:

Tabla de atributos de la herramienta: si la tabla de atributos del fichero vectorial es valida, entonces, las columnas de información requeridas se cargan en esta tabla. Modifique los valores de la tabla haciendo clic sobre una celda. Las modificaciones sólo se almacenan en la interfaz y no en la tabla de atributos del fichero original. Para almacenar los cambios realizados vaya al apartado f.

-  **e** Modificar tabla de atributos:

Modificar tabla de atributos de la herramienta: modifique el valor de las propiedades por columna y por zonas. De izquierda a derecha, en los menús desplegables (pop-up menus) seleccione la columna que desea modificar, la columna base para realizar la operación, el tipo de operación y su magnitud, a continuación haga clic sobre el botón **Calcular**. Los cambios en la tabla se imprimen en el fichero de simulación PRN una vez presione el botón Generar PRN. Las modificaciones de la tabla se almacenan en la base de datos de la interfaz, sólo si hay un proyecto abierto, una vez generado el fichero PRN.

-  **f** Generar el fichero de simulación:

Generar PRN: presione el botón para generar el fichero PRN de simulación, y almacenar la ruta del fichero y la tabla de atributos en la base de datos de la interfaz.

4.1.2.2 Generar SEC

La Herramienta **Generar SEC** permite procesar el fichero vectorial [SECMELEF.shp](#), que contiene las secciones de aforo definidas con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica, para generar el fichero de simulación [.SEC](#).

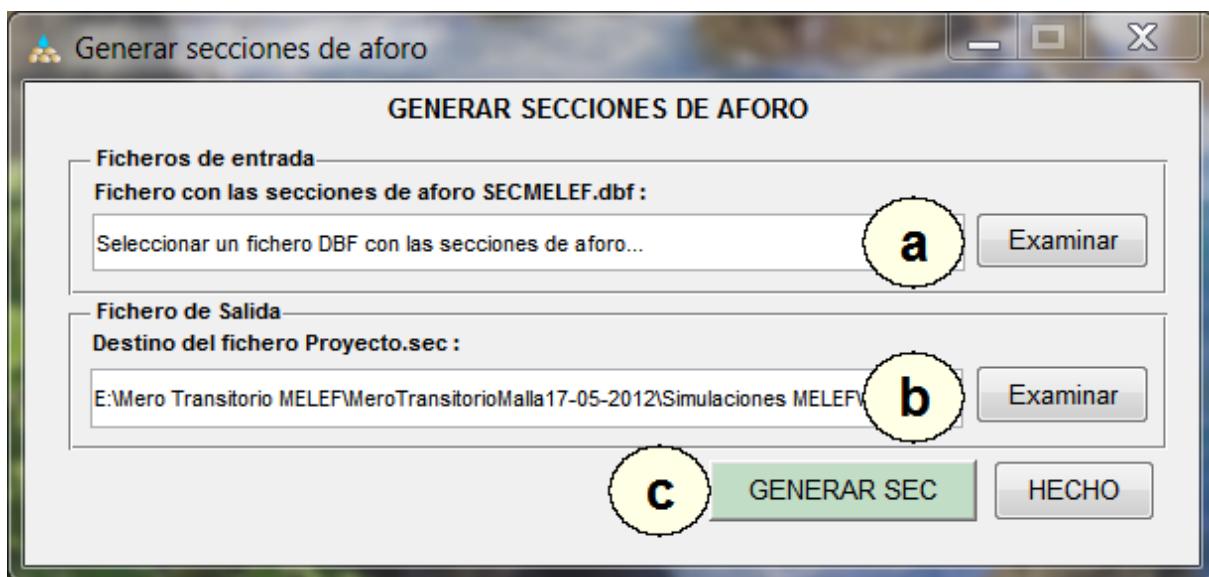
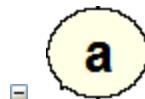


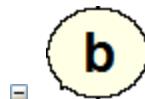
Figura C.3. Herramienta para generar las secciones de aforo del modelo.

Los apartados **a**, **b**, y **c** de la Figura C.3 se describen a continuación:



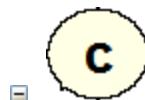
Ficheros de entrada:

Fichero de entrada (Examinar): despliega el explorador para seleccionar el fichero SECMELEF.shp. La herramienta verifica que la estructura de la tabla de atributos del fichero es la adecuada, de no serlo se le informará de cuál es la estructura que debiera tener el fichero.



Ficheros de salida:

Fichero de salida (Examinar): despliega el explorador para seleccionar un directorio y un nombre del fichero SEC que será generado. Por defecto la herramienta establece la ruta y un nombre para el fichero. Es recomendable utilizar la ruta que aparece por defecto. Modifique el nombre del fichero según sus necesidades de gestión.

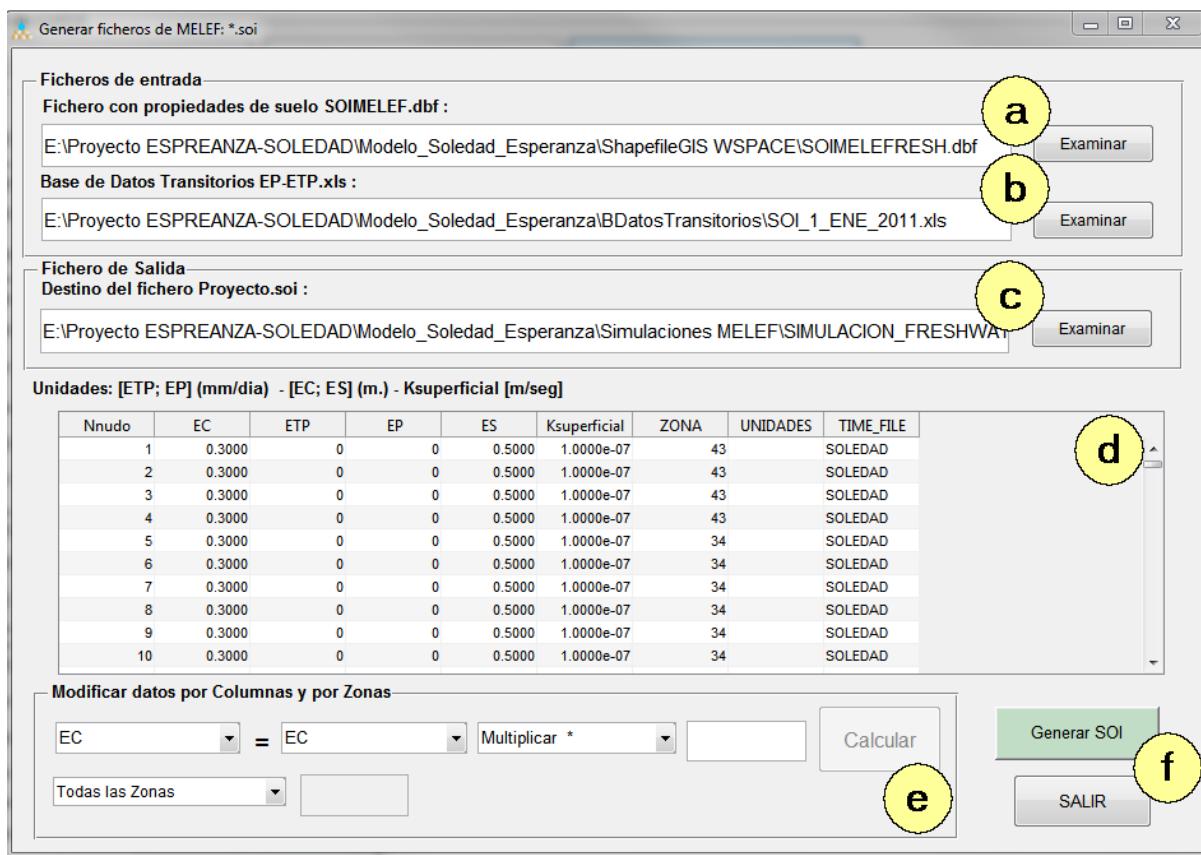


Generar fichero SEC:

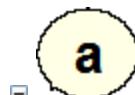
Generar SEC: presione el botón para generar el fichero de secciones [SEC](#), y almacenar la ruta del fichero en la base de datos de configuración de parámetros y variables de la interfaz.

4.1.2.3 Generar SOI

La Herramienta **Generar SOI** permite procesar el fichero vectorial [SOIMELEF.shp](#), que contiene información de la zona no saturada, valores de la EP y ETP y conductividad del agua en el medio superficial. Finalmente, esta herramienta genera el fichero de simulación con extensión [.SOI](#).



Los apartados a,b,c,d,e,f, de la Figura C.4, se describen a continuación:



Fichero de entrada

Fichero de entrada (Examinar): despliega el explorador para seleccionar el fichero SOIMELEF.shp. La herramienta verifica que la estructura de la tabla de atributos del fichero es la adecuada, de no serlo se le informará de cuál es la estructura que debiera tener el fichero



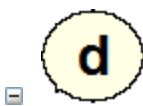
Base de Datos Transitorios EP-ETP

Base de Datos Transitorio EP-ETP.shp (Examinar): despliega el explorador para seleccionar una base de datos XLS con la variación temporal de las propiedades zonales. Si la tabla de atributos de SOIMELEF no tiene definidas zonas de comportamiento transitorio, entonces este apartado es deshabilitado automáticamente.



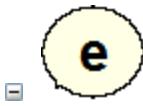
Fichero de Salida

Fichero de salida (Examinar): despliega el explorador para seleccionar el directorio y el nombre del fichero SOI que será generado. Por defecto la herramienta establece la ruta y un nombre para el fichero. Es recomendable utilizar la ruta que aparece por defecto. Modifique el nombre del fichero según sus necesidades de gestión.



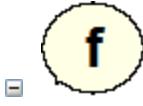
■ **d** Tabla de atributos

Tabla de atributos de la herramienta: si la tabla de atributos del fichero vectorial es valida, entonces, las columnas de información requeridas se cargan en esta tabla. Modifique los valores de la tabla haciendo clic sobre una celda. Las modificaciones sólo se almacenan en la interfaz y no en la tabla de atributos del fichero original. Para almacenar los cambios realizados vaya al apartado f.



■ **e** Modificar datos de la tabla de atributos

Modificar tabla de atributos de la herramienta: modifique el valor de las propiedades por columna y por zonas. De izquierda a derecha, en los menús desplegables (pop-up menus) seleccione la columna que desea modificar, la columna base para realizar la operación, el tipo de operación y su magnitud, a continuación haga clic sobre el botón **Calcular**. Los cambios en la tabla se imprimen en el fichero de simulación SOI una vez presione el botón Generar SOI. Las modificaciones de la tabla se almacenan en la base de datos de la interfaz, sólo si hay un proyecto abierto, una vez generado el fichero SOI



■ **f** Generar el fichero de simulación

Generar SOI: presione el botón para generar el fichero SOI de simulación, almacenar la ruta del fichero y la tabla de atributos en la base de datos de la interfaz.

4.1.2.4 Generar SLR/CND/SLC

La herramienta **Generar SLR/CND/SLC** permite generar los ficheros de simulación [SLR/CND/SLC](#) a partir de ficheros vectoriales, [SLRMELEF.shp](#) - [CNDMELEF.shp](#) - [SLCMELEF.shp](#), y de [bases de datos XLS](#). Imponga una variabilidad temporal de estos ficheros de simulación a través de la base de datos XLS.

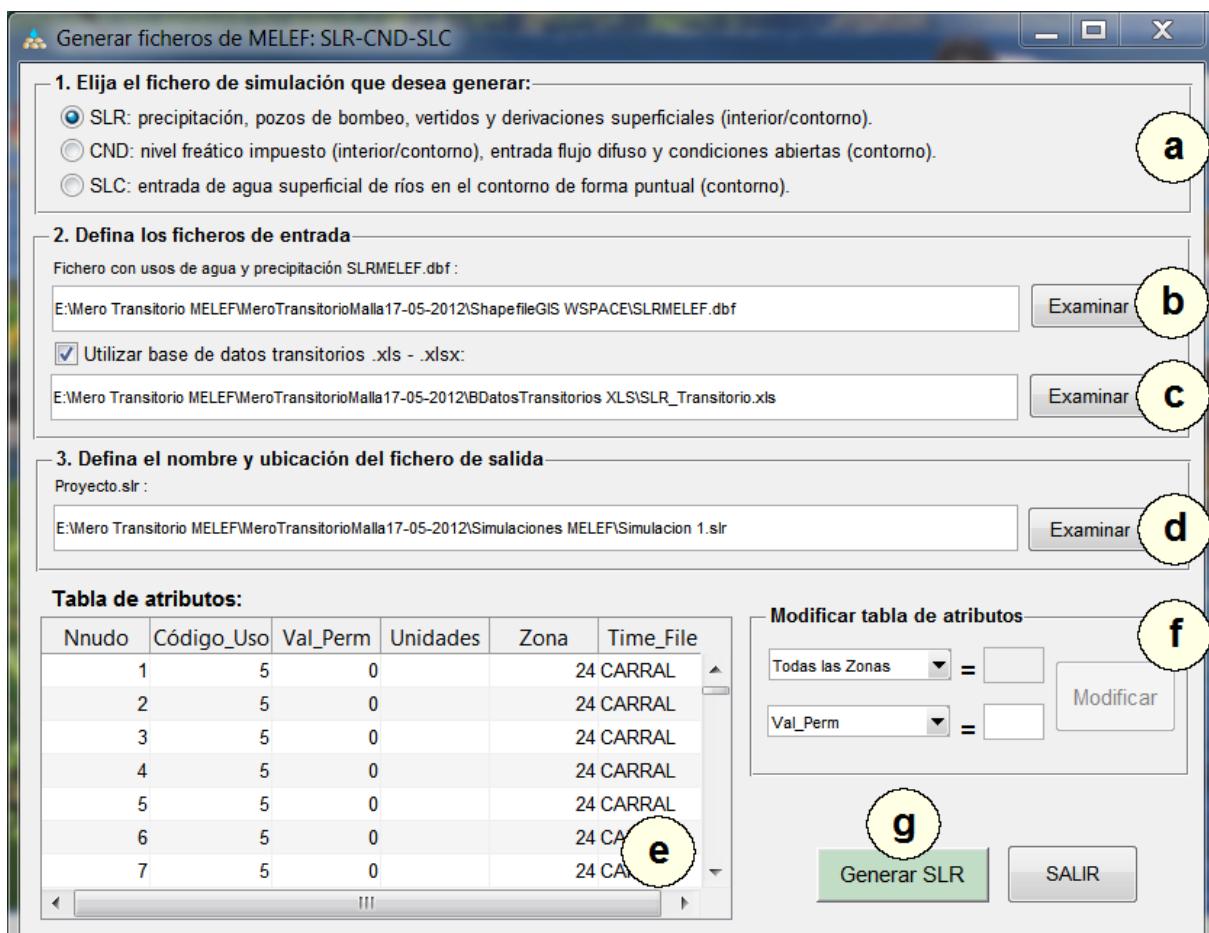


Figura C.5. Herramienta para generar los ficheros de simulación SLR/CND/SLC a partir de ficheros vectoriales, shapefiles, y bases de datos XLS que definen su comportamiento transitorio.

Los apartados **a**, **b**, **c**, **d**, **e**, **f** y **g** de la Figura C.5 se describen a continuación:

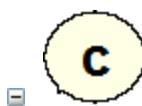
- a** Elija el tipo de fichero de simulación que desea generar:

Seleccione una opción SLR/CND/SLC: seleccione una de las opciones SLR/CND/SLC para generar respectivamente cada fichero de simulación. Después de seleccionar un fichero, la herramienta carga de la base de datos del proyecto de simulación las rutas de los ficheros y los valores de la tabla de atributos almacenados.

- b** Fichero de entrada vectorial:

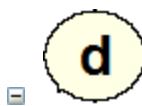
Ficheros de entrada vectoriales (Examinar): despliega el explorador para seleccionar los ficheros vectoriales, SLRMELEF.shp - CNDMELEF.shp - SLCMELEF.shp, cuya tabla de atributos contenga una estructura valida para generar los ficheros de simulación correspondientes. Si la es-

tructura no es valida, entonces la interfaz desplegará una ventana que le informará de ello, así como, las columnas que deberían existir en dicha tabla.



Fichero de entrada XLS:

Base de datos XLS (Examinar): seleccione una [base de datos XLS](#) con el comportamiento transitorio del fichero vectorial. Si desea que el fichero de simulación tenga un comportamiento permanente entonces desactive la casilla que habilita el uso de la base de datos XLS. Tenga en cuenta que, los caudales de extracción e inyección de agua (código de uso 4 en GIS para bombeo e inyección) es dividido por el total de nodos que haya con esa zona, de tal manera que en el fichero .SLR se imprime el caudal dividido por el total de nodos.



Fichero de salida SLR/CND/SLC:

Fichero de salida (Examinar): despliega el explorador para seleccionar el directorio y el nombre del fichero SLR/CND/SLC que será generado. Por defecto la herramienta establece una ruta y un nombre para el fichero. Es recomendable utilizar la ruta que aparece por defecto. Modifique el nombre del fichero según sus necesidades de gestión.

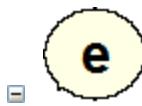
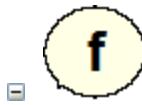


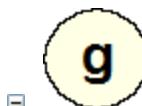
Tabla de atributos de la interfaz:

Tabla de atributos de la herramienta: si la tabla de atributos del fichero vectorial es valida entonces la información se cargan en esta tabla. Modifique los valores de la tabla haciendo clic sobre una celda. Las modificaciones sólo se almacenan en la interfaz y no en la tabla de atributos del fichero original. Para almacenar los cambios realizados vaya al apartado g.



Modificar la tabla de atributos:

Modificar tabla de atributos de la herramienta: modifique el valor de las propiedades por columna y por zonas. En los menús desplegables (pop-up menús) seleccione si desea modificar todas las zonas o una zona determinada, seleccione la columna que desea modificar y el valor que será impuesto y haga clic sobre el botón **Modificar**. Los cambios en la tabla se almacenan una vez que Genere el fichero SLR/CND/SLC.



Generar el fichero SLR/CND/SLC:

Generar SLR/CND/SLC: presione el botón para generar el fichero de simulación, almacenar la ruta del fichero y la tabla de atributos en la base de datos del proyecto que este editando.

4.1.2.5 Generar BDatos Transitoria

La herramienta, Generar BDatos Transitoria, genera la estructura de las bases de datos transitorias XLS a partir de la tabla de atributos de los ficheros vectoriales de simulación: CNDMELEF - PRNMELEF - SECMELEF - SLCMELEF - SLRMELEF.

Esta herramienta lee la tabla atributos del fichero vectorial (puntos o nodos de la malla), para en primer lugar, validar que la estructura de la tabla es la adecuada, y en segundo, leer las diferentes etiquetas de la columna TIMEFILE y generar con estas la BDatosTransitoriaXLS.

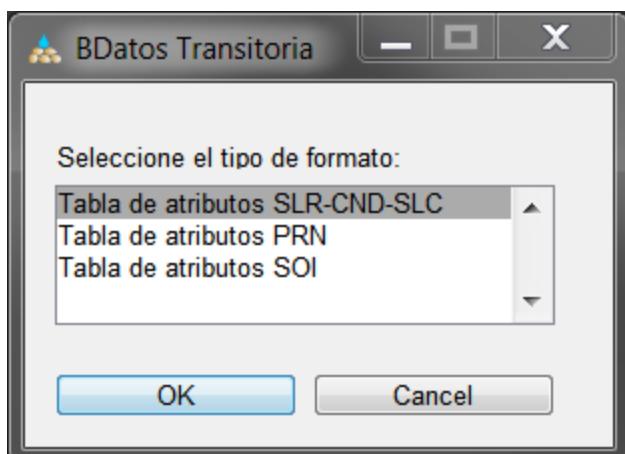


Figura C.6. Herramienta para generar la estructura de la Base de datos transitoria XLS.

1. En la Figura C.6 seleccione para que tipo de fichero vectorial desea generar la base de datos XLS y presione el botón OK.
2. En la ventana que se despliega defina donde guardar la hoja Excel. Utilice el directorio propuesto por defecto si está editando un proyecto de simulación.
3. Abra la hoja Excel para llenar con información medida o adquirida.

[¿Cómo llenar la BDatosTransitoria?](#)

4.1.3 Resultados

Descripción de las herramientas de análisis de resultados.

El objetivo de estas herramientas es analizar los resultados impresos en los ficheros ASCII de FreshWaterSheds mediante gráficos 1D - 2D - 3D, así como generar animaciones de la evolución de las variables hidrológicas disponibles.

Siga los enlaces de introducción del funcionamiento de las herramientas de resultados:

- [Globales ETA](#).
- [Caudales DEB](#).
- [Nodales VNO-SOL](#).
- [1D: VEL - VNO](#).
- [2D: VEL - VNO - SOL](#).
- [Balance Zonal](#).
- [Análisis zonal de resultados](#).

4.1.3.1 Globales ETA

La herramienta Globales ETA permite analizar los resultados globales de las variables climáticas e hidrológicas en gráficos 1D, así como, exportar dichas variables de información en formato Excel (XLS).

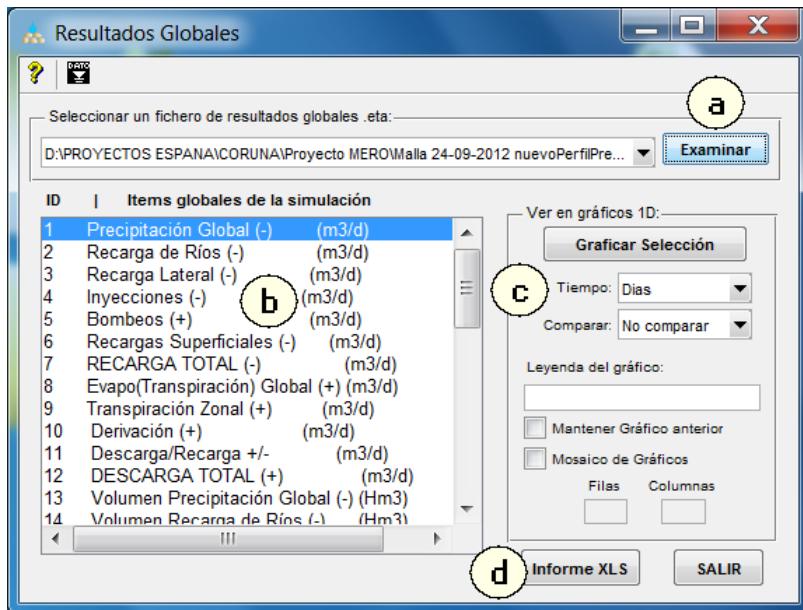
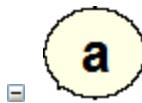


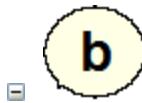
Figura C.7. Resultados globales ETA.

Los apartados **a**, **b**, **c** y **d** de la Figura C.7 se describen a continuación:



Fichero de resultados ETA:

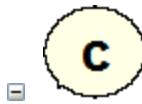
Examinar: seleccione el fichero de resultados globales ETA que desea analizar.



Ítems de información:

Seleccione uno o varios ítems de la lista: seleccione los ítems de resultados globales que desea graficar. La selección múltiple es posible manteniendo el botón del ratón pulsado y arrastrando el puntero sobre los ítems. También, puede seleccionar de forma rápida el ítem de su interés en el campo al final de la lista, escriba el número del ítem que desea seleccionar.

[Lista de ítems de variables globales](#): siga este acceso directo para una descripción general de cada uno de los ítems de la lista de resultados globales.



Graficar Selección:

Graficar selección: gráfica la información del ítem seleccionado.

Tiempo: Seleccione una unidad de tiempo de la lista desplegable [Días, Horas, Minutos, Segundos] para mostrar en el gráfico.

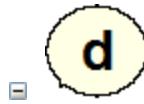
Comparar: Para generar un fichero de datos medidos utilice la herramienta  **DatosMedidos**, herramienta para crear o gestionar ficheros .XLS / .CSV de resultados. Seleccione de la lista el nombre de la sección con datos medidos que desea comparar con los resultados de la simulación. A continuación se describe el funcionamiento de las opciones de la lista desplegable:

- No comparar : vacía los datos medidos que previamente se hayan cargado a la herramienta.
- Añadir serie ...: carga la información desde un fichero de **Datos Medidos** en formato .XLS / .CSV. Después de importar el fichero se añaden los nombres de las series de datos medidos a la lista desplegable, seleccione un nombre de esta lista para comparar con los resultados del modelo.
- Modificar Escala Temporal: modifique la escala temporal de los datos y los transforma a valores medios diarios, mensuales, anuales u otra unidad de tiempo con el factor definido por el usuario. Al seleccionar esta opción se despliega una ventana donde podrá configurar la nueva escala temporal de los datos medidos. En la ventana que se despliega active o desactive la transformación de los datos mediante la casilla de activación. La herramienta utiliza el método de [interpolación como histograma con paso atrás](#) para realizar esta modificación.

Leyenda del gráfico: modifique la leyenda del gráfico para una mejor identificación.

Mantener Gráfico anterior: active la casilla para poder sobreponer curvas de distintos ítems globales en el mismo gráfico. También utilice esta opción para cargar diferentes ficheros de simulación y comparar los resultados globales de diferentes simulaciones.

Mosaico de Gráficos: active la casilla para seleccionar múltiples ítems globales y generar mosaico de gráficos. El mosaico divide la ventana del gráfico en n columnas y n filas para representar en cada sub-ventana el correspondiente ítem global.



Exportar ítems:

Informe XLS: exporta todos los ítems globales de la lista a una hoja Excel. Además, genera un gráfico para cada ítem global y lo almacena en formato imagen en diferentes pestañas del fichero xls.

4.1.3.2 Caudales DEB

La herramienta de análisis de **Caudales DEB** le permite procesar los caudales simulados por el modelo a través de gráficos 1D y reportes estadísticos descriptivos, de error y eficiencia numérica. Además, es posible exportar los resultados en formato Excel (XLS).

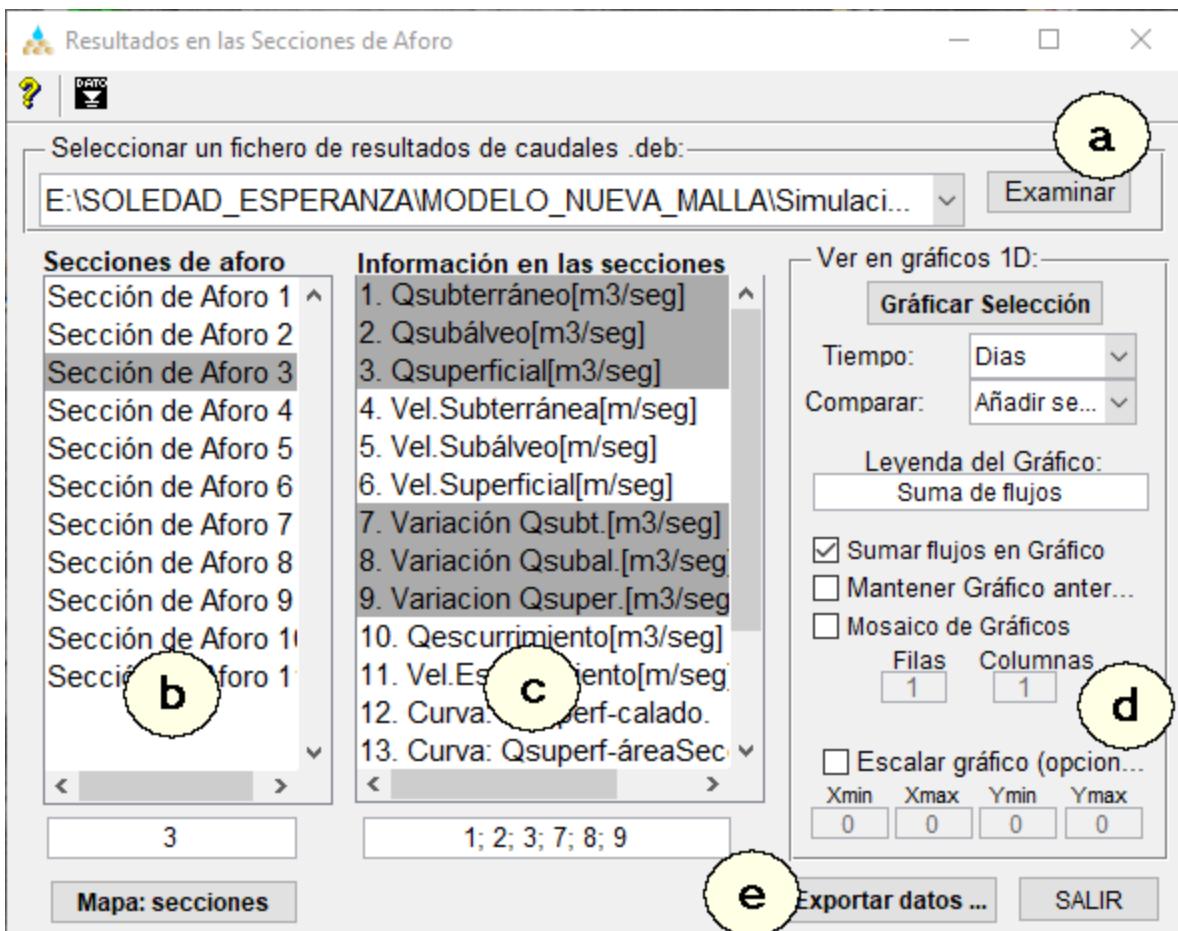
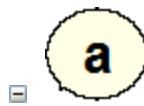


Figura C.8. Herramienta Caudales DEB

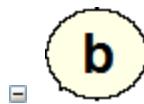
Los apartados **a**, **b**, **c**, **d** y **e** de la Figura C.8 se describen a continuación:



Fichero de resultados DEB

Examinar: seleccione el fichero de resultados de caudales DEB que desea analizar

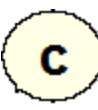
Lista desplegable de rutas: esta lista almacena la ruta del fichero o ficheros que haya analizado, haga clic sobre una ruta para volver a cargar la información de ese fichero.



Lista de secciones de aforo

Lista secciones de aforo: seleccione la sección de aforo que desea analizar, o si lo prefiere, también puede seleccionar múltiples secciones activando la casilla Mosaico de Gráficos.

Mapa secciones: Este botón despliega un mapa que muestra la localización de las diferentes secciones de aforo en el dominio discreto.

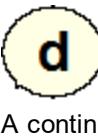
 **C** Lista de información en las secciones

Para una correcta interpretación de la información en las secciones tenga en cuenta que: los valores negativos o positivos, de caudal o de la velocidad del flujo en una sección de aforo, se deben principalmente a la dirección que toma el flujo; un flujo con dirección hacia aguas abajo es positivo siempre que la sección de aforo este dibujada desde la margen derecha hacia la margen izquierda de un río(sentido anti-horario) y viceversa;

Además de los [resultados de caudales DEB](#), en la lista se añaden los siguientes ítems para su consulta:

- 12. Curva: Qsuperf-calado:** muestra la curva caudal superficial - calado de la sección de aforo.
- 13. Curva: Qsuperf - áreaSección:** muestra la curva de caudal superficial - área mojada de la sección.
- 14. Curva: Qsuperf - perím.Mojado:** muestra la curva de caudal superficial - perímetro mojado de la sección.
- 15. Curva: calado-áreaSección:** muestra la curva de calado - área mojada de la sección.
- 16. Curva: calado - Perím.Mojado:** muestra la curva de calado - perímetros mojado de la sección.
- 17. Curva: áreaSección-Perím.Mojado:** muestra la curva de área mojada de la sección - perímetro mojado de la sección.

Estos ítems son evaluados con ayuda de otros ficheros de resultados como los niveles freáticos, VNO, y el fichero de coordenadas .COR.

 **d** Gráfico y ajustes
A continuación se describe la función de los controles de forma descendente:

Gráficar Selección: presione el botón para gráficar la información seleccionada.

Tiempo: Seleccione una unidad de tiempo de la lista desplegable [Días, Horas, Minutos, Segundos] para mostrar en el gráfico.

Comparar: Para generar un fichero de datos medidos utilice la herramienta [DatosMedidos](#) , herramienta para crear o gestionar ficheros .XLS / .CSV de resultados. Seleccione de la lista el nombre de la sección con datos medidos que desea comparar con los resultados de la simulación. A continuación se describe el funcionamiento de las opciones de la lista desplegable:

- No comparar : vacía los datos medidos que previamente se hayan cargado a la herramienta.
- Añadir serie: carga la información desde un fichero de [Datos Medidos](#) en formato .XLS / .CSV. Después de importar el fichero se añaden los nombres de las series de datos medidos a la lista desplegable, seleccione un nombre de esta lista para comparar con los resultados del modelo.
- Modificar Escala Temporal: modifica la escala temporal de los datos medidos y los transforma a valores medios diarios, mensuales, anuales u otra unidad de tiempo con el factor definido por el usuario. Al seleccionar esta opción se despliega una ventana donde podrá configurar la nueva escala temporal de los datos medidos. En la ventana que se despliega active o desactive la transformación de los datos mediante la casilla de activación. La herramienta utiliza el método de [interpolación como histograma con paso atrás](#) para realizar esta modificación.

Leyenda del Gráfico: leyenda que es mostrada en el gráfico, modifique la información de la leyenda para una mejor identificación de las curvas mostradas en el gráfico. La leyenda no funciona

cuando se seleccionan múltiples secciones de aforo o ítems de información de estas (excepto cuando se habilita la opción de sumar distintos flujos).

Sumar flujos en Gráfico: active la casilla para poder sumar los flujos seleccionados (sólo flujos con unidades de m³/seg) y mostrar una única curva en el gráfico. Al activar esta opción podrá seleccionar más de un ítem de información (sólo aquellos con unidades de m³/seg) y compararlos con valores medidos en campo.

Mantener Gráfico anterior: active la casilla para poder sobreponer curvas de distintas secciones de aforo en un mismo gráfico. También utilice esta opción para cargar diferentes ficheros de simulación y comparar los caudales de diferentes simulaciones.

Mosaico de Gráficos: active la casilla para seleccionar múltiples secciones de aforo y generar mosaico de gráficos. El mosaico divide la ventana del gráfico en n columnas y n filas para representar en cada sub-ventana la correspondiente sección de aforo.

Escalar gráfico (opcional): active la casilla para definir los límites de los ejes X e Y del gráfico o del mosaico de gráficos. Introduzca en los campos el valor máximo y mínimo de cada eje y poder generar gráficos con la misma escala.



El botón Exportar datos despliega la ventana de la Figura C1.8 donde puede seleccionar la información, el intervalo y el incremento de tiempo de los datos.



Figura C.9. Ventana para gestionar la información que desea exportar a una hoja Excel.

En la Figura C.9 se muestra la configuración para exportar información con un intervalo de tiempo que va desde el 1-mar-2008 hasta el 1-jun-2012, y con un incremento de tiempo de 1 mes. La herramienta utiliza el método de [interpolación como histograma con paso atrás](#) para evaluar los incrementos de tiempo. Finalmente, es necesario validar la configuración con el botón **Validar fechas** antes de exportar los datos.

Reporte estadístico del hidrograma simulado y valores observados:

Una vez configurada la herramienta de **Caudales DEB** proceda a generar el gráfico con el hidrograma de la sección seleccionada y respectivos valores medidos si estuvieran disponibles. En la barra de menús del gráfico aparece la opción **Estadística** para generar un resumen de estadísticos descriptivos, error y eficiencia numérica (véase la Figura C.10).

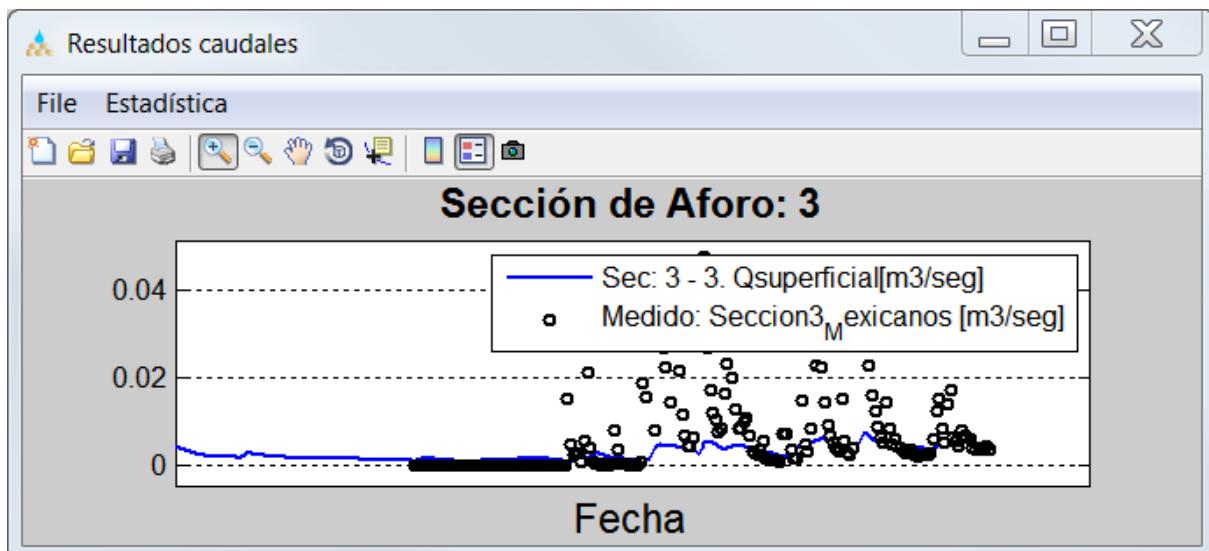


Figura C.10. Gráfico con el hidrograma simulado y valores observados. Submenú Estadística para generar un resumen de estadísticos, error y eficiencia numérica.

Menú Estadística : sub-menú → Reporte: error - eficiencia

La evaluación del comportamiento de un modelo hidrológico y su correcto funcionamiento es realizado por comparación de variables observadas y simuladas. Frecuentemente se suelen comparar hidrogramas simulados y observados en el punto de cierre de una cuenca o sub-cuenca. Esta comparación puede ser en primera instancia visual y dependerá de la experiencia del usuario la necesidad o no de cuantificar el error y la eficiencia del modelo. Existen razones suficientes en hidrología para evaluar el correcto funcionamiento del modelo: (1) cuantificar la capacidad del modelo para reproducir el comportamiento histórico y futuro de una cuenca; (2) generar una vía cuantificable que permita establecer mejoras del modelo a través del ajuste de parámetros y modificaciones al modelo conceptual de partida; (3) comparar resultados de estudios recientes con estudios previos.

Por lo anterior, se ha establecido como referencia de partida la publicación "Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment" de Krause et al. 2005 (SRef-ID: 1680-7359/adgeo/2005-5-89), en la que es posible profundizar en el uso de las variables y métodos allí descritos, por lo que en esta ayuda sólo se realizará una breve introducción y comportamiento de la función **Reporte: error - eficiencia**.

El reporte se realiza con la información contenida en el propio gráfico, por lo que es responsabilidad del usuario los datos que contenga el mismo. Lo anterior se resalta por la capacidad de la herramienta de Caudales DEB para mantener información de un gráfico anterior, puesto que existen múltiples combinaciones de pares de datos, tanto simulados como observados, que pueden estar contenidos en el gráfico.

Por lo tanto, es recomendable usar esta herramienta sin activar la opción "Mantener Gráfico anterior" y expresamente para evaluar la eficiencia del modelo comparando hidrogramas simulados con valores observados. Aunque, queda abierta la posibilidad de otras posibles combinaciones de datos para ejecutar el reporte estadístico.

De cualquier forma, si en el gráfico existen múltiples series de secciones de aforos y datos medidos, el reporte se genera en modo múltiple evaluando estadísticos para cada par consecutivo de series de datos almacenados en el gráfico.

La carpeta donde se almacena el reporte será la misma que la del fichero .DEB que se esté analizando en ese momento.

Los estadísticos evaluados son:

SUMMARY STATISTICS:

Max. : maximum value
Min. : minimum value
Mean : average value
Std : standar deviation value

ERROR EFFICIENCY STATISTICS:

R2 : square root coefficient of determination.
wR2 : weighted by linear gradient b ($y = b*x + a$).
RMSE : Root Mean Square Error.
b : gradient of linear eauqtion (see wR2).

E : Nash Sutcliffe Efficiency (E): if E = 1 perfect efficiency;
if E< 0 means that mean values predicts better than the Model
(poor efficiency).
InE : input data is transformed with natural logarithm (to reduce peak discharge influence).
E1 : transformed Efficiency E with exponent J=1 instead of J=2 for E (to reduce peak discharge influence).
Erel : relative Efficiency E to mean observed values.

d : index of agreement.
Ind : see InE applied for d equation.
d1 : see E1 applied for d equation.
drel : see Erel applied for d equation.

absErr : absolute error Err abs(obs-pre).
relErr : relative error abs(obs-pre)/mean(obs).
n_InE : numel of values used to evaluate InE (avoid 0 and -inf).
n_obs : numel of values used for evaluate statistics.

El reporte almacena los estadísticos evaluados en el fichero Statistical Report Hydrograms.txt, cada nuevo reporte se genera al final de la último reporte añadido por lo que no se sobrescribe ni elimina información del reporte. Por lo anterior, no se realiza ninguna tarea de mantenimiento sobre dicho fichero de reporte en cuestiones de limpieza o respaldo de información.

4.1.3.3 Nodales VNO-SOL-VEL

Analice la evolución de forma nodal de las variables hidrológica que resultan del modelo con la herramienta Resultados nodales [VNO-SOL-VEL].

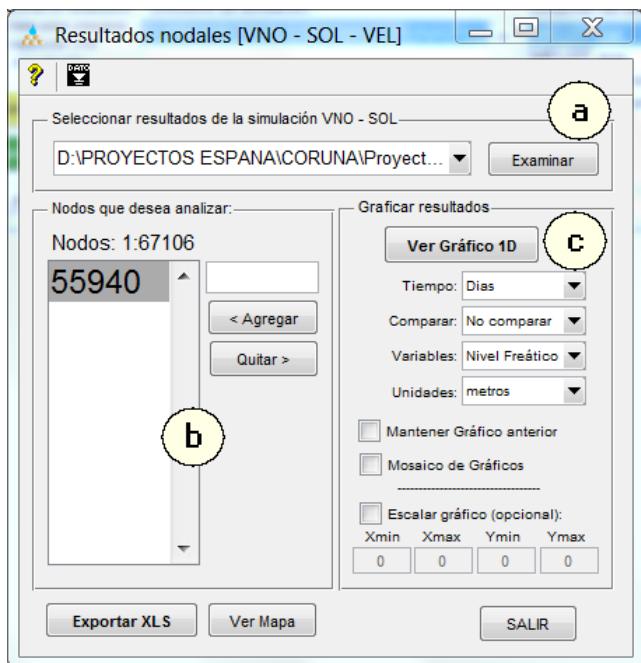
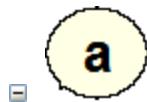


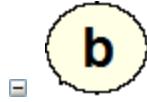
Figura C.11. Herramienta Resultados Nodales [VNO-SOL-VEL].

Los apartados **a**, **b** y **c** de la Figura C.11 se describen a continuación:



Fichero de resultados VNO-SOL-VEL

Examinar: seleccione un fichero de resultados con extensión .VNO - .VEL - .SOL, la herramienta indica los ficheros para una rápida lectura, y además realiza una búsqueda automática de los ficheros con extensión .COR y .ELE, aplicando un criterio de búsqueda donde se debe cumplir que estos ficheros tengan el mismo nombre que el fichero de resultados seleccionado, y si este criterio no se cumple se despliega la ventana de [selección múltiple de ficheros](#) para que el usuario aplique un criterio distinto. Estos ficheros .COR y .ELE sirven para poder representar los resultados en gráficos 2D, así como para corregir las tasas de Evapotranspiración con el área de influencia en cada nodo.



Nodo(s) que desea analizar

Escriba el número del nodo donde desea analizar los resultados de forma puntual.

<Agregar: agrega un número de nodo a la lista de nodos.

Quitar >: elimina de la lista el número de nodo seleccionado.

Exportar XLS: exporta la información de los nodos de la lista a una hoja Excel.

Ver Mapa: despliega un mapa con los nodos de la malla, y en la parte inferior de la figura dos controles que le permiten, por una parte, modificar el tamaño de los nodos de la figura, y por otra, mostrar tantas curvas de nivel según la posición de la barra de desplazamiento (mín izq.=0; máx der.= 200 curvas de nivel). En el mapa presione el botón de información para desplegar la ventana de información, después seleccione cualquier nodo para saber su elevación y número de nodo (Figura C.12).

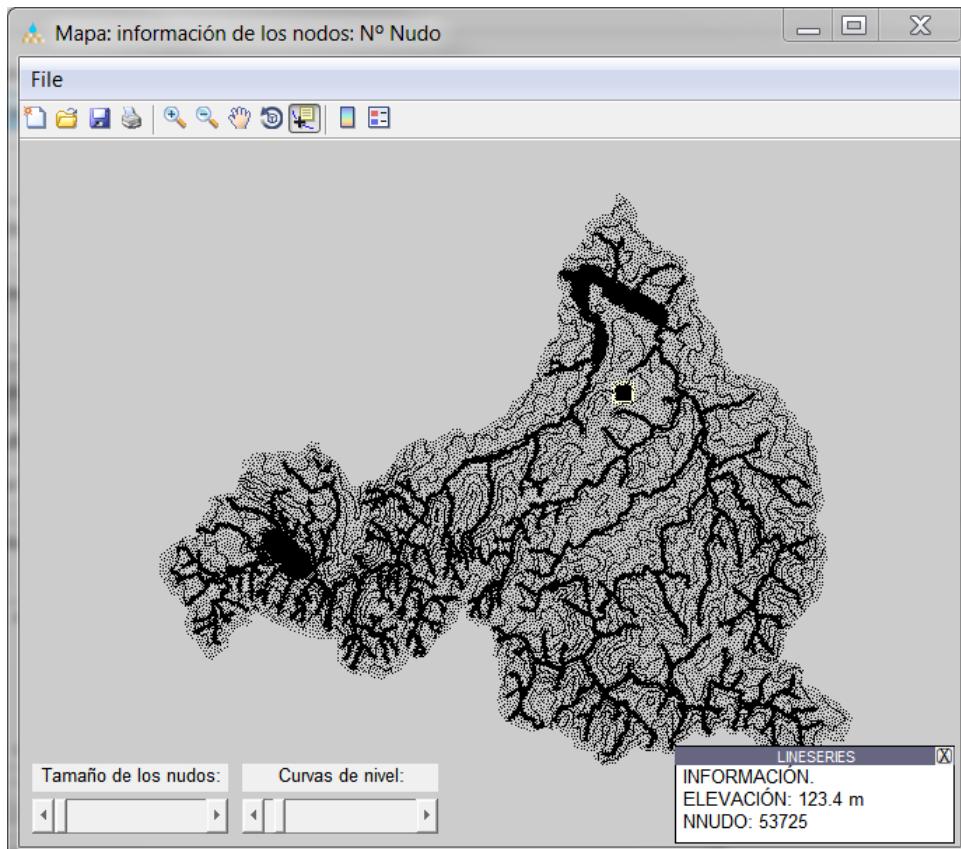
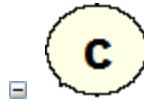


Figura C.12. Gráfico para consultar la elevación y el número de nudo con ayuda visual de los nodos y curvas de nivel.



Graficar resultados nodales:

Ver gráfico 1D: muestra el gráfico 1D.

Tiempo: Seleccione una unidad de tiempo de la lista desplegable [Días, Horas, Minutos, Segundos] para mostrar en el gráfico.

Comparar: Para generar un fichero de datos medidos utilice la herramienta [DatosMedidos](#), herramienta para crear o gestionar ficheros .XLS / .CSV de resultados. Seleccione de la lista el nombre de la sección con datos medidos que desea comparar con los resultados de la simulación. A continuación se describe el funcionamiento de las opciones de la lista desplegable:

- No comparar : vacía los datos medidos que previamente se hayan cargado a la herramienta.
- Añadir serie ...: carga la información desde un fichero de [Datos Medidos](#) en formato .XLS / .CSV. Después de importar el fichero se añaden los nombres de las series de datos medidos a la lista desplegable, seleccione un nombre de esta lista para comparar con los resultados del modelo.
- Modificar Escala Temporal: modifique la escala temporal de los datos y los transforma a valores medios diarios, mensuales, anuales u otra unidad de tiempo con el factor definido por el usuario. Al seleccionar esta opción se despliega una ventana donde podrá configurar la nueva escala temporal de los datos medidos. En la ventana que se despliega active o desactive la transformación de los datos

mediante la casilla de activación. La herramienta utiliza el método de [interpolación como histograma con paso atrás](#) para realizar esta modificación.

Variables: seleccione que variable desea pintar en el gráfico.

Unidades: seleccione en que unidades desea observar la variable en el gráfico.

Mantener gráfico anterior: active la casilla para no reemplazar el gráfico anterior y generar el nuevo gráfico sobre este (comparación de resultados de distintas simulaciones).

Mosaico de gráficos: active la casilla para generar un gráfico con subdivisiones, donde en cada subdivisión se pintará el gráfico correspondiente a cada nodo de la lista.

Escalar gráfico: active la casilla para definir los límites de los ejes X e Y del gráfico o del mosaico de gráficos. Introduzca en los campos el valor máximo y mínimo de cada eje y poder generar gráficos con la misma escala.

4.1.3.4 1D: VEL - VNO

Herramienta de análisis de resultados 1D de niveles freáticos y velocidades. Analice la evolución de los niveles freáticos a través de vistas en sección siguiendo un trazado cualquiera. Además, puede también trazar un área donde poder observar las velocidades mediante vectores. En ambos casos, es posible generar animaciones de la evolución temporal de las variables simuladas.

Actualmente esta herramienta está en construcción y su estructura está diseñada para albergar las capacidades de otras herramientas de resultados de la interfaz MELEF.

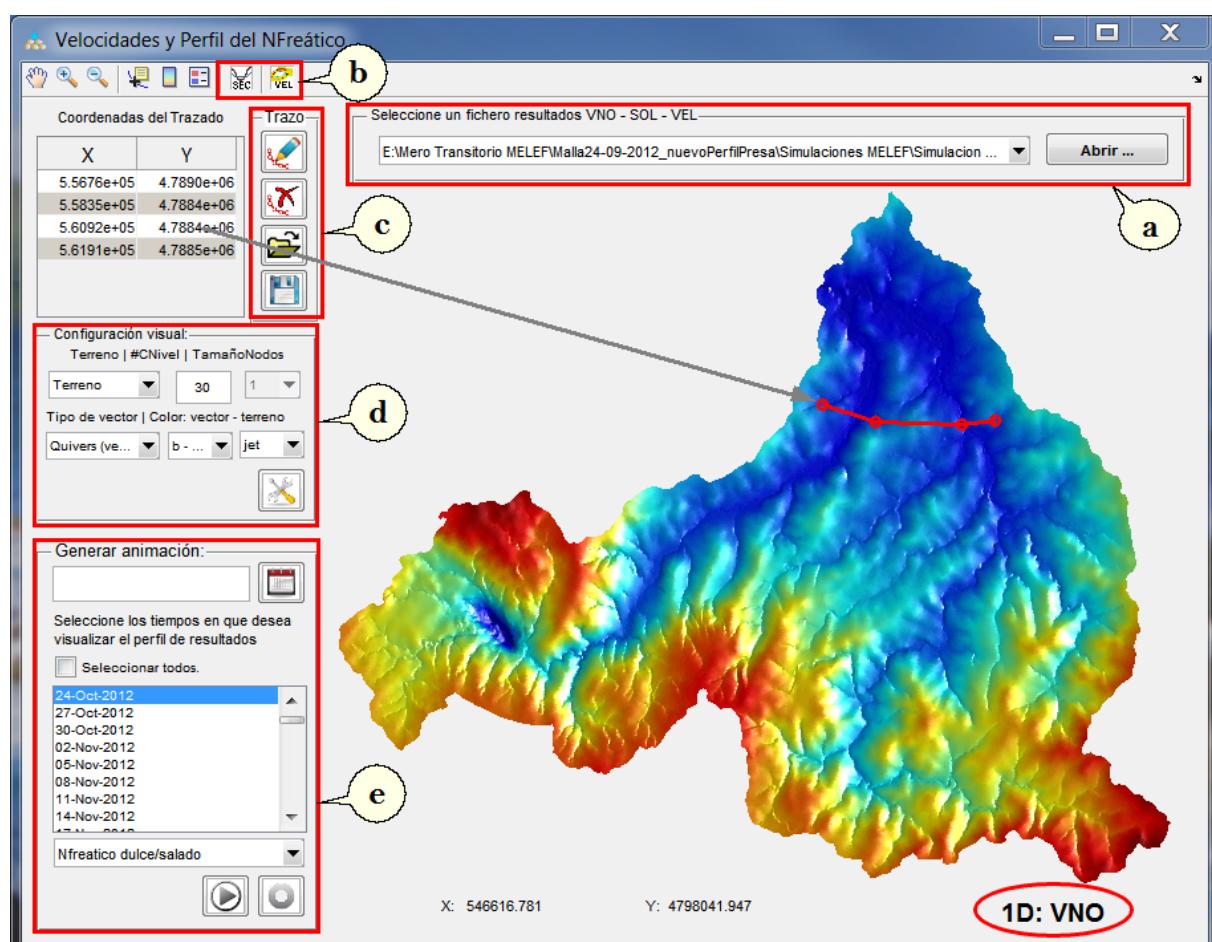


Figura C.13. Herramienta de visualización de resultados en perfiles verticales y vectores.

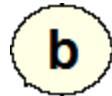
Descripción de los apartados **a**, **b**, **c**, **d**, y **e** en la Figura C.13.



□ **a** Seleccionar un fichero de resultados:

Abrir ...: seleccione un fichero de resultados con extensión .VNO - .VEL - .SOL; la herramienta realiza una búsqueda automática de los ficheros con extensión .COR, .ELE y .PRN, aplicando un criterio de búsqueda donde se debe cumplir que estos ficheros tengan el mismo nombre que el fichero de resultados seleccionado, y si este criterio no se cumple se despliega la ventana de [selección múltiple de ficheros](#) para que el usuario aplique un criterio distinto.

Menú desplegable: en este menú desplegable se almacenan las rutas de los ficheros de resultados que haya analizado en la sesión actual; haga clic sobre una de las rutas del menú desplegable para cargar nuevamente los resultados que le corresponden a esa ruta.



□ **b** Seleccione el tipo de gráfico desea generar:

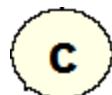
Utilice ambos botones de la barra de herramientas para activar las distintas opciones de gráfico:



Vista en sección: modifica el lápiz de edición del apartado -c- para trazar una ruta en la que poder observar el perfil vertical, o vista en sección vertical, del nivel freático, la topografía y el sustrato impermeable; se requiere cargar un fichero .VNO para poder utilizar esta opción.



Vectores de velocidad: modifica el lápiz de edición del apartado -c- para trazar un área en la que poder observar los vectores de velocidad, modulo y dirección de la velocidad subterránea - subárea - superficial, con las curvas de nivel de la topografía como fondo; se requiere cargar un fichero .VEL para poder utilizar esta opción.



□ **c** Barra de edición: Trazo.

Trace y gestione con esta barra de herramientas la ruta que debe seguir el gráfico de perfil vertical del nivel freático, o el área de análisis de los vectores de velocidad.



Trazar una poli-línea:

- Terminar edición: presione el botón derecho del ratón.
- Continuar trazado anterior: vuelva a presionar el lápiz de edición.
- Modificar vértices: sólo es posible modificando las coordenadas XY en la tabla.



Trazar un polígono:

- Terminar edición: doble clic con el ratón (botón izquierdo).
- Insertar vértices: presione la tecla A + clic ratón sobre un borde del trazado.
- Mover vértices: arrastrar el círculo del vértice con el ratón.



Eliminar trazado: elimina el trazado que en ese momento esté activo.



Abrir trazado: carga el trazado desde un fichero de extensión .S1D.



Guardar trazado: guarda el trazado actual en un fichero de extensión .S1D



Configuración visual

Modifique la configuración visual para mejorar el análisis de los resultados.

Menús desplegable Terreno:

- **Nodos:** visualice los nodos de la malla con un tamaño visual igual al que especifique en el menú desplegable **TamañoNodos**.
- **Terreno:** visualice la superficie del suelo con alguna de las paletas de colores disponibles, paleta jet por defecto.
- **Curvas de Nivel:** visualice las curvas de nivel correspondientes al terreno, especifique el número de curvas de nivel que desea observar en el cuadro de texto **#CNivel** que por defecto tiene un valor de 30.

Menús desplegables vector - paletas de color:

- **Quivers:** muestra vectores rectos de color sólido único, modifique este color en el menú desplegable **Color Vector**. Para acceder a más parámetros de configuración de los vectores presione el botón de configuración avanzada:



La configuración avanzada para la herramienta Quivers despliega el siguiente menú de propiedades:

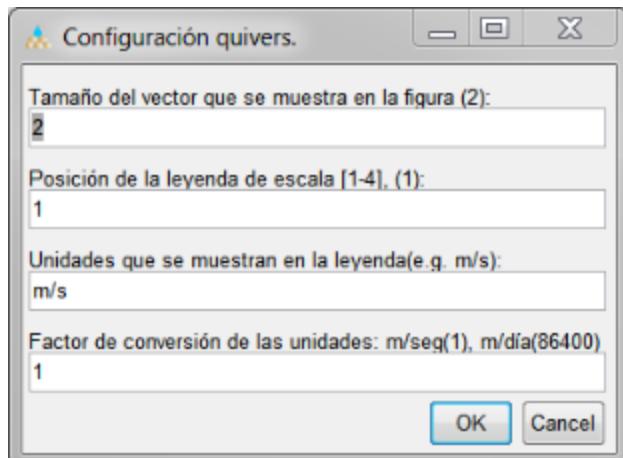


Figura C.14. Parámetros de configuración de los vectores Quivers.

En la Figura C.14:

- ⌚ Tamaño del vector: factor de escala del tamaño que se aplica al vector original.
 - ⌚ Posición de la leyenda: valor numérico de 1 hasta 4, donde 1 define la posición superior derecha, el 2 la posición superior izquierda y así sucesivamente.
 - ⌚ Leyenda (unidades): modifique el texto de la leyenda del vector en el gráfico.
 - ⌚ Factor conversión unidades: cambie las unidades empleando el factor de conversión necesario, así por ejemplo el factor de conversión 86400 convierte de m/seg a m/día.
- **Curvvec**: muestra vectores alargados y curvados con un color degradado o sólido, modifique este color en el menú desplegable **Color Vector**. Para acceder a más parámetros de configuración de los vectores presione el botón de configuración avanzada.

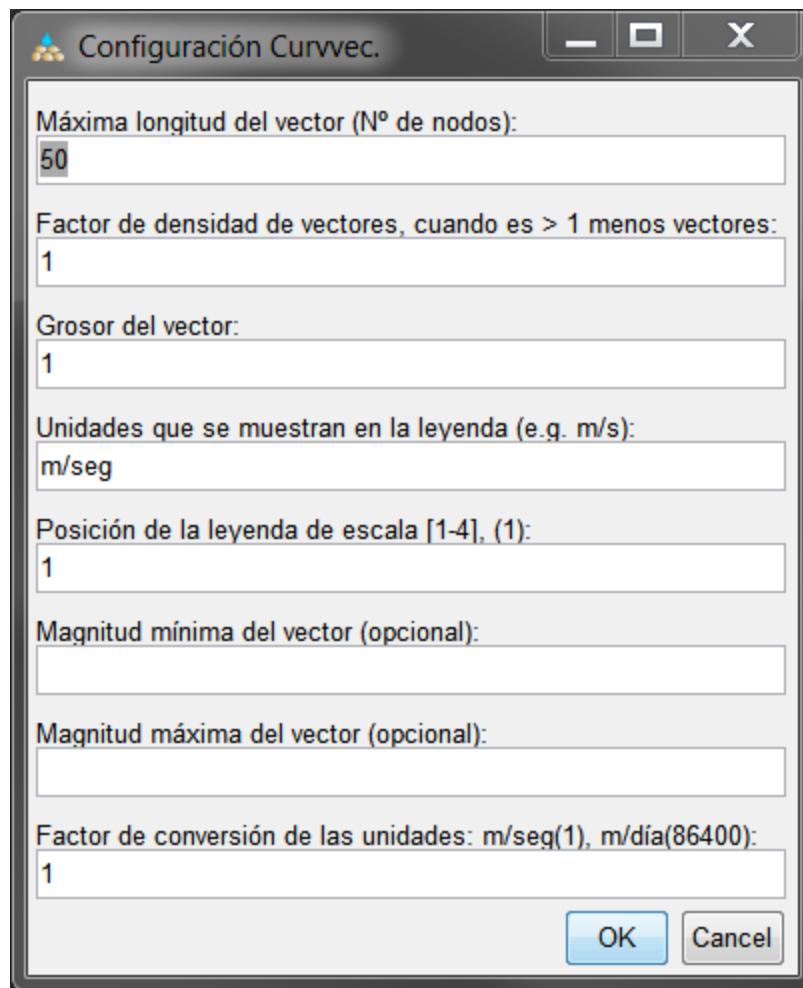
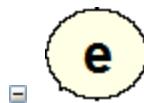


Figura C.15. Parámetros de configuración de los vectores Curvec.

En la Figura C.15:

- ⌚ Máxima longitud del vector: este valor es un factor que multiplica a la distancia media de los nodos que hay dentro de la zona del trazado.
- ⌚ Factor de densidad de vectores: se trata de un factor inverso, de tal forma que si es mayor que uno la densidad disminuye, y si es menor que uno la densidad de vectores mostrados aumenta. Tenga en cuenta que a mayor densidad de vectores mayor es el consumo de memoria del ordenador y más tiempo deberá esperar para ver el resultado.
- ⌚ Grosor del vector: defina el grosor de la línea del vector.
- ⌚ Leyenda: modifique la leyenda de las velocidades en el gráfico.
- ⌚ Posición de la leyenda: valor numérico de 1 hasta 4, donde el 1 posiciona la leyenda en la parte superior derecha, el valor 2 en la parte superior izquierda, y así sucesivamente.
- ⌚ Magnitud mínima: establezca el límite inferior de velocidad que desea mostrar.
- ⌚ Magnitud máxima: establezca el límite superior de velocidad que desea mostrar.
- ⌚ Factor de conversión de unidades: si las velocidades están en m/seg conviertalas a m/día con el factor 86400.



Generar animación:

Recuerde que para poder generar la animación antes debe definir un trazado.



Calendario: seleccione una fecha de inicio de la simulación para modificar las fechas de la lista; también puede escribir directamente la fecha sobre el cuadro de texto situado a la izquierda del calendario.

Lista de fechas: seleccione uno o más fechas para mostrar en el gráfico, tenga en cuenta las siguientes maneras de seleccionar las fechas:

- Arrastre el ratón sobre la lista sin dejar de presionar el botón izquierdo del ratón.
- Utilice Ctrl + clic para seleccionar fechas no consecutivas.
- Utilice Mayús + clic para seleccionar todas las fechas que haya entre dos fechas distintas.
- Active la casilla **Seleccionar todas** para seleccionar todas las fechas.



Ejecutar animación: presione el botón para ver el gráfico con la variable seleccionada.



REC: active la opción para grabar un [video](#).

NOTA: antes de ejecutar una animación puede serle de utilidad darle al play seleccionando sólo una fecha, hacer zoom sobre una zona de interés y sin cerrar el gráfico volver a la ventana principal para seleccionar múltiples fechas y darle al play nuevamente.

4.1.3.5 2D: VEL - VNO - SOL

Herramienta para generar gráficos con animación de los resultados 2D: VEL - VNO - SOL. Visualice todas las variables que se imprimen en los ficheros de resultados de velocidades, de niveles freáticos y posición de la interfase dulce/salada, así como de las variables climáticas de evaporación, transpiración y de los diferentes usos del agua evaluados internamente por el modelo.

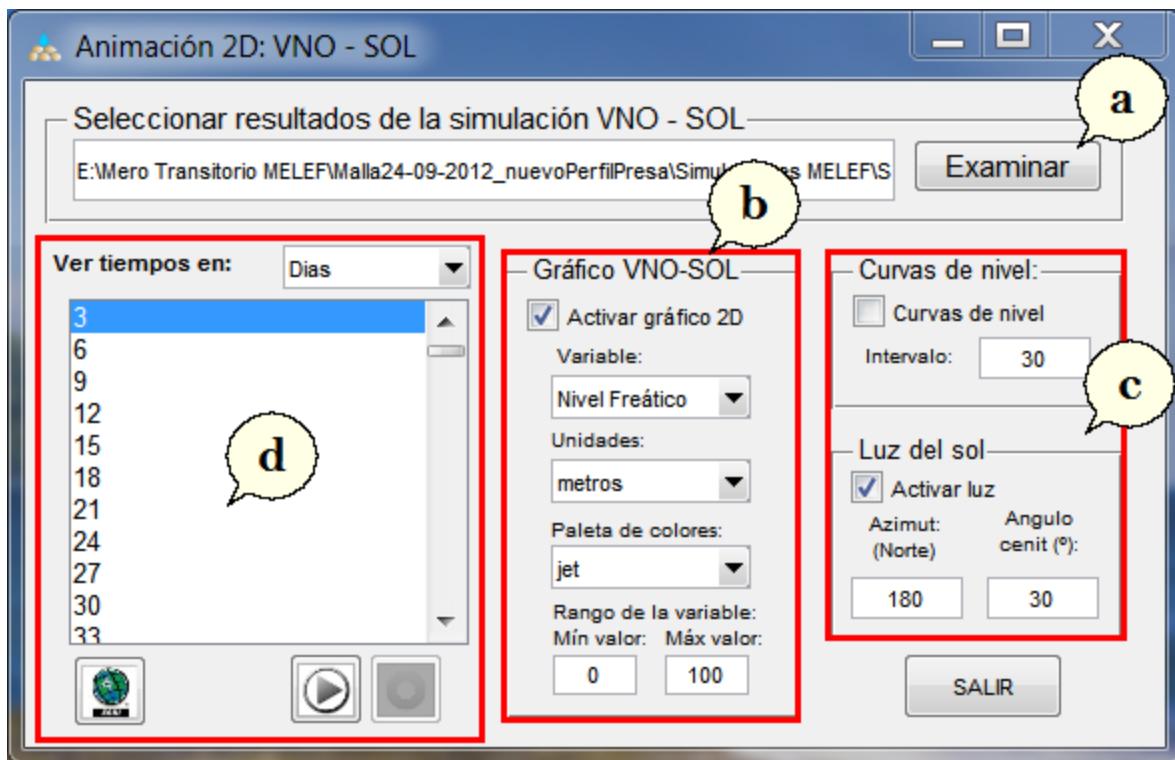
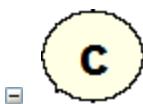


Figura C.16. Herramienta para generar videos con resultados 2D: VNO - SOL.

Descripción de los apartados **a**, **b**, **c** y **d** en la Figura C.16:

- a** Seleccionar un fichero de resultados:
Abrir ...: seleccione un fichero de resultados con extensión .VNO - .VEL - .SOL; la herramienta realiza una búsqueda automática de los ficheros con extensión .COR y .ELE, aplicando un criterio de búsqueda donde se debe cumplir que estos ficheros tengan el mismo nombre que el fichero de resultados seleccionado, y si este criterio no se cumple se despliega la ventana de [selección múltiple de ficheros](#) para que el usuario aplique un criterio distinto.

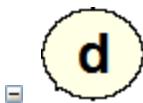
 - b** Seleccione una variable y cómo desea verla en el gráfico:
Activar gráfico 2D: desactive esta casilla si no desea ver el gráfico en 2D, ya que quizás querrá ver sólo las curvas de nivel de esta variable.
Variable: según el tipo de ficheros de resultados que seleccione, .VNO-.VEL-.SOL, se cargaran en este menú desplegable las distintas variables que hay impresas en el fichero, seleccione la variable que desea ver en el gráfico.
Unidades: según la variable que seleccione este menú desplegable mostrará las unidades de medida que puede seleccionar.
Paleta de colores: seleccione la paleta de colores que mejor se ajuste a sus necesidades.
Rango de la variable: el rango de la variable permite ajustar la paleta de colores al valor máximo y mínimo esperado, así por ejemplo, para mostrar los niveles freáticos es posible que sean necesarios los 100 metros que se muestran en la Figura C.16, sino entonces puede modificar este rango de valores.



Defina otras características visuales (opcional):

Curvas de Nivel: active la casilla para mostrar en el gráfico las curvas de nivel de la variable, y defina el intervalo (metros) en que se mostrarán las curvas.

Luz del sol: el efecto de la luz del sol genera zonas de sombra en el gráfico 2D, lo que permite observar un gráfico con sensación de profundidad (3D). Modifique la dirección horizontal (azimuth) y la dirección vertical (cenit) de donde proviene la luz.



Seleccione los incrementos de tiempo que desea visualizar:

Lista de tiempos: seleccione uno o más incrementos de tiempo, formas de seleccionar los incrementos de tiempo:

- Arrastre el ratón sobre la lista sin dejar de presionar el botón izquierdo del ratón.
- Utilice Ctrl + clic para seleccionar incrementos de tiempo no consecutivos.
- Utilice Mayús + clic para seleccionar todos los incrementos de tiempo que haya entre dos tiempos distintos.



Exportar variables a SIG: exporte todas las variables del tiempo seleccionado en un fichero de texto. El fichero de texto puede ser importado en ArcGIS mediante la herramienta **Add XY Data...** del menú Tools (ArcMap), para generar un shapefile de puntos con los nodos de la malla, y donde la tabla de atributos contendrá todas las variables del incremento de tiempo que se ha exportado.



Ejecutar animación: presione el botón para ver el gráfico con la variable seleccionada.



REC: active la opción para grabar un [video](#).

NOTA: antes de ejecutar una animación puede serle de utilidad darle al play seleccionando sólo un incremento de tiempo, hacer zoom sobre una zona de interés y sin cerrar el gráfico volver a la ventana principal para seleccionar múltiples incrementos de tiempo y darle al play nuevamente.

4.1.3.6 Balance hídrico Zonal

Herramienta para generar balances de agua en zonas delimitadas por secciones de aforo.

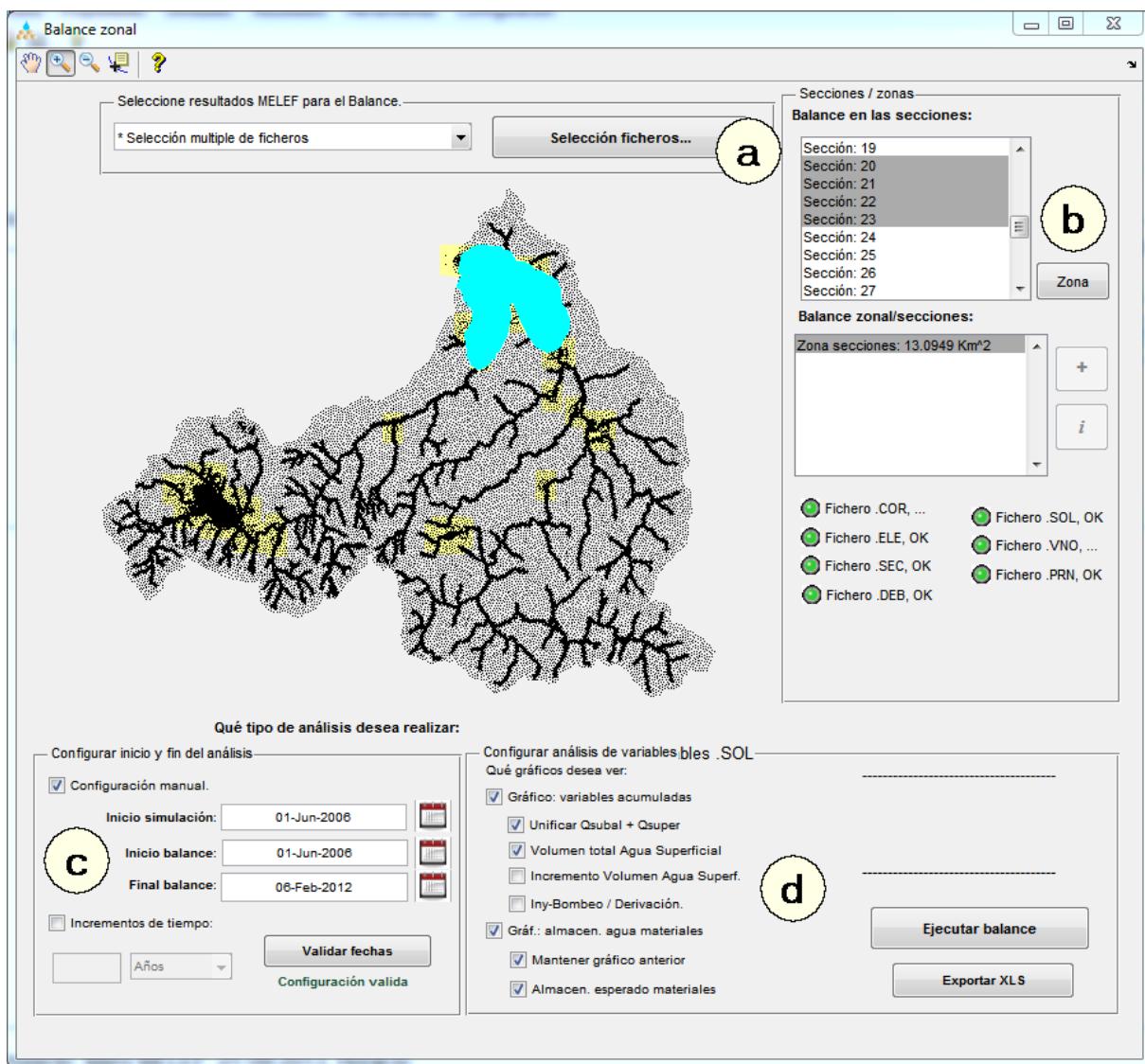


Figura C.17. Herramienta para generar Balances zonales en zonas delimitadas por secciones de aforo.

Descripción de los apartados **a**, **b**, **c** y **d** en la Figura C.17.

- a** Seleccione los ficheros para el balance.

Al hacer clic en este botón se despliega la herramienta para [seleccionar múltiples ficheros](#). Seleccione los ficheros que intervienen en el balance zonal, recuerde que estos deben pertenecer a la misma simulación. Después de seleccionar los ficheros la herramienta dibuja los nodos y las secciones de aforo en la ventana principal, utilice la barra de herramientas de la parte superior izquierda para mover, acercar o alejar el gráfico.

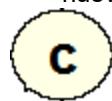
- b** Seleccione las secciones que delimitan una zona cerrada.

Para poder realizar un balance zonal se debe cumplir que las secciones de aforo delimiten una zona cerrada. Para saber que secciones cumplen con ese requisito utilice la barra de herramientas, parte superior izquierda de la Figura C.17, para hacer zoom sobre las secciones y observar el número de sección que está resaltado con un color de fondo amarillo.

Seleccione de la lista de secciones aquellas que forman una zona cerrada y después presione el botón **Zona**.

El botón Zona:

- Evalúa si las secciones forman o no una zona cerrada.
- Si es la primera vez que hace un balance zonal en el directorio actual entonces la herramienta evalúa el área de influencia de los nodos, y el resultado lo almacena en un fichero areanos.nod, así como el área de cada elemento triangular, y el resultado lo almacena en el fichero areaelementos.tri. Ambos ficheros son reutilizados en futuros análisis de balance.
- Busca los nodos que se localizan dentro de la zona delimitada por las secciones de aforo y los resalta con color cian. Además, en el recuadro que hay debajo del botón **Zona** también agrega un ítem con información del área de la zona de análisis.
- Elimina de la memoria los resultados de algún balance previo y permitir ejecutar el análisis de un nuevo balance.

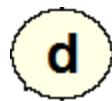


- Establecer el periodo de tiempo para el balance.

Configuración manual: con este control puede programar el inicio y el final del balance, o bien, desactivar este control y generar un balance de todo el periodo simulado. En los campos vacíos escriba directamente las fechas de análisis, formato libre, o bien use el botón calendario para seleccionar una fecha.

Incrementos de tiempo: puede modificar el incremento de tiempo con que se muestra el balance, de tal manera que puede realizar balances diarios, semanales, quincenales, mensuales, etc. ([Interpolación como histograma con paso atrás](#)), independientemente de la frecuencia de impresión de los resultados en los ficheros. Balances mensuales, si activa las fechas de inicio y fin del balance entonces la herramienta puede saber exactamente la duración de cada mes, si no, la duración de un mes es considerado por la herramienta igual a 30.4375 días (considerando el año bisiesto).

Validar fechas: presione este botón para validar la configuración de las fechas de análisis e incremento de tiempo.



- Ejecutar el balance.

El botón Ejecutar balance:

- Genera un balance total que incluye: caudales subterráneos, subálveos y superficiales que entran o salen de la zona de análisis; el caudal evaporado y transpirado; el caudal bombeado/inyectado/derivado si los hubiera.
- Incluye además la evolución del almacenamiento de agua superficial e incremento de agua superficial en la zona de análisis, que en comparación con el balance total permite deducir el almacenamiento en los materiales, o bien, evidenciar un balance incorrecto por la falta de calibración.
- En un segundo gráfico: muestra la evolución esperada del almacenamiento de los materiales, así como el almacenamiento obtenido indirectamente al restar del

volumen acumulado del balance total y el volumen acumulado de agua superficial. Una buena calibración mostrará un comportamiento similar de ambas curvas.

- El resultado del balance se almacena en memoria, por lo que puede activar o desactivar las casillas de configuración del balance y volver a presionar el botón para ver los cambios al instante.

El botón Exportar XLS:

- Exporta a una hoja Excel las variables que intervienen en el balance zonal.
- En la misma hoja, pero en distinta pestaña, exporta los valores del volumen/incremento de volumen de agua superficial.

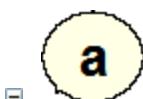
4.1.3.7 Análisis zonal de resultados

Herramienta para analizar zonalmente los resultados de los ficheros .SOI y .DEB de FreshWaterSheds. El resultado del análisis zonal es impreso en un fichero .XLS para su rápido análisis y posproceso de resultados.



Figura C.18. Herramienta para realizar análisis de resultados zonales de los ficheros .SOI y .DEB de MELEF.

Descripción de los apartados **a, b, c, d, e** de la figura C.18:



- Cargar zonas de análisis / secciones de aforo:

SOI/SLR Zonal ...: menú desplegable para elegir que tipo de fichero de resultados desea analizar zonalmente (.SOI o .DEB).

Cargar datos ...: presione el botón para seleccionar un shapefile de SIG con las zonas que desea analizar. Estos ficheros pueden ser los ficheros de simulación de SIG (PRNMELEF; SOIMELEF; SLRMELEF; otros generados específicamente con zonas determinadas para su análisis).

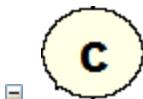
ZONAS (DBF): muestra la ruta del shapefile con las zonas que se muestran en la ventana del apartado b.

SECCIONES (DEB): muestra la ruta del fichero .DEB con los resultados de las secciones que se muestran en la ventana del apartado c.



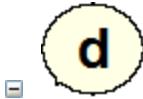
- Selección de Zonas de Análisis:

Después de seleccionar el shapefile en el apartado a, las distintas zonas que contiene el fichero son cargadas en esta ventana. Las distintas zonas aparecen con número de zona, seguido algunas columnas de información para su fácil identificación. En la ventana se puede seleccionar con el ratón una o distintas zonas para el análisis de resultados zonal. Las zonas seleccionadas se muestran en el campo situado bajo la ventana como una lista de números separados por un punto y coma.



- Selección de secciones de aforo

Esta ventana muestra las distintas secciones de aforo del fichero .DEB seleccionado en el apartado a. Seleccione del listado que aparece en esta ventana las distintas secciones de aforo para las que desea analizar los resultados. Las secciones seleccionadas aparecerán en el campo situado bajo la ventana como una lista de secciones separados por un punto y coma.



- Configurar impresión de resultados:

Configuración manual: active esta opción para definir las fechas de inicio y fin, así como la fecha de inicio del análisis, con ello el programa devolverá resultados con el tiempo impreso como fechas y sólo para el periodo definido por el inicio y fin de impresión.

Incrementos de tiempo: active esta opción para definir que los resultados se analicen con un incremento distinto al que se ha impreso en el fichero de resultados, la impresión de los resultados en el fichero .XLS también tendrán estos nuevos incrementos de tiempo.

Validar configuración: botón diseñado con ciertas reglas para verificar que por error el usuario no haya, por ejemplo, introducido una fecha de inicio de la simulación inferior a la de fin o inicio de impresión, así como otros posibles errores, y si la configuración es válida observará un mensaje abajo de este botón de color verde indicando que la configuración es válida.



Resultado Zonal...: despliega dos ventanas de selección de ficheros, la primera para seleccionar el fichero .SOI de resultados de FreshWaterSheds que será utilizado para procesar en las zonas de análisis seleccionadas, y la segunda para definir la ubicación del fichero .XLS que será impreso con el resultado del análisis donde se generará una pestaña por cada zona de análisis y una pestaña más de resumen global.

Resultado en Secciones: despliega una ventana para definir la ubicación del fichero .XLS que será impreso con el resultado del análisis por secciones seleccionadas.

4.1.4 Herramientas

Enter topic text here.

4.1.4.1 FFTemporalSeries

Enter topic text here.

4.1.4.2 Gestión y cálculo de aforos

Esta herramienta permite almacenar la información de niveles y aforos, así como, calcular aforos con distintos métodos Área-Velocidad y exportar la información a hojas Excel con un formato adecuado para realizar comparaciones con resultados de las simulaciones.

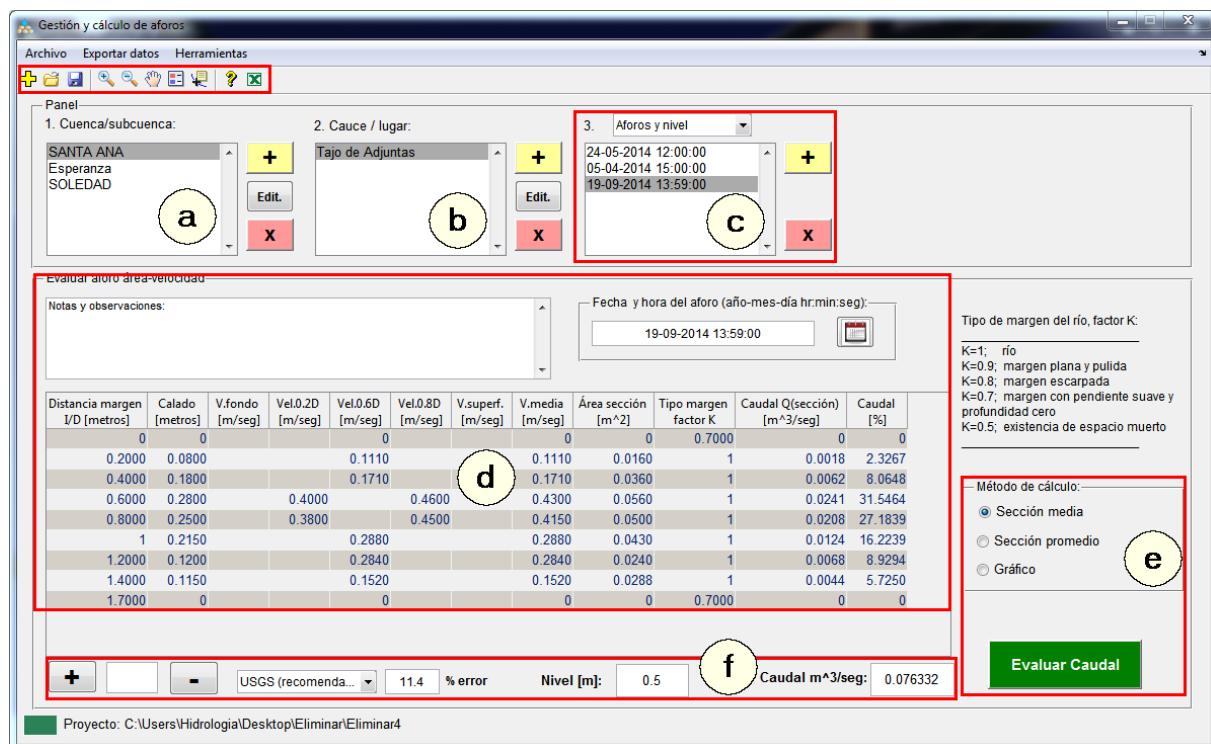
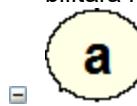


Figura C.19. Herramienta de gestión de información hidrológica y cálculo de aforos.

La barra de herramientas, que aparece en la parte superior de la ventana resaltada en un recuadro rojo de la Figura C.19, tiene accesos directos que de izquierda a derecha son:

- ❖ Generar un nuevo proyecto.
- ❖ Abrir un proyecto existente.
- ❖ Guardar los cambios realizados al proyecto. Cuando realiza algún cambio el botón guardar se activa, los cambios que no son guardados se pierden una vez se cierre la venta o cargue un proyecto.
- ❖ Incrementar Zoom del gráfico de caudales/niveles.
- ❖ Reducir Zoom del gráfico de caudales/niveles.
- ❖ Mover gráfico de caudales/niveles.
- ❖ Mostrar/ocultar leyenda del gráfico.
- ❖ Consultar valor en gráfico.
- ❖ Abrir la ayuda de la herramienta.
- ❖ Exportar datos a Excel.

Para comenzar a utilizar esta herramienta genere un nuevo Proyecto o bien abra uno existente. Esto habilitará los controles de creación y evaluación que se describen a continuación:



Añadir cuenca/subcuenca



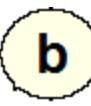
Crea una nueva cuenca/subcuenca para almacenar información de niveles y aforos.



Modifica el nombre seleccionado en la lista de cuenca/subcuenca.



Elimina de la lista la cuenca/subcuenca seleccionada y toda la información relacionada con aforos y niveles.



Añadir cauce/lugar



Crea un nuevo cauce/lugar en la cuenca/subcuenca seleccionada.



Modifica el nombre seleccionado en la lista de cauce/lugar.→



Elimina de la lista el cauce/lugar seleccionado y toda la información relacionada con aforos y niveles.

Adicionalmente, al dar clic sobre un río de la lista aparecerá un gráfico que muestra el caudal y el nivel registrados. El gráfico es de doble eje vertical, mostrando el eje vertical izquierdo los caudales y el derecho los niveles. Si los caudales fueron calculados con algún método de esta herramienta, también se calculan valores de error de medición y se representan como barras de error en los valores de caudales según se puede observar en la Figura C.20.

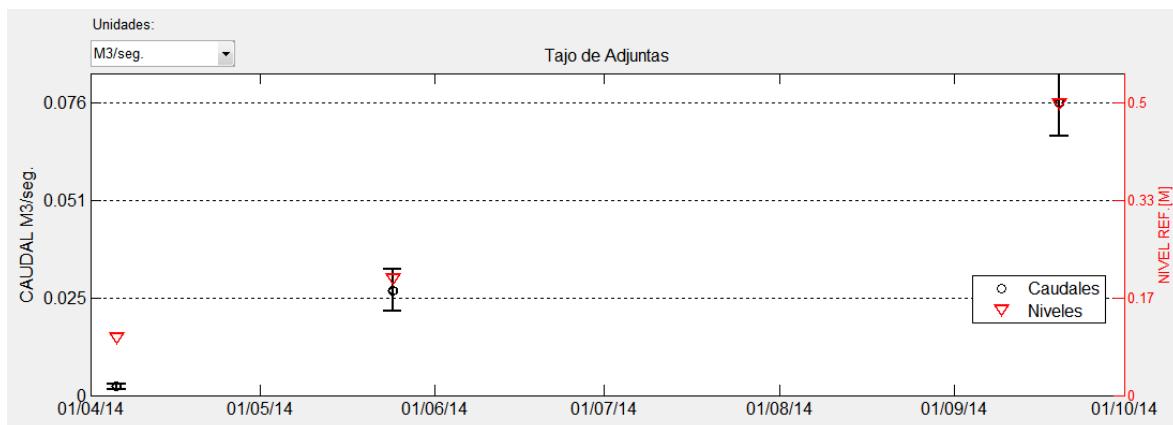


Figura C.20. Gráfico que muestra los caudales y niveles registrados en el cauce correspondiente.

- c Añadir Aforo/Nivel**
- Aforos...** En la pestaña de este apartado seleccione que tipo de información va a gestionar Aforo/Nivel.
- + Crea una nueva Aforo/Nivel para almacenar información de niveles y aforos.**
- X Elimina de la lista la cuenca/subcuenca seleccionada y toda la información relacionada con aforos y niveles.**

- d Datos medidos en Aforo/Nivel**
- Observaciones:** introduzca observaciones para las mediciones hidrológicas, estas observaciones se comparten para aforos y niveles.
- Fecha y hora del aforo:** modifique manualmente la fecha - hora del aforo siguiendo el formato establecido. Utilice el botón calendario para abrir una ventana y seleccionar allí la fecha y la hora.
- Tabla de datos:** introduzca la información medida respectiva al aforo/nivel, las celdas que no pueden modificarse son evaluadas con el botón Evaluar Caudal si el botón está habilitado para ello.
- Del método de aforo área-velocidad se requiere y se calcula la siguiente información:
 - Distancia margen I/D [metros]:** introduzca las distancias en las que realizó mediciones de velocidad del agua. Los extremos pueden quedar sin valor de velocidad, pero no sin el valor de calado que les corresponde. En caso de no establecer la distancia cero y su calado, se interpretará que a dicha distancia el calado es igual a cero.
 - Calado [metros]:** introduzca el calado medido en cada medición vertical de velocidad realizada.
 - V.fondo [m/seg]:** introduzca la velocidad del agua en el fondo o lecho del río, para ello ponga el velocímetro lo más próxima posible al lecho del río. Esta medición se requiere cuando el calado de agua es grande y por lo tanto es necesario realizar 5 mediciones de la velocidad a lo largo del perfil.
 - Vel.0.2D [m/seg]:** introduzca la velocidad del agua a una distancia del lecho del río del 20% del calado total.
 - Vel.0.4D [m/seg]:** introduzca la velocidad del agua a una distancia del lecho del río del 40% del calado total.

- Vel.0.8D [m/seg]:** introduzca la velocidad del agua a una distancia del lecho del río del 80% del calado total.
- V.superf. [m/seg]:** introduzca la velocidad del agua lo más próxima a la superficie, según lo permita el velocímetro. Esta medición se requiere cuando el calado de agua es grande y por lo tanto es necesario realizar 5 mediciones de la velocidad a lo largo del perfil.
- V.media [m/seg]:** velocidad evaluada automáticamente a partir de las velocidades que se hayan aportado. La velocidad media se obtiene a partir de las siguientes relaciones:

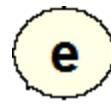
$$\text{Si } D < 0.25 \text{ m.} \rightarrow \bar{V} = V_{0.4D}$$

$$\text{Si } D < 0.50 \text{ m.} \rightarrow \bar{V} = 0.5(V_{0.2D} + V_{0.8D})$$

$$\text{Si } D < 0.75 \text{ m.} \rightarrow \bar{V} = 0.25(V_{0.2D} + 2V_{0.4D} + V_{0.8D})$$

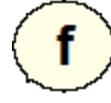
$$\text{Si } D > 0.75 \text{ m.} \rightarrow \bar{V} = 0.1(V_s + 3V_{0.2D} + 2V_{0.6D} + 3V_{0.8D} + V_F)$$

- Área Sección [m^2]:** área de la sección de un tramo de río evaluada automáticamente según el método de calculo del caudal seleccionado.
- Tipo margen factor K:** Introduzca un valor de 1 para todo lo que sea cauce, un valor menor que uno para orillas o margenes del mismo e igual a cero para zonas del cauce por las que no haya flujo (p. ej. grandes rocas que obstruyan el flujo).
- Caudal Q(sección) [m^3/seg]:** caudal evaluado automáticamente para cada sección de tramo de río. La suma de estos caudales será el caudal total que aparece fuera de esta tabla en la parte inferior.
- Caudal [%]:** porcentaje del caudal total que circula por cada sección de tramo de río.



e Evaluar Aforo

Ejecuta el cálculo del método de aforo seleccionado "Sección media" - "Sección Promedio" - "Gráfico". Asimismo, calcula el error según el método de error seleccionado.



f Datos de Error - Nivel - Caudal

% de error: estima el error de medición en base a métodos propuestos por el USGS.

Nivel [m]: si tiene alguna medida del nivel de agua en la sección puede almacenarla en este apartado, de otra forma se mostrará siempre con valor cero. La unidad de medición son metros.

Caudal [m^3/seg]: si tiene alguna medición con otro método distinto al aforo área velocidad, puede introducir directamente el valor en esta casilla en las unidades especificadas.

4.1.4.3 Datos Medidos

Utilice la herramienta Datos Medidos para gestionar los datos Medidos en campo y generar ficheros .XLS / .CSV. Los ficheros .XLS / .CSV son implementados por las herramientas de resultados [Globales](#), [Caudales](#) y [Nodales](#) para generar comparaciones de resultados con los datos medidos en campo.

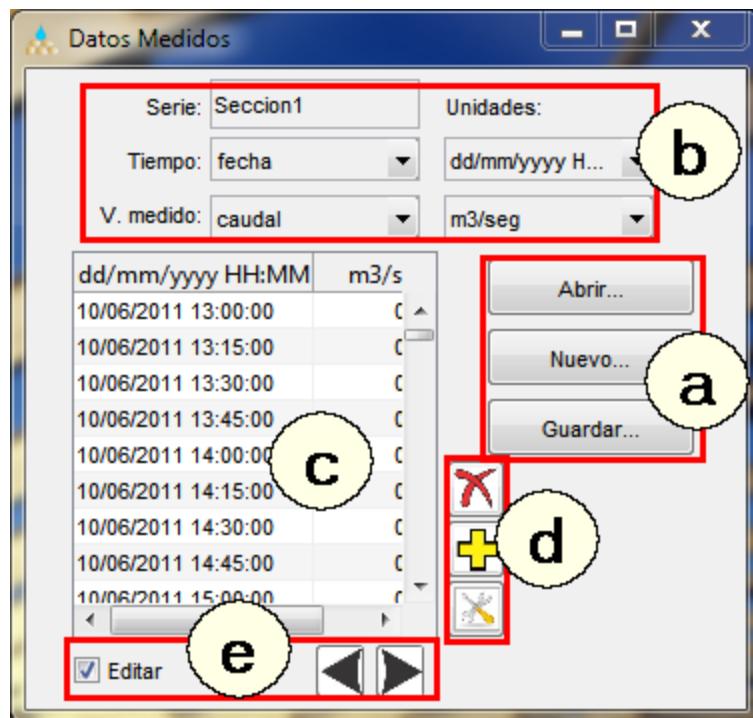
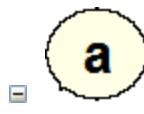


Figura C.21. Herramienta para generar un nuevo fichero .CSV de datos medidos que sirve para que otras herramientas de resultados puedan comparar los

Descripción de los apartados **a**, **b**, **c**, **d**, y **e** de la Figura C.21

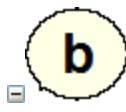


a Control de edición:

Abrir: abre un fichero existente .XLS / .CSV con la estructura establecida para esta herramienta.

Nuevo: genera un nuevo fichero .XLS / .CSV para añadir datos medidos en campo.

Guardar: guarda los cambios realizados a los datos (active la casilla Editar para modificar la información).



b Configuración de la serie de datos:

Serie: nombre de la serie de datos medidos.

Tiempo: lista desplegable con las opciones {'tiempo', 'fecha'}. La primera permite definir unidades de tiempo en días, horas, etc. La segunda opción permite definir fechas en formato texto.

V. Medido: lista desplegable con las opciones {'caudal', 'nivel', 'velocidad', 'ETR'}. La primera permite definir datos medidos con unidades de caudal. La segunda opción permite definir datos medidos de niveles freáticos (sólo en unidades de metros). La tercera opción permite definir datos medidos en unidades de velocidad. La última opción permite definir datos medidos en unidades de EvapoTranspiración.

Unidades: para cada una de las cuatro opciones posibles de V.Medido es posible elegir distintas unidades de medida

C

Tabla de Datos Medidos:

Tabla de Datos Medidos, active la casilla de edición para modificar la información contenida por la tabla. La cabecera de la tabla muestra las unidades de cada columna, modifique las unidades en el re-cuadro b para modificar la cabecera.

CONSEJOS DE EDICIÓN (active la casilla de edición):

- Copiar y pegar: copie información desde cualquier fuente que almacene información en columnas (p.ej. Excel) y pegue la información directamente en la tabla. La propia tabla se encarga de verificar que la información es correcta y de ajustar los datos copiados en las dos columnas únicas que puede almacenar cada serie de datos.
- Añadir una fila: si requiere añadir una nueva fila sólo presione la tecla -Tabulación (TAB)-. Sitúese en cualquier campo de la tabla y presione TAB para añadir una nueva fila justo debajo de este.
- Eliminar información: con ayuda de la tecla -Shift- o -Mayúsculas- y con un par de clics del ratón seleccione los campos en los que desea eliminar su información. Finalmente presione la tecla -Suprimir-.

d

Añadir o eliminar series

Active la casilla de edición para que se activen las siguientes herramientas de edición:



Eliminar datos: elimina la serie activa en ese momento



Añadir serie: añade una nueva serie de datos al fichero .XLS / .CSV



Modificar datos: modifica la escala temporal de los datos y permite al usuario transformarlos a valores medios diarios, mensuales, anuales u otra unidad de tiempo que seleccione el usuario. Al seleccionar esta opción se despliega una ventana donde podrá configurar la nueva escala temporal de los datos medidos. En la ventana que se despliega active o desactive la transformación de los datos mediante la casilla de activación. La herramienta utiliza el método de [interpolación como histograma con paso atrás](#) para realizar esta modificación. .

Los cambios generados no modifican el fichero original hasta que no guarde los cambios.

e

Editar y moverse entre las distintas series

Casilla Editar: active esta casilla para poder modificar la tabla de Datos Medidos, el tipo de información medida y las unidades de tiempo, así como, para añadir o eliminar nuevas series de datos al fichero .XLS / .CSV en edición.

Flechas de movimiento: desplazarse por las distintas series del fichero .XLS / .CSV es posible sólo con las flechas de movimiento.

La herramienta Datos Medidos tiene su principal función en generar correctamente la estructura que la información debe tener en los ficheros .XLS / .CSV. No obstante, ambos ficheros se pueden gestionar sin depender de esta herramienta, pero teniendo cuidado de mantener los formatos de las unidades y nombres de variables acordes con los propios datos. Es decir, p. ej. si la el formato de fecha indica "dd/mm/yyyy HH:MM" la información deberá tener dos dígitos para el día, dos para el mes,

cuatro para el año, así como dos para la hora y minutos respectivamente. La discordancia entre el formato indicado y el formato real utilizado por los datos podría ocasionar un mal funcionamiento de esta herramienta.

LISTA DE VARIABLES FÍSICAS VÁLIDAS:

```
{'caudal', 'nivel', 'velocidad', 'ETR'}
```

LISTA DE VARIABLES DE TIEMPO VÁLIDAS:

```
{'tiempo', 'fecha'}
```

LISTA DE UNIDADES DE TIEMPO VÁLIDAS:

```
{'segundo', 'minuto', 'hora', 'día', 'mes', 'año'}
```

LISTA DE UNIDADES DE FECHA VÁLIDAS:

```
{'dd/mmm/yyyy', 'dd/mm/yy-yy', 'dd/mm/yy', 'mm/dd/yy', 'mmm/dd/yy', 'mmm/dd/yy-yy', 'mm/yy', 'mmm/yy', 'mm/yyyy', 'mmm/yyyy', 'dd/mm/yyyy HH:MM:SS', 'dd/mmm/yyyy HH:MM:SS', 'dd/mm/yy HH:MM:SS', 'mm/dd/yy HH:MM:SS', 'mm/dd/yyyy HH:MM:SS', 'dd/mm/yyyy HH:MM', 'dd/mmm/yyyy HH:MM', 'dd/mm/yy HH:MM', 'mm/dd/yy HH:MM', 'mm/dd/yyyy HH:MM'}
```

LISTA DE UNIDADES DE CAUDAL VÁLIDAS:

```
{'m3/seg', 'm3/min', 'm3/hrs', 'm3/día', 'm3/mes', 'm3/año'}
```

LISTA DE UNIDADES DE NIVEL VÁLIDAS:

```
{'m'}
```

LISTA DE UNIDADES DE VELOCIDAD VÁLIDAS:

```
{'m/seg', 'm/min', 'm/hrs', 'm/día', 'm/mes', 'm/año'}
```

LISTA DE UNIDADES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL VÁLIDAS:

```
{'mm/seg', 'mm/min', 'mm/hrs', 'mm/día', 'mm/mes', 'mm/año'}
```

Tabla C.1 ESTRUCTURA QUE DEBE TENER LA INFORMACIÓN EN EL FICHERO .XLS - .CSV

	Columna 1	Columna 2	columna 2	Columna 3
Fila 1	Rio1	Cuenca1	Rio2	Cuenca2
Fila 2	fecha	caudal	tiempo	nivel
Fila 3	dd/mm/yyyy HH:MM:SS	m3/seg	día	m
Fila 4	20/09/1982 11:30:00	0.152	1	0.124
Fila 5	20/09/1982 11:45:00	0.160	2	0.130

Siga la estructura mostrada en la Tabla C.2 para generar de forma independiente las tablas de Datos Medidos y poder comparar con los resultados de simulación.

4.1.5 Configuración

Enter topic text here.

4.1.5.1 Versión del código FreshWaterSheds

Versión del código FreshWaterSheds: herramienta que permite consultar o modificar el fichero .exe de ejecución del código FreshWaterSheds.

4.1.5.2 Versión de la Interfaz

Versión de la Interfaz: muestra información de la versión de la interfaz y fecha de compilación, los autores del código numérico y de la interfaz de usuario, así como la versión de Matlab sobre la cual está compilada

4.2 C2. Toolbox FreshWaterSheds (ArcGIS)

Herramienta para generar en formato vectorial las condiciones de simulación y de contorno del modelo FreshWaterSheds.

La herramienta ToolboxMELEF esta estructurada en 6 bloques, mismos que se muestran en el esquema de la Figura C.22. En cada bloque encontrará herramientas para actualizar los ficheros de simulación, para generar la estructura de la tabla de atributos de un nuevo [fichero vectorial de simulación](#) y generar el fichero final que utilizará la interfaz para generar los [ficheros de entrada](#) del modelo FreshWaterSheds.

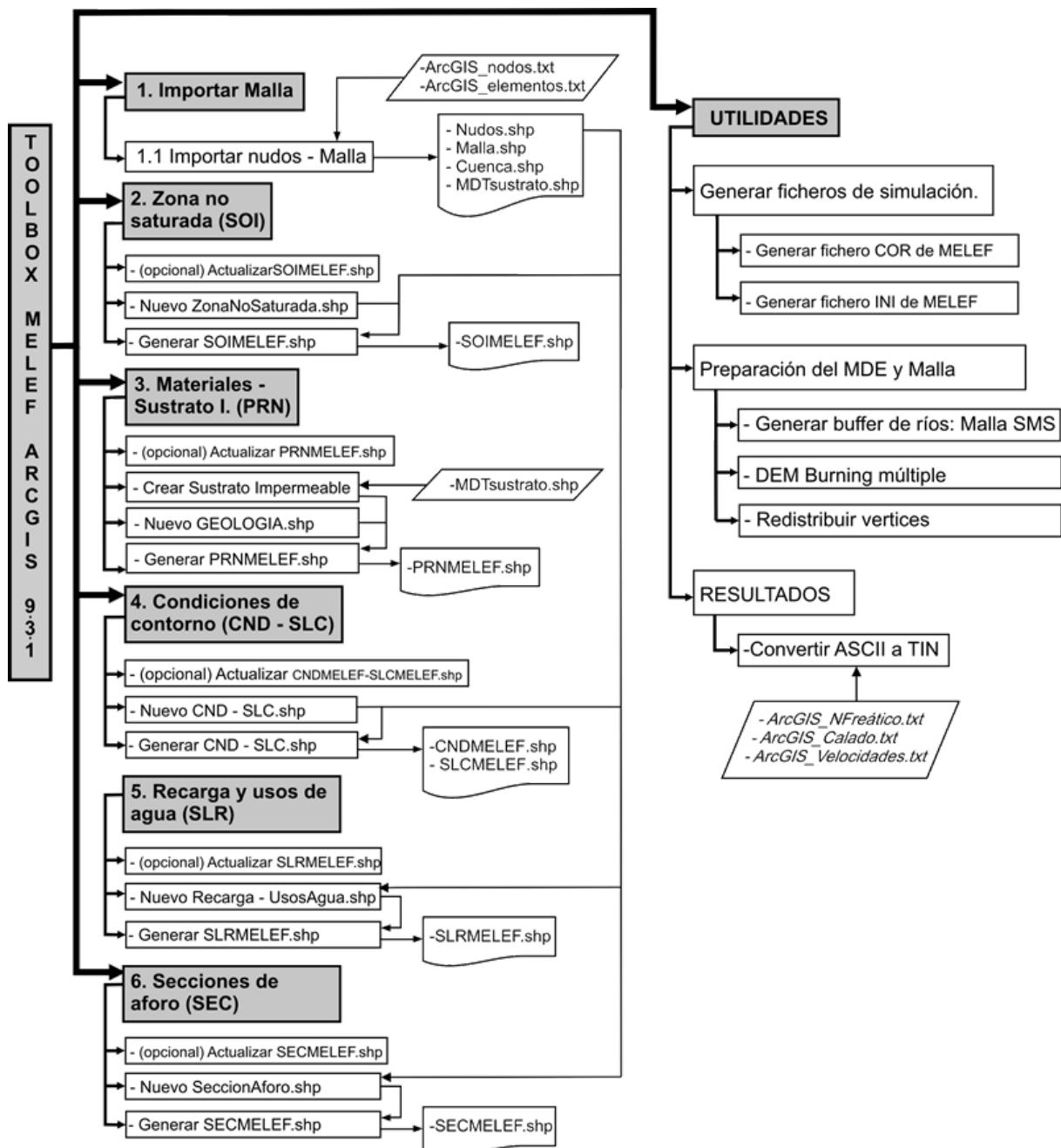


Figura C.22. Esquema del ToolBox MELEF ArcGIS 9.3.1

Descripción de los bloques de la Figura C.22.

1. [Importar Malla](#).
2. [Zona no saturada \(SOI\)](#).
3. [Materiales - Sustrato I. \(PRN\)](#).
4. [Condiciones de contorno \(CND-SLC\)](#).
5. [Recarga y usos de agua \(SLR\)](#).
6. [Secciones de aforo \(SEC\)](#).
7. [Utilidades](#).

4.2.1 1. Importar Malla

Utilice la herramienta Importar nudos-Malla para importar la geometría de la malla, nudos y elementos, para establecer correctamente todas las condiciones de simulación y de contorno del modelo.

NOTA: antes de ejecutar la herramienta **1.1 Importar nudos Malla**, verifique cuál es el directorio de trabajo de ArcMAP.

4.2.1.1 1.1 Importar nudos-Malla

El objetivo de esta herramienta es importar la geometría de la malla a través de los ficheros de texto nodos.txt y elementos.txt, los cuales son generados por la herramienta [Procesar Malla \(geo-2dm\)](#) de la interfaz de usuario.

La herramienta **Importar nudos-Malla**, vea la Figura C.23, utiliza la variable interna de ArcMap %Workspace% para guardar las capas en el directorio de trabajo de ArcMap que haya especificado.



Figura C.23. Herramienta "Importar nudos - Malla"

En la Figura C.23:

1. **Selección fichero nodos.txt:** fichero que almacena los nodos de la malla, la información tiene la estructura requerida para importar el fichero como un shapefile de puntos o capa de nodos en ArcMap.
2. **Selección fichero elementos.txt:** fichero que almacena los indices de nodos que forman los elementos triangulares de la malla, la información tiene la estructura requerida para importar el fichero como un shapefile de polígonos o capa de elementos triangulares en ArcMap.
3. **Malla.shp:** shapefile de polígonos o capa de elementos triangulares que será generado por la herramienta.

4. **nodos.shp**: shapefile de puntos o capa de nodos, la cual es generada por la herramienta, que además contiene información del área de influencia de cada nodo.
5. **MDTsustrato**: shapefile de puntos o capa de nodos generado por la herramienta, y que tiene una estructura en su tabla de atributos necesaria para almacenar la posición del sustrato impermeable y las coordenadas XYZ de los nodos de la malla, así como las cotas primaria y secundaria [COTA1; COTA2].
6. **cuenca**: shapefile de polígono o capa de la cuenca del área de estudio.

4.2.2 2. Zona no saturada (SOI)

Set de herramientas para gestionar las propiedades del suelo y del medio superficial del fichero .SOI del modelo FreshWaterSheds.

4.2.2.1 (opcional) Actualizar SOIMELEF.shp

El objetivo de esta herramienta es actualizar los cambios realizados en alguna de las capas que sirven para generar el fichero SOIMELEF sin tener que modificar el nombre de la capa o generar una nueva.

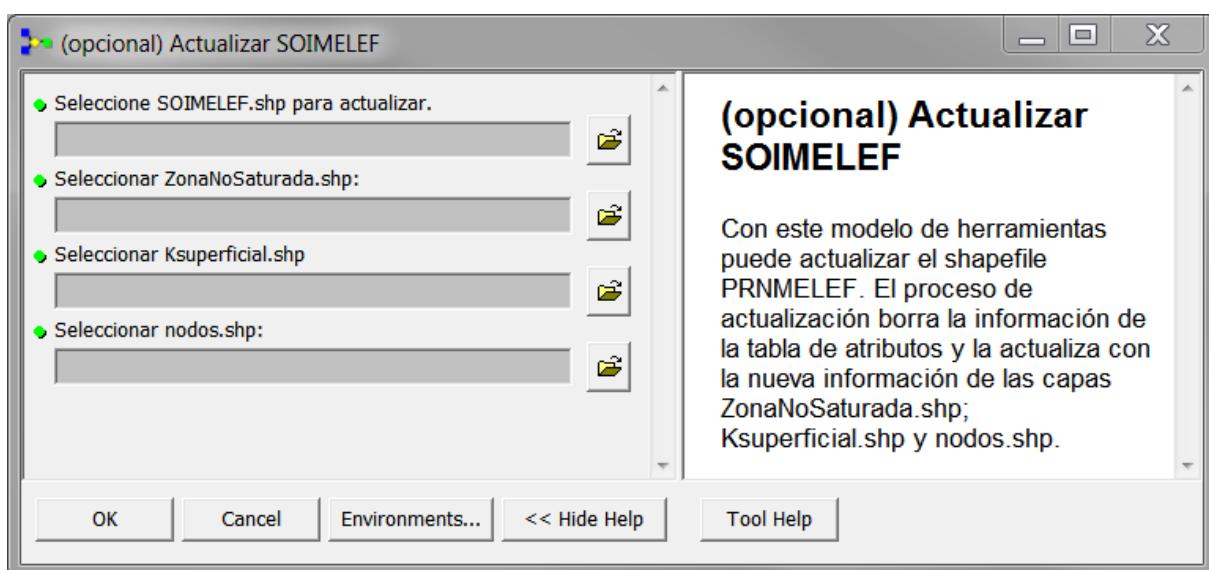


Figura C.24. Herramienta para actualizar cambios en el shapefile SOIMELEF.

En la Figura C.24:

1. **Seleccionar SOIMELEF.shp para actualizar**: seleccione la capa SOIMELEF.shp que desea actualizar.
2. **Seleccionar ZonaNoSaturada.shp**: seleccione la capa ZonaNoSaturada.shp para actualizar los cambios que esta puede tener o no en la capa SOIMELEF.shp.
3. **Seleccionar Ksuperficial.shp**: seleccione la capa Ksuperficial.shp para actualizar los cambios que esta puede tener o no en la capa SOIMELEF.shp.
4. **Seleccionar nodos.shp**: seleccione la capa nodos.shp que es la capa base que es intersecada con las capas anteriores para heredar sus propiedades y actualizar el fichero SOIMELEF.

4.2.2.2 2.1 Nuevo ZonaNoSaturada.shp

El objetivo de esta herramienta es generar un nuevo shapefile ZonaNoSaturada.shp con la estructura necesaria para almacenar ciertas propiedades del suelo.

Genere el nuevo shapefile y después durante el proceso de edición copie o pegue alguna capa de usos de suelo o de vegetación, y finalmente poder gestionar la configuración de los valores de las propiedades en la tabla de atributos.

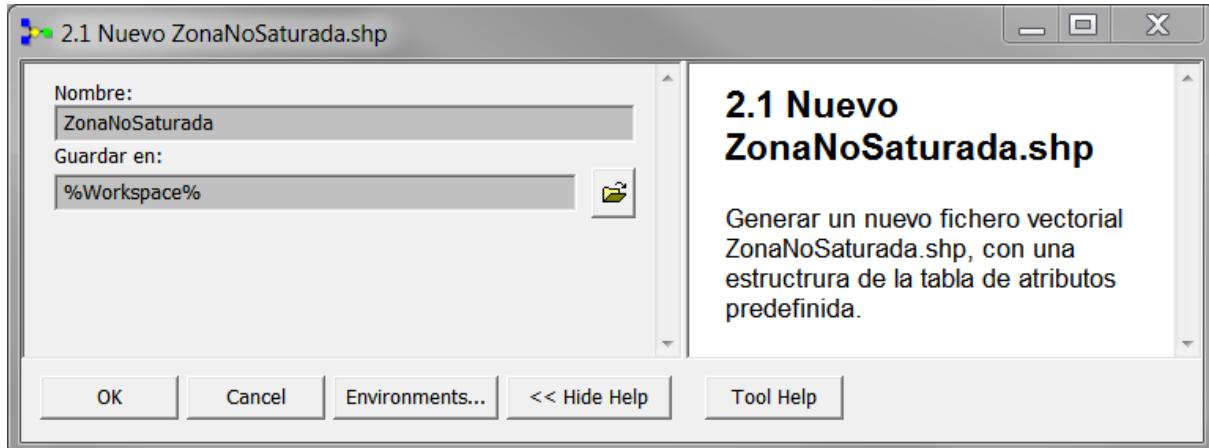


Figura C.25. Herramienta para generar un nuevo shapefile ZonaNoSaturada para gestionar propiedades del suelo.

En la Figura C.25:

1. Nombre: es recomendable utilizar el nombre por defecto puesto que algunas de las herramientas le pedirán esta capa haciendo referencia a este nombre.
2. Guardar en: ruta donde desea guardar la nueva capa, para no tener que definir cada vez la ruta donde se debe almacenar la capa se utiliza la variable %WorkSpace%, la cual almacena el directorio de trabajo de ArcMap y que puede modificar previamente para definir donde desea almacenar las capas de su proyecto.

4.2.2.3 2.2 Nuevo Ksuperficial.shp

El objetivo de esta herramienta es generar un nuevo shapefile KSUPERFICIE.shp con la estructura necesaria para almacenar la configuración de la conductividad hidráulica del medio superficial.

Genere el nuevo shapefile y después durante el proceso de edición genere las zonas con mayor o menor conductividad hidráulica superficial, y finalmente poder gestionar la configuración de los valores de esta propiedad en la tabla de atributos.

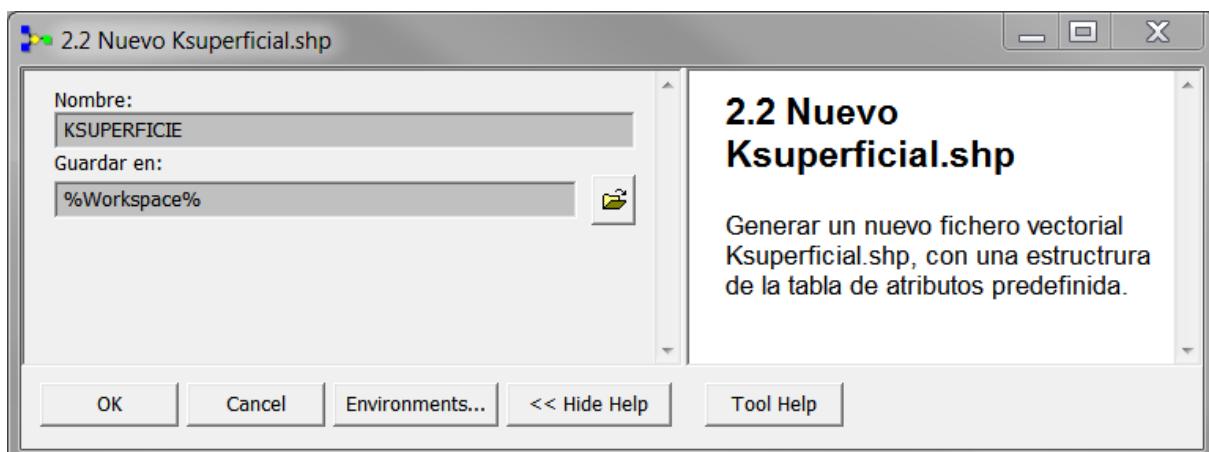


Figura C.26. Herramienta para generar un nuevo shapefile Ksuperficial para gestionar la conductividad hidráulica del medio superficial.

En la Figura C.26:

1. Nombre: es recomendable utilizar el nombre por defecto puesto que algunas de las herramientas le pedirán esta capa haciendo referencia a este nombre.
2. Guardar en: ruta donde desea guardar la nueva capa, para no tener que definir cada vez la ruta donde se debe almacenar la capa se utiliza la variable %WorkSpace%, la cual almacena el directorio de trabajo de ArcMap y que puede modificar previamente para definir donde desea almacenar las capas de su proyecto.

4.2.2.4 2.3 Generar SOIMELEF.shp

El objetivo de esta herramienta es intersecar la capa de nodos.shp con las capas ZonaNoSaturada.shp y Ksuperficial.shp para extraer sus propiedades y generar el shapefile SOIMELEF.shp.

Esta herramienta no puede generar dos shapefiles del mismo nombre, si desea actualizar algún cambio entonces implemente la herramienta [\(opcional\) Actualizar SOIMELEF.shp](#).

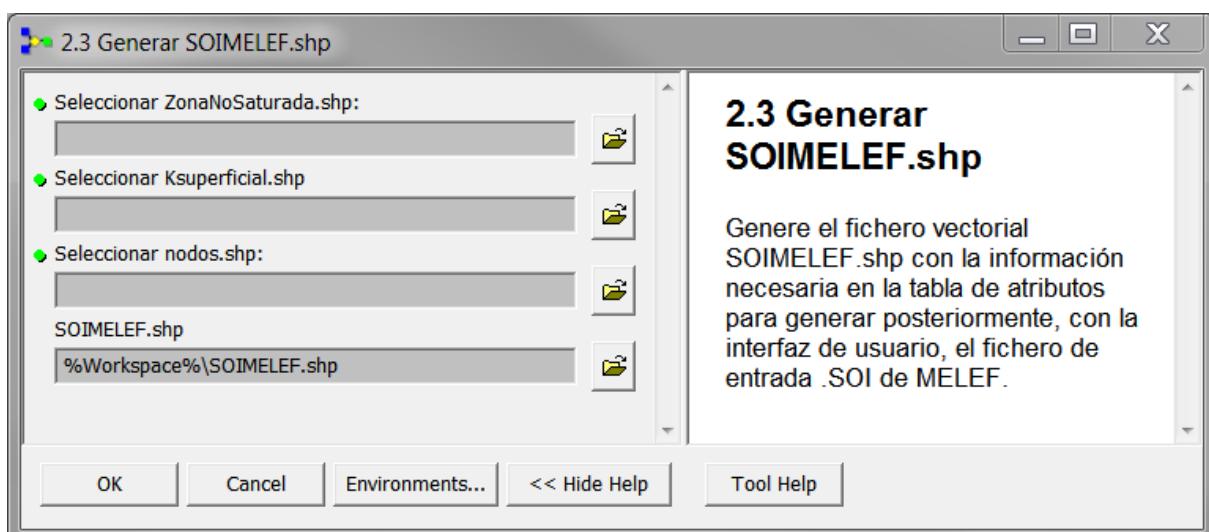


Figura C.27. Herramienta para generar el shapefile SOIMELEF.shp.

En la Figura C.27:

1. **Seleccionar ZonaNoSaturada.shp:** seleccione la capa ZonaNoSaturada con la configuración de los parámetros del suelo.
2. **Seleccionar Ksuperficial.shp:** seleccione la capa Ksuperficial con las conductividades hidráulicas del medio superficial.
3. **Seleccionar nodos.shp:** seleccione la capa de nodos que sirve como capa base para intersectar con las capas ZonaNoSaturada y Ksuperficial para heredar su información.
4. **SOIMELEF.shp:** es recomendable utilizar el nombre predefinido puesto que la interfaz de usuario le pedirá el fichero con este nombre para generar el fichero de entrada .SOI; la variable %WorkSpace% almacena el directorio de trabajo de ArcMap el cual puede modificar previamente.

4.2.3 3. Materiales - Sustrato I. (PRN)

Set de herramientas para gestionar las propiedades propiedades de los materiales y la topografía del fichero .PRN del modelo FreshWaterSheds.

4.2.3.1 (opcional) Actualizar PRNMELEF.shp

El objetivo de esta herramienta es actualizar los cambios realizados en alguna de las capas que sirven para generar el fichero PRNMELEF sin tener que modificar el nombre de la capa o generar una nueva.

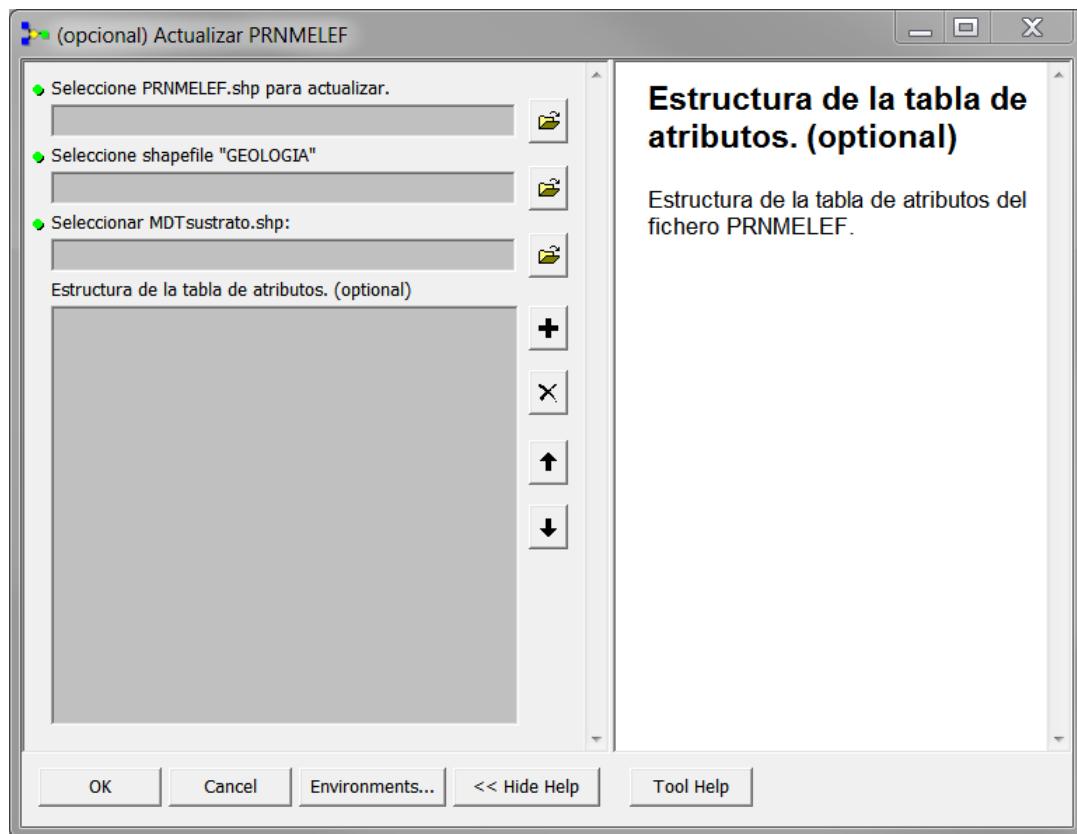


Figura C.28. Herramienta para actualizar cambios en el fichero PRNMELEF.

En la Figura C.28:

1. **Seleccionar PRNMELEF.shp para actualizar:** seleccione la capa PRNMELEF.shp que desea actualizar.
2. **Seleccionar shapefile "GEOLOGIA":** seleccione la capa GEOLOGIA.shp para actualizar los cambios que esta puede tener o no en la capa PRNMELEF.shp.

3. **Seleccionar MDTsustrato.shp:** seleccione la capa [MDTsustrato.shp](#) para actualizar los cambios que esta puede tener o no en la capa PRNMELEF.shp.
4. **Estructura de la tabla de atributos:** ventana que le permite modificar, si fuera necesario, la tabla de atributos del fichero PRNMELEF.

4.2.3.2 3.1 Crear Sustrato Impermeable

El objetivo de esta herramienta es [evaluar la posición del sustrato impermeable](#), restando de la topografía un valor constante, y suavizarlo implementando el método de interpolación de krigado.

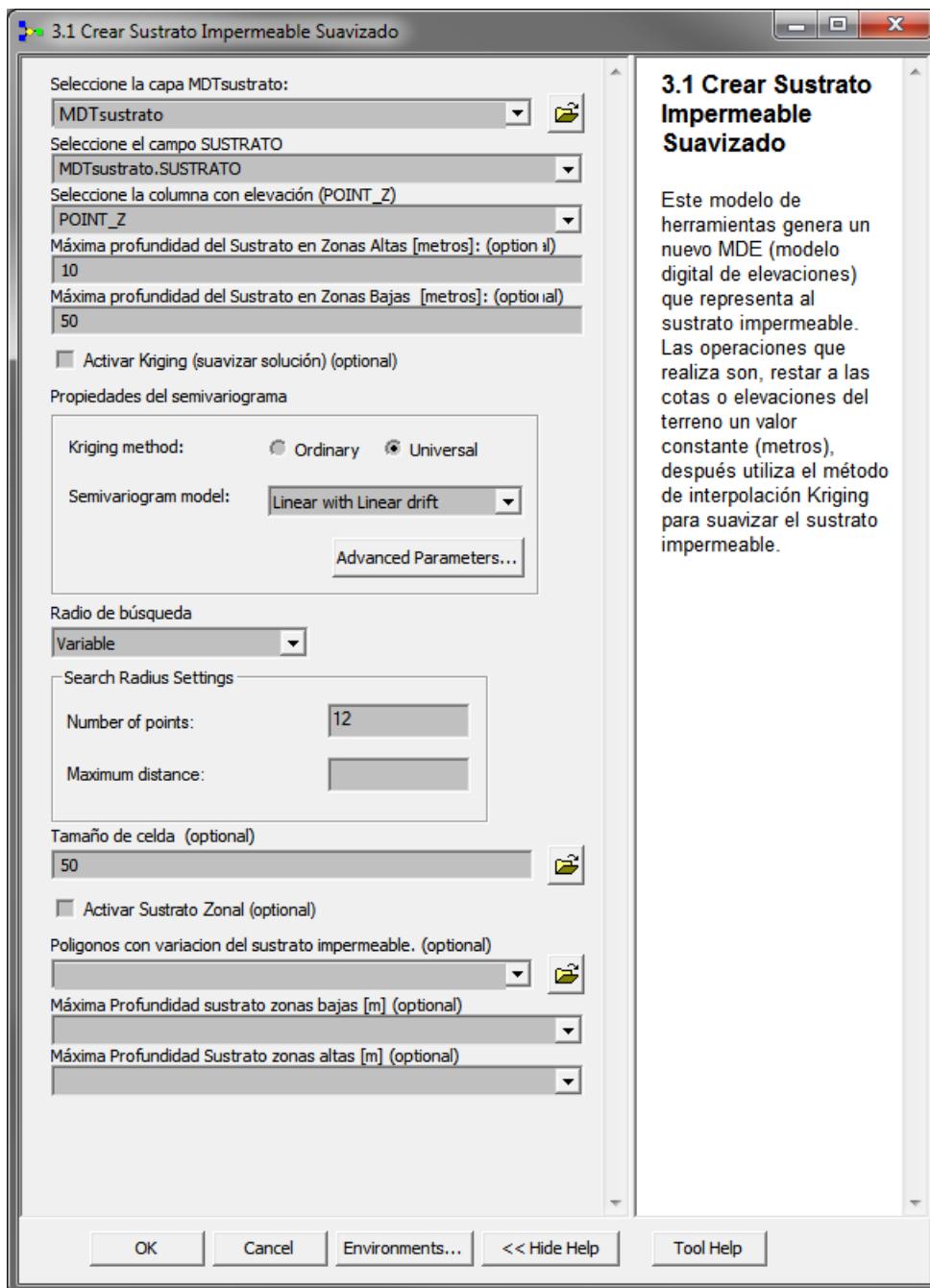


Fig. C.29. Generar sustrato impermeable.

En la figura C.29:

1. **Seleccionar MDTsustrato.shp:** seleccione la capa MDTsustrato.shp para cargar la información de la topografía.
2. **Seleccione el campo SUSTRATO:** la tabla de atributos de la capa MDTsustrato tiene una columna con el nombre SUSTRATO, seleccione esta columna empleando la pestaña desplegable, este campo estará vacío o no pero la herramienta se encargará de rellenarlo con la posición del sustrato impermeable.
3. **Seleccione la columna con elevación (POINT_Z):** la tabla de atributos de la capa MDTsustrato tiene una columna con el nombre POINT_Z, seleccione esta columna empleando la pestaña desplegable, este campo es la altura de referencia para los cálculos posteriores de la posición del sustrato impermeable.
4. **Máxima profundidad del Sustrato en Zonas Altas [metros]:** introduzca un valor en metros para indicar la profundidad del sustrato en zonas de mayor elevación topográfica.
5. **Máxima profundidad del Sustrato en Zonas Bajas [metros]:** introduzca un valor en metros para indicar la profundidad del sustrato en zonas de menor elevación topográfica.
6. **Activar Kriging (suavizar solución) (opcional):** Activa la herramienta de krigado para usarla como suavización del sustrato impermeable.
7. **Propiedades del semivariograma (opcional):**
 - Krigeado Universal: utilizado para interpolar en zonas donde la orografía es acusada, así como, la existencia de tendencias lineales o cuadráticas en las cotas (de mayor a menor altura en uno o varios ejes o sentidos).
 - Krigeado Ordinario: utilizado para interpolar zonas con una orografía llana y con poca o ninguna tendencia de disminución de elevaciones (de mayor a menor altura en uno o varios ejes o sentidos).
8. **Radio de búsqueda (opcional):** seleccione un radio de búsqueda variable o ajustado y defina lo siguiente:
 - Radio de búsqueda variable: defina un radio de búsqueda en función de un número determinado de nudos y con posibilidad de restringir la búsqueda en función de una distancia máxima.
 - Radio de búsqueda específico: defina un radio de búsqueda en arreglo a una distancia específica y con posibilidad de restringir la búsqueda en función de un número mínimo de nudos.
9. **Tamaño de celda (opcional):** el proceso de interpolación genera un Modelo Digital de Elevaciones del sustrato, defina el tamaño de celda de este MDE. Tenga en cuenta que un tamaño de celda mayor tiene un efecto mayor de suavización del sustrato.
10. **Polígonos con variación del sustrato impermeable (opcional):** selecciona una capa que defina a través de polígonos cómo varía la profundidad del sustrato impermeable.
11. **Máxima profundidad del Sustrato en Zonas Altas [metros]:** selecciona la columna del .shp de polígonos seleccionado en el punto 10 que contiene esta información.
12. **Máxima profundidad del Sustrato en Zonas Bajas [metros]:** en el mismo sentido que el punto anterior.

NOTAS PARA UN BUEN FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA

- Esta herramienta genera internamente una unión de tablas de atributos, entre la capa original y otra temporal, y para esta acción se requiere que las tablas estén indexadas, esto quiere decir que antes se debe cargar en ArcMap la capa MDTsustrato, y hasta entonces ejecutar la herramienta para generar el sustrato impermeable y seleccionar MDTsustrato desde la pestaña de capas. Entonces, evite ejecutar la herramienta seleccionando las capas o shapefiles desde el directorio (botón con la carpeta amarilla).

4.2.3.3 3.2 Nuevo Geología.shp

El objetivo de esta herramienta es generar un nuevo shapefile de GEOLOGIA.shp con la estructura necesaria para almacenar ciertas propiedades de los materiales.

Genere el nuevo shapefile y después durante el proceso de edición copie o pegue alguna capa de usos de geología, y finalmente poder gestionar la configuración de los valores de las propiedades en la tabla de atributos.

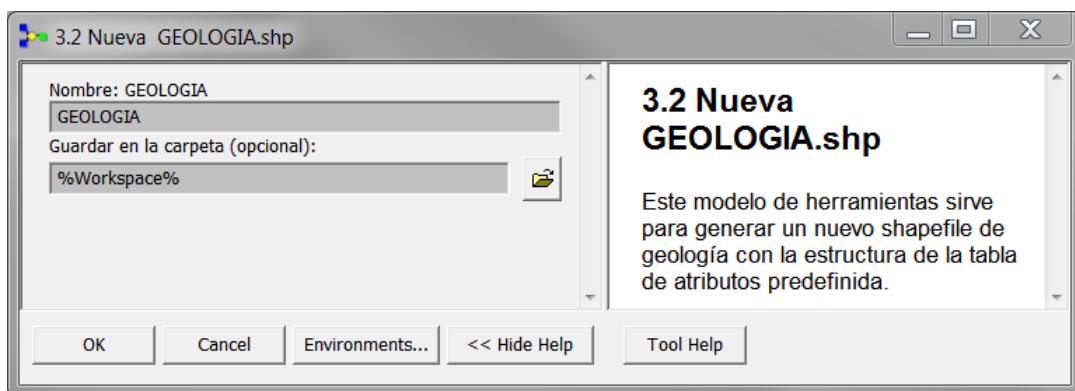


Figura C.30. Herramienta para generar un nuevo shapefile de GEOLOGIA.

En la Figura C.30:

1. **nombre:** es recomendable utilizar el nombre por defecto puesto que algunas de las herramientas le pedirán esta capa haciendo referencia a este nombre.
2. **Guardar en la carpeta:** ruta donde desea guardar la nueva capa, para no tener que definir cada vez la ruta donde se debe almacenar la capa se utiliza la variable %WorkSpace%, la cual almacena el directorio de trabajo de ArcMap y que puede modificar previamente para definir donde desea almacenar las capas de su proyecto.

4.2.3.4 3.3 Generar PRNMELEF.shp

El objetivo de esta herramienta es interseccar la capa de MDTsustrato.shp con la capa GEOLOGIA.shp para extraer sus propiedades y generar el shapefile PRNMELEF.shp.

Esta herramienta no puede generar dos shapefiles del mismo nombre, si desea actualizar algún cambio entonces implemente la herramienta [\(opcional\) Actualizar PRNMELEF.shp](#).

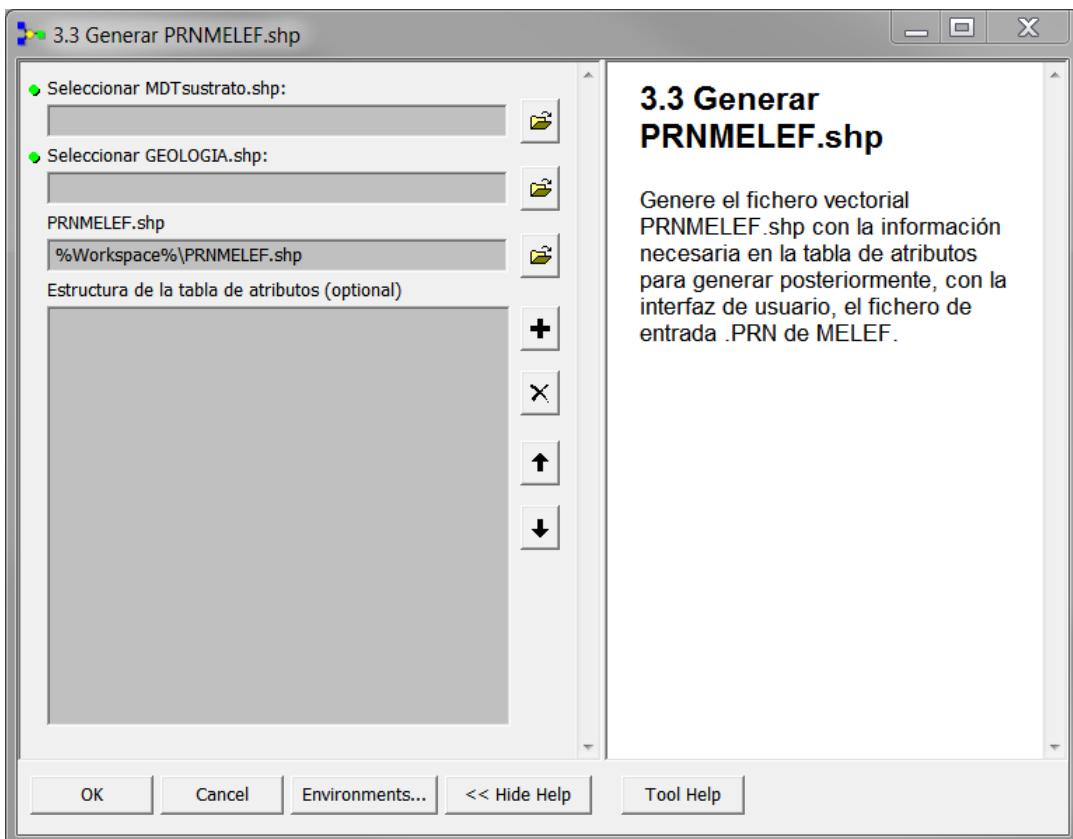


Figura C.31. Herramienta para generar el shapefile PRNMELEF

En la Figura C.31:

1. **Seleccionar MDTsustrato.shp:** seleccione la capa MDTsustrato con la información concerniente a la topografía.
2. **Seleccionar GEOLOGIA.shp:** seleccione la capa GEOLOGIA.shp con las propiedades de los materiales.
3. **PRNMELEF.shp:** es recomendable utilizar el nombre predefinido puesto que la interfaz de usuario le pedirá el fichero con este nombre para generar el fichero de entrada .PRN; la variable %WorkSpace% almacena el directorio de trabajo de ArcMap el cual puede modificar previamente.
4. **Estructura de la tabla de atributos:** ventana que le permite modificar, si fuera necesario, la tabla de atributos del fichero PRNMELEF.

4.2.4 4. Condiciones de contorno (CND - SLC)

Set de herramientas para gestionar las condiciones de contorno CND - SLC del modelo FreshWaterSheets.

4.2.4.1 (opcional) Actualizar CNDMELEF-SLCMELEF.shp

El objetivo de esta herramienta es actualizar los cambios realizados en alguna de las capas que sirven para generar el fichero CNDMELEF-SLCMELEF sin tener que modificar el nombre de la capa o generar una nueva.

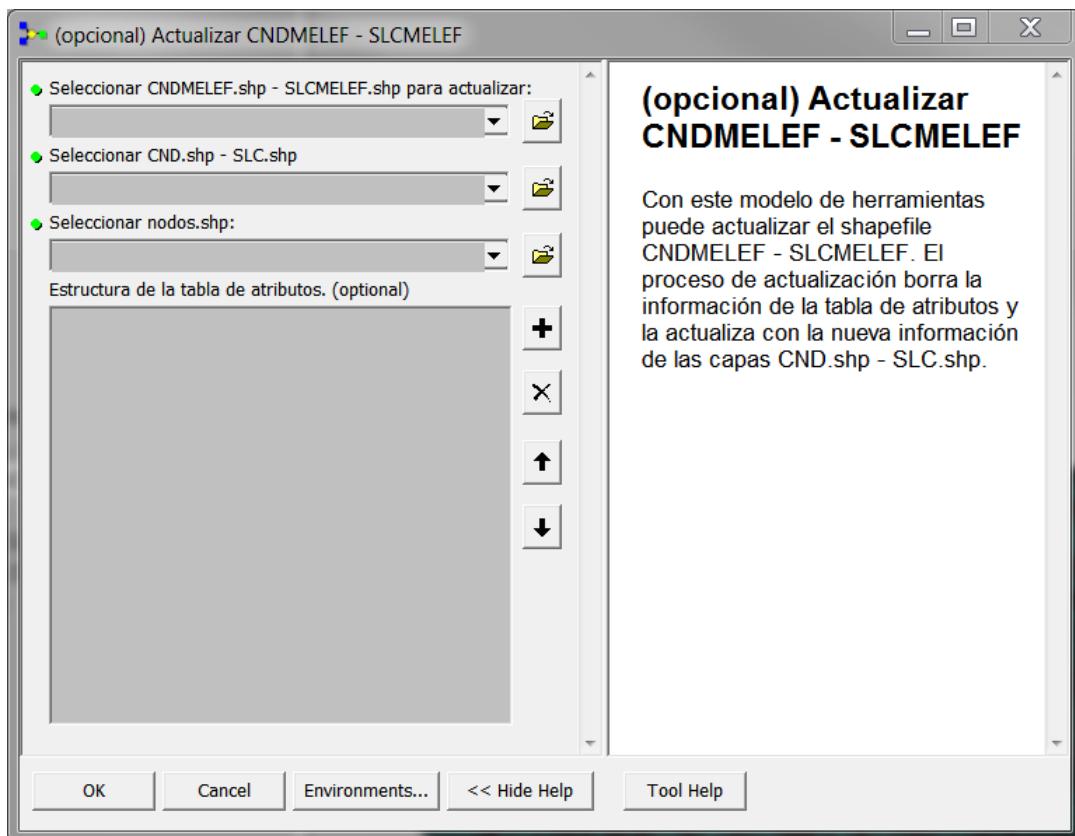


Figura C.32. Herramienta para actualizar los shapefiles CNDMELEF y SLCMELEF.

En la Figura C.32:

1. **Seleccionar CNDMELEF.shp - SLCMELEF para actualizar:** seleccione la capa CNDMELEF.shp - SLCMELEF que desea actualizar.
2. **Seleccionar CND.shp - SLC.shp:** seleccione la capa CND.shp - SLC.shp para actualizar los cambios que esta puede tener o no en la capa en CNDMELEF.shp - SLCMELEF.shp.
3. **Seleccionar nodos.shp:** seleccione la capa nodos.shp para actualizar los cambios que esta puede tener o no en la capa CNDMELEF.shp - SLCMELEF.shp.
4. **Estructura de la tabla de atributos:** ventana que le permite modificar, si fuera necesario, la tabla de atributos del fichero CNDMELEF.shp - CLSMELEF.shp.

4.2.4.2 4.1 Nuevo CND-SLC.shp

El objetivo de esta herramienta es generar un nuevo shapefile CND.shp - SLC.shp con la estructura necesaria para almacenar el tipo de condición de contorno o de recarga lateral puntual que desee imponer..

Genere el nuevo shapefile y después durante el proceso de edición dibuje un polígono sobre los nodos que tienen una condición de contorno, y finalmente poder gestionar los valores impuestos de la condición de contorno en la tabla de atributos.

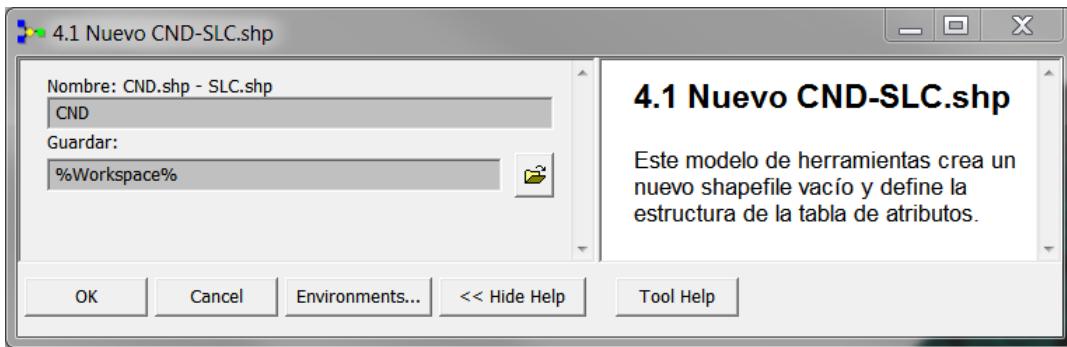


Figura C.33. Herramienta para generar un nuevo shapefile CND - SLC.

En la Figura C.33:

1. **nombre:** es recomendable utilizar el nombre por defecto puesto que algunas de las herramientas le pedirán esta capa haciendo referencia a este nombre.
2. **Guardar en la carpeta:** ruta donde desea guardar la nueva capa, para no tener que definir cada vez la ruta donde se debe almacenar la capa se utiliza la variable %WorkSpace%, la cual almacena el directorio de trabajo de ArcMap y que puede modificar previamente para definir donde desea almacenar las capas de su proyecto.

4.2.4.3 4.2 Generar CNDMELEF-SLCMELEF.shp

El objetivo de esta herramienta es interseccar la capa de nodos.shp con la capa CND-SLC.shp para extraer sus propiedades y generar el shapefile CNDMELEF - SLCMELEF.

Esta herramienta no puede generar dos shapefiles del mismo nombre, si desea actualizar algún cambio entonces implemente la herramienta [\(opcional\) Actualizar CNDMELEF-SLCMELEF.shp](#).

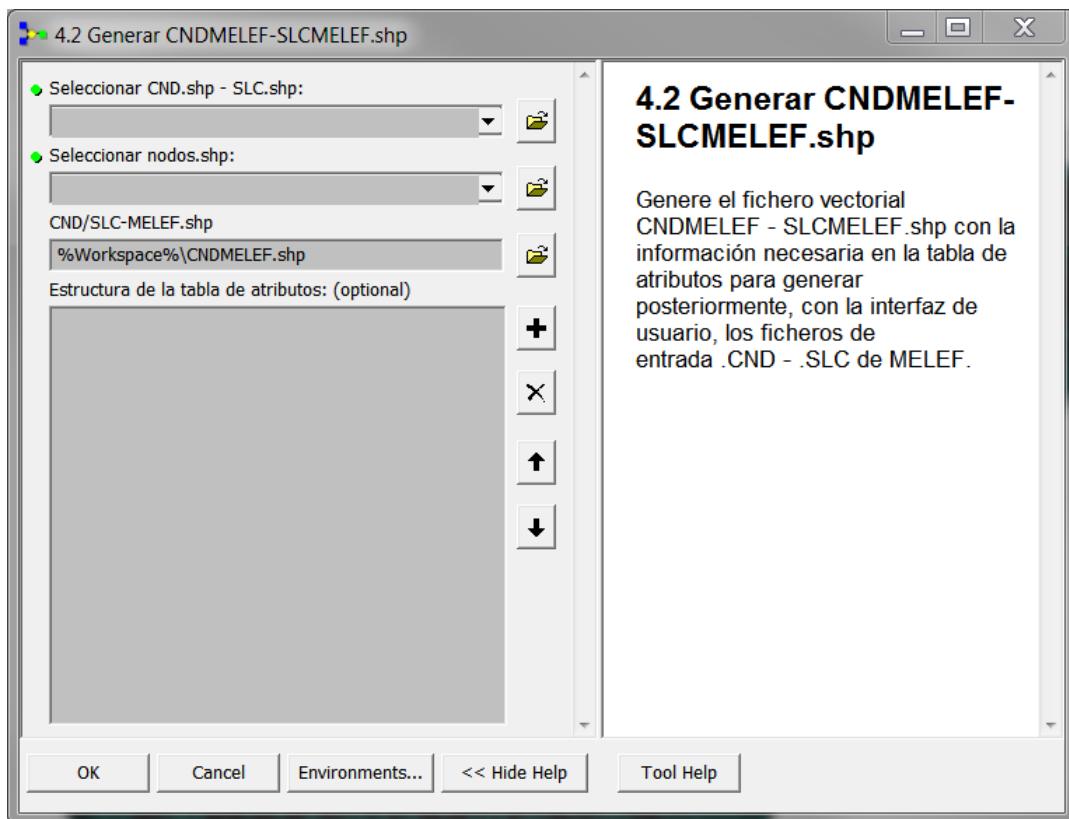


Figura C.34. Herramienta para generar los shapefiles CNDMELEF - CNDMELEF

En la Figura C.34:

1. **Seleccionar CND.shp - SLC.shp:** seleccione la capa CND.shp o SLC.shp con una condición de contorno.
2. **Seleccionar nodos.shp:** seleccione la capa nodos.shp con los nodos de la malla.
3. **CND/SLCMELEF.shp:** es recomendable utilizar el nombre predefinido, o el correspondiente a SLCMELEF, puesto que la interfaz de usuario le pedirá el fichero con este nombre para generar el fichero de entrada .CND o .SLC; la variable %WorkSpace% almacena el directorio de trabajo de ArcMap el cual puede modificar previamente.
4. **Estructura de la tabla de atributos:** ventana que le permite modificar, si fuera necesario, la tabla de atributos del fichero CNDMELEF-SLCMELEF.

4.2.5 5. Recarga y usos de agua (SLR)

Set de herramientas para gestionar las recargas, descargas e inyecciones de agua (solicitudes repartidas) del fichero .SLR del modelo FreshWaterSheds.

Genere el nuevo shapefile y después durante el proceso de edición dibuje un polígono sobre los nodos que tienen una condición de recarga o uso del agua (bombeo, derivación o inyección), en la tabla de atributos defina los [códigos de uso de SIG](#) y finalmente especifique si la condición tiene un [comportamiento transitorio](#) o no a traves del campo TIME_FILE.

4.2.5.1 (opcional) Actualizar SLRMELEF.shp

El objetivo de esta herramienta es actualizar los cambios realizados en alguna de las capas que sirven para generar el fichero SLRMELEF sin tener que modificar el nombre de la capa o generar una nueva.

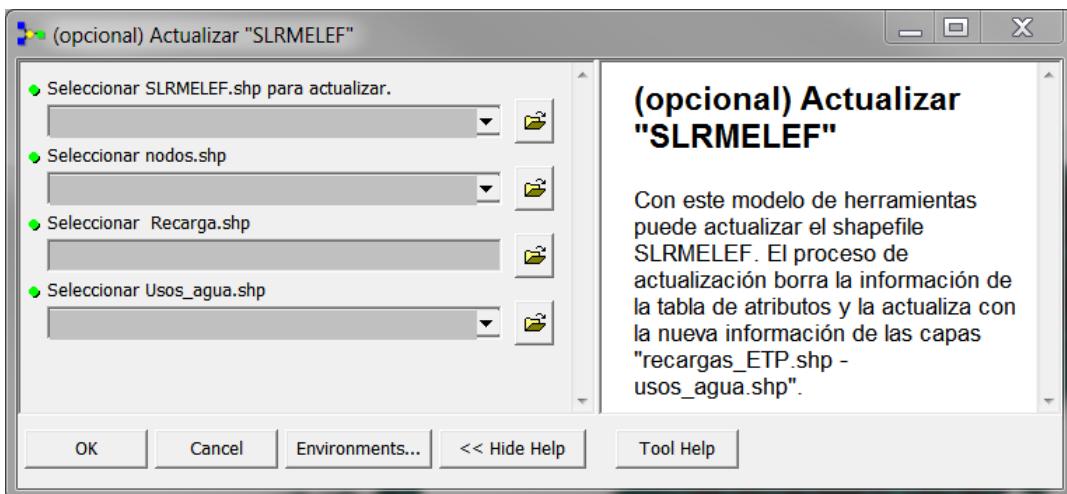


Figura C.35. Herramienta para actualizar el shapefile SLRMELEF.

En la Figura C.35:

1. **Seleccionar SLRMELF.shp para actualizar:** seleccione la capa SLRMELEF.shp que desea actualizar.
2. **Seleccionar nodos.shp:** seleccione la capa nodos.shp que sirve como capa base para intersecar con las capas de Recarga.shp y Usos_agua.shp y heredar sus propiedades.
3. **Seleccionar Recarga.shp:** seleccione la capa Recarga.shp para actualizar los cambios que esta puede tener o no en la capa SLRMELEF.shp.
4. **Seleccionar Usos_agua.shp:** seleccione la capa Usos_agua.shp para actualizar los cambios que esta pueda tener o no en la capa SLRMELEF.shp.

4.2.5.2 5.1 Nuevo Recarga - UsosAgua.shp

El objetivo de esta herramienta es generar un nuevo shapefile Recarga.shp - Usos_agua.shp con la estructura necesaria para almacenar las tasas de recarga por precipitación o regadío, así como los caudales de los diferentes usos del agua (bombeo - derivación - inyección).

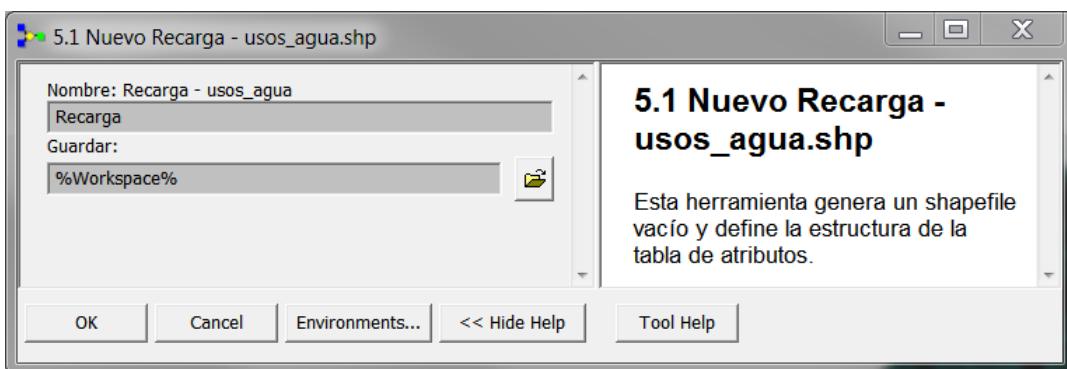


Figura C.36. Herramienta para generar un nuevo shapefile de Recarga - Usos_agua

En la Figura C.36:

1. **nombre:** es recomendable utilizar el nombre por defecto puesto que algunas de las herramientas le pedirán esta capa haciendo referencia a este nombre.
2. **Guardar en la carpeta:** ruta donde desea guardar la nueva capa, para no tener que definir cada vez la ruta donde se debe almacenar la capa se utiliza la variable %WorkSpace%, la cual almacena el di-

rectorio de trabajo de ArcMap y que puede modificar previamente para definir donde desea almacenar las capas de su proyecto.

4.2.5.3 5.2 Generar SLRMELEF.shp

El objetivo de esta herramienta es intersecar la capa de nodos.shp con la capa Recarga-usos_agua.shp para extraer sus propiedades y generar el shapefile SLRMELEF.

Esta herramienta no puede generar dos shapefiles del mismo nombre, si desea actualizar algún cambio entonces implemente la herramienta [\(opcional\) Actualizar SLRMELEF.shp](#).

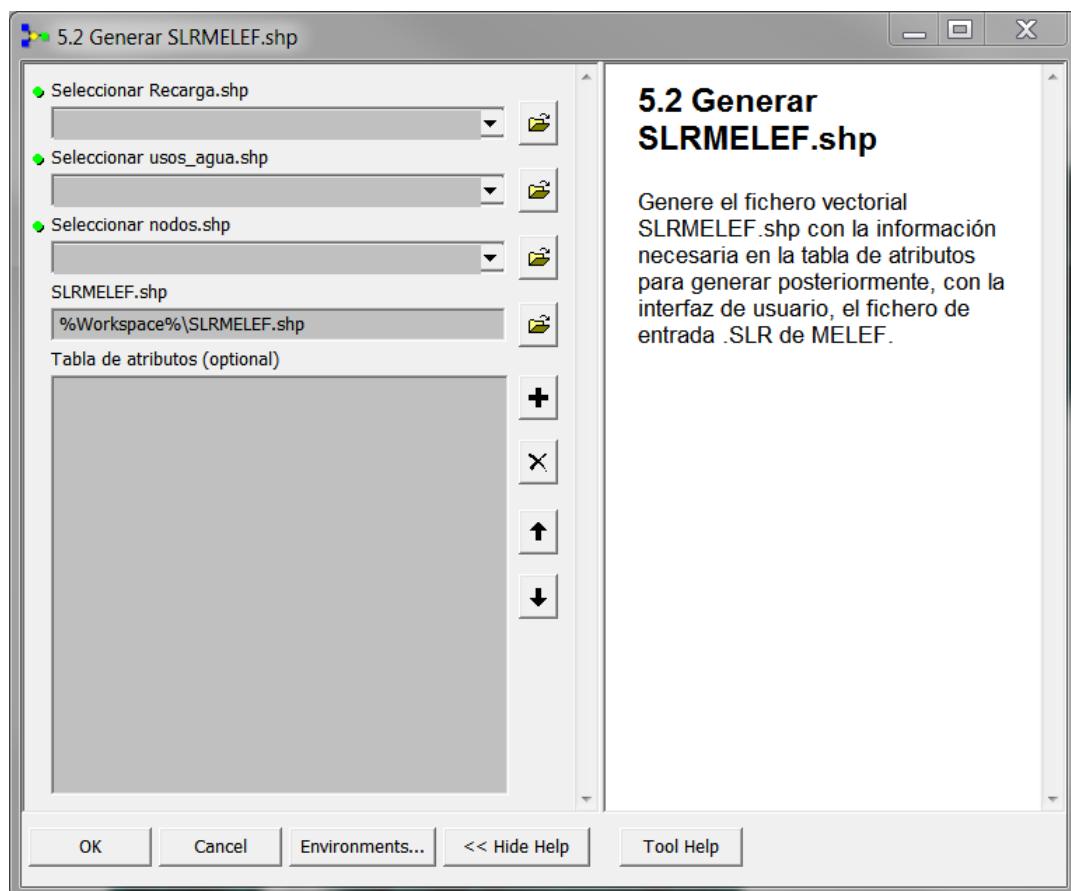


Figura C.37. Herramienta para generar el shapefile SLRMELEF.

En la Figura C.37:

1. **Seleccionar Recarga.shp:** seleccione la capa Recarga.shp con las recargas por lluvia o precipitación.
2. **Seleccionar Usos_agua.shp:** seleccione la capa Usos_agua.shp con las detacciones e inyecciones de agua.
3. **Seleccionar nodos.shp:** seleccione la capa de nodos que sirve como capa base para intersectar con las capas Recarga y Usos_agua para heredar su información.
4. **SLRMELEF.shp:** es recomendable utilizar el nombre predefinido puesto que la interfaz de usuario le pedirá el fichero con este nombre para generar el fichero de entrada .SLR; la variable %WorkSpace% almacena el directorio de trabajo de ArcMap el cual puede modificar previamente.
5. **Estructura de la tabla de atributos:** ventana que le permite modificar, si fuera necesario, la tabla de atributos del fichero SLRMELEF.

4.2.6 6. Secciones de aforo (SEC)

Set de herramientas para gestionar las secciones de aforo del fichero .SEC del modelo FreshWaterShe ds.

Genere el nuevo shapefile y después durante el proceso de edición dibuje una poli-línea cuyos vértices deben situarse cerca o sobre un nodo de la malla. Con ayuda de los elementos triangulares es posible determinar las rutas posibles para trazar las poli-líneas, en este sentido, es necesario poner un vértice de la poli-línea por cada vértice de un polígono y así de forma continua hasta terminar de trazar la sección de aforo. Trace siempre las secciones desde la margen derecha a la margen izquierda.

4.2.6.1 (opcional) Actualizar SECMELEF.shp

El objetivo de esta herramienta es actualizar los cambios realizados en las secciones de aforo del fichero SECMELEF sin tener que modificar el nombre de la capa o generar una nueva.

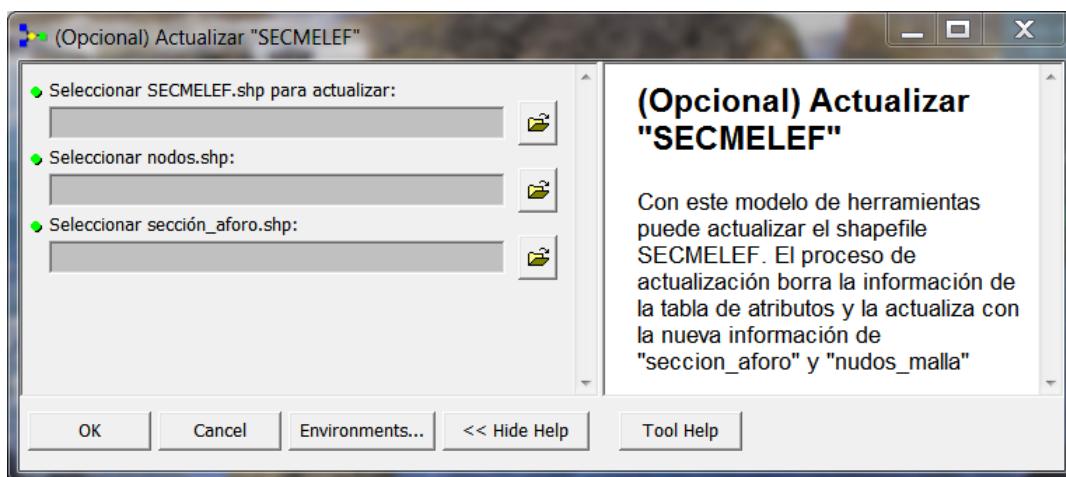


Figura C.38. Herramienta para actualizar el fichero SECMELEF.

En la Figura C.38:

1. **Seleccionar SECMELEF.shp para actualizar:** seleccione la capa SECMELEF.shp que desea actualizar.
2. **Seleccionar nodos.shp:** seleccione la capa nodos.shp que sirve para realizar una búsqueda del nodo más cercano a cada uno de los vértices de las secciones dibujadas en el fichero sección_aforo.shp.
3. **Seleccionar sección_aforo.shp:** seleccione el shapefile de poli-líneas con las secciones de aforo sección_aforo.shp.

4.2.6.2 6.1 Nuevo SeccionesAforo.shp

El objetivo de esta herramienta es generar un nuevo shapefile Seccion_Aforo.shp con la estructura necesaria para almacenar las poli-lineas que representan las secciones de aforo donde el modelo FreshWaterSheds evaluará el flujo que pasa para los medios subterráneo, subálveo y superficial.

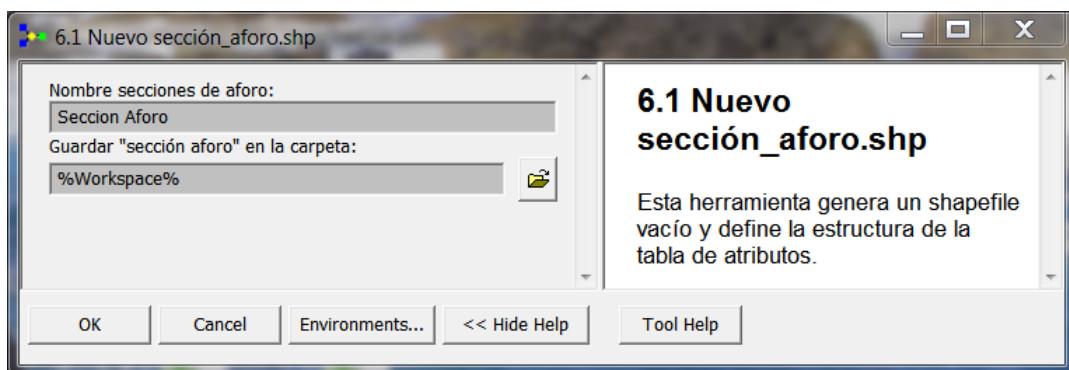


Figura C.39. Herramienta para generar un nuevo shapefile Seccion_Aforo.shp.

En la Figura C.39:

1. **nombre:** es recomendable utilizar el nombre por defecto puesto que algunas de las herramientas le pedirán esta capa haciendo referencia a este nombre.
2. **Guardar en la carpeta:** ruta donde desea guardar la nueva capa, para no tener que definir cada vez la ruta donde se debe almacenar la capa se utiliza la variable %WorkSpace%, la cual almacena el directorio de trabajo de ArcMap y que puede modificar previamente para definir donde desea almacenar las capas de su proyecto.

4.2.6.3 6.2 Generar SECMELEF.shp

El objetivo de esta herramienta es buscar el nodo más cercanos a los vértices de las polí-lineas y después generar un nuevo shapefile SECMELEF.shp con los nodos más cercanos.

Esta herramienta no puede generar dos shapefiles del mismo nombre, si desea actualizar algún cambio entonces implemente la herramienta [\(opcional\) Actualizar SECMELEF.shp.](#)

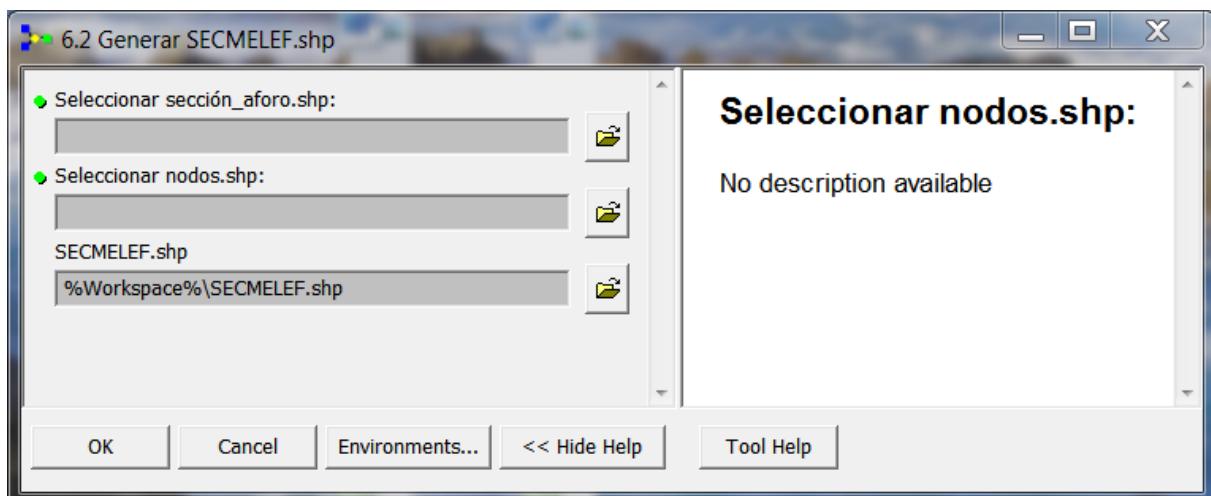


Figura C.40. Herramienta para generar el shapefile SECMELEF.

En la Figura C.40:

1. **Seleccionar sección_aforo.shp:** seleccione la capa sección_aforo.shp con las polí-lineas que representan las secciones de aforo.
2. **Seleccionar nodos.shp:** seleccione la capa nodos.shp con los nodos de la malla.

3. **SECMELEF.shp:** es recomendable utilizar el nombre predefinido, o el correspondiente a SECMELEF, puesto que la interfaz de usuario le pedirá el fichero con este nombre para generar el fichero de entrada .SEC; la variable %WorkSpace% almacena el directorio de trabajo de ArcMap el cual puede modificar previamente.

4.2.7 Utilidades

4.2.7.1 Ajustar Espesor de Suelo

4.2.7.1.1 Ajustar por Pendiente - Vegetación

Esta herramienta realiza un ajuste del espesor de suelo en función de la pendiente, de la vegetación y de la posición en la ladera. Partiendo de valores conocidos de espesores máximos y mínimos. La información que requiere es una superficie con la elevación del terreno, de espesores máximos y mínimos del suelo y el factor de vegetación.

Para profundizar más en los procesos que definen el espesor de suelo en una ladera consulte el apartado de [ajuste de espesor de suelo por pendiente-vegetación-ladera](#).

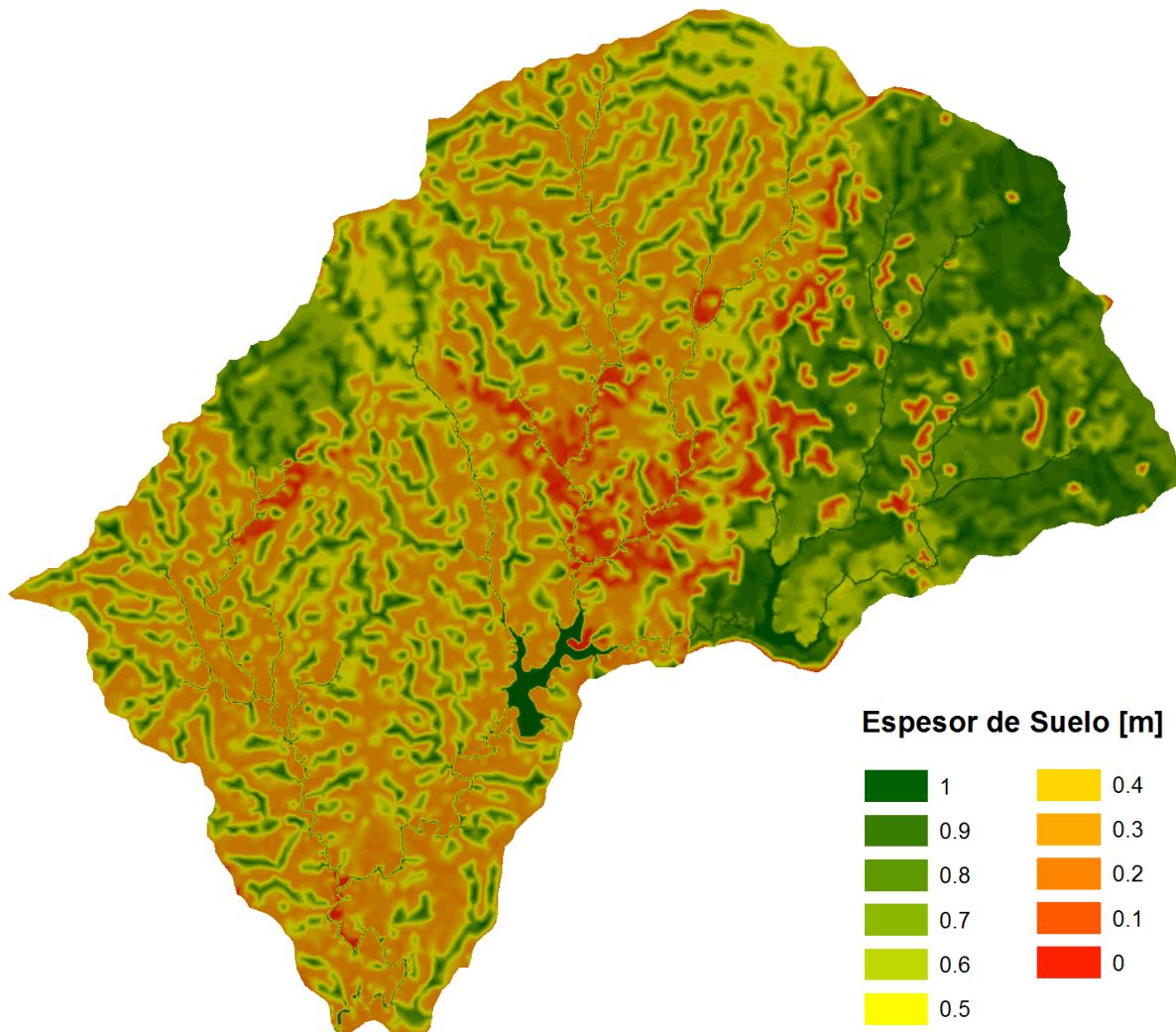


Figura C.41. Ejemplo de un mapa de espesores de suelo evaluado con la herramienta en una cuenca.

$$ES = ES_{\min} + (ES_{\max} - ES_{\min}) \times \cos(\phi \times \pi / 180) \times (F_{ladera} + (1 - F_{ladera}) \times F_{veg})$$

ES = Espesor del suelo [metros]

ES_{\min} = Espesor mínimo del suelo [metros]

ES_{\max} = Espesor máximo del suelo [metros]

ϕ = Ángulo de la pendiente en la ladera [grados]

F_{veg} = Factor de vegetación con rango de valores entre 0 -1. Valores próximos a uno supondrá espesores de suelo próximos al valor máximo, y valores próximos a cero supondrá espesores de suelo próximos al valor mínimo.

F_{ladera} = Factor respecto de la posición en la ladera, cuanto más próximo se este a la divisoria este valor tenderá a cero, mientras que al pie de ladera este valor tenderá a uno. Este factor se ve modificado por la presencia de vegetación, lo que puede modificar las tendencias antes mencionadas respecto de la posición en la ladera. Así por ejemplo, para un factor de vegetación igual a 1

en la divisoria de ladera implicará que hay suficiente suelo para mantener a dicha vegetación y el espesor será próximo a ES_{max} .

4.2.7.2 Ajustar tasa de infiltración

Este apartado esta en desarrollo

4.2.7.3 Generar ficheros de simulación

Set de herramientas de escritura de ficheros de simulación de MELEF desarrolladas en Python 2.4.

Es posible que estas herramientas requieran de ArcGIS 9.3.1 Service Pack 2 o de una versión superior para su correcto funcionamiento.

4.2.7.3.1 Generar fichero .COR de MELEF

El objetivo de esta herramienta es generar un nuevo fichero de simulación .COR de MELEF. Emplee esta herramienta para actualizar posibles cambios en la ubicación de los nodos de la malla hechos desde SIG en el fichero de coordenadas del modelo numérico.

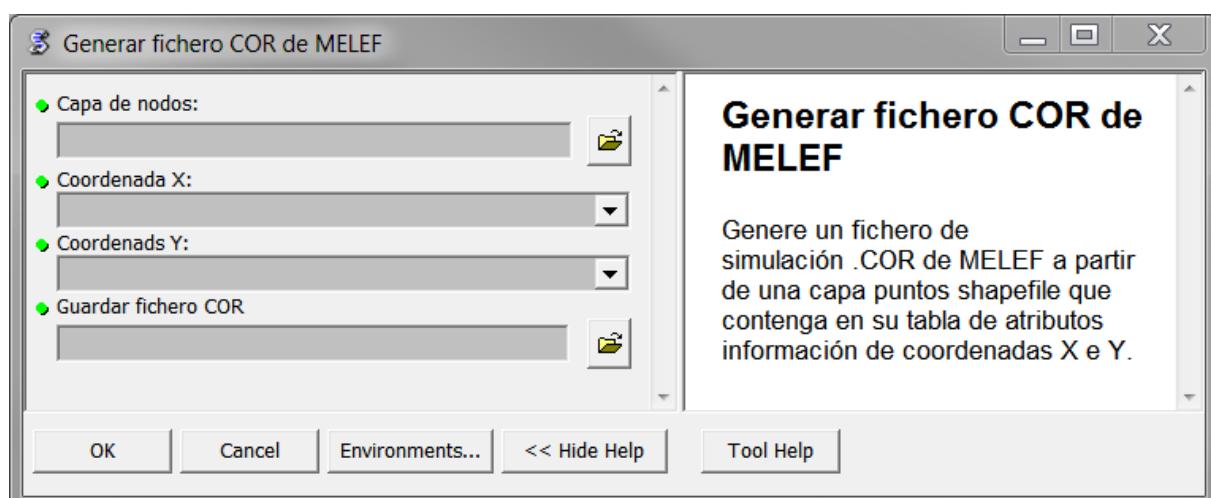


Figura C.42. Herramienta para generar un nuevo fichero de simulación .COR de MELEF.

En la Figura C.42:

1. **Capa de nodos:** seleccione una capa de puntos que tenga en su tabla de atributos información de las coordenadas X e Y de los nodos.
2. **Coordenada X:** seleccione la columna de la tabla de atributos que contiene la información de las coordenadas X.
3. **Coordenadas Y:** seleccione la columna de la tabla de atributos que contiene la información de las coordenadas Y.
4. **Guardar fichero COR:** seleccione la ruta donde desea almacenar el fichero de simulación .COR de MELEF.

4.2.7.3.2 Generar fichero .INI de MELEF

El objetivo de esta herramienta es generar un nuevo fichero de simulación .COR de MELEF. Emplee esta herramienta para actualizar posibles cambios en la ubicación de los nodos de la malla hechos desde SIG en el fichero de coordenadas del modelo numérico.

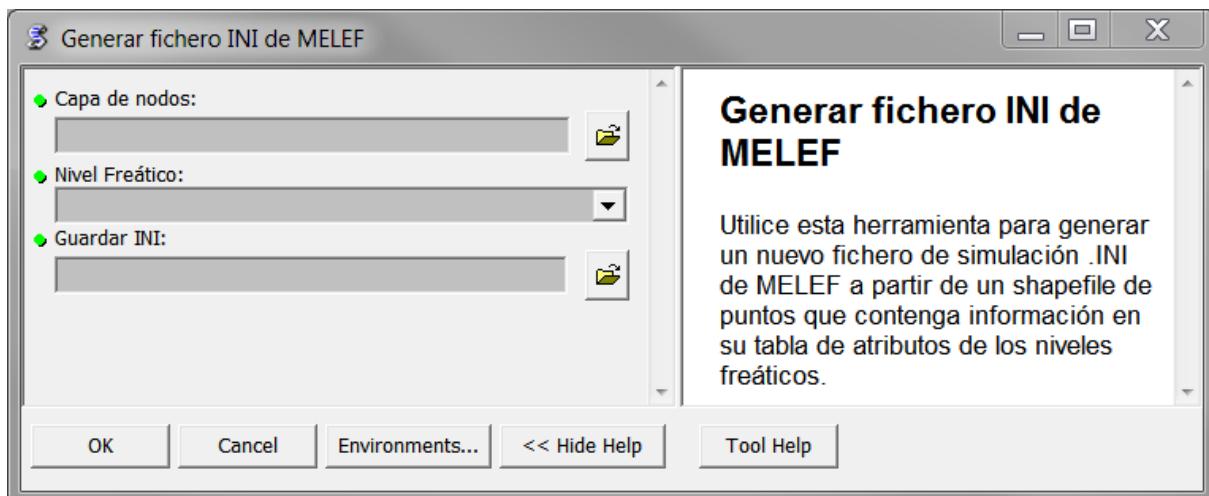


Figura C.43. Herramienta para generar un nuevo fichero de simulación .INI de MELEF.

En la figura C.43:

1. **Capa de nodos:** seleccione una capa de puntos que tenga en su tabla de atributos información de la posición del nivel freático en cada nodo.
2. **Nivel FReático:** seleccione la columna de la tabla de atributos que contiene la información del nivel freático.
3. **GuardarINI:** seleccione la ruta donde desea almacenar el fichero de simulación .INI de MELEF.

4.2.7.4 Hidrología

4.2.7.4.1 (Opcional) Hipsometría

El objetivo de esta herramienta es generar un fichero DBF (formato para abrir con Excel) que contenga la información necesaria para generar las curvas hipsométricas para el MDE que se haya seleccionado.

Para un buen funcionamiento de la herramienta el MDE (o MDT) debe ser del área en la que se realizará el análisis hipsométrico. Para ello, puede recortar el ráster con la cuenca (capa de polígonos) mediante la herramienta *Clip (Data Management)*.

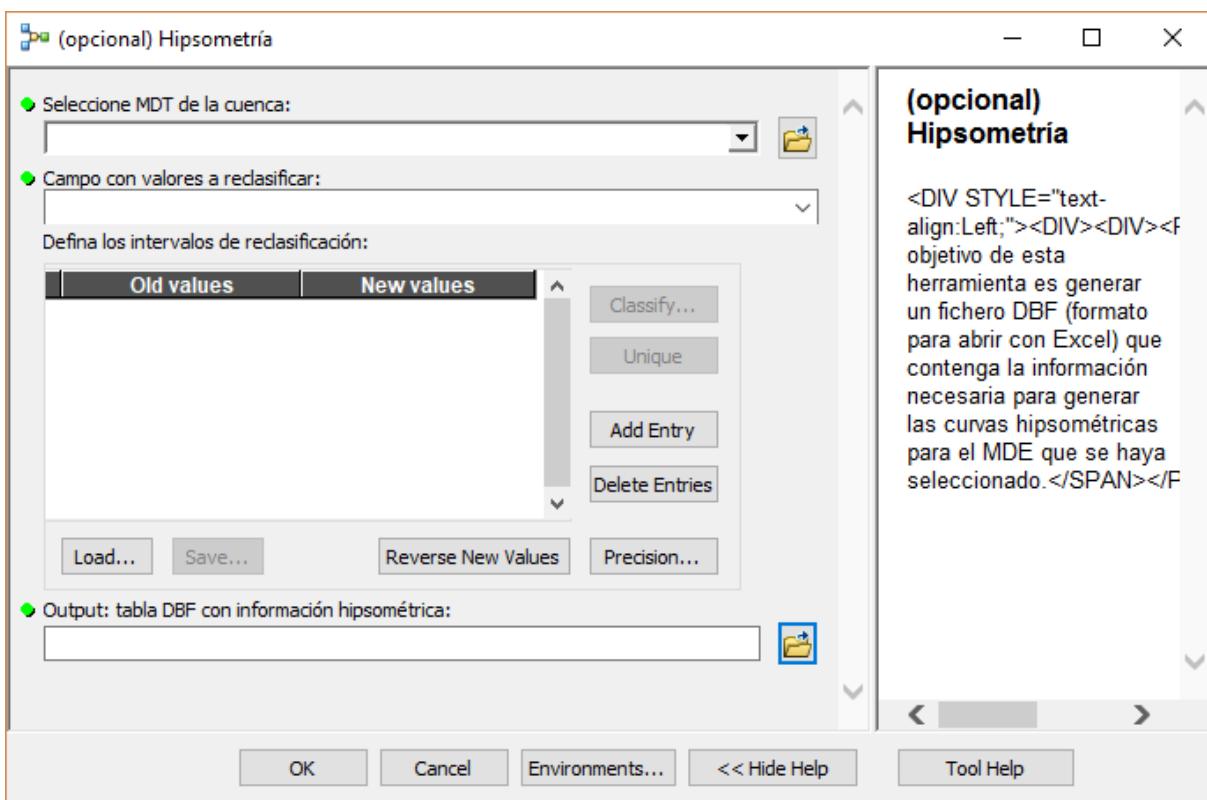


Figura C.44. Herramienta para realizar análisis de hipsometría.

En la Figura C.44:

1. **Seleccione el MDT de la cuenca:** seleccione un Modelo Digital de Elevaciones en formato ráster de la cuenca
2. **Campo con valores a reclasificar:** los ráster generalmente almacenan la información de elevación en la variable "Elevation".
3. **Output: tabla DBF con información hipsométrica:** Defina donde desea guardar la información para generar la curva hipsométrica que se almacena en una tabla DBF.

4.2.7.4.2 (Opcional) Obtener Isocronas

Esta herramienta tiene por objetivo generar un ráster cuyas celdas tienen por valor el tiempo (en minutos) necesario para que una partícula de agua que discurre desde esta celda alcance el punto de salida de la cuenca.

A partir del ráster de tiempos se pueden generar isocronas que sirven para evaluar tiempos de concentración de la cuenca.

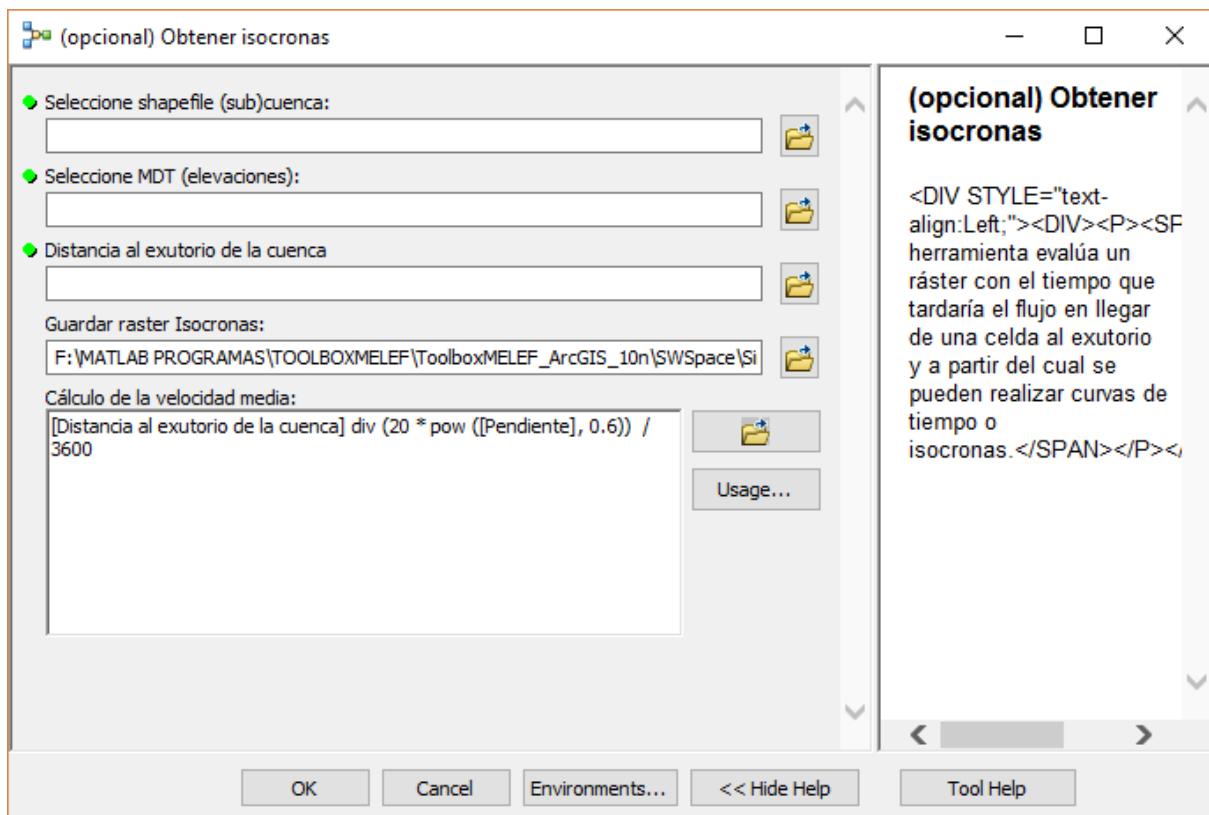


Figura C.45. Herramienta para generar un ráster de tiempos necesarios por cada píxel para alcanzar el exutorio de la cuenca.

En la Figura C.45:

1. **Seleccione shapefile (sub)cuenca:** seleccione un shapefile de polígonos con la subcuenca a analizar.
2. **Seleccione MDT (elevaciones):** seleccione el ráster con información de elevación del terreno.
3. **Distancia al exutorio de la cuenca:** seleccione el ráster con información de distancia al exutorio de la cuenca. Este ráster se obtiene con la herramienta para generar una cuenca a partir de un punto del Toolbox MELEF.
4. **Guardar ráster de Isocronas:** defina la ruta donde guardar el ráster con los tiempos de viaje que tomaría desde cada celda al exutorio de la cuenca.
5. **Cálculo de la velocidad media:** ecuación que es utilizada para evaluar el tiempo en minutos requerido para alcanzar desde cada celda del ráster el exutorio.

4.2.7.4.3 (Opcional) Obtener MDT raster desde ASCII

Esta herramienta permite importar un fichero de texto con información de elevación para generar un ráster. El arreglo de columnas [X Y Z] debe ser separadas por tabulaciones, sin cabeceras y puede contener información tipo float.

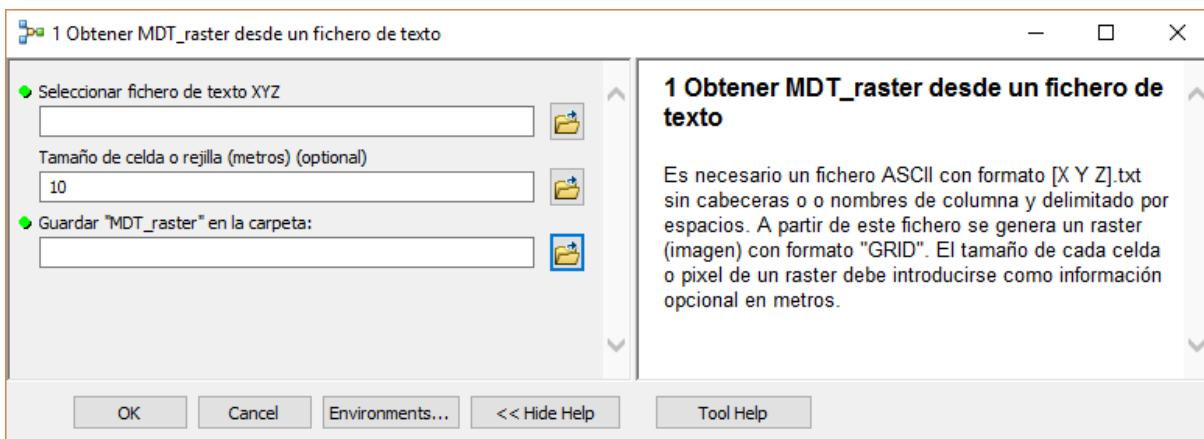


Figura C.46. Herramienta para importar un fichero ASCII en formato XYZ y generar un MDE ráster.

En la Figura C.46:

1. **Seleccionar fichero de texto XYZ**: seleccione el fichero de texto que contiene información arreglada en formato XYZ.
2. **Tamaño de celda o rejilla (metros)**: defina el tamaño de celda del ráster que va a ser generado.
3. **Guardar "MDT_raster" en la carpeta**: defina la carpeta y el nombre del fichero que va a ser generado.

4.2.7.4.4 1. Flow Accumulation and Flow Direction

Esta herramienta tiene por objetivo generar los ráster de dirección y acumulación de flujo necesarios para poder delimitar la red de ríos y la cuenca.

El proceso inicia con el llenado de huecos que contenga el ráster para asegurar la correcta evaluación de la dirección del flujo.

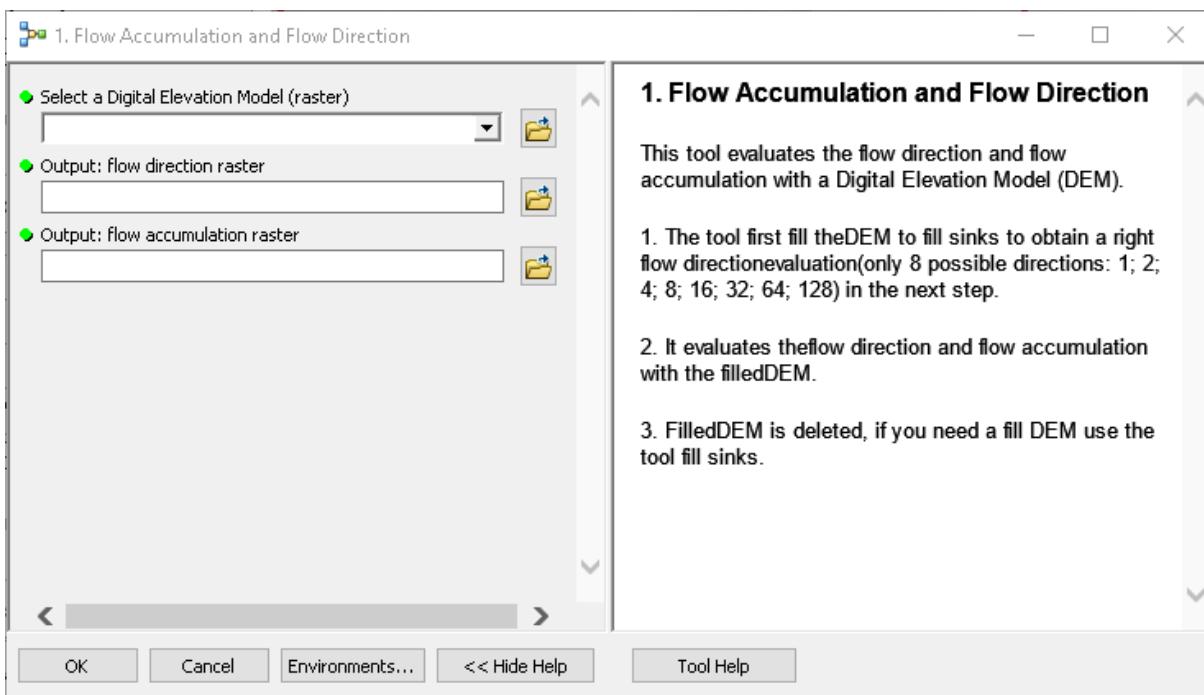


Figura C.47. Herramienta para obtener la red de ríos a partir de un MDT ráster.

En la Figura C.47:

1. **Select a Digital Elevation Model (raster)**: seleccione el ráster MDE/MDT con información de la elevación del terreno.
2. **Output: flow direction raster**: defina la carpeta/geodatabase y el nombre del ráster que va a ser generado. Este ráster es de utilidad para evaluar la cuenca a partir de un punto.
3. **Output: flow accumulation raster**: defina la carpeta/geodatabase y el nombre del ráster que va a ser generado. Este ráster es de utilidad para evaluar la cuenca a partir de un punto.

4.2.7.4.5 2. Streams definition

Esta herramienta permite re-clasificar el ráster de acumulación de flujo para definir la red de ríos.

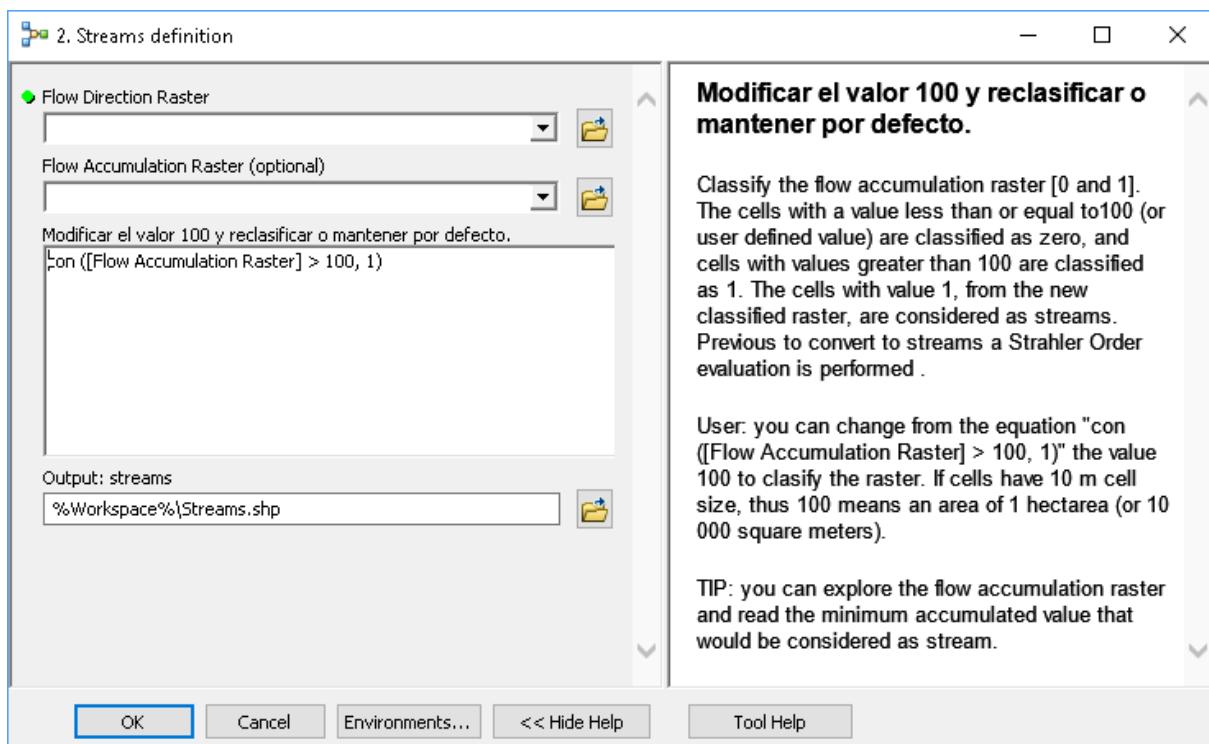


Figura C.48. Herramienta para obtener la red de ríos a partir de un MDT ráster y el ráster de acumulación de flujo.

En la Figura C.48:

1. **Flow Direction Raster**: seleccione el ráster de dirección de flujo generado por la herramienta *Flow Accumulation and Flow Direction*.
2. **Flow Accumulation Raster**: seleccione el ráster de acumulación de flujo generado por la herramienta *Flow Accumulation and Flow Direction*.
3. **Modificar el valor 100 y reclasificar o mantener por defecto**: el valor 100 observado en la ecuación es el número de celdas que es considerado como superficie de acumulación a partir de la cual se comienza a considerar la red de ríos. Por ejemplo, si el tamaño de celda es de 10 m entonces la superficie utilizada sería de 100 celdas * (10 m x 10 m) = 10,000 m² o 1 hectárea.
4. **Output: streams**: defina la carpeta/geodatabase y el nombre de la red de ríos que va generar.

4.2.7.4.6 3. Watershed delineation

Esta herramienta tiene por objetivo obtener la cuenca de captación a partir de una capa de puntos (pueden ser más de un puntos y determinar más de una cuenca).

Es necesario generar una nueva capa de puntos y editarla para dibujar un punto, o más de uno si requiere más de una cuenca, sobre algún tramo de la red de ríos para evaluar la superficie de captación de agua, o subcuenca, hasta ese punto de cierre.

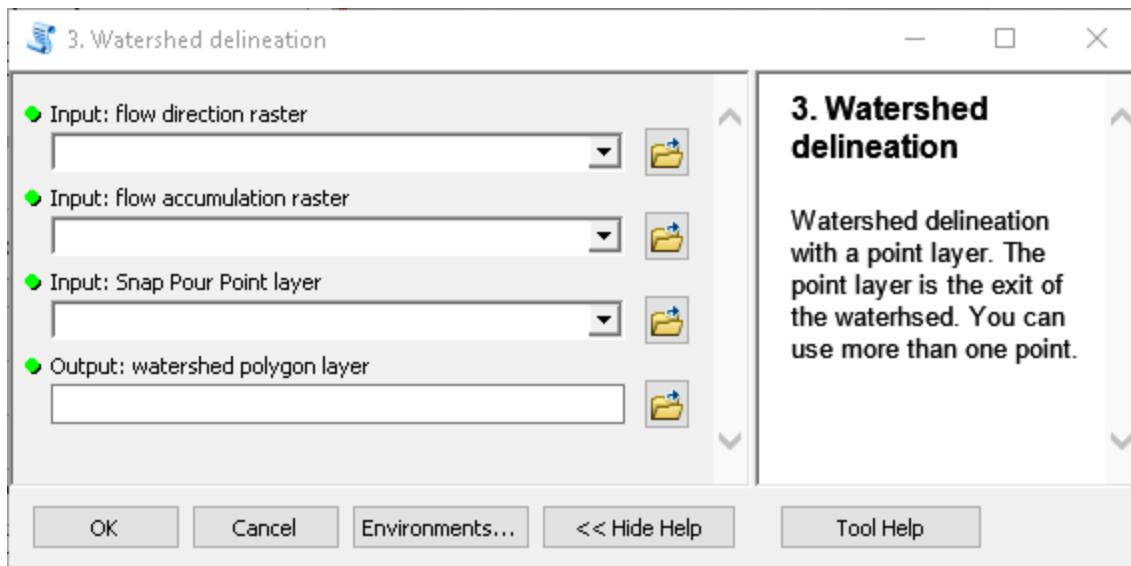


Figura C.49. Herramienta para generar la superficie de captación, o subcuenca, a partir de un punto dibujado sobre el río más próximo a la zona de interés.

En la Figura C.49:

1. **Input: flow direction raster:** seleccione el ráster sentido de flujo generado por la herramienta *Flow Accumulation and Flow Direction*.
2. **Input: flow accumulation:** seleccione el ráster de acumulación de flujo generado por la herramienta *Flow Accumulation and Flow Direction*.
3. **Input: Snap Pour Point Layer:** seleccione una capa (de puntos) que defina con un punto, o más de uno, el lugar de cierre para delimitar el área de captación.
4. **Output: watershed polygon layer:** defina la carpeta/geodatabase y el nombre de la capa de polígono (cuenca) que va a ser generado.

4.2.7.5 Reacondicionamiento MDE y Malla

Set de herramientas de reacondicionamiento del Modelo Digital de Elevaciones previo a la generación de la malla por elementos finitos triangulares, herramientas desarrolladas en Python 2.4.

Es posible que estas herramientas requieran de ArcGIS 9.3.1 Service Pack 2 o de una versión superior para su correcto funcionamiento.

4.2.7.5.1 DEM Burning Elevation

El objetivo de esta herramienta es regenerar los cauces de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) restando de la topografía un calado definido en la tabla de atributos de una capa de polilíneas. Entonces, las celdas del MDE que se encuentren por debajo de las polilíneas se les restará el valor que se haya establecido, teniendo en cuenta que puede establecer además el ancho medio del cauce y extender la superficie de influencia de la polilínea hacia otras celdas más alejadas.

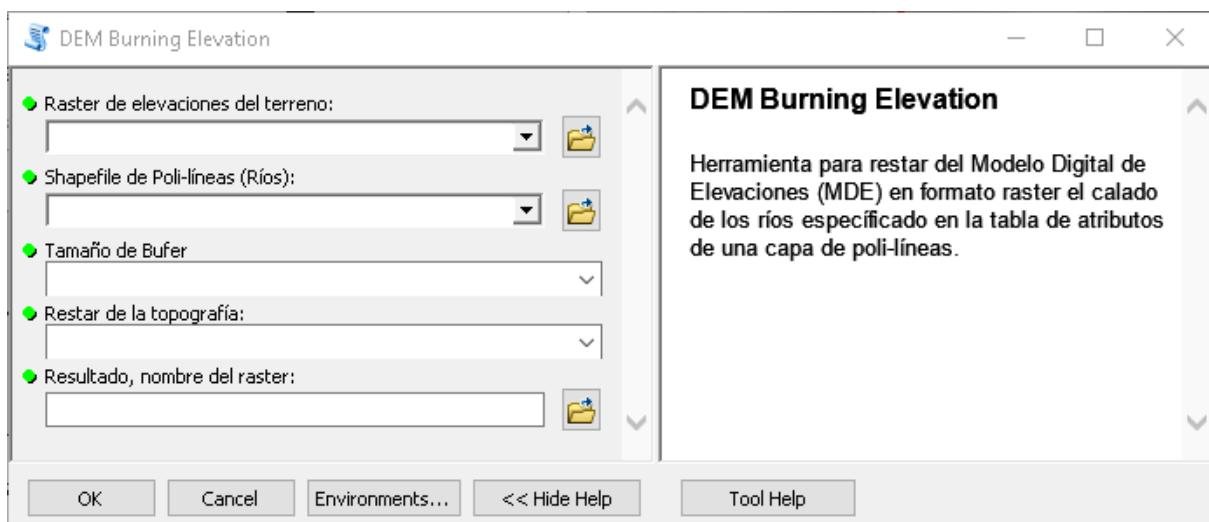


Figura C.50. Herramienta para restar del Modelo Digital de Elevaciones el calado del río impuesto a través de la tabla de atributos de un shapefile de poli-líneas.

En la Figura C.50:

1. **Ráster de elevaciones del terreno:** seleccione un Modelo Digital de Elevaciones en formato ráster (formado por píxeles o celdas cuadradas que definen su resolución) para restar a cada celda que se localice debajo de la capa de polilíneas una cota establecida por el usuario.
2. **Shapefile de Poli-líneas (Ríos):** seleccione una shapefile de ríos o polilíneas donde la tabla de atributos contenga un campo con las cotas que desea restar del Modelo Digital de Elevaciones.
3. **Tamaño de Buffer:** el tamaño de bufer es la distancia media que hay entre la polilínea y una de las margenes del río, esto quiere decir que si $b=\text{ancho medio del río}$, entonces el tamaño de buffer debería ser igual a $b/2$, ya que la polilínea se sitúa en la parte central del río.
4. **Restar de la topografía:** seleccione el campo de la tabla de atributos de la capa de ríos que contiene el valor en metros que desea restar de la topografía (aproximadamente puede ser el calado del río).
5. **Resultado, nombre del ráster:** defina la ruta y el nombre del ráster re-acondicionado que será generado.

4.2.7.5.2 DEM Burning Slope

El objetivo de esta herramienta es modificar la elevación de las celdas de un MDE por las que pasa el trazado de una polilínea para generar una pendiente siempre descendente a lo largo del trazado.

Para un correcto funcionamiento de la herramienta la capa de polilíneas debe estar generada trazando las polilíneas desde aguas arriba y en dirección hacia aguas abajo.

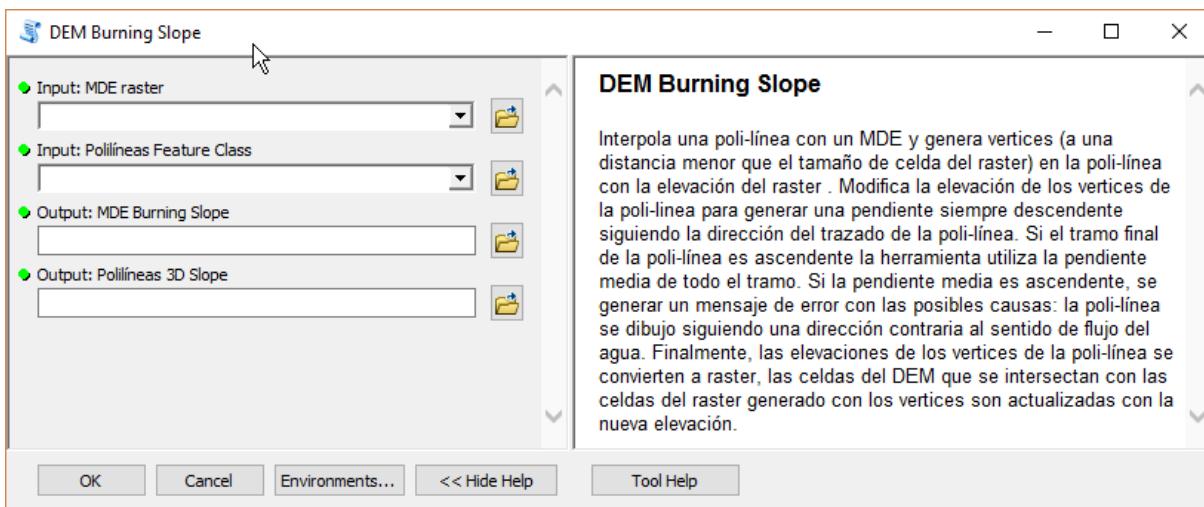


Figura C. 51. Herramienta para modificar el valor de las celdas de un ráster por el que pasa una polilínea y generar una pendiente descendente.

En la Figura C.52:

1. **Input :MDE raster:** seleccione un Modelo Digital de Elevaciones en formato raster (formado por píxeles o celdas cuadradas que definen su resolución) para modificar el valor de la celda en caso de que esta presente una pendiente ascendente.
2. **Input: Polilíneas Feature Class:** seleccione una shapefile de ríos o polilíneas.
3. **Output: DEM Burning Slope:** defina la ruta y el nombre del ráster con una pendiente siempre descendente en el trazado de los cauces.
4. **Output: Polilíneas 3D Slope:** defina la ruta y el nombre del shapefile de polilíneas que será generado para almacenar las elevaciones con una pendiente siempre descendente en sus vértices.

4.2.7.5.3 DEM Reconditioning Multiple

DEM Reconditioning Multiple es una herramienta que utiliza una capa de polilíneas que representan el trazado de los cauces de la red de ríos de una cuenca, para modificar el valor de elevación de los pixeles que estén debajo de la polilínea y a ambas márgenes de esta. El propósito de re-acondicionar el ráster con el método AGREE DEM es modificar la sección del cauce del río para permitir el flujo del agua en el modelo hidrológico. Esta herramienta difiere de la versión original DEMReconditioning_archydro en que es necesario definir los parámetros del método AGREE DEM desde la tabla de atributos de la capa de ríos, con lo cual, se pueden definir diferentes configuraciones de parámetros para cada polilínea de río, y trabaja con menos memoria RAM al reducir la extensión del MDE para ejecutar un análisis zonal en las zonas de los ríos.

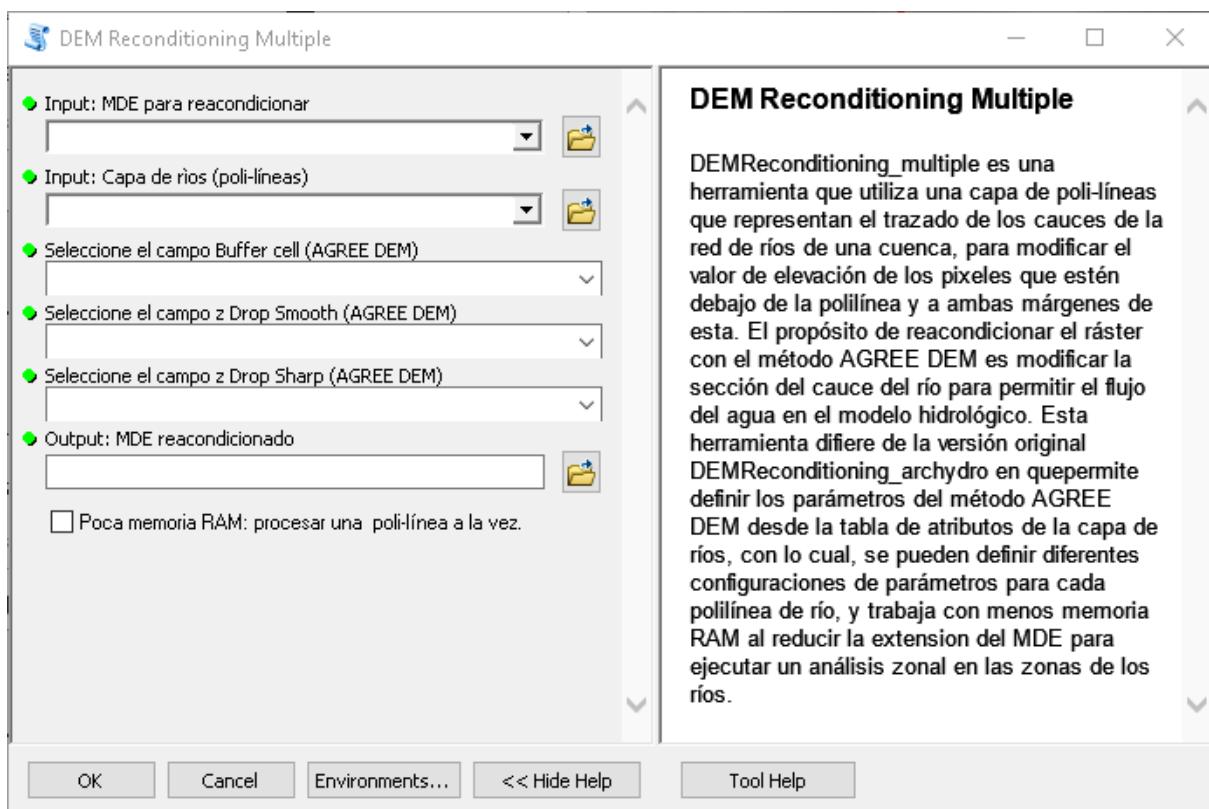


Figura C. 53. Herramienta para re-acondicionar un Modelo Digital de Elevaciones mediante el método Agree DEM.

En la Figura C.53:

1. **Input :MDE para reacondicionar:** seleccione un Modelo Digital de Elevaciones en formato raster (formado por píxeles o celdas cuadradas que definen su resolución) para modificar el valor de la celda en caso de que esta presente una pendiente ascendente.
2. **Input: Capa de ríos (poli-líneas):** seleccione una shapefile de ríos o poli-líneas.
3. **Seleccione el campo Buffer cell (AGREE DEM):** seleccione el campo de la tabla de atributos de la capa de poli-líneas que contiene la información CELLBUFFER.
4. **Seleccione el campo Z Drop Smooth (AGREE DEM):** seleccione el campo de la tabla de atributos de la capa de poli-líneas que contiene la información ZSMOOTH.
5. **Seleccione el campo Z Drop Sharp (AGREE DEM):** seleccione el campo de la tabla de atributos de la capa de poli-líneas que contiene la información ZSHARP.
6. **Output: MDE re-acondicionado:** defina la carpeta/geodatabase y el nombre del raster re-acondicionado con el método AGREE DEM que será generado.
7. **Poca memoria RAM: procesar una poli-línea a la vez:** active esta casilla en caso de experimentar problemas de memoria para procesar el método AGREE DEM. El tiempo de ejecución puede incrementarse significativamente.

NOTA: las columnas CELLBUFFER, ZSMOOTH y ZSHARP son creadas en la capa de ríos 2D que genera la herramienta "2. Streams definition". Edite la información de las columnas para definir los valores correspondientes. Puede apoyarse con la columna STRAHLER para seleccionar los ríos en función de su importancia, y poder modificar los valores por grupos de poli-línea y no uno a uno.

4.2.7.5.4 Depression Evaluation

El objetivo de esta herramienta es evaluar las depresiones en un MDE para definir las zonas en que el agua se encharca o almacena. El resultado es un shapefile de polígonos que representan todas las depresiones encontradas.

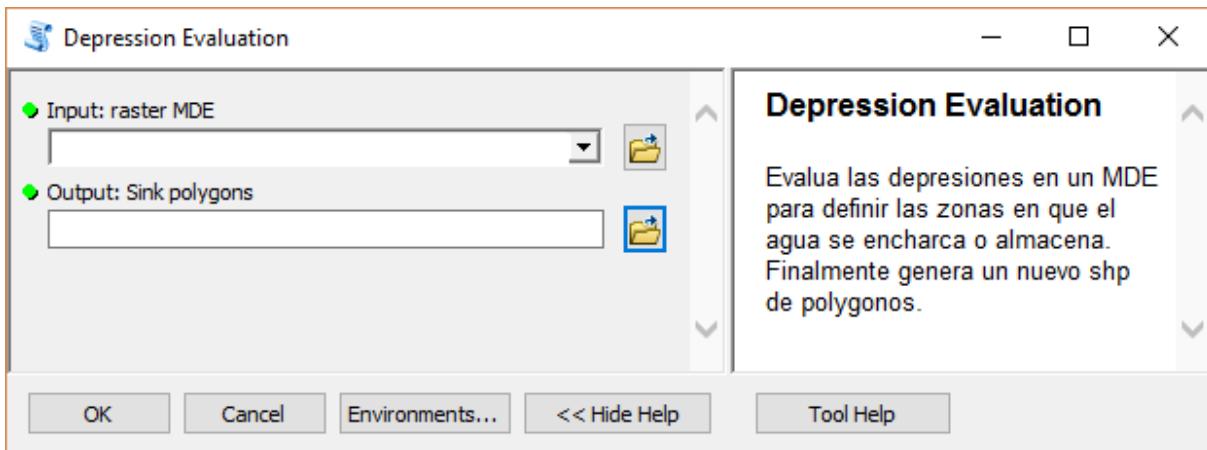


Figura C.54. Herramienta para evaluar depresiones en un MDE y exportar estas depresiones a una capa de polígonos.

En la Figura C.54:

Input:raster MDE: seleccione un MDE raster que no haya sido previamente relleno para evaluar las depresiones que este contiene.

Output: Sin polygons: las depresiones encontradas se convierten a polígonos y se guardan con la ruta y nombre que aquí defina.

4.2.7.5.5 Fill Sinks

El objetivo de esta herramienta es llenar las depresiones de un MDE de forma selectiva mediante una capa de polígonos y el campo IsSink donde se define qué polígonos son depresiones (valor 1), y qué polígonos no son depresiones reales (valor 0). Las depresiones que serán llenadas son aquellas que no son reales (valor 0), por lo que el campo IsSink se debe modificar previamente para cambiar los valores que este contiene y establecer el comportamiento de llenado de la herramienta.



Figura C.55. Herramienta para rellenar depresiones de forma selectiva utilizando una capa de polígonos y un campo de esta capa que define qué zonas deben llenarse.

En la Figura C.55:

Input: MDE para rellenar depresiones: seleccione un MDE raster al que se van a rellenar las depresiones.

Output: Polígonos con depresiones : seleccione una shapefile de polígonos que contenga las depresiones que serán evaluadas para ser llenadas en el MDE.

Seleccione el campo IsSink: el shapefile de polígonos debe tener una columna con valores de [0 y 1], donde el valor cero significa que son depresiones que no son reales (se deben llenar), y el valor uno significa que son depresiones reales (no se deben llenar).

Output: MDE con depresiones llenadas : seleccione la ruta y el nombre del MDE que resulta de ejecutar la herramienta.

4.2.7.5.6 Generar bufer de ríos: Malla SMS

El objetivo de esta herramienta es generar múltiples buffers a lo largo de un shapefile de ríos con una transición exponencial. Esta transición exponencial permite tener una mayor densidad de nodos en los cauces y una menor densidad en las zonas donde hay una menor interacción de flujo subterráneo - superficial. Para ello, es necesario definir que distancia media desea establecer en los nodos más próximos al cauce y con una transición exponencial hasta alcanzar el valor de la distancia media máxima, que también es necesario definir.

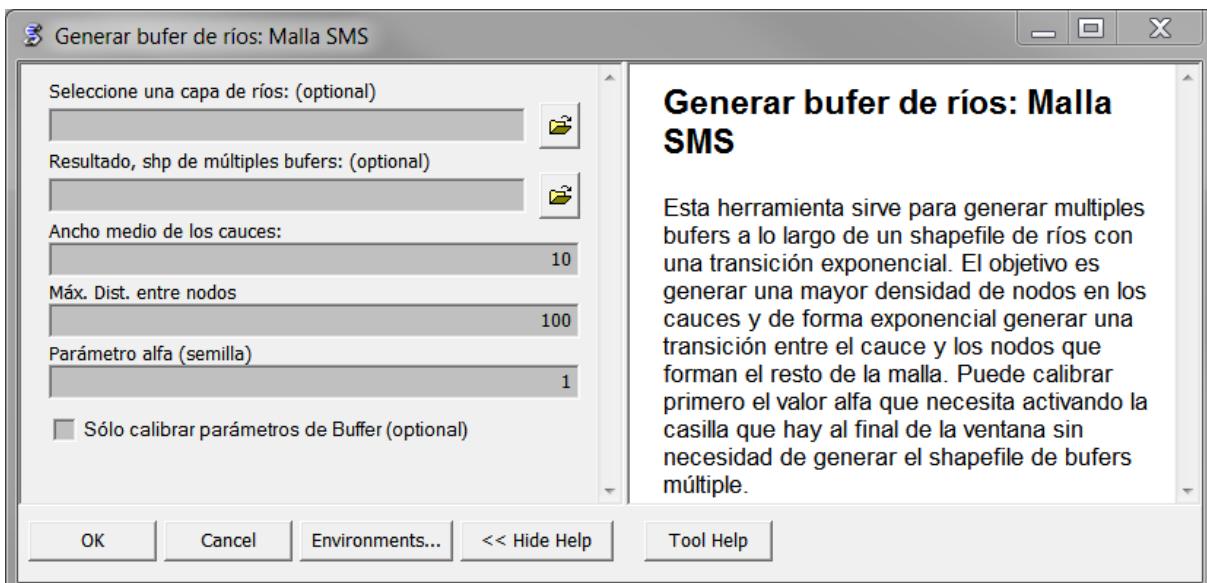


Figura C.56. Herramienta para generar bufers múltiples con un espaciamiento exponencial hasta alcanzar una distancia máxima entre bufers.

En la Figura C.56:

1. **Seleccione una capa de ríos (opcional)**: seleccione un shapefile de poli-líneas con los ríos de la zona de estudio, esta capa puede ser opcional ya que puede no seleccionar ninguna si sólo desea calibrar los últimos tres parámetros que están al final de esta figura (activando primero la casilla de sólo calibrar parámetros de bufer).
2. **Resultado, shp de múltiples bufers**: defina la ruta y el nombre del shapefile que será generado con los múltiples bufers, aunque también puede sólo calibrar los parámetros que están al final de la figura dejando en blanco este campo (antes active la casilla de sólo calibrar parámetros de bufer).
3. **Ancho medio de los cauces**: defina que ancho medio tendrán los cauces para a partir de esta distancia, distancia media entre los nodos del cauce, calibrar la transición exponencial hacia la distancia máxima entre nodos que espera tener en la malla.
4. **Máxima distancia entre nodos**: defina la máxima distancia que espera tener entre nodos de la malla en las zonas de menor interacción de flujo subterráneo - superficial.
5. **Parámetro alfa (semilla)**: este valor define si la transición exponencial será más o menos abrupta, aunque es se trata de sólo un parámetro semilla ya que el programa itera hasta encontrar una curva exponencial que pase por los puntos de referencia, distancia media y máxima de los nodos, y una vez la encuentra le devuelve el valor alfa más cercano al valor semilla. Los valores de alfa mayores que uno devuelven una transición exponencial abrupta, mientras que los valores menores que uno reflejan una transición exponencial más suave aunque incrementando notablemente la cantidad de nodos necesarios.
6. **Sólo calibrar parámetros de Bufer (opcional)**: active esta casilla si sólo desea calibrar el parámetro alfa que genere una transición exponencial adecuada a la malla que desea generar.

4.2.7.5.7 Redistribuir vértices

El objetivo de esta herramienta es redistribuir la distancia de los vértices de un shapefile de polígonos o poli-líneas. El procedimiento extrae los vértices de las entidades de dibujo y con sus coordenadas X e Y ejecuta una rutina que emplea ambos teoremas, senos y cosenos, así como la ecuación de la recta y pendiente para redistribuir los vértices. Finalmente se genera un nuevo shapefile con los vértices redistribuidos.



Figura C.57. Herramienta para redistribuir la distancia entre los vértices de las entidades de dibujo de un shapefile.

En la Figura C.57:

1. **Shapefile de polí-líneas o polígonos:** seleccione un shapefile de polí-líneas o polígonos para redistribuir sus vértices.
2. **Guardar shapefile con vértices redistribuidos:** defina la ruta y el nombre del nuevo shapefile con los vértices redistribuidos que será generado.
3. **Distancia objetivo:** seleccione el campo de la tabla de atributos del shapefile de polí-líneas o polígonos que contiene la distancia que habrá entre los vértices de cada entidad de dibujo.
4. **Factor (opcional):** opcionalmente aplique un factor de incremento o reducción de la distancia objetivo entre los vértices.

4.2.7.6 Subfunciones

Las subfunciones son códigos en Python que se convierten en herramientas, mismas que posteriormente son implementadas en otra herramientas a través de Model Builder. Por este motivo no es necesario su ejecución de forma individual, aunque de forma opcional pueden ser utilizadas por lo que su funcionamiento se describe a continuación.

4.2.7.6.1 Agregar ZONAINYEC

Función que es implementada en la herramienta [5.2 Generar SLRMELEF.shp](#), y que tiene como objetivo verificar si existe o no la columna ZONAINYEC. En el caso de que no exista la columna se añade una nueva con este nombre.

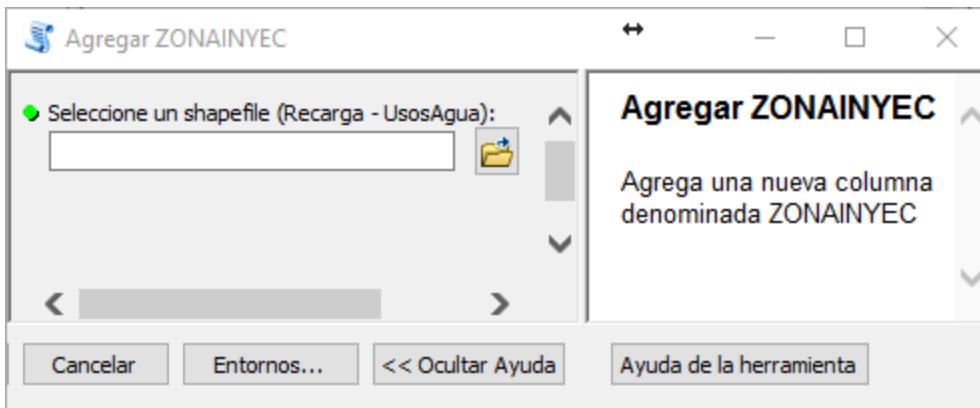


Figura C.58. Ventana de la herramienta agregar ZONAINYEC.

En la Figura C.58:

- Seleccione un shapefile (Recarga - UsoAgua):** seleccionar el shapefile generado por el Toolbox MELEF donde se almacena la información sobre la recarga y los Usos del Agua para añadir la columna ZONAINYEC si esta no existe.

ZONAINYEC: es una columna donde se gestiona las zonas que reciben [inyección automática](#) de agua proveniente de derivaciones de agua superficial, drenajes intermedios de presas, bombeos y otros.

4.2.7.6.2 Renumerar Zonas

Subfunción de verificación para mantener la numeración en las zonas de Inyección Automática. Esta herramienta se requiere cuando se combinan distintas capas que generan otro shapefile (por ejemplo precipitación y usos de agua) donde la premisa es que no puede haber zonas repetidas.

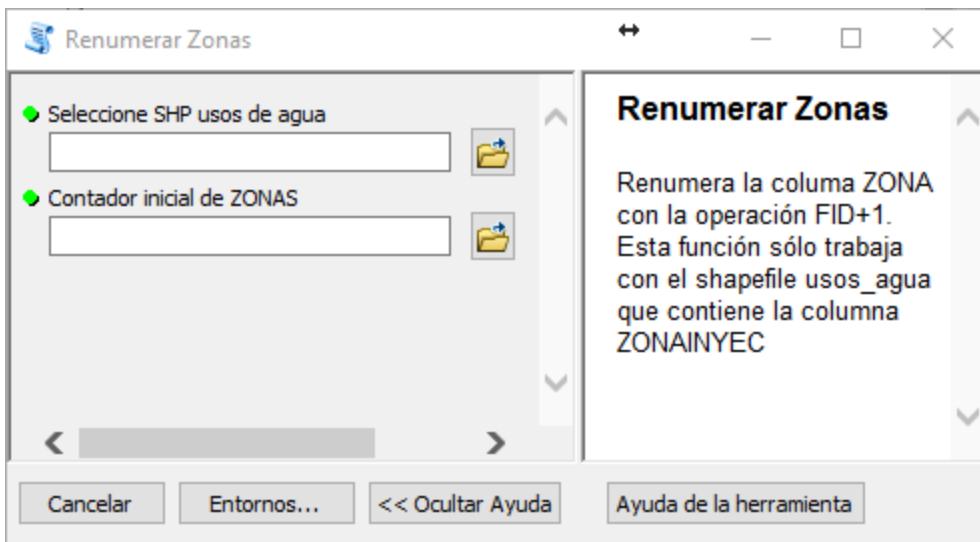


Figura C.59. Ventana de la herramienta renumerar zonas.

En la Figura C.59:

1. **Seleccione SHP usos de agua:** seleccione el shapefile de polígonos que genera el Toolbox MELEF y el cual contiene información de los usos del agua.
2. **Contador inicial de ZONAS:** introduzca el número de polígonos que contiene el shapefile de recarga.

Esta subfunción es implementada en las herramientas [\(opcional\) Actualizar "SLRMELEF"](#) y en [5.2 Generar SLRMELEF.shp](#), por lo que su uso de forma independiente no es necesaria.

4.2.7.6.3 Sustrato Impermeable

Subfunción que evalúa la posición del sustrato impermeable utilizando espesores de acuífero establecidos por el usuario. La herramienta tiene un doble funcionamiento, global y zonal.

El funcionamiento global requiere que el usuario defina dos espesores de acuífero, uno en zonas altas de ladera y el otro a pie de monte o zonas bajas para generar una variación lineal entre ambos puntos, los cuales también pueden tener el mismo valor indicando que la variación del espesor del acuífero es constante.

El funcionamiento zonal requiere de un shapefile de polígonos que defina zonas delimitadas por el usuario, capa que contendrá en su tabla de atributos dos columnas para almacenar los valores de espesores de acuífero mencionados en el funcionamiento global.

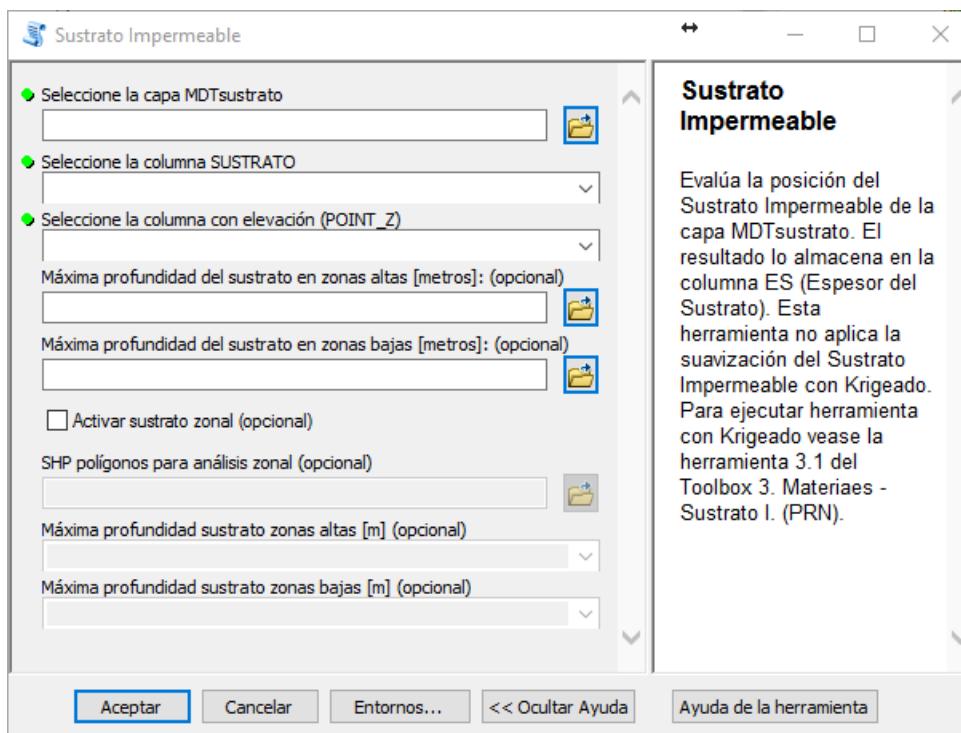


Figura C.60. Ventana de la herramienta Sustrato Impermeable.

En la Figura C.60:

1. **Seleccione la capa MDTsustrato:** seleccione el shapefile de puntos generado por el Toolbox MELEF con el nombre MDTsustrato.
2. **Seleccione la columna SUSTRATO:** después de seleccionar la capa MDTsustrato se activaran las columnas en este apartado, seleccione la columna que almacenará la posición del sustrato que evaluará la herramienta.

3. **Seleccione la columna con elevación (POINT_Z):** después de seleccionar la capa MDTsustrato se activaran las columnas en este apartado, seleccione la columna que almacena la elevación de la topografía (por ejemplo POINT_Z).
4. **Máxima profundidad del sustrato en zonas altas [metros]: (opcional):** introduzca un valor en metros del espesor del acuífero en las zonas altas (montaña) de la zona de estudio (este espesor suele ser menor que el del apartado 5).
5. **Máxima profundidad del sustrato en zonas bajas [metros]: (opcional):** introduzca un valor en metros del espesor del acuífero en las zonas bajas (pie de monte o de ladera) de la zona de estudio (este espesor suele ser mayor que el del apartado 4).
6. **Activar sustrato zonal (opcional):** habilita la opción de seleccionar una capa de polígono que contenga en sus columnas los espesores del acuífero (zonas altas y bajas) de forma zonal en la región de estudio.
7. **Máxima profundidad sustrato en zonas altas [m] (opcional):** al seleccionar la capa de polígonos se habilitan un listado de las columnas que este contiene, seleccione la columna con la información solicitada.
8. **Máxima profundidad sustrato en zonas bajas [m] (opcional):** en el mismo sentido que el punto anterior.

Consulte el apartado [Evaluación del sustrato impermeable](#) para mayores detalles de los cálculos realizados por esta subfunción.

4.3 C3. Toolbox FreshWaterSheds (QGIS)

The principal scope of the Toolbox FreshWaterSheds V1.0 for QGIS is to assist the users in the management of spatial data to prepare all the simulation files and boundary conditions of the FreshWaterShed mathematical model.

The tool automates the creation of shapefiles and the parameters required in the attribute table, as well as the processing of these shapefiles to build the simulation files (PRNMELEF, SLRMELEF, SOIMELEF, CNDMELEF, SECMELEF, other...) required by the FreshWaterSheds User Interface.

Toolbox FreshWaterSheds V1.0 for QGIS is intened for QGIS 3x versions and was tested in QGIS 3.10 (A Coruña), 3.12 (Bucuresti) and 3.14 (PI) installed in a Windows Platform. All the Toolbox are programmed in PyQGIS as scripts of QGIS.

- ▼ FreshWatersheds: 1. Import Mesh
 - ✿ 1.1 Import Mesh SMS Aquaveo (*.GEO - *.2DM)
- ▼ FreshWatersheds: 2. Vadose Zone (SOI)
 - ✿ 2.1 Create new VadoseZone.shp
 - ✿ 2.2 Create new KSurfaceWater.shp
 - ✿ 2.3 Build SOIMELEF.shp
- ▼ FreshWatersheds: 3. Materials - I. Substratum (PRN)
 - ✿ 3.1 Create new GEOLOGY.shp
 - ✿ 3.2 Define Impervious Substratum
 - ✿ 3.3 Build PRNMELEF.shp
- ▼ FreshWatersheds: 4. Boundary Conditions (CND - SLC)
 - ✿ 4.1 Create new CND/SLC.shp
 - ✿ 4.2 Build CNDMELEF/SLCMELEF.shp
- ▼ FreshWatersheds: 5. Recharge and Water Use (SLR)
 - ✿ 5.1 Create new Recharge.shp/WaterUse.shp
 - ✿ 5.2 Build SLRMELEF.shp
- ▼ FreshWatersheds: 6. Section Discharge Gages (SEC)
 - ✿ 6.1 Create new GaugeSections.shp
 - ✿ 6.2 Build SECMELEF.shp

Figure C.61. Toolbox FreshWaterSheds V1.0 (QGIS 3x).

TOOLBOX INCLUDE

1. Import Mesh
 - 1.1 Import Mesh SMS Aquaveo (*.GEO - *.2DM)
2. Vadose Zone (SOI)
 - 2.1 Create new VadoseZone.shp
 - 2.2 Create new KSurfaceWater.shp
 - 2.3 Build SOIMELEF.shp
3. Materials - I. Substratum (PRN)
 - 3.1 Create new GEOLOGY.shp
 - 3.2 Define Impervious Substratum
 - 3.3 Build PRNMELEF.shp
4. Boundary Conditions (CND-SLC)
 - 4.1 Create new CND/SLC.shp
 - 4.2 Build CNDMELEF/SLCMELEF.shp
5. Recharge and Water Use (SLR)
 - 5.1 Create new Recharge.shp/WaterUse.shp
 - 5.2 Build SLRMELEF.shp
6. Section Discharge Gages (SEC)
 - 6.1 Create new GaugeSections.shp
 - 6.2 Build SECMELEF.shp

Utilities

OBSERVATIONS

The tool 1.1 outperforms the time needed to process the files *.GEO and *.2DM as compared with the ArcGIS version.

The tool "Update SOIMELEF.shp" was deprecated in QGIS given that you can overwrite the simulation file SOIMELEF with the tool 2.3. This applies to the following toolbox 3, 4, 5 and 6 in this table.

The tool 3.1 creates a new empty shapefile with the predefined attribute table structure, but the tool has not the capability to add the layer to the QGIS project. This applies to all the tools that creates a new shapefile.

See observations of Toolbox 2 and 3.

See observations of Toolbox 2 and 3.

See observations of Toolbox 2 and 3.

Not included in this version 1.0 of the Toolbox FreshWaterSheds for QGIS 3x

The description of every tool in the ArcGIS version can be used to understand the QGIS version.

MANUAL FreshWaterSheds

Modelo para simulación hidrológica
integrada de flujos regionales
subterráneo y superficial.

Parte



V

5 D. Ficheros de simulación

En este apartado encontrará una descripción de los diferentes ficheros de entrada y de resultados del modelo MELEF, así como de los ficheros vectoriales de SIG, los cuales son generados con el ToolboxMELEF, que almacenan todas las condiciones de simulación del modelo.

- [Ficheros de entrada.](#)
- [Ficheros de resultados.](#)
- [Ficheros SIG.](#)

5.1 Ficheros de entrada

Descripción del contenido de los ficheros de entrada utiliza el modelo MELEF.

Haga clic sobre los enlaces para acceder a la descripción de cada uno de los ficheros.

- [.COR](#)
- [.CND](#)
- [.ELE](#)
- [.INI](#)
- [.INP](#)
- [.PRN](#)
- [.SEC](#)
- [.SOI](#)
- [.SLC](#)
- [.SLR](#)

5.1.1 COR

Fichero que almacena las coordenadas X e Y de los nodos de la malla.

Esta es una muestra de la cabecera del fichero y de los cinco primeros nodos con sus coordenadas:

	67106	2
1	556819.8380	4792577.1100
2	556761.4060	4792542.7500
3	556684.6650	4792497.5300
4	556673.6460	4792479.8800
5	556654.5150	4792449.2500

El formato de impresión del fichero que utiliza la interfaz de usuario (Matlab) es el siguiente:

- cabecera: '%10g%10g\n' [TotalNudos; ColumnasInfo]
- Información: '%6g %13.4f %13.4f\n' [NNUDO; CoorX; CoorY]

5.1.2 CND

Fichero que almacena las condiciones impuestas de nivel freático y de gradiente en el contorno de la malla.

Esta es una muestra de la impresión del fichero, donde después del tiempo se imprimen el [código de uso](#) de MELEF y el valor de la condición de simulación con notación exponencial, y posteriormente los nodos a los que se aplica dicha condición:

El formato de impresión del fichero que utiliza la interfaz de usuario (Matlab) es el siguiente:

5.1.3 ELE

Fichero que almacena los números de nodo que forman cada elemento triangular de la malla.

Esta es una muestra de la cabecera y de los cinco primeros elementos:

133422	3	
789	788	1
1	790	789
791	790	1
1	792	791
2	792	1

El formato de impresión del fichero que utiliza la interfaz de usuario (Matlab) es el siguiente:

- cabecera:** '%10g%10g\n' [TotalElementos; ColumnasInfo]
 - Información:** '%10g %10g %10g\n' [NudoVertice1; NudoVertice2; NudoVertice3]

5.1.4 INI

Fichero que contiene la solución inicial de la simulación.

Esta es una muestra de la cabecera y de los valores que toman los primeros cinco nudos de la malla:

22014	1	55209600.000000
35.58580000000000		
39.19530000000000		
41.33740000000000		
42.45340000000000		
47.48670000000000		

El formato de impresión del fichero que utiliza la interfaz de usuario (Matlab) es el siguiente:

- **cabecera:** '%10g%10g%19f\n' [TotalNudos; GradosLibertad; TiempoSegundos]
 - **Información:** '%19.13f\n' [NivelFreatico]

Cuando los grados de libertad es igual que uno, entonces la solución pertenece a una simulación de flujo continental, y cuando es igual a dos, entonces la solución pertenece a una simulación con interacción continental-costero: donde en la primera columna de información se imprime la posición del nivel freático (dulce) y en la segunda la posición de la interfase inmiscible del agua salada (cuña salina).

5.1.5 INP

Fichero que almacena toda la configuración de la ejecución de la simulación, así como la configuración de los parámetros globales.

Esta es una muestra del contenido del fichero:

```
#  
#-----  
# MALLAJE DE TRIANGULOS LINEALES TRIANG-1 A 2 DIMENSIONES: (T3)  
#           CUENCA DEL RIO BARCES  
#           Elemento con solucion para H (ACUIL-2H)  
#           Fichero del elemento:  
#           Tipo de elemento: T3 lineal ... 2 dimensiones  
#  
#           PROBLEMA TRANSITORIO/PERMANENTE  
#  
#           Mallaje (N elementos: ; N nudos: )  
#Condiciones: IMPUESTA(descarga), Interna(P-E-Bombeos-Derivaciones)  
#-----  
#  
!---NOMBRE DE LOS FICHEROS DE ENTRADA/SALIDA  
_MFIL = 'sim6hr4a'  
  
!---TIPOS DE FICHEROS DE RESULTADOS: ACTIVAR/DESACTIVAR (!)  
_MFIN = '.fin'  
_MPST = '.vno'  
_MSEC = '.sec'  
_MDEB = '.deb'  
_MVEL = '.vel'  
_MSOL = '.sol'  
  
!---TIPO DE ELEMENTO  
_ELTYP = 'AL2H'  
  
!---TRABAJO TOTAL DE EJECUCIÓN  
_MEXE = '.eta'  
_NEXE = 19929600  
  
!---RESOLUCIÓN TRANSITORIA  
_DPAS = 21600  
_NPAS = 8304  
_ALFA = 0.5  
  
!---IMPRESION DE RESULTADOS  
_IFPST = 12  
_IFSEC = 4  
!_IFFIN = 1  
_IFVEL = 12  
_IFSOL = 12  
  
!---SALTO DE LECTURA: DEFINIR TIEMPO (SEGUNDOS)  
!---TINI CONTROLA GLOBALMENTE (EXCEPTO AINI) EL SALTO DE LECTURA:  
 !_TINI = 0  
 !_TASCND = 0  
 !_TASPRN = 0  
 !_TASSOI = 0  
 !_TASSLR = 0  
 !_TASSLC = 0
```

```

!---LECTURA DE LA GEOMETRÍA
_MCOR = '.cor'
COOR
_MELE = '.ele'
ELEM
PEAU

!---PROPIEDADES GLOBALES PRGL
!-(F-Ghy,Pr,FE-alv,Coeff-X-Sup,Esp-Min,Esp-Cap,ETP,EP,Esp-Int-sal,K-Sup.,Fporo-alveo,QDet,VDetMax,E
PRGL(0,0,200,.929,3,.5,3.1e-11,0,0,1e-6,1,0,1.0e+7,5,1,0,1)

!--- LECTURA FICHEROS DE ENTRADA
_MCND = '.cnd'
COND
_MPRN = '.prn'
PRNO
_MSOI = '.soi'
SOIL
_MSLR = '.slr'
SOLR
!_MSLC = '.slc'
!SOLC
_TASINI = 38880000
_MINI = '.ini'
INIT()

!--- RESOLUCION DEL SISTEMA
_EPSDL = 1.0E-15
_NPREC = 60
_NRDEM = 1
_NITER = 40
_IML = 1
EULR

STOP

```

5.1.6 PRN

Fichero que contiene la configuración de valores de las propiedades de los materiales y de la topografía.

Esta es una muestra de la cabecera y de las propiedades de los primeros cinco nudos de la malla:

```

26089      8      0
1.0000E-01 2.02387E+03 1.87765E+03 1.157407E-06 1.157407E-06 0.00E+00 9.027778E-06
2.02387E+03
1.0000E-01 1.99342E+03 1.84534E+03 1.157407E-06 1.157407E-06 0.00E+00 9.027778E-06
1.99342E+03
7.0000E-02 1.96141E+03 1.81144E+03 1.157407E-06 1.157407E-06 0.00E+00 9.027778E-06
1.96141E+03
1.0000E-01 1.96100E+03 1.81101E+03 1.157407E-06 1.157407E-06 0.00E+00 9.027778E-06
1.96100E+03

```

El formato de impresión del fichero que utiliza la interfaz de usuario (Matlab) es el siguiente:

- **cabecera:** '%10d%10g%10.0f\r\n' [TotalNudos; ColumnasParam; TiempoSegundos]
- **Información:** '%11.4E%13.5E%13.5E%14.6E%14.6E%10.2E%14.6E%13.5E\r\n' [N; COTA2; SUSTRATO; KX; KY; ALFA; KZ; COTA1]

Donde:

N: porosidad de los materiales en tanto por uno.

COTA2: posición de la topografía secundaria en metros.

SUSTRATO: posición del sustrato impermeable en metros.

KX: conductividad hidráulica de los materiales en el eje x en unidades de m/seg.

KY: conductividad hidráulica de los materiales en el eje y en unidades de m/seg.

ALFA: ángulo de anisotropía, en unidades de grados, de la conductividad hidráulica, para los ejes X e Y, que se mide desde el norte y con sentido antihorario.

KZ: conductividad hidráulica de los materiales en el eje z, se interpreta como la capacidad de infiltración, en unidades de m/seg.

COTA1: posición de la topografía primaria en metros.

5.1.7 SEC

Fichero que almacena las secciones de aforo del modelo.

Esta es una muestra de la cabecera y de las primeras cinco secciones de aforo:

	34											
1	55689	56498	57283	58082	57285	0	0	0	0	0	0	0
2	56462	57247	57251	56475	55676	0	0	0	0	0	0	0
3	54624	55604	56419	56418	57199	0	0	0	0	0	0	0
4	66167	66425	66684	66876	66988	67056	67058	0	0	0	0	0
5	1609	2570	3788	2576	1617	0	0	0	0	0	0	0

El formato de impresión del fichero que utiliza la interfaz de usuario (Matlab) es el siguiente:

- **Secciones:** '%16d\n' [TotalSecciones]
- **#sección y valor:** '%6d%12d\n' [NúmeroSección; Valor]
- **Nodos en segmentos de 13 columnas:** '%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g\n' [NNUDO (1 x 13)]

5.1.8 SOI

Fichero que contiene la configuración de valores de las propiedades del suelo, de las variables de evaportranspiración y transpiración potencial, así como de la conductividad hidráulica del medio superficial.

Esta es una muestra de la cabecera y de la configuración de las propiedades y variables de los primeros cinco nudos de la malla:

	37922	7	0									
3.0000E-01	0.000000E+00	0.000000E+00	5.0000E-01	1.0000E-07	1.50E+01	2.3000E-01						
3.0000E-01	0.000000E+00	0.000000E+00	5.0000E-01	1.0000E-07	1.50E+01	2.3000E-01						
3.0000E-01	0.000000E+00	0.000000E+00	5.0000E-01	1.0000E-07	1.50E+01	2.3000E-01						
3.0000E-01	0.000000E+00	0.000000E+00	5.0000E-01	1.0000E-07	1.50E+01	2.3000E-01						

El formato de impresión del fichero que utiliza la interfaz de usuario (Matlab) es el siguiente:

- cabecera: '%10d%10g%10.0f\n' [TotalNudos; ColumnasParam; TiempoSegundos]
- Información: '% -1.4E % -1.6E % -1.6E % -1.4E % -1.4E % -1.2E % -1.4E\r\n' [EC; ETP; EP; ES; KSUPERF; SLOPE; CCAMPO_PM]

Donde:

EC: espesor de la franja capilar del suelo en metros.

ETP: tasa de evapotranspiración potencial en m/seg.

EP: tasa de evaporación potencial en m/seg.

ES: espesor del suelo, en metros, asociado a la máxima longitud de las raíces de las plantas.

KSUPERF: conductividad hidráulica del medio superficial en m/seg.

SLOPE: pendiente del terreno en grados.

CCAMPO_PM: diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez en tanto por uno.

5.1.9 SLC

Fichero que almacena las inyecciones laterales puntuales en el contorno de la malla.

Esta es una muestra de la impresión del fichero, donde después del tiempo se imprimen el [código de uso](#) de MELEF y el valor de la condición de simulación con notación exponencial, y posteriormente los nodos a los que se aplica dicha condición:

```

0
1000000000      -1.32000E-3
 392   393   394   395   396   397   398   399   400   401   402   403   404
  405   406   407     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
0
 86400
1000000000      -1.33000E-3
 392   393   394   395   396   397   398   399   400   401   402   403   404
  405   406   407     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
0

```

El formato de impresión del fichero que utiliza la interfaz de usuario (Matlab) es el siguiente:

- **tiempo:** '%10f\n' [TiempoSegundos]
- **Código de uso y valor:** '%10d%22.4E\n' [COD_USO; VALOR]
- **Nodos en segmentos de 13 columnas:** '%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%6g%\n' [NNUDO(1 X 13)]

5.1.10 SLR

Fichero que almacena las solicitudes repartidas de agua, usos de agua (bombeo-inyección-derivación), así como la recarga difusa de agua superficial (precipitación-regadío).

Esta es una muestra de la impresión del fichero, donde después del tiempo se imprimen los diferentes [código de uso](#) de MELEF y el valor de la condición de simulación con notación exponencial, y posteriormente los nodos a los que se aplica dicha condición:

```

0
1000000000      9.7486E-03
 37837     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
1000000000      1.4861E-03
 51525     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
1000000000      2.3333E-02
.
.
.
```

El formato de impresión del fichero que utiliza la interfaz de usuario (Matlab) es el siguiente:

5.2 Ficheros de resultados

Descripción del contenido de los ficheros de resultados que imprime el modelo MELEF.

Haga clic sobre los enlaces para acceder a la descripción de cada uno de los ficheros.

- .DEB
 - .ETA
 - .FIN
 - .SOL
 - .VEL
 - .VNO

5.2.1 DEB

Fichero que almacena los resultados de caudales que pasan por las secciones de aforo definidas en el fichero .SEC. Los caudales registrados son para los medios subterráneo, subá尔veo y superficial.

Esta es una muestra de la cabecera y de los valores impresos en el fichero DEB.

```

34     11      86400.00
 1 4.21805E-04 3.15794E-02 2.40177E-01 1.00881E-06 1.80613E-03 1.29517E-02-1.89560E-05...
 2 2.77444E-03 3.29338E-02 7.73151E-02 8.89756E-06 3.32076E-03 3.90638E-01-2.01391E-03...
 3 1.90315E-03 1.63485E-02 1.17579E-01 2.91565E-06 2.63936E-04 5.31518E+00-1.35504E-03...
 4 1.555759E-03 8.77157E-02 1.14166E+00 1.02716E-06 1.10576E-03 3.68329E-02 6.08323E-04...
5-1.72522E-04-7.16581E-02-1.16162E+00-2.67380E-07-1.20399E-03-2.35491E-02-7.95395E-04...

```

...continuación columnas:

```

-5.52062E-03-7.17427E-02 0.00000E+00 0.00000E+00
-2.41784E-02-4.76328E-02 0.00000E+00 0.00000E+00
-1.07725E-02-6.61268E-02 0.00000E+00 0.00000E+00
 3.32629E-02 8.50709E-02 0.00000E+00 0.00000E+00

```

```
-1.35605E-01 -2.14741E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
```

En cabecera se imprimen el total de secciones de aforo, el número de columnas de información y el tiempo al que corresponden los resultados:

La información en las columnas muestra en la primera el número de sección de aforo y a continuación la siguiente información:

2. **Qsubterráneo [m³/seg]**: caudal subterráneo registrado por la sección de aforo.
3. **Qsubálveo [m³/seg]**: caudal que pasa por la zona sub-superficial o subálvea.
4. **Qsuperficial [m³/seg]**: caudal de agua superficial en ríos y arroyos.
5. **Vel.Subterránea [m/seg]**: teniendo en cuenta la porosidad efectiva de los materiales se aproxima la velocidad real del flujo en el medio subterráneo.
6. **Vel.Subálveo [m/seg]**: velocidad del flujo en la zona subálvea.
7. **Vel.Superficial [m/seg]**: velocidad del flujo superficial de ríos, lagos, embalses y zonas costeras.
8. **Variación Qsubt [m³/seg]**: variación del caudal subterráneo.
9. **Variación Qsubál [m³/seg]**: variación del caudal subálveo.
10. **Variación Qsuper [m³/seg]**: variación del caudal superficial.
11. **Qescarrimiento [m³/seg]**: caudal de escarrimiento derivado de la precipitación que no se infiltra en el suelo.
12. **Vel.Escarrimiento [m/seg]**: velocidad del flujo de escarrimiento.

5.2.2 ETA

En el fichero ETA se imprimen una serie de resultados globales que le permiten llevar un seguimiento de la correcta evolución global de la simulación.

Esta es una muestra de la información impresa en el fichero ETA, donde en la cabecera se marca el tiempo en segundos, TEMPS, al que pertenecen los resultados.

```
RESOLUTION TRANSITOIRE (PAS = 12 TEMPS = 259200.00)
=====
NORME L2 = 4.20574E-06

POST-TRAITEMENT (M= 0)
=====
FICHIER DE POST-TRAITEMENT = sim6hr4a.vno
NB DE VALEURS A CALCULER PAR NOEUD (NPOST)= 5

Precipitación Global (-) (m3/d) = 0.00000E+00
Recarga de Ríos (-) (m3/d) = 0.00000E+00
Recarga Lateral (-) (m3/d) = 0.00000E+00
Inyecciones (-) (m3/d) = -1.40943E+03
Bombeos (+) (m3/d) = 1.34104E+04
Recargas Superficiales (-) (m3/d) = 0.00000E+00
RECARGA TOTAL (-) (m3/d) = 1.34104E+04

Evapo(Transpiración) Global (+) (m3/d) = 8.24817E+04
Transpiración Zonal (+) (m3/d) = 2.16107E+05
Derivación (+) (m3/d) = 3.05619E+05
Descarga/Recarga +/- (m3/d) = 0.00000E+00
DESCARGA TOTAL (+) (m3/d) = 6.04207E+05

Volumen Precipitación Global (-) (Hm3) = 0.000000E+00
```

```

Volumen Recarga de Ríos (-)          (Hm3) = 0.000000E+00
Volumen Recarga Lateral (-)          (Hm3) = 0.000000E+00
Volumen Inyecciones (-)              (Hm3) = -4.228278E-03
Volumen Bombeos (+)                 (Hm3) = 4.023122E-02
Volumen Recarga Superficial (-)     (Hm3) = 0.000000E+00
VOLUMEN TOTAL de RECARGA (-)         (Hm3) = 4.023122E-02

Volumen Evapo(Transp) Global (+)    (Hm3) = 2.261518E-01
Volumen Transpiración Zonal (+)     (Hm3) = 5.929881E-01
Volumen Derivado (+)                (Hm3) = 7.878747E-01
Volumen Descargado/Recargado +/-   (Hm3) = 0.000000E+00
VOLUMEN TOTAL de DESCARGA (+)       (Hm3) = 1.607015E+00

VOLUMEN de RECARGA/DESCARGA -/+    (Hm3) = 1.647246E+00
Superficie Total                   (Km2) = 2.465012E+02
Superficie AguaLibre Continental   (Km2) = 7.798696E+00
Superficie AguaLibre Costera       (Km2) = 0.000000E+00
Superficie de Escurrimiento       (Km2) = 0.000000E+00
Volumen índice de Escurrimiento   (Hm3) = 0.000000E+00

Lámina índice de Escurrimiento    (m) = 0.000000E+00
LÁMINA de Precipitación Global (-) (m) = 0.000000E+00
LÁMINA de Recarga Superficial (-) (m) = 0.000000E+00
LÁMINA de Evapo(Transp) Global (+) (m) = 9.174469E-04
LÁMINA de Transpiración Zonal (+) (m) = 2.405619E-03
LÁMINA TOTAL ENTRADAS/SALIDAS -/+ (m) = 3.323066E-03

RESERVA SUPERFICIAL COSTERA        (Hm3) = 0.000000E+00
RESERVA SUBTERRANEA COSTERA        (Hm3) = 0.000000E+00
RESERVA DE AGUA SALADA COSTERA    (Hm3) = 0.000000E+00
RESERVA SUPERFICIAL CONTINENTAL   (Hm3) = 1.741916E+01
RESERVA SUBTERRANEA CONTINENTAL   (Hm3) = 1.873362E+02

```

Donde:

1. **Precipitación Global (-) (m3/día)**: precipitación establecida desde el panel de parámetros globales de la interfaz de usuario.
2. **Recarga de Ríos (-) (m3/día)**: recarga puntual impuesta en el contorno de la malla que representa el caudal entrante de ríos al dominio discreto de análisis.
3. **Recarga Lateral (-) (m3/día)**: recarga difusa a lo largo de una serie de nodos impuesta en el contorno de la malla y que representa el flujo que entra como recarga al dominio discreto de análisis.
4. **Inyecciones (-) (m3/día)**: caudal global de inyecciones (vertidos de agua).
5. **Bombeos (+) (m3/día)**: caudal global de agua extraída por bombeo.
6. **recargas Superficiales (-) (m3/día)**: precipitación establecida de forma zonal que puede tener variación espacial y temporal.
7. **RECARGA TOTAL (-) (m3/día)**: es la suma de las recargas de ríos, recarga lateral, recargas superficiales y de la precipitación global.
8. **Evapo(Transpiración) Global (+) (m3/día)**: caudal que se evapora en todo el dominio discreto cuando la evaporación esta definida por un fichero .soi; caudal de evaporación + transpiración cuando no hay fichero .soi que defina estas variables de forma zonal, entonces ambas variables climáticas se suman en este ítem.
9. **Transpiración Zonal (+) (m3/día)**: caudal que se ha transpirado en todas las zonas definidas en el fichero .soi para el dominio discreto.
10. **Derivación (+) (m3/día)**: caudal que se ha derivado en el dominio discreto; caudal de derivación especificado por el parámetro global "Tasa de detención superficial global" que se encuentra en el panel 3

- de parámetros / resolución de la interfaz.; caudal de derivación de todas las zonas establecidas en el fichero .slr.
11. **Descarga/Recarga +/- (m³/día)**: suma las descargas (evaporación+transpiración - derivación) y las recargas (precipitación) que se han definido a partir de parámetros globales en el panel 3 de configuración de parámetros globales/resolución de la interfaz.
 12. **DESCARGA TOTAL (+) (m³/día)**: suma todas las descargas zonales y globales de los ítems 8 al 11 de esta lista.
 13. **Volumen Precipitación Global (-) (hm³)**: volumen acumulado de la precipitación global (ítem 1 de esta lista).
 14. **Volumen Recarga de Ríos (-) (hm³)**: volumen acumulado de la recarga de ríos (ítem 2 de esta lista).
 15. **Volumen Recarga Lateral (-) (hm³)**: volumen acumulado de la recarga lateral (ítem 3 de esta lista).
 16. **Volumen Inyecciones (-) (hm³)**: volumen acumulado de las inyecciones de agua (ítem 4 de esta lista).
 17. **Volumen Bombeos (+) (hm³)**: volumen acumulado de los bombeos (ítem 5 de esta lista)
 18. **Volumen Recarga Superficial (-) (hm³)**: volumen acumulado de la recarga superficial (ítem 6 de esta lista).
 19. **VOLUMEN TOTAL DE RECARGA (-) (hm³)**: volumen total acumulado de las recargas (ítem 7 de esta lista).
 20. **Volumen Evapo(Transp) Global (+) (hm³)**: volumen acumulado de la evaporación(Transpiración) global (ítem 8 de esta lista).
 21. **Volumen Transpiración Zonal (+) (hm³)**: volumen acumulado de la transpiración zonal (ítem 9 de esta lista).
 22. **Volumen Derivado (+) (hm³)**: volumen acumulado de la derivación de agua superficial (ítem 10 de esta lista).
 23. **Volumen Descargado/Recargado +/- (hm³)**: volumen acumulado de la descarga/recarga (ítem 11 de esta lista).
 24. **VOLUMEN TOTAL de DESCARGA +/- (hm³)**: volumen acumulado de descarga total (ítem 12 de esta lista).
 25. **VOLUMEN de RECARGA/DESCARGA -/+ (hm³)**: suma de volúmenes acumulados que tienen en cuenta los ítems 17, 18, 20, 21, 22 de esta lista (verificar).
 26. **Superficie Total (km²)**: superficie total del modelo discreto.
 27. **Superficie Agua Libre Continental (km²)**: superficie de la cuenca cubierta por agua superficial.
 28. **Superficie Agua Libre Costera (km²)**: superficie de la cuenca cubierta por agua salada.
 29. **Superficie de Escurrimiento (km²)**: superficie de la cuenca con presencia de escurrimiento de agua.
 30. **Volumen índice de Escurrimiento (hm³)**: volumen acumulado del caudal que ha escurrido en la cuenca.
 31. **Lámina índice de Escurrimiento (m)**: espesor de escurrimiento en m/m² de superficie.
 32. **Lámina de Precipitación Global (-) (m)**: espesor de precipitación ...
 33. **Lámina de Recarga Superficial (-) (m)**: espesor de recarga superficial (entradas de agua de ríos o regadío).
 34. **Lámina de Evapo(Transp) Global (+) (m)**: espesor de evaporación (+transpiración global)
 35. **Lámina de Transpiración Zonal (+) (m)**: espesor de transpiración zonal.
 36. **LÁMINA TOTAL ENTRADAS/SALIDAS -/+ (m)**: espesor de del total de entradas/salidas de agua en m/m² de superficie.
 37. **Reserva Superficial Costera (hm³)**: reserva de agua dulce superficial costera.
 38. **Reserva subterránea Costera (hm³)**: reserva global de agua subterránea costera. Esta reserva es evaluada en el espesor de material comprendido entre el sustrato impermeable y la superficie del suelo.
 39. **Reserva de Agua Salada Costera (hm³)**: reserva global de agua salada superficial costera.

40. **Reserva Superficial Continental (hm³)**: reserva global de agua dulce superficial continental.
41. **Reserva Subterránea Continental (hm³)**: reserva global de agua dulce subterránea continental. Esta reserva es evaluada en el espesor de material comprendido entre el sustrato impermeable y la superficie del suelo.

5.2.3 FIN

Fichero que almacena la solución de los niveles freáticos para cada nodo de la malla (primera columna), así como la posición de la interfase inmiscible si esta resolviendo flujo costero (segunda columna). El objetivo de este fichero es servir como solución inicial para el modelo MELEF cambiando la extensión de .FIN a .INI.

Esta es una muestra de la información contenida en un fichero FIN con un grado de libertad (flujo continental), el cual puede tener dos grados de libertad y una segunda columna con la posición de la cuña salina o interfase inmiscible dulce/salada.

```
22014      1      55209600.000000
35.5858000000000
39.1953000000000
41.3374000000000
42.4534000000000
47.4867000000000
```

Donde:

Cabecera: número de nodos; grados de libertad (1) si flujo continental y (2) si flujo continental con interacción con flujo costero; y el tiempo en segundos. Y en la información impresa en las columnas es la siguiente:

- Nivel freático en los nodos**: posición del nivel freático para cada uno de los nodos de la malla en metros.
- Posición interfase inmiscible**: en la columna2 si la hubiere, almacenaría los valores de la posición de la interfase inmiscible de cada nodo en metros.

5.2.4 SOL

Fichero que almacena las inyecciones y las detacciones de agua en el modelo.

Esta es una muestra de la información que se imprime en el fichero SOL:

```
67106    7    259200.00
1 0.00000E+00 0.00000E+00 4.43191E-05 4.72967E-05 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
2 0.00000E+00 0.00000E+00 2.01941E-05 4.72856E-05 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
3 0.00000E+00 0.00000E+00 3.91321E-05 1.14473E-05 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
4 0.00000E+00 0.00000E+00 2.90434E-06 5.14949E-05 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
5 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 6.42829E-05 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
```

Donde, en la cabecera se imprimen el total de secciones de aforo, el número de columnas de información y el tiempo al que corresponden los resultados.

La información en las columnas muestra en la primera el número de nudo y a continuación la siguiente información:

- Inyección/Bombeo**: caudal inyectado (-) o bombead (+) en m³/seg.
- Recarga**: recarga por precipitación o regadío (-) en m³/seg.

4. **Evaporación Real:** caudal evaporado desde las superficies libres de agua en m³/seg.
5. **Transpiración Real:** caudal transpirado, más la evaporación freática, desde la superficie del suelo con o sin vegetación m³/seg.
6. **Derivación:** caudal derivado de agua superficial en m³/seg.
7. **Escurrimiento:** caudal que no se infiltra en el suelo y genera encarcamiento y por lo tanto escurrimiento en m³/seg.
8. **RAU:** Reserva de Agua Utilizable que mantiene el suelo en unidades de metros. Este valor multiplicado por el área de influencia de los nodos da como resultado el volumen de agua almacenado en el suelo que está disponible para ser transpirado.

5.2.5 VEL

Fichero que almacena las velocidades de las componentes X e Y del flujo en los medios subterráneo, subálveo y superficial.

Esta es una muestra de la información que se imprime en el fichero VEL:

```
22014      6      86400.00
 1 4.40994E-07 4.49423E-07 4.07387E-06 4.98634E-06 0.00000E+00 0.00000E+00
 2 5.90196E-07 4.68585E-07 5.01098E-06 3.98541E-06 0.00000E+00 0.00000E+00
 3 6.58635E-07-1.42053E-07 8.20603E-06-2.19435E-06 0.00000E+00 0.00000E+00
 4 9.60246E-07 2.89174E-08 1.61342E-05 9.21758E-07 0.00000E+00 0.00000E+00
 5 6.18354E-07 8.42130E-07 2.11615E-05 3.72476E-05 0.00000E+00 0.00000E+00
```

Donde, en la cabecera se imprimen el total de nodos, el número de columnas de información y el tiempo al que corresponden los resultados.

La información en las columnas muestra en la primera el número de nudo y a continuación la siguiente información:

2. **Vel.Subt.X:** velocidad en la componente X del flujo subterráneo en unidades de m/seg.
3. **Vel.Subt.Y:** velocidad en la componente Y del flujo subterráneo en unidades de m/seg.
4. **Vel.Alveo.X:** velocidad en la componente X del flujo subálveo en unidades de m/seg.
5. **Vel.Alveo.Y:** velocidad en la componente Y del flujo subálveo en unidades de m/seg.
6. **Vel.Super.X:** velocidad en la componente X del flujo superficial en unidades de m/seg.
7. **Vel.Super.Y:** velocidad en la componente Y del flujo superficial en unidades de m/seg.

5.2.6 VNO

Fichero que almacena la evolución de niveles de agua dulce/salada que dan información de la posición del nivel freático, calados, interfase dulce/salada, entro otros.

Esta es una muestra de la información que se imprime en el fichero VNO:

```
22014      5      55296000.00
 1 3.55148E+01 3.93108E+01 0.00000E+00 0.00000E+00-3.79600E+00
 2 3.91425E+01 3.61495E+01 0.00000E+00 0.00000E+00 2.99300E+00
 3 4.13006E+01 3.66776E+01 0.00000E+00 0.00000E+00 4.62300E+00
 4 4.24170E+01 3.48630E+01 0.00000E+00 0.00000E+00 7.55400E+00
 5 4.74334E+01 3.71134E+01 0.00000E+00 0.00000E+00 1.03200E+01
```

Donde, en la cabecera se imprimen el total de nodos, el número de columnas de información y el tiempo al que corresponden los resultados.

La información en las columnas muestra en la primera el número de nudo y a continuación la siguiente información:

2. **Posición Nivel Freático:** posición del nivel freático de agua dulce en metros.
3. **Espesor Nivel Freático:** espesor que tiene el nivel freático a partir del sustrato impermeable (metros).
4. **Espesor Agua Salada:** espesor de la cuña salina a partir del sustrato impermeable (metros).
5. **Calado superficial:** calado de agua superficial a partir de la superficie del suelo (metros).
6. **Posición Interfase dulce/salada:** posición de la interfase inmiscible entre el agua dulce/salada en metros.

5.3 Ficheros SIG

En este apartado se describen los diferentes ficheros de SIG que contienen la información necesaria para generar los [ficheros de entrada](#) del modelo MELEF, así como también la estructura de la tabla de atributos asociada a cada uno de los ficheros SIG.

Los ficheros SIG se generan con ayuda de la herramienta ToolBoxMELEF, la cuál genera automáticamente la estructura de las tablas de atributos y realiza las operaciones de geoprocесamiento (intersección de capas) para generar los ficheros SIG. Durante la edición de los ficheros SIG necesitará, para definir condiciones en el contorno y de simulación, de los códigos de uso que permiten al modelo identificar que uso del agua o condición de contorno queremos imponer.

Entonces, tenga siempre a la mano la Tabla D.1 de códigos de uso, en la que se resumen los ficheros que hacen uso de estos códigos, que significa cada código y que unidades estándar utilizan. La interfaz de usuario se encarga de traducir los códigos de uso de SIG a los correspondientes al modelo MELEF cuando se generar los [ficheros de entrada](#) del modelo. Tenga en cuenta que el signo positivo o negativo en las condiciones de simulación va a definir si el flujo entra o sale del dominio.

Tabla D.1. Códigos de uso SIG-MELEF.

Fichero	CODIGO_US 0 (SIG -dbf-)	CODIGO MELEF (*1E9)	Descripción	Unidad estándar
SLRMELEF- SLR	0	-	Inyección automática, refiera los distintos usos del SLR a esta zona para activar esta condición.	-
CNDMELEF - CND	1	1	± Nivel freático impuesto (contorno)	metros
CNDMELEF - CND	2	2	+ Flujo lateral difuso impuesto (contorno)	$m^3/m_{lineal}/seg$
CNDMELEF - CND	3	4	- Gradiante del nivel freático impuesto, imponga valores negativos (hacia aguas abajo).	m/m
SLRMELEF - SLR	4	1	+ Bombeo puntual. - Inyección puntual.	m^3/seg
SLRMELEF - SLR	5	2	- Recarga - lluvia - riego (difusa)	m/seg
SLRMELEF - SLR	6	2	+ Derivación de agua superficial	$m^3/m^2/ día$
SLCMELEF - SLC	7	1	- Inyección lateral puntual (contorno)	m^3/seg
SLRMELEF - SLR	8	1	+ Requiere de un valor positivo llamado diámetro zonal d_{zona} cuyo valor (cm) debe	centímetros

			$d = \sqrt{d_{ZONA}^2 / N^o_{nodos}}$, ser mayor que 1, esto para que se comporte como un DESAGÜE .	
SLRMELEF - SLR	9	2	+ Requiere un valor positivo de aperturas de compuerta hs, para activar la condición de COMPUERTA debe cumplirse que la COTA2 > COTA1 en las propiedades nodelas.	metros

Las unidades de medida que es posible utilizar en los campos TIME_FILE, con relación a cada código de uso, son las siguientes:

Tiempo = [seg; min; hrs; dia; día; mes; año]

Caudal metros cúbicos = [m3/seg; m3/min; m3/hr; m3/dia; m3/día; m3/mes; m3/año] o también [m^3/seg; m^3/min; m^3/hr; m^3/dia; m^3/día; m^3/mes; m^3/año]

Caudal litros = [l/seg; l/min; l/hr; l/dia; l/día; l/mes; l/año]

Tasas de Precipitación-Evapotranspiración = [mm/seg; mm/min; mm/hr; mm/dia; mm/día; mm/mes; mm/año]

Conductividad hidráulica y metros de Precipitación y Evapotranspiración = [m/seg; m/min; m/hr; m/dia; m/día; m/mes; m/año]

Volumen de agua (1 hm^3 = 1e6 m^3) = [hm3; hm^3; m3; m^3]

Longitud - Elevación - topografía = [mm; cm; m; milímetros; milímetros; centímetros; centímetros; metros]

Unidades varias = [adimensional; %; grados].

Siga los enlaces para una descripción del contenido de la tabla de atributos de los ficheros SIG:

- [CNDMELEF](#)
- [PRNMELEF](#)
- [SECMELEF](#)
- [SLCMELEF](#)
- [SLRMELEF](#)
- [SOMELEF](#)

5.3.1 CNDMELEF

Fichero vectorial de SIG, shapefile de puntos, que almacena aquellos nodos que tienen una condición impuesta en el contorno de gradiente o nivel freático.

Este fichero tiene asociado una tabla de atributos, CNDMELEF.dbf, a partir de la cual se generan los ficheros de entrada, en este caso el fichero .CND.

La tabla de atributos debe tener por lo menos las siguientes columnas de información:

Columnas: **NNUDO | CODIGO_USO | VAL_PERM | UNIDADES | ZONA | TIME_FILE**.

NNUDO: número de nudo, sólo deben aparecer aquellos nudos que tienen una condición de contorno ('integer').

CODIGO_USO: [1; 2; 3], vea la [Tabla D1](#) de códigos de uso ('integer').

VAL_PERM: valor permanente según código de uso, use el campo unidades para definir una unidad de medida distinta ('double').

UNIDADES: deje este campo vacío para utilizar las unidades estándar de la [Tabla D1](#), o bien imponga una [unidad de medida](#) distinta coherente con el código de uso ('text').

ZONA: campo gestionado automáticamente en SIG, el cuál almacena la zona (condición de contorno) a la que pertenece cada NNUDO ('integer').

TIME_FILE: si la condición de contorno tiene un comportamiento transitorio, entonces rellene el campo con un nombre (máximo 20 caracteres) para ligarlo a la BDatosTransitoria (Hoja Excel), y si no, deje este campo vacío para utilizar el valor permanente VAL_PERM ('texto').

5.3.2 PRNMELEF

Fichero vectorial de SIG, shapefile de puntos, que almacena todos los nodos de la malla con las propiedades de los materiales geológicos y la topografía.

Este fichero tiene asociado una tabla de atributos, PRNMELEF.dbf, a partir de la cual se generan los ficheros de entrada, en este caso el fichero .PRN.

La tabla de atributos debe tener por lo menos las siguientes columnas de información:

Columnas: **NNUDO | N | COTA2 | SUSTRATO | KX | KY | ALFA | KZ | COTA1 | ZONA | UNIDADES | TIME_FILE.**

NNUDO: número de nudo, sólo deben aparecer aquellos nudos que tienen una condición de contorno ('integer').

N: porosidad de los materiales. Puede utilizar valores en tanto por uno o en porcentaje (%), la interfaz de usuario verifica si hay valores mayores que uno o no para dejar siempre las unidades en tanto por uno ('double').

COTA2: posición de la topografía secundaria en metros ('double').

SUSTRATO: posición del sustrato impermeable en metros ('double').

KX: conductividad hidráulica de los materiales en el eje x en unidades de m/seg si no define lo contrario en el campo UNIDADES ('double').

KY: conductividad hidráulica de los materiales en el eje y en unidades de m/seg si no define lo contrario en el campo UNIDADES ('double').

ALFA: ángulo de anisotropía, en unidades de grados, de la conductividad hidráulica, para los ejes X e Y, que se mide desde el norte y con sentido antihorario ('double').

KZ: conductividad hidráulica de los materiales en el eje z, tiene un sentido de capacidad de infiltración, en unidades de m/seg si no define lo contrario en el campo UNIDADES ('double').

COTA1: posición de la topografía primaria en metros ('double').

ZONA: campo gestionado automáticamente en SIG, el cuál almacena la zona (materiales) a los que pertenece cada NNUDO ('integer').

UNIDADES: este campo sólo define las unidades de las conductividades hidráulicas [Kx; Ky; Kz]; deje este campo vacío para utilizar las unidades estándar de m/seg o bien imponga una [unidad de medida](#) distinta coherente (p.e. m/día) ('text').

TIME_FILE: si alguna propiedad de alguno de los materiales tiene un comportamiento transitorio, entonces, es necesario introducir un nombre (máximo 20 caracteres) para ligarlo al mismo nombre que aparezca en la [BDatosTransitoriaXLS](#) (Hoja Excel). De otra forma, este campo debe permanecer vacío para que la interfaz de usuario utilice los valores permanentes de esta tabla de atributos ('texto').

5.3.3 SECMELEF

Fichero vectorial de SIG, shapefile de puntos, que almacena aquellos nodos que forman las secciones de aforo del modelo.

Este fichero tiene asociado una tabla de atributos, SECMELEF.dbf, a partir de la cual se generan los ficheros de entrada, en este caso el fichero .SEC.

La tabla de atributos debe tener por lo menos las siguientes columnas de información:

Columnas: **NNUDO | VAL_PERM | ZONA**

NNUDO: número de nudo, sólo deben aparecer aquellos nudos que forman una sección de aforo ('integer')

VAL_PERM: valor permanente actualmente sin uso, mantenga este valor en cero('double').

ZONA: campo gestionado automáticamente en SIG, el cuál almacena la zona (número de sección de aforo) a la que pertenece cada NNUDO ('integer').

5.3.4 SLCMELEF

Fichero vectorial de SIG, shapefile de puntos, que almacena aquellos nodos que tienen una inyección lateral puntual impuesta en el contorno.

Este fichero tiene asociado una tabla de atributos, SLCMELEF.dbf, a partir de la cual se generan los ficheros de entrada, en este caso el fichero .SLC.

La tabla de atributos debe tener por lo menos las siguientes columnas de información:

Columnas: **NNUDO | CODIGO_USO | VAL_PERM | UNIDADES | ZONA | TIME_FILE**.

NNUDO: número de nudo, sólo deben aparecer aquellos nudos que tienen una condición de inyección lateral puntual ('integer').

CODIGO_USO: [7], vea la [Tabla 1](#) de códigos de uso ('integer').

VAL_PERM: valor permanente según código de uso (m^3/seg), use el campo unidades para definir una unidad de medida distinta ('double').

UNIDADES: deje este campo vacío para utilizar las unidades estándar de la [Tabla 1](#), o bien imponga una [unidad de medida](#) distinta coherente con el código de uso ('text').

ZONA: campo gestionado automáticamente en SIG, el cuál almacena la zona (inyección lateral puntual) a la que pertenece cada NNUDO ('integer').

TIME_FILE: si la condición de contorno tiene un comportamiento transitorio, entonces rellene el campo con un nombre (máximo 20 caracteres) para ligarlo a la [BDatosTransitoriaXLS](#) (Hoja Excel), y si no, deje este campo vacío para utilizar el valor permanente VAL_PERM ('texto').

5.3.5 SLRMELEF

Fichero vectorial de SIG, shapefile de puntos, que almacena todos los nodos de la malla en los que se imponen la precipitación y los diferentes usos del agua. Donde las zonas de precipitación y de usos del agua son zonas separadas, lo que quiere decir que donde hay una zona con un uso del agua (bombeo-derivación-inyección) no puede haber precipitación y viceversa.

Este fichero tiene asociado una tabla de atributos, SLRMELEF.dbf, a partir de la cual se generan los ficheros de entrada, en este caso el fichero .SLR.

La tabla de atributos debe tener por lo menos las siguientes columnas de información:

Columnas: **NNUDO | CODIGO_USO | VAL_PERM | UNIDADES | ZONA | TIME_FILE | ZONAINYEC**.

NNUDO: número de nudo, deben aparecer todos los nudos que intervienen en las zonas de precipitación, bombeo, desague de fondo, derivación e inyección de agua.

CODIGO_USO: [4; 5; 6; 8], vea la [Tabla 1](#) de códigos de uso ('integer').

VAL_PERM: valor permanente según código de uso, use el campo unidades para definir una unidad de medida distinta ('double').

UNIDADES: deje este campo vacío para utilizar las unidades estándar de la [Tabla 1](#), o bien imponga una [unidad de medida](#) distinta coherente con el código de uso ('text').

ZONA: campo gestionado automáticamente en SIG, el cuál almacena la zona a la que pertenece cada NNUDO ('integer').

TIME_FILE: si la precipitación o los usos del agua tienen un comportamiento transitorio, entonces rellene el campo con un nombre (máximo 20 caracteres) para ligarlo a la [BDatosTransitoriaXLS](#) (Hoja Excel), y si no, deje este campo vacío para utilizar el valor permanente VAL_PERM ('texto').

ZONAINYEC: hace referencia a zonas de inyección de agua, el agua proveniente de desagües de fondo y otras condiciones de simulación, podrán enviarse como un BYPASS a esta [ZONAINYEC](#).

5.3.6 SOIMELEF

Fichero vectorial de SIG, shapefile de puntos, que almacena todos los nodos de la malla en los que se definen las propiedades del suelo, los parámetros del modelo de evapotranspiración y la conductividad hidráulica del medio superficial.

Este fichero tiene asociado una tabla de atributos, SOIMELEF.dbf, a partir de la cual se generan los ficheros de entrada, en este caso el fichero .SOI.

La tabla de atributos debe tener por lo menos las siguientes columnas de información:

Columnas: **NNUDO | EC | ETP | EP | ES | KSUPERF | ZONA | UNIDADES | TIME_FILE | SLOPE | CCAMPO_PM.**

NNUDO: número de nudo, deben aparecer todos los nudos con las propiedades del suelo, parámetros del modelo de evapotranspiración y la conductividad hidráulica del medio superficial ('integer').

EC: franja capilar del suelo en metros ('double').

ETP: tasa de evapotranspiración potencial cuyas unidades son las definidas en el campo UNIDADES ('double').

EP: tasa de evaporación potencial cuyas unidades son las definidas en el campo UNIDADES; la EP debe ser siempre menor que la ETP ('double').

KSUPERF: conductividad hidráulica del medio superficial en unidades de m/seg ('double').

ZONA: campo gestionado automáticamente en SIG, el cuál almacena la zona a la que pertenece cada NNUDO ('integer').

UNIDADES: las unidades que defina en este campo sólo afectan a las columnas ETP y EP; deje este campo vacío para utilizar las unidades estándar de la [Tabla 1](#), o bien imponga una [unidad de medida](#) distinta coherente con el código de uso ('text').

TIME_FILE: si alguno de los parámetros y variables de este fichero tienen un comportamiento transitorio, entonces rellene el campo con un nombre (máximo 20 caracteres) para ligarlo a la [BDatosTransitoriaXLS](#) (Hoja Excel), y si no, deje este campo vacío para utilizar los valores permanentes establecidos ('texto').

SLOPE: pendiente del terreno en grados que es utilizada para que el modelo superficial evalúe el valor de X en función de la pendiente.

CCAMPO_PM: campo para almacenar la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez del suelo. Este campo es utilizado en el modelo para evaluar la Reserva de Agua Utilizable (RAU) con el espesor de suelo, y con ello simular el agua que se queda retenida en el suelo y está disponible para ser evapotranspirada.

MANUAL FreshWaterSheds

Modelo para simulación hidrológica
integrada de flujos regionales
subterráneo y superficial.

Parte



VI

6 E. Funcionamiento y procedimientos

6.1 ArcMap (Toolbox MELEF)

6.1.1 Reacondicionamiento MDE

6.1.1.1 Reacondicionamiento de un MDE

La representación de la superficie del terreno sin considerar los distintos objetos o aspectos naturales que existen sobre este, como pueden ser la vegetación y distintas obras no naturales hechas por el hombre, es a lo que nos referimos como modelo del terreno o elevación (MDT o MDE). Por otro lado, el modelo digital de superficie (MDS) es el que tiene en cuenta todos los objetos y aspectos sobre la superficie del terreno.

Un modelo digital del terreno o elevación no es más que una representación de información continua a través de un formato digital que puede ser procesado por los Sistemas de Información Geográfica. Estos formatos comúnmente son el ráster y el vectorial.

El formato ráster se refiere básicamente a una imagen cuyos pixeles representan la información de elevación, y el tamaño del pixel nos dice a qué resolución espacial está representada la información. Así, por ejemplo, un ráster con tamaño de pixel de 30 x 30 metros tendrá poca información sobre detalles hidrológicos como el cauce de un río o de estructuras como una presa o el trazado de una carretera.

Durante el desarrollo de un MDE se resuelven distintos procesos de re-clasificación de la nube de puntos e interpolación para obtener una superficie continua. No obstante, existen inconvenientes que no se solventan de la mejor manera y que son la principal fuente de imprecisiones en la información de elevaciones, esto genera la necesidad de re-acondicionar el MDE para que sea hidrológicamente correcto. Estos inconvenientes o errores se pueden clasificar en:

ERROR TIPO 1: al re-clasificar la nube de puntos que genera el método de medición (puede ser por fotogrametría, LiDAR, otros...) se clasifica que es terreno, vegetación, edificaciones y otros aspectos que no pertenecen al terreno. Los puntos clasificados como superficie del terreno son entonces utilizados para generar el MDE, al eliminar otras clasificaciones quedan huecos en la nube de puntos que se resuelven por diferentes métodos de interpolación. Así por ejemplo, el proceso de interpolación termina generando elevaciones suavizadas por donde debería haber un cauce de un río que tiene vegetación en sus margenes que ocultan la morfología de éste. Este mismo proceso de interpolación genera zonas con discontinuidad en la pendiente de un río mediante pozas o depresiones donde el agua tiende a estancarse y que no tienen lugar en la realidad, pero que puede tener su origen en tramos de cauce con y sin vegetación que afectan el proceso de interpolación.

ERROR TIPO 2: se deriva de una re-clasificación donde a pesar de saber que no pertenecen al terreno es difícil o imposible establecer en qué puntos se debe o no clasificar como terreno, por lo que se termina aceptando todo como parte del terreno. Por ejemplo, el trazado de una carretera forma parte de la superficie del terreno en la mayor parte de su trazado, pero no así en los puentes, pasos a nivel, alcantarillas y otras infraestructuras que permiten cruzar el agua superficial de un lado a otro de la carretera. En esta categoría también se ubican los cuerpos de agua como lagos o embalses, donde se opta por mantener la elevación de la lámina de agua ya que las grandes extensiones que cubren vuelven poco viable la interpolación para determinar el fondo de estos.

ERROR TIPO 3: tiene que ver con la resolución del ráster, ya que independientemente de los errores anteriores, el tamaño de celda definirá las características del terreno que se pueden observar y podrá también generar un comportamiento impredecible de las elevaciones conforme se disminuya la resolución (celdas de tamaño cada vez mayor).

Por lo anterior, cabe esperar que en un MDE la morfología de cauces y cuerpos de agua generalmente esté mal representada.

También es importante decir que no existe un procedimiento para re-establecer la morfología de cauces y cuerpos de agua en un MDE, y si la hubiera la resolución del ráster no permitiría representarla de forma correcta.

En la Figura E.1 se pueden observar errores tipo 2, donde los círculos marcan los pasos a nivel o puentes que son representados como si fueran presas que obstruyen el paso del agua, y con línea sólida de color azul se representa el trazado por donde debería observarse el cauce de los ríos.

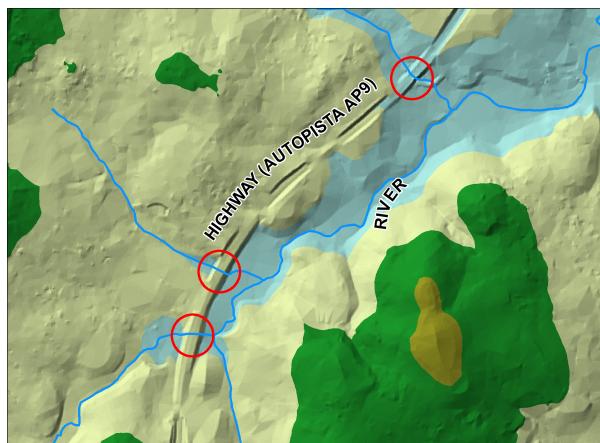


Figura E.1. Modelo Digital de Elevaciones que necesita un reacondicionamiento de las elevaciones del terreno para que sea hidrológicamente correcto.

Un MDE hidrológicamente incorrecto no puede utilizarse para modelación hidrológica con FreshWaterSheds ya que generaría embalses ficticios de agua, y estos a su vez generarían cambios en la configuración de los niveles de agua superficial / subterránea y dirección de los flujos.

Por lo anterior, se vuelve necesario implementar metodologías para el re-acondicionamiento de un MDE (DEM reconditioning) con el objetivo de modificar las elevaciones y permitir el flujo del agua superficial. No está de más volver a señalar que, el re-acondicionamiento estará lejos de reproducir la morfología original de los cauces y que no se debe utilizar como una herramienta para implementar modelos hidráulicos. El único propósito es el de crear cauces por los que el agua pueda pasar en un modelo hidrológico que implementa una discretización de elementos finitos triangulares, y que por limitaciones computacionales esta discretización no puede representar con especial detalle la morfología de un cauce.

Por lo tanto, se puede justificar el re-acondicionamiento de cauces artificiales en el MDE (que podrán tener ciertas semejanzas con el cauce natural en cuanto al trazado, la pendiente, ancho del cauce y máximo calado) que permitan realizar una modelación hidrológicamente correcta a una escala de cuencas hidrológicas.

Dado que no es posible generalizar con los tipos de errores que pueden estar presentes en un MDE, tampoco existe un proceso único que seguir para re-acondicionar el ráster y volverlo hidrológicamente correcto. Si se tiene en cuenta las siguientes consideraciones los procesos a seguir pueden variar para un correcto re-acondicionamiento del MDE:

1. El MDE puede presentar defectos de interpolación de la superficie del terreno y provocar zonas donde el agua se estanca o almacena, y que en la realidad no existen, por lo que deben ser rellenadas

- para solucionar el problema. Este tipo de problema será contrastante en regiones con una pendiente acusada respecto de regiones con una pendiente muy suave o casi nula.
2. El caso contrario también se presentan zonas donde no se puede solamente llenar el terreno para eliminar la zona donde se estanca el agua, ya que esta zona de estancamiento del agua no existe en la realidad pero tampoco es producto de un error de interpolación sino que se ha generado por una barrera representada por un puente, un paso a nivel o alguna otra obra hidráulica no considerada en la generación del MDE. Por lo que se debe proceder a eliminar la barrera y no a llenar el MDE en esta zona.
 3. Los cauces en el MDE no tienen una pendiente siempre descendente, y este aspecto estará estrechamente relacionado con los puntos 1 y 2, donde en el caso del punto 2 será necesario abrir camino por la barrera que detiene o represa el flujo superficial.
 4. Finalmente, el objetivo debe ser solventar el problema de que el flujo tenga un cauce con un área y una pendiente medias, que sean semejantes a la realidad, por donde fluir durante la simulación hidrológica. Sin embargo, lo anterior no debe utilizarse para realizar modelación hidráulica de cauces.

Ante esta situación se ha implementado en el "Toolbox MELEF > Reacondicionamiento MDE y Malla" una serie de herramientas para resolver estas cuatro consideraciones.

Las consideraciones 1 y 2 se pueden resolver con las herramientas "Depression Evaluation" y "Fill Sinks", el punto 3 se puede tratar con la herramienta "DEM Burning Slope" y el punto 4 se puede abordar con las herramientas "DEM Reconditioning Multiple" y "DEM Burning Elevation". No obstante, se deja a criterio del usuario la forma y el orden en que estas herramientas son utilizadas.

Toolbox MELEF: Hidrología y Reacondicionamiento MDE y Malla

Dentro del Toolbox, en el apartado de Hidrología, se encuentran algunas herramientas para resolver la red de cauces y obtener cuencas a partir de un punto como son:

- [Obtener ríos a partir de un MDT_Raster.](#)
- [Obtener cuenca a partir de un punto.](#)

En el apartado de *Reacondicionamiento MDE y Malla* del *Toolbox MELEF* incluye las siguientes herramientas que serán útiles para resolver el re-acondicionamiento del MDE como son:

- [DEM Burning Elevation](#)
- [DEM Burning Slope](#)
- [DEM Reconditioning Multiple](#)
- [Depression Evaluation](#)
- [Fill Sinks](#)

6.1.1.2 DEM Reconditioning Multiple

El método de re-acondicionamiento múltiple de un DEM sigue el procedimiento implementado en la herramienta ArcHydro Tools > DEM Reconditioning con la metodología Agree DEM. La metodología Agree DEM permite generar un cauce artificial a partir de tres parámetros: Buffer Cells; Smooth Drop; y Sharp Drop los cuales son mostrados en la Figura E.2. El cauce que genera tiene margenes con una pendiente suavizada y en el centro del cauce una calado mayor de forma pronunciada. El método Agree DEM fue desarrollado como una alternativa a los métodos denominados Burning DEM que sólo restan un valor constante a las celdas que están debajo del trazado de una polilínea. El objetivo principal de Agree DEM

es corregir el trazado de un río y con ello la delimitación del área de influencia de una cuenca a base de generar un cauce ficticio lo suficientemente profundo para que no quede duda de donde debe ir el cauce.

En lo que respecta a la aplicación que se le da en FreshWaterSheds, esta dista del anterior objetivo en que con esta herramienta se desea generar una sección que permita concentrar el flujo de agua superficial con similitudes al cauce natural. Por lo anterior, se ha re-programado el método Agree DEM para que acepte valores para los tres parámetros a través de la tabla de atributos de la capa de polilíneas, por lo que ahora es posible definir distintos valores por cada tramo de polilínea que se considere necesario y ajustarse mejor a tramos de distinto tamaño de sección. De esta forma se puede llevar una evolución del área consecuente con la importancia del cauce.

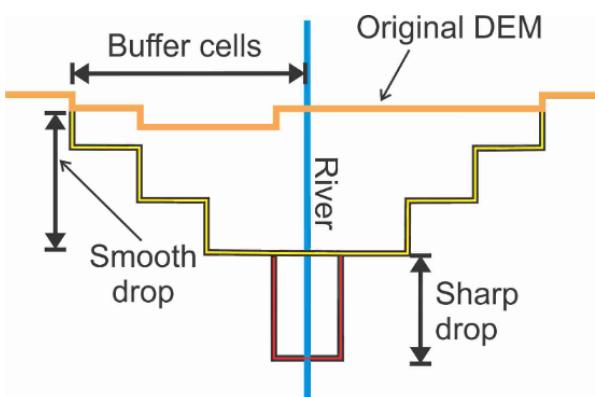


Figura E.2. Representación física de las variables del método Agree DEM Reconditioning.

En la Figura E.2 las variables que se muestran son las siguientes:

Buffer Cells: Es la distancia desde el centro del cauce y hacia una de las márgenes del cauce definida en número de celdas. Por ejemplo, si el DEM tiene una resolución de 5 m x 5 m de tamaño de celda y el cauce a regenerar tiene un ancho total de 40 metros, entonces Buffer cells deberá ser de $40 \text{ m} / 2 / 5\text{m} = 4$ celdas.

Smooth Drop: es la profundidad que se alcanzará desde la distancia Buffer Cells al centro del cauce pero sin considerar la celda sobre la que se encuentra el trazado de la polilínea. Las unidades utilizadas son las mismas unidades con la que está representada la elevación en el ráster.

Sharp Drop: es la profundidad que se alcanzará en la celda que está bajo el trazado de la polilínea, está profundidad comienza a contar desde la profundidad generada por Smooth Drop. Por ejemplo, si se establece que Smooth Drop = 2 m y Sharp Drop = 1m, entonces la profundidad máxima que alcanzará el cauce será de 3m, esto suponiendo que la elevación del ráster está representada en metros.

6.1.1.3 DEM Burning Slope

El proceso de reacondicionamiento de la pendiente es uno de los procesos que se pueden utilizar para corregir obstrucciones identificadas en el DEM como los que se muestran en la Figura E.2. El proceso de reacondicionamiento se muestra en la Figura E.3 que inicia con un ráster MDE y una capa de polilíneas 2D (los vértices de las polilíneas no tienen información de elevación) como ficheros de entrada. El resultado es un ráster que mantiene una pendiente siempre descendente en las celdas que están debajo del trazado de las polilíneas 2D, y genera además una capa de las polilíneas 3D (shape ZM) con información de la elevación en sus vértices que estarán re-distribuidos a una distancia igual al tamaño de celda del ráster.

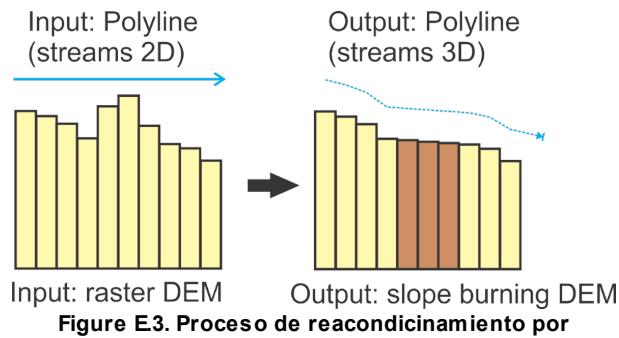


Figure E.3. Proceso de reacondicionamiento por pendiente de un MDE

El proceso que se sigue con la herramienta DEM Burning Slope es el siguiente:

1. Si la polilínea es 2D se interpola con el ráster para generar una polilínea 3D que contiene la información de elevación de las celdas que están bajo la polilínea. En este proceso de interpolación los vértices son re-distribuidos a la misma distancia que el tamaño de celda del ráster.
2. Se itera en cada tramo de polilínea y también se itera en cada uno de los vértices que están tiene para verificar que haya una pendiente siempre descendente. Cuando la pendiente es ascendente las celdas con mayor elevación que obstruyen el flujo, como las mostradas en la Figura E.3, se procede a eliminar la información de estos vértices hasta que se localiza un vértice con elevación más baja. Una vez encontrada un celda con información más baja se procede a realizar una interpolación lineal para generar información de elevación de los vértices eliminados.
3. Las celdas del MDE que están bajo las polilíneas son actualizadas con la nueva información de elevación de los vértices de la polilínea.
4. Se genera como resultado el MDE actualizado con una pendiente siempre ascendente en las celdas que están bajo el trazado de las polilíneas. También, se genera una capa de polilíneas 3D con la información de elevación con una pendiente siempre descendente en los vértices.

Con este proceso se asegura que la pendiente descendente que ya está presente en el DEM se mantiene sin cambios, y que sólo se modifican aquellas celdas que no cumplen con esta condición. Los resultados generados por este procedimiento son de utilidad como ficheros de entrada para el método "DEM Reconditioning Multiple".

6.1.2 Generar ríos desde un MDE

6.1.2.1 Obtener Ríos a partir de un MDE

La obtención de la red de ríos en formato digital a partir de un MDE es posible mediante los sistemas de información geográfica siguiendo una serie de pasos de geoprocесamiento. Inicialmente se requiere que el MDE no tenga depresiones o barreras que generen estancamiento del agua y ortofotos para verificar y modificar el trazado final de las polilíneas de ser necesario. El primer paso es eliminar las depresiones llenando el MDE para evitar zonas de estancamiento o encarcamiento del agua. A partir de un MDE con depresiones llenadas se procede a evaluar los ráster de direcciones de flujo y acumulación de flujo, y finalmente se procede a la re clasificación del ráster de acumulación de flujo para determinar lo que es río de lo que no es río y convertir a polilíneas.

Este proceso se puede realizar con las herramientas siguiendo los siguientes pasos:

1. **Fill Sinks:** se procede a llenar todas las depresiones que existan en el MDE sin distinción de si son reales o no.
2. **Flow Direction:** herramienta que utiliza el ráster generado por **Fill Sinks** para evaluar la dirección que toma el flujo en cada una de las celdas del ráster. El resultado es entonces un ráster cuyas celdas toman 8 posibles valores que representan las ocho posibles direcciones que puede tomar el flujo en una celda. Estos valores son [1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128] donde el uno representa el Este, el dos el Sur-Este, el cuatro el Sur y así sucesivamente siguiendo un sentido horario.
3. **Flow Accumulation:** herramienta que utiliza el ráster de direcciones de flujo (**Flow Direction**) para decidir en qué dirección correría el agua y acumular en cada celda el número de celdas que desde aguas arriba drenan hacia esta.
4. **Stream Definition:** resuelve la re-clasificación del ráster **Flow Accumulation** para definir a partir de cuántas celdas acumuladas queremos considerar que inicia la red de ríos. Para resolver qué es río la herramienta requiere el área de acumulación, en unidades de celdas o área en Km², que es necesario para considerar que se comienza a formar un río. Cuanto mayor es el número de celdas impuesto la red de ríos será menos densa y tenderá a mostrar cauces de mayor relevancia de flujo. El resultado es un ráster que muestra la red de ríos.
5. **Stream Segmentation:** divide la red de ríos por los puntos de unión de dos cauces y genera un nuevo ráster de ríos segmentados.
6. **Drainage Line Processing:** convierte los ríos segmentados en polilíneas.

O bien, se pueden utilizar las herramientas de ArcGIS> Spatial Analyst Tools > Hydrology las cuales se han concentrado en una única herramienta Toolbox MELEF > Hidrología > Obtener ríos a partir de un MDT ráster.

1. **Obtener ríos a partir de un MDT ráster:** ingrese el MDE original y la herramienta se encarga de ejecutar todos los procesos necesarios para obtener una red de ríos con una superficie de acumulación definida por el usuario en unidades de celdas. Defina como productos de salida los ráster de dirección de flujo, acumulación de flujo y la capa de polilíneas de ríos. Estas capas serán de utilidad para definir los límites de la cuenca. La herramienta utiliza la ecuación "con ([RESULTADO ACUMULAR FLUJO] > 100, 1)" para re-clasificar todas las celdas que reciben más de 100 celdas de acumulación desde aguas arriba con el valor 1, y aquellas que no cumplen con esta condición se clasifican como "NO DATA". Así por ejemplo, si se desea establecer un área de captación de flujo de una hectárea, y la resolución del ráster (tamaño de celda) es de 5 m entonces se debe modificar el número 100 de la ecuación por 400. El ráster que resulta sólo tiene celdas con valor 1 (celdas consideradas cauces) y celdas con valor "NO DATA" (celdas que no son consideradas cauces). Finalmente, se transforma el ráster reclasificado en polilíneas.

Cualquiera de las dos herramientas genera resultados iguales en el trazado de la red de ríos. Sin embargo, se debe tener precaución con la red de ríos que se obtenga con cualquiera de los métodos, ya que suele tener inconsistencias en el trazado del cauce debidas principalmente al llenado general de todas las depresiones del MDE y al tamaño de celda de éste. Esto se puede verificar sobreponiendo la red de ríos en una ortofoto del área de estudio y definir si el trazado es o no el correcto.

6.1.2.2 **Evaluar y ubicar depresiones en el MDE**

Evaluar y ubicar depresiones en un MDE

Dado que la red de ríos se deriva de un MDE con una resolución que limita un mayor detalle de la morfología de los cauces y de su trazado, y que además ha sido relleno para solventar el problema de las depresiones existentes, se vuelve importante verificar con especial atención si existen zonas que son depresiones reales generadas por barreras como una presa, o zonas con depresiones que no son reales pero que son provocadas por barreras ficticias provocadas por puentes, pasos a nivel y otras obras de desagüe que permiten el flujo del agua de un lado a otro de una carretera que no deberían estar reflejadas en el MDE.

Si estamos ante la situación de tener que decir qué depresión es o no real, entonces se puede ejecutar la herramienta *ArchHydro Tools > Terrain Processing > DEM Manipulation > Depression Evaluation*. O bien, utilizar la herramienta del *Toolbox MELEF > Utilidades > Reacondicionamiento MDE y Malla > Depression Evaluation*.

El primer paso es evaluar las depresiones del MDE (DEM por sus siglas en inglés) con la herramienta *Depression Evaluation*. *ArchHydro Tools* genera dos capas de polígonos como resultados, *Depression* y *DepressionDA*, mientras que *Toolbox MELEF* sólo genera la capa *Depression*. La capa *Depression* es la capa de mayor interés pues es la que refleja los polígonos que representan las depresiones que se rellenarían si se ejecuta el proceso **Fill Sinks** sin previa supervisión.

1. Una vez que se tiene las depresiones evaluadas se debe acceder a su tabla de atributos para modificar el valor de la columna **IsSink**. Esta columna sólo puede contener valores de 0 o 1. El valor cero representa las depresiones que no son reales y que por lo tanto deberían rellenarse. El valor uno representa las depresiones que son reales y por lo tanto deberían mantenerse sin llenar.
2. Ejecutar la herramienta **Fill Sinks**, esta herramienta se localiza en el *ArchHydro Tools* y *Toolbox MELEF*, la cual utiliza la capa de polígonos *Depression* para llenar sólo las áreas del DEM que están asociadas a zonas cuyo valor *IsSink* es cero.

La Figura E.4 muestra las depresiones como polígonos de color azul con el MDE de fondo, a lo largo de los cauces se puede observar que hay una gran cantidad de polígonos pequeños que pueden ser producto de un **ERROR TIPO 1** (véase el apartado [Reacondicionamiento de un MDE](#)), pero también hay depresiones que son reales y que pertenecen principalmente a embalses.

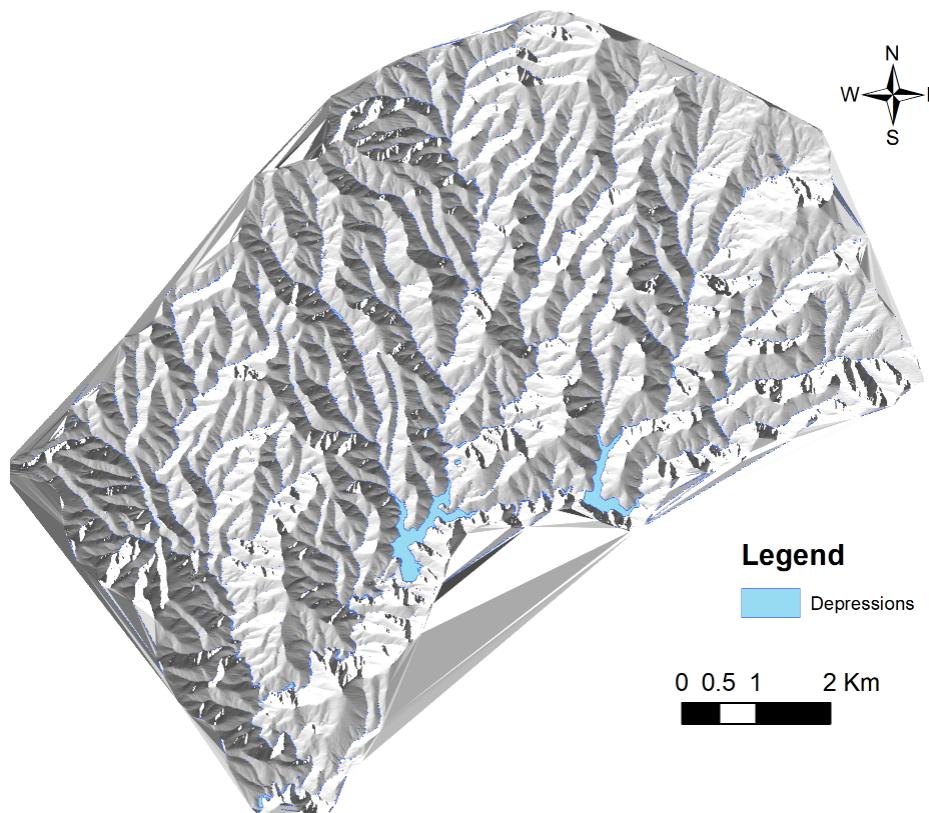


Figura E.4. Depresiones mostradas como polígonos de color azul sobreuestas en el MDE

La importancia de llenar depresiones tiene relevancia en cómo se ve afectada la pendiente del perfil del cauce una vez que iniciamos el proceso de re-acondicionamiento hidrológico. En la Figura E.5 se muestra una comparación del perfil de un cauce cuyos vértices contienen información de elevación de un MDE al que se le aplicó el método *DEM Burning Slope* sin llenar las depresiones del terreno (línea en color rojo), y de un MDE con depresiones del terreno llenadas antes de aplicar el método *DEM Burning Slope*.

Al analizar los resultados se observa que el perfil del cauce del MDE con depresiones llenadas y aplicando *DEM Burning slope* (línea azul) muestra un comportamiento de escalonamiento muy marcado, en donde las zonas que se llenaron formaron escalones que pasan de una pendiente casi cero a una pendiente muy acusada. Mientras que el perfil del cauce para un MDE sin llenar y aplicando *DEM Burning Slope* (línea roja) tiende a ser más suave y con escalonamientos más moderados.

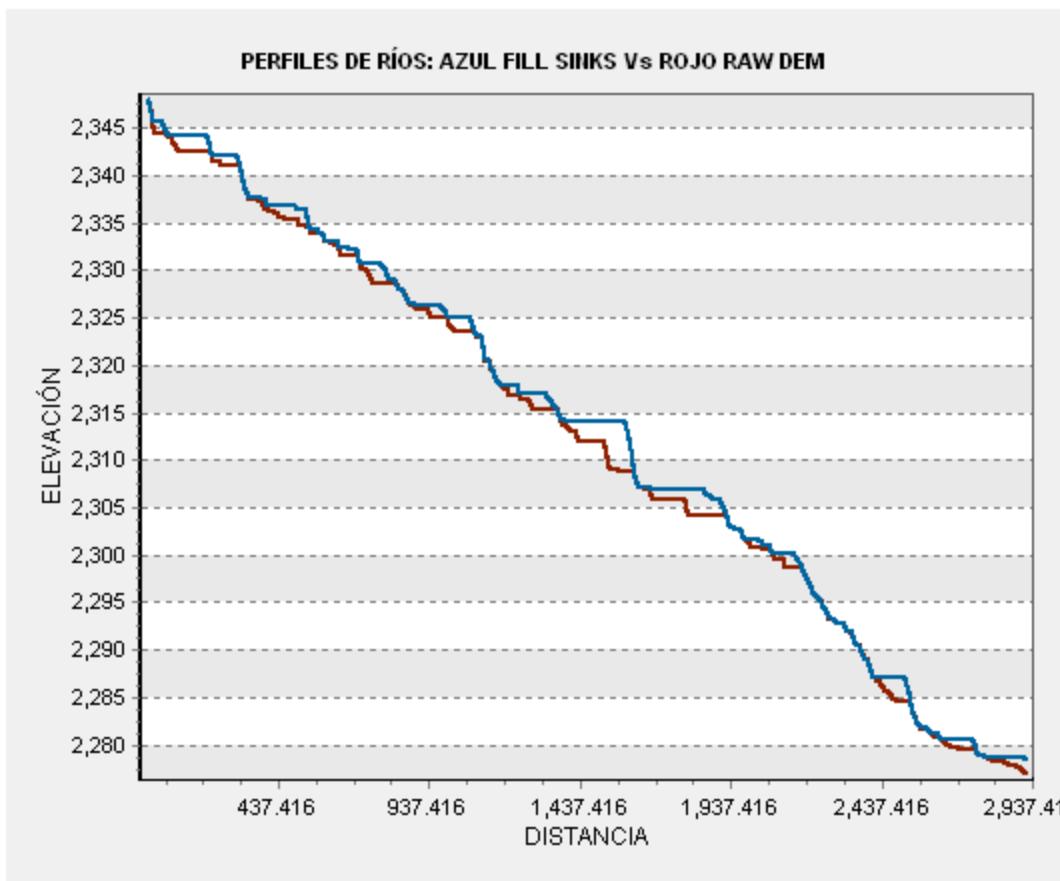


Figure E.5.Resultado de aplicar DEM Burning Slope a un MDE con depresiones rellenas selectivamente (azul) y un MDE original (rojo).

6.1.3 Evaluación del sustrato impermeable

Es importante señalar que la posición del sustrato impermeable evaluada por esta herramienta no sustituye a la información que permite establecer la posición real del mismo, sino que es una posición teórica que permite definir el espesor del acuífero que será simulado. En este sentido, y en una situación de falta de información se emplea esta herramienta considerando distintos comportamientos para evaluar el espesor del acuífero sobre el que se va a trabajar.

Evaluación de la posición del sustrato impermeable

Sin considerar las herramientas de Krigeado y evaluación del sustrato en forma zonal, la herramienta evalúa la posición del sustrato impermeable con información aportada por el usuario sobre del espesor del acuífero en zonas altas y bajas.

Según se observa en la imagen, a lo largo de una ladera se puede pensar en el posible comportamiento del sustrato, siguiendo la forma de la topografía, el cuál tendría cierto sentido que fuera de mayor espesor en las zonas de mayor acumulación de sedimento, a pie de monte, y de menor espesor en las zonas más altas y de mayor pendiente.

Sin embargo, el anterior razonamiento puede no ser lo que mejor se ajuste al problema a resolver, por lo que definir una posición del sustrato impermeable se puede dar bajo distintos criterios y objetivos. Estos criterios podrían establecerse en función del espesor del acuífero que se desea modelar, el rango de posición del nivel freático, entre otros posibles que serán criterios particulares del usuario.

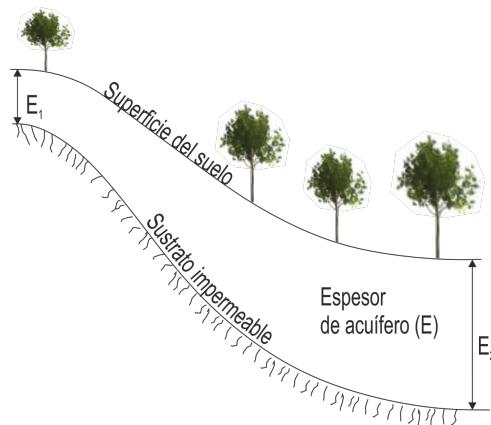


Figura E.6. Criterio de evaluación implementado para definir la profundidad del sustrato impermeable.

Si el criterio mostrado en la Figura E.6 sobre el comportamiento del espesor del acuífero es implementado, entonces la ecuación implementada es la siguiente:

$$\text{Sustrato} = Z - \frac{E_2 - (E_2 - E_1) \times (Z \times (Z_{\max} - Z_{\min}))}{Z_{\max} \times (Z_{\max} - Z_{\min})}$$

Donde:

- | | |
|------------|---|
| Sustrato | = posición del sustrato impermeable. |
| Z | = elevación contenida en cada uno de los nodos de la malla. |
| Z_{\max} | = elevación máxima en los nodos. |
| Z_{\min} | = elevación mínima en los nodos. |
| E_1 | = espesor del acuífero en zonas altas. |
| E_2 | = espesor del acuífero en zonas bajas. |

En el caso de establecer valores $E_1 = E_2$ se tendría una evaluación igual a restar un valor constante a la topografía.

Suavizar el sustrato impermeable

El sustrato impermeable que resulta tiene las mismas variaciones de elevación que la topografía, lo cual puede no ser adecuado ya que cabría esperar una transición más suave del sustrato pero siguiendo la misma tendencia que la topografía. En este sentido, se propone la interpolación Kriging como una herramienta que permite suavizar la superficie del sustrato impermeable, donde una de las variables objetivo puede ser el tamaño de celda establecido (a menor tamaño más variabilidad y a mayor tamaño se tiene un mayor efecto de suavización).

IMPORTANTE: cuando se establecen espesores E_1 y E_2 muy próximos a la superficie y se suaviza la superficie del sustrato (uso de la herramienta de Krigeado) se puede llegar a un error que puede llevar a inestabilidad numérica en la modelización. Este error se genera cuando en algunos nodos la posición del sustrato impermeable está por encima de la misma superficie del suelo. Esto sucede a causa de la suavización que en algunas zonas puede provocar que la posición del sustrato sea incoherente. Para verificar este error basta con evaluar si la diferencia Elevación del terreno - Sustrato sea positiva para todos

los nodos, y de no ser así se deberá buscar un tamaño de celda menor o bien espesores de acuífero mayores.

6.1.4 Ajustar espesor de suelo por pendiente-vegetación

Para propósitos de modelación, la evolución del espesor de suelo en una ladera puede aproximarse a través de procesos de transporte advectivo y difusivo. Los procesos advectivos consideran el transporte de suelo debido a flujo del agua a través de cursos de agua, siendo un proceso que tiende a ser inestable y forma canales y valles. Mientras que en el proceso difusivo, el sedimento es transportado debido al gradiente de la superficie del suelo, movimiento que tiende a acumular más sedimento en valles y se piensa es el transporte predominante en una ladera (Fernandes et. al, 1997; Pelletier et. al 2009).

En laderas con pendientes altas el proceso de erosión se incrementa de forma no lineal con el gradiente de la pendiente conforme el ángulo de estabilidad es alcanzado.

Además, la vegetación tiene un rol importante generando mayor estabilidad y disminuyendo las tasas de erosión por los procesos advectivos y difusivos antes mencionados (Istanbulluoglu et. al, 2005). Así como generando nuevo suelo al fracturar rocas a través de las raíces.

La topografía que observamos en una ladera es el resultado de una constante erosión y deposición de sedimento, relación que puede estar o no en equilibrio. Por lo anterior, suele ser coherente que el espesor de suelo sea mínimo en la divisoria de la ladera, ya que este punto es el de mayor altura y no recibe aportes de sedimento de otras zonas, mientras que el pie de ladera o pie de monte, suele ser el punto que acumula un mayor aporte de sedimento, lo cual no implica que esta zona no pueda estar sujeta a erosión.

La posición en la ladera es un factor relevante en la evaluación del espesor de suelo, aunque este se verá modificado por la presencia de vegetación que puede generar suelo en las partes altas de ladera.

Por todo lo anterior, y con la finalidad de tener en cuenta los anteriores controles para establecer los espesores de suelo en una región de estudio, previo conocimiento de los espesores máximos y mínimos del suelo, se establece la siguiente relación:

$$ES = ES_{\min} + (ES_{\max} - ES_{\min}) \times \cos(\phi \times \pi / 180) \times (F_{ladera} + (1 - F_{ladera})F_{veg})$$

ES = Espesor del suelo

ES_{\min} = Espesor mínimo del suelo [metros]

ES_{\max} = Espesor máximo del suelo [metros]

ϕ = Ángulo de la pendiente en la ladera [grados]

F_{veg} = Factor de vegetación con rango de valores entre 0 -1. Para valores próximos a 1 los espesores de suelo se mantendrán próximos al máximo espesor de suelo, mientras que para valores próximos a cero el espesor de suelo será próximo al valor mínimo.

F_{ladera} = Factor respecto de la posición en la ladera, cuanto más próximo se este a la divisoria este valor tenderá a cero, mientras que al pie de ladera este valor tenderá a 1.

La representación gráfica de esta relación se muestra en la Figura E.7, donde se representa con línea sólida la superficie del suelo y con líneas discontinuas la posición de la roca madre. Así, por diferencia entre la elevación de la superficie del suelo y las líneas discontinuas se obtiene el Espesor de Suelo (ES) para los distintos factores de vegetación evaluados.

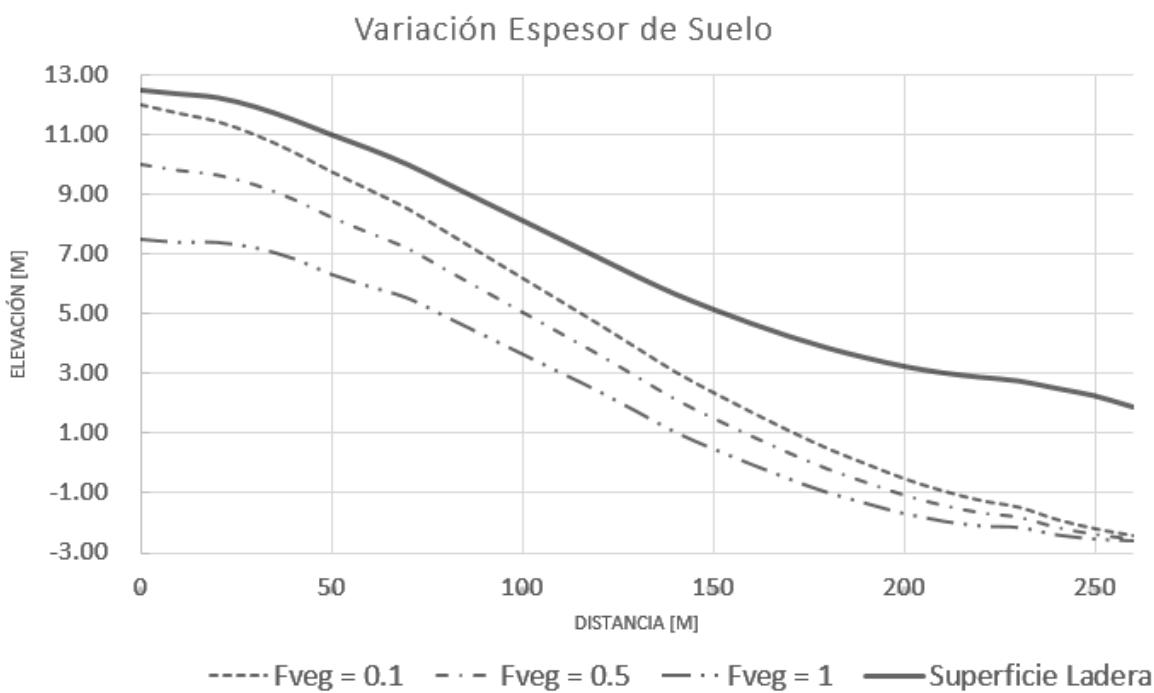


Figura E7. Evaluación del espesor de suelo considerando distintos Factores de vegetación.

La importancia de evaluar el espesor de suelo recae en el control que ejerce en la respuesta hidrológica en una cuenca, ya que suelos de poco espesor tienden a generar más escurrimiento, mientras que los de mayor espesor tienen un incremento en su potencial de almacenamiento.

El espesor de suelo evaluado en este apartado requiere aún de un proceso de validación de espesores.

REFERENCIAS

- Fernandes, N.F., Dietrich, W.E. 1997. Hillslope evolution by diffusive processes: The timescale for equilibrium adjustments. *Water Resources Research*, Vol. 33-6.
- Istanbulluoglu, E., Bras, L. 2005. Vegetation - modulated landscapes evolution: Effects of vegetation on landscapes processes, drainage density, and topography. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110. doi:10.1029/2004JF000249
- Pelletier, J.D., Rasmussen, C. 2009. Geomorphically based predictive mapping of soil thickness in upland watersheds. *Water Resources Research*, Vol. 45. doi:10.1029/2008WR007319

6.1.5 Añadir coordenadas X,Y a un shapefile de puntos.

Los shapefiles de puntos almacenan en su propia topología información sobre sus coordenadas X e Y, e incluso de la coordenada Z si se trata de puntos 3D. Para hacer visible esta información en la tabla de atributos del shapefile siga una de las siguientes opciones:

1. La primera opción es manual y requiere abrir la tabla de atributos del shapefile, para ello haga clic con el botón derecho del ratón sobre la capa en ArcMap y seleccione **Open Attribute Table**, y en la parte inferior derecha de la tabla que se despliega haga clic en el botón **Options** el cual despliega un menú: seleccione la opción **Add Field**. En la ventana que se despliega a continuación introduzca un

nombre (p.ej. coorX) y el tipo de campo (p. ej. Double), esta acción añade un nuevo campo a la tabla de atributos para almacenar una de las coordenadas. Finalmente, haga un clic con el botón derecho del ratón sobre la cabecera de la columna que ha añadido y en el menú que se despliega seleccione **Calculate Geometry**, elija la coordenada con la que desea llenar la columna y repita el proceso para la coordenada siguiente.

2. La segunda manera para añadir las coordenadas X e Y es a partir de una herramienta diseñada para ello **Add XY Coordinates**, la cual se encuentra en la caja de herramientas **Data Management Tools > Features**. Ejecute la herramienta e indique el shapefile de puntos al que desea añadirle las coordenadas X e Y, y si el shapefile tiene información de la coordenada Z en su topología entonces también se añade esta información a la tabla de atributos.

6.1.6 Barra de herramientas de edición

Para comenzar a editar un shapefile despliegue la barrar de herramientas de edición  que se localiza en la barra de accesos directos o en el menú **Tools > Editor Toolbar**.

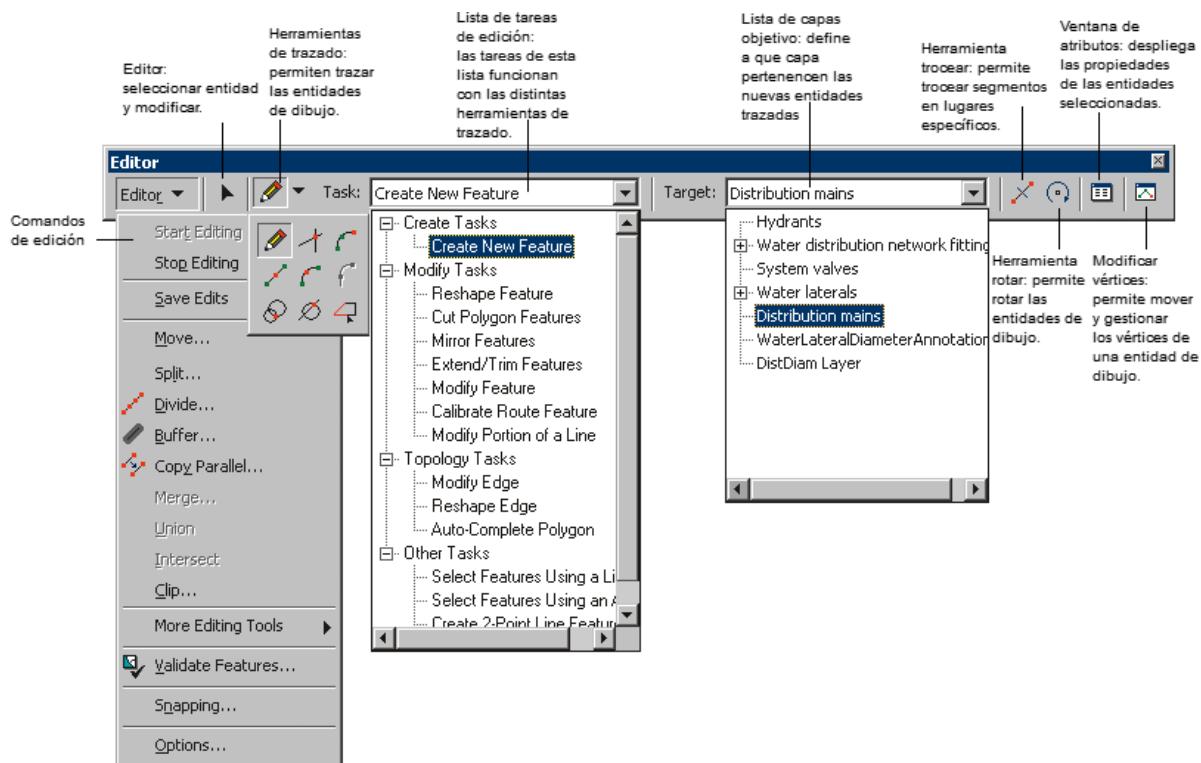


Figura E.8. Barra de edición de ArcMap.

En la Figura E.8 para comenzar a editar una capa seleccione **Start Editing** y a continuación la capa objetivo (shapefile) que desea editar. A continuación se muestran algunas de las tareas más comunes de edición:

- Para generar una nueva entidad de dibujo (polígono - poli-línea - punto) seleccione la herramienta con forma de lápiz y la tarea de edición **Create New Feature**.
- Para cortar un polígono primero seleccione el polígono, a continuación modifique la tarea de edición por **Cut Polygon Features** y con el lápiz trace la ruta por donde desea cortar el polígono y para que la herramienta de corte funcione asegúrese de cruzar con el trazado dos bordes del polígono o bien dibujar un trazado cerrado.

- Para modificar los vértices de una entidad de dibujo seleccione la tarea de edición **Modify Feature** y después la herramienta **Editor**.
- Para imantar el puntero del ratón a los vértices de las entidades de dibujo de cualquier capa seleccione en el menú de comandos de edición la opción **Snapping...**, y en la ventana que se despliega active la capa o capas a las que desea imantar el puntero.

6.2 Interfaz de Usuario

6.2.1 Interpolación de datos

Métodos de interpolación utilizados por la interfaz FreshWaterSheds.

- [Como histograma con paso atrás.](#)

6.2.1.1 Interpolación como histograma con paso atrás

Este método de interpolación está diseñado especialmente para mantener el volumen bajo la curva que describen los datos. Este método se define como un método de interpolación como histograma con paso atrás (Figura E.9).

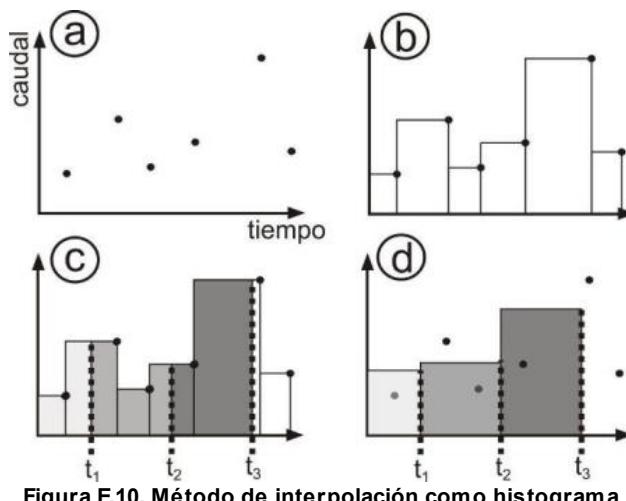


Figura E.10. Método de interpolación como histograma con paso atrás.

Para desarrollar el método de interpolación se ha partido de que la información hidrológica sólo se puede medir en incrementos finitos de tiempo, y en algunos casos estos incrementos de tiempo pueden ser irregulares (medidas semi-automáticas). Entonces, los datos se pueden representar en forma de barras, o histogramas, donde cada barra representa el valor medido con un grosor igual a su incremento de tiempo (Figura E.10). En este sentido, la interpolación divide las barras en los tiempos deseados, suma el volumen de las barras que están dentro del nuevo intervalo de tiempo y, finalmente, divide el volumen acumulado por su nuevo intervalo de tiempo.

Este método tiene como principales propiedades mantener el volumen acumulado de los datos medidos (tasas o caudales), suavizar los datos cuando se interpola con incrementos de tiempo superiores a los originales.

Este método es utilizado para interpolar las [bases de datos transitorias XLS](#).

6.2.1.2 Método de interpolación lineal

Método de interpolación utilizado para las variables que no representan tasas o caudales, p.ej. niveles freáticos o calados de agua superficial.

Función de interpolación lineal en Matlab: $yi = \text{interp1}(x,y,xi,\text{'linear'})$, vease la ayuda de Matlab.

6.2.2 Bases de datos de la Interfaz (.MAT)

Existen tres bases de datos internas .MAT:

1. Gestiona la configuración que el usuario ha realizado sobre los parámetros en los paneles de la interfaz FreshWaterSheds.
2. Almacena los parámetros y atributos de los nodos que sirven para generar los ficheros de simulación de FreshWaterSheds.
3. Gestiona y almacena la información medida en campo y realiza cálculos de aforo a partir de las velocidades medidas.

La estructura de las distintas bases de datos internas .mat se detalla a continuación:

- [Estructura: Gestión de la información y parámetros de la interfaz FreshWaterSheds.](#)
- [Estructura: Almacena propiedades nódales FreshWaterSheds.](#)
- [Estructura: Gestión de datos medidos en campo y evaluación de aforos.](#)

6.2.2.1 Estructura de la Base de Datos: Interfaz MELEF

Análisis de la estructura de datos que almacena la configuración del usuario en la interfaz FreshWaterSheds.

- Proyecto_InterfazUsuario.MAT
 - **Proyecto**
 - .name: formato "string", guarda la ruta completa del fichero Proyecto.MAT.
 - .path: formato "string", guarda la ruta donde se encuentra el directorio del proyecto.
 - .namefile: formato "string", guarda el nombre y la extensión del fichero Proyecto.MAT.
 - **Directorio**
 - .SWSPACE: formato "string", guarda la ruta donde se almacenan los ficheros temporales de GIS. En código (path_SWSPACE).
 - .WSPACE: formato "string", guarda la ruta donde se almacenan los ficheros de simulación en formato de SIG (shapefiles). En código (path_WSPACE).
 - .BDXLS: formato "string", guarda la ruta donde se almacenan los ficheros Excel con los registros transitorios de las condiciones de simulación del proyecto. En código (path_BDXLS).
 - .SIMELEF: formato "String", guarda la ruta donde se almacenan las carpetas de simulación en las que se ejecuta el modelo MELEF. En código (path_SIMELEF).
 - .INFORMES: formato "string", guarda la ruta donde se almacenan los informes de resultados.
 - **Data_Simulation(simulationID)**: simulationID es una variable numérica que se genera durante la ejecución de la interfaz.
 - .name: formato "string", guarda el nombre de la carpeta de simulación correspondiente al identificador simulationID.
 - .information: formato "struct", almacena otras variables de información en segundo nivel.
 - ↳ .information.model: formato "string", guarda la información que muestra la ventana de ejecución CMD del modelo MELEF.

- ↳ .information.infoiteration: formato "string", guarda las notas y observaciones del usuario de cada carpeta de simulación.
- **.execution:** formato "struct", almacena la ruta de los directorios y nombres de los ficheros de simulación en segundo nivel.
 - ↳ .execution.path_simulation: formato "string", guarda la ruta de la carpeta de simulación correspondiente al identificador simulationID.
 - ↳ .execution.name_MFIL: formato "string", guarda el nombre con que son renombrados los ficheros de simulación al ejecutar el código MELEF (_MFIL).
- **.resolution:** formato "struct", almacena la configuración de los parámetros de resolución del sistema en segundo nivel.
 - ↳ .resolution.time_control: formato "matriz" (1 x 5) con la siguiente información [fecha_inicio; fecha_fin; paso_tiempo; unidades; total_pasos]. Las fechas inicio y final están almacenadas como números (datestr(fecha_inicio)= fecha inicial en formato texto), el paso de tiempo está delimitado por las unidades que pueden ser [días; horas; minutos; segundos] y lo que se almacena es el índice de estas -1,2,3,4- respectivamente, y el total de pasos de tiempo que dura la simulación.
 - ↳ .resolution.saltoLectura: formato "matriz" (1 x 7) con la siguiente información [status; fecha_TINI; TAScnd; TASprn; TASsoi; TASslr; TASsIc], donde status es 1 o 0 e indica si está activa o no la opción de salto de lectura, y los restantes valores son todos fechas en formato número.
 - ↳ .resolution.configuracion: formato "cell" (n x 7) con la siguiente información [EPSDL; NPREC; NRDEM; NITER; IML; EULR; AL2H/AL2S]. Generalmente n es igual a 2 y la segunda linea de parámetros repite los valores de la primera con propósitos de verificación de valores, cuando n mayor que 2 entonces las correspondientes lineas son de los bloques de iteración de parámetros globales.
 - ↳ .resolution.unidades: formato "matriz" (n x 7) que contiene las unidades relacionadas con los parámetros de configuración del párrafo anterior. En el caso de las unidades del precondicionador AL2H/AL2S, las unidades indican cuál ha seleccionado el usuario.
- **.PRGL:** formato "struct", almacena la configuración de los parámetros y sus unidades de medida en segundo nivel.
 - ↳ .PRGL.configuracion: formato "cell" (n x 17) con la siguiente información [F.Ghyben; LluviaGlobal; F.Subálveo; Coef.X; Esp.mín.sustrato; Esp.capilarSuelo; ETP; EP; Esp.mín.salada; DeltaH.desague.fondo; Coef.poro.superficial]. El total de lineas de parámetros n está relacionada con el total de bloques de configuración de parámetros.
 - ↳ .PRGL.unidades: formato "matriz" (n x 17), las unidades están relacionadas respectivamente con los parámetros de configuración del párrafo anterior.
 - ↳ .PRGL.statusderivacion: formato "matriz" (1 x 1) que guarda el estado 1-0 y define si la derivación de agua zonal o global está activa o no respectivamente.
- **.path_conditions:** formato "struct", almacena las rutas de los ficheros de simulación y de la solución inicial en segundo nivel.
 - ↳ .path_conditions.path_status20: formato "string", guarda la ruta al fichero .cor.
 - ↳ .path_conditions.path_status22: formato "string", guarda la ruta al fichero .ele.
 - ↳ .path_conditions.path_status4: formato "string", guarda la ruta al fichero .sec.
 - ↳ .path_conditions.path_status26: formato "string", guarda la ruta al fichero .cnd.
 - ↳ .path_conditions.path_status28: formato "string", guarda la ruta al fichero .prn.
 - ↳ .path_conditions.path_status30: formato "string", guarda la ruta al fichero .soi.
 - ↳ .path_conditions.path_status32: formato "string", guarda la ruta al fichero .slr.
 - ↳ .path_conditions.path_status34: formato "string", guarda la ruta al fichero .slc.
 - ↳ .path_conditions.path_status36: formato "string", guarda la ruta al fichero .ini.
 - ↳ .path_conditions.time_status36: formato "string", guarda el tiempo en segundos de la variable _TINI asociada a la fecha de la solución inicial de simulación (path_status36).
- **.results:** formato "struct", almacena en segundo nivel la configuración de frecuencia de impresión y qué ficheros de resultados de MELEF serán impresos.

- ↳ .results.printfiles: formato "matriz" (1 x 6) con la siguiente información [MFIN; MPST; DEB; MVEL; MSOL; MEXE], que definen mediante valores lógicos 1-0 si el fichero de resultados se imprime o no respectivamente.
- ↳ .results.print_ntimesteps: formato "matriz" (n x 6), los ficheros de resultados del párrafo anterior se imprimen con una frecuencia en pasos de tiempo que se almacena en esta matriz. La variable n hace referencia al bloque de configuración de parámetros globales.
- .PRNMELEF: formato "struct", almacena las rutas de los ficheros necesarios para generar el fichero de propiedades nodales.
 - ↳ .PRNMELEF.DirDBF: formato "string", guarda la ruta de la tabla de atributos del fichero vectorial de SIG (shapefile) con las propiedades nodales.
 - ↳ .PRNMELEF.DirXLS: formato "string", guarda la ruta de la tabla XLS con el comportamiento transitorios de las diferentes variables climáticas e hidrológicas.
 - ↳ .PRNMELEF.DirOUT: formato "string", guarda la ruta del fichero .prn que se ha generado a partir de la tabla de atributos dbf y la tabla xls.
 - ↳ .PRNMELEF.TIME_FILE: formato "string", guarda "off" si el fichero con las condiciones de simulación tienen un comportamiento permanente y "on" si el fichero tiene un comportamiento transitorio.
- .SLRMELEF: formato "struct", almacena las rutas de los ficheros necesarios para generar el fichero de solicitudes repartidas (usos del agua).
 - ↳ .SLRMELEF.DirDBF: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .SLRMELEF.DirXLS: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .SLRMELEF.DirOUT: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .SLRMELEF.TIME_FILE: formato "string", igual que en PRNMELEF.
- .SOIMELEF: formato "struct", almacena la ruta de los ficheros necesarios para generar el fichero .soi con las propiedades del suelo y las variables del modelo de evapotranspiración.
 - ↳ .SOIMELEF.DirDBF: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .SOIMELEF.DirXLS: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .SOIMELEF.DirOUT: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .SOIMELEF.TIME_FILE: formato "string", igual que en PRNMELEF.
- .SECMELEF: formato "struct", almacena sólo la ruta del fichero .sec con las secciones de aforo del modelo.
 - ↳ .SECMELEF.DirOut: formato "string", igual que en PRNMELEF.
- .SLCMELEF: formato "struct", almacena la ruta de los ficheros necesarios para establecer las recargas de agua difusas o puntuales por los contornos de la malla.
 - ↳ .SLCMELEF.DirDBF: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .SLCMELEF.DirXLS: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .SLCMELEF.DirOUT: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .SLCMELEF.TIME_FILE: formato "string", igual que en PRNMELEF.
- .CNDMELEF: formato "struct", almacena la ruta de los ficheros necesarios para establecer niveles o gradientes impuestos en el contorno de la malla.
 - ↳ .CNDMELEF.DirDBF: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .CNDMELEF.DirXLS: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .CNDMELEF.DirOUT: formato "string", igual que en PRNMELEF.
 - ↳ .CNDMELEF.TIME_FILE: formato "string", igual que en PRNMELEF.

6.2.2.2 Estructura de la Base de Datos: propiedades nodales MELEF

Análisis de la estructura de datos que almacena las propiedades de los nodos en la Interfaz.

Este fichero .MAT se almacena dentro de la carpeta BDatosTransitorios.

Propiedades.MAT

- ❑ dataCNDMELEF(simulationID): formato "struct", las propiedades de los nodos para el fichero de simulación .cmd. (la variable simulationID es numérica y se genera durante la ejecución de la interfaz de usuario).
 - .dataCND: formato "cell", almacena la información de la tabla de atributos del fichero vectorial de SIG (shapefile) que contiene las condiciones de contorno impuestas.
- ❑ dataPRNMELEF(simulationID): formato "struct".
 - .dataPRN: formato "cell".
- ❑ dataSECMELEF: actualmente no se almacenan la tabla de atributos de las secciones de aforo de SIG.
- ❑ dataSLCMELEF(simulationID): formato "struct".
 - .dataSLC: formato "cell".
- ❑ dataSLRMELEF(simulationID): formato "struct".
 - .dataSLR: formato "cell".
- ❑ dataSOIMELEF(simulationID): formato "struct".
 - .dataSOI: formato "cell".

6.2.2.3 Estructura de la Base de Datos: Gestión y Cálculo de Aforos

Análisis de la estructura de datos que almacena información de aforos y datos medidos.

- ❑ Proyecto_Gestión_Evaluación_Caudales.MAT
 - ❑ **DatoMedido.Cuenca(IDc)**: IDc es una variable numérica que se genera cuando el usuario selecciona una cuenca.
 - .Nombre: formato "Cell", guarda el nombre de la cuenca a la que pertenecen los aforos de agua superficial en ríos.
 - .Rio(IDr): formato "struct" (la variable IDr se genera cuando el usuario selecciona un río).
 - ↳ .Nombre: formato "cell", contiene el nombre del río.
 - ↳ .fecha: formato "matriz" (n x 1), valor número sin formato de fecha"
 - ↳ .Caudal: formato "matriz" (n x 1), información numérica de los caudales medidos en m³/seg.
 - ↳ .Nivel: formato "matriz" (n x 1), nivel o tirante de agua medido para la fecha correspondiente.
 - ↳ .Observaciones: formato "cell" (n x 1), almacena las observaciones para la fecha correspondiente.
 - ↳ .AjusteCurvaGasto: formato "cell", variable aún sin uso.
 - ↳ .Diver : formato "matriz", variable para almacenar información de los DIVER.
 - ↳ .DatosAforo: formato "cell", variable que almacena velocidades y tirantes del cauce para evaluar el aforo.
 - ↳ .ErrorMedicion: formato "matriz", variable que almacena el error de medición de cada aforo (métodos: USGS, ISO)
 - ↳ .MetodoError: formato "matriz", variable que almacena el índice para seleccionar de una lista el error utilizado.
 - ↳ .MetodoAforo: formato "cell", variable que almacena el método de cálculo del aforo (sección media, sección promedio).

6.2.3 Selección múltiple de ficheros

La herramienta de selección múltiple de ficheros es desplegada cuando alguna herramienta, de pos-proceso de resultados principalmente, no puede localizar automáticamente los ficheros necesarios para ejecutar alguna operación. El criterio automático de búsqueda implica que los ficheros requeridos tengan el mismo nombre que el fichero que se está procesando, si no se cumple este criterio se despliega esta ventana para que el usuario aplique otro criterio de selección.

Las herramientas de resultados predefinen la ruta de búsqueda y las diferentes extensiones, puntos I y II en la Figura E.11, para que el usuario únicamente seleccione los ficheros de la lista.

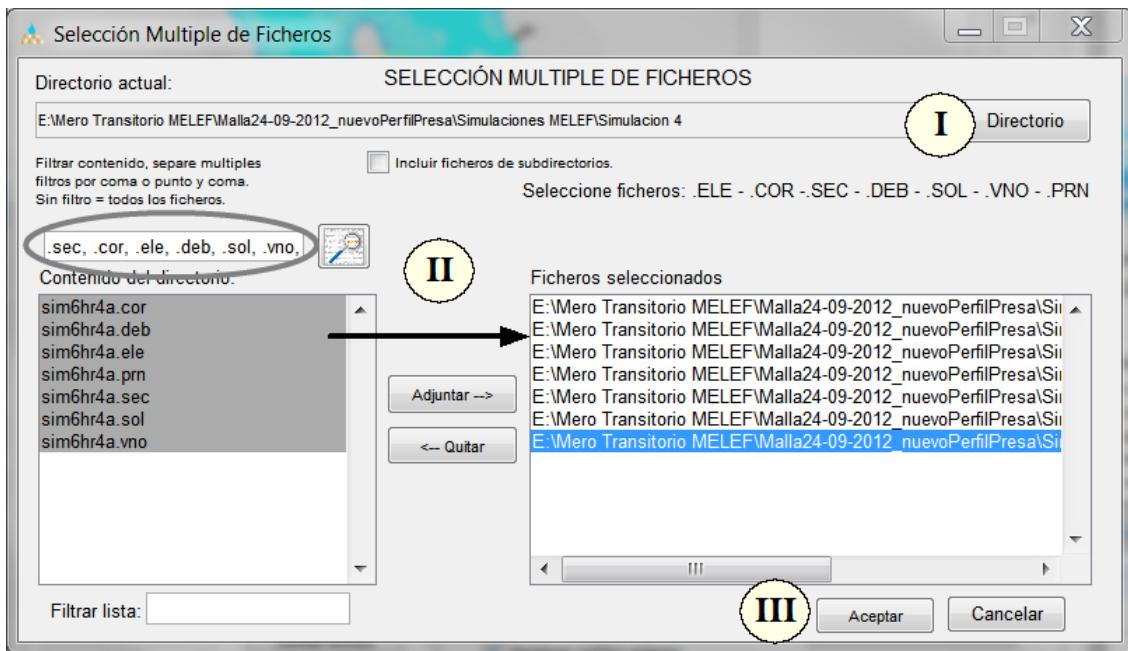


Figura E11. Herramienta para seleccionar múltiples ficheros

En la Figura E.11:

- I. Seleccione el directorio donde se encuentran los ficheros de resultados.
- II. Presione el botón con la lupa para buscar los ficheros de extensión [.SEC, .COR, .ELE, .DEB, .SOL, .VNO] necesarios para generar el balance. Modifique esta lista si requiere otro filtro de búsqueda. Active la casilla -Incluir ficheros de subdirectorios- si desea extender la búsqueda a los subdirectorios. Si el filtro de búsqueda está predefinido por alguna herramienta de pos-proceso de resultados, entonces sólo seleccione un fichero por cada extensión del filtro de búsqueda, cuando termine presione el botón **Adjuntar** para pasarlo a la lista de rutas confirmadas por el usuario.
- III. Presione el botón **Aceptar** para enviar de vuelta la lista de rutas confirmadas a la herramienta de pos-proceso.

6.2.4 Base de Datos Transitoria XLS (BDatosTransitoriaXLS)

Después de generar la base de datos transitoria vacía, con la herramienta [Generar BDatos Transitoria](#), el siguiente paso es rellenarla con información medida o adquirida, información que define el comportamiento transitorio de las diferentes variables hidrológicas y usos del agua, así como de la topografía.

La herramienta que genera la BDatosTransitoriaXLS utiliza la tabla de atributos del fichero vectorial de SIG, shapefile, para extraer la información de la columna **TIME_FILE**.

En la Figura E.12 se representa cómo los materiales MAT2 y MAT4 tienen un cambio temporal en algunas de sus propiedades, y ese cambio temporal se verá reflejado a través del campo **TIME_FILE** cuando se relacione con la base de datos transitoria BDatosTransitoriaXLS, mientras que los restantes materiales tendrán un comportamiento permanente a lo largo de la simulación.

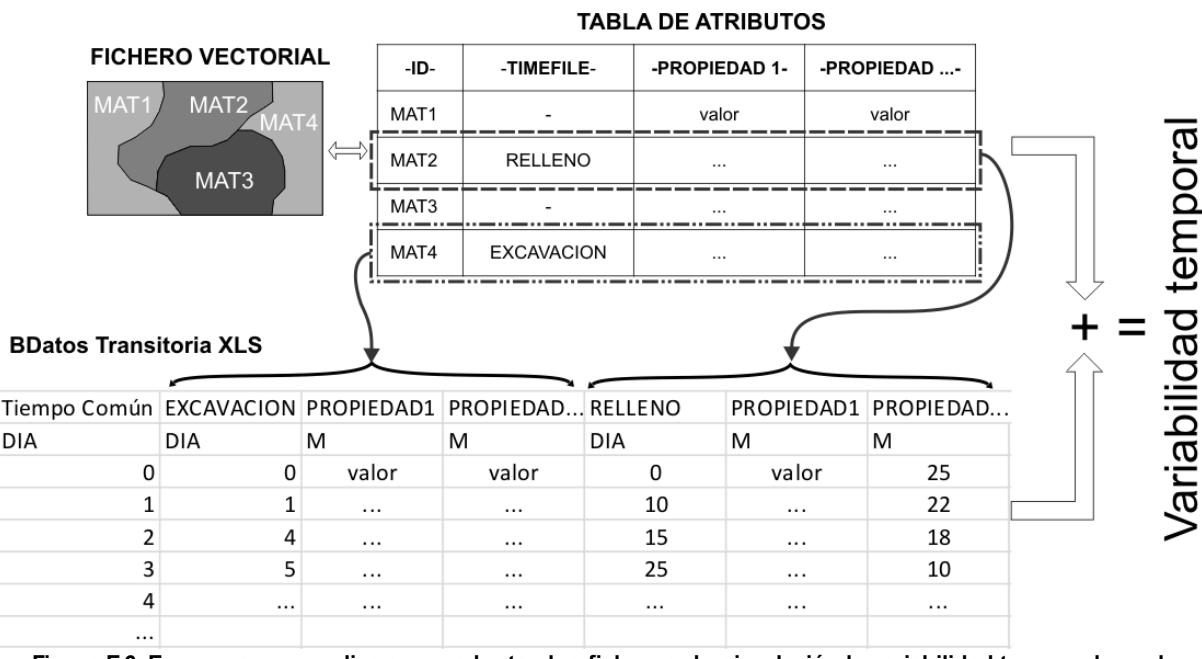


Figura E.6. Esquema que explica como adoptan los ficheros de simulación la variabilidad temporal zonal.

Nueva BDatos Transitoria XLS

Tiempo Común	PLUVIOMETRO 1	PROPIEDAD1	PROPIEDAD...	BOMBEO	PROPIEDAD1	PROPIEDAD...
DIA	DIA	M/DIA	M/DIA	DIA	M/DIA	M/DIA
				X		
					X	

BDatos Transitoria XLS editada

Tiempo Común	PLUVIOMETRO 1	PROPIEDAD1	BOMBEO	PROPIEDAD...
DIA	DIA	MM/DIA	MES	m3/mes
0	0	valor	0.5	valor
1	1	...	1	...
2	4	...	1.5	...
3	5	...	3	...
4
...				

→ Etiquetas y propiedades
→ Unidades
Valores medidos o adquiridos.

Todos los valores medidos o adquiridos se interpolan¹ con referencia al tiempo común.

¹ Interpolación como histograma con paso atrás.

Figura E.7. Rellenar la BDatos Transitoria. Elimine las propiedades que no desea modificar y cambie las unidades estandar a unas de uso más común.

Para llenar la BDatos Transitoria XLS tenga en cuenta los siguientes aspectos de funcionamiento:

Funcionamiento de la primera fila de la hoja Excel:

Esta primera linea de información es la que aparece en la Figura E.13 como linea de -etiquetas y propiedades-.

- La primera fila de información contiene las etiquetas **TIME_FILE** del fichero vectorial de SIG, y después de cada etiqueta las propiedades que es posible modificar.
- La columna con la etiqueta **Tiempo Común** en la Figura E13 debe ser siempre la primer columna.
- Las propiedades después de la etiqueta pueden estar en cualquier orden.
- Elimine las columnas de propiedades que no necesita variar con el tiempo, su valor se mantendrá constante e igual que el valor establecido en la tabla de atributos del fichero vectorial.
- No genere columnas vacías o sin etiqueta entre las columnas de información.

■ Funcionamiento de la segunda fila de la tabla:

- En la segunda fila de información se definen las unidades (Figura E.13) de los datos medidos o adquiridos.
- Las unidades estándar utilizadas por el modelo MELEF son: distancia = metros (m), área = metros cuadrados ($m^2 \cdot m^2$), volumen = metro cúbico ($m^3 \cdot m^3$) y tiempo = segundos (seg). Así por ejemplo, la conductividad hidráulica de los materiales tiene como unidad estándar el m/seg.
- Un campo en blanco, o vacío, es interpretado por la interfaz como la unidad estándar de la condición de simulación.
- Las unidades pueden escribirse en mayúsculas o minúsculas.
- Las unidades de tiempo parten siempre del valor cero. El tiempo cero es la fecha inicial de la simulación.
- Las unidades que se pueden utilizar, según el tipo de condición de simulación, son las siguientes:
 - **Tiempo** = [seg; min; hrs; dia; día; mes; año]
 - **Caudal metros cúbicos** = [m^3/seg ; m^3/min ; m^3/hrs ; m^3/dia ; $m^3/\text{día}$; m^3/mes ; $m^3/\text{año}$] o también [m^3/seg ; m^3/min ; m^3/hrs ; m^3/dia ; $m^3/\text{día}$; m^3/mes ; $m^3/\text{año}$]
 - **Caudal litros** = [l/seg; l/min; l/hrs; l/dia; l/día; l/mes; l/año]
 - **Tasas de Precipitación-Evapotranspiración** = [mm/seg; mm/min; mm/hrs; mm/dia; mm/día; mm/mes; mm/año]
 - **Conductividad hidráulica y metros de Precipitación y Evapotranspiración** = [m/seg; m/min; m/hrs; m/dia; m/día; m/mes; m/año]
 - **Volumen de agua (1 hm³ = 1e6 m³)** = [hm3; hm³; m3; m³]
 - **Longitud - Elevación - topografía** = [mm; cm; m; milímetros; milímetros; centímetros; centímetros; metros]
 - **Unidades varias** = [adimensional; %; grados].

■ Funcionamiento de la columna de valores Tiempo Común:

- El tiempo común es el tiempo común a todas las etiquetas **TIME_FILE** de la hoja Excel, esto quiere decir que la herramienta [interpola](#) todas las propiedades según este tiempo común.
- Los ficheros de simulación se imprimen según el tiempo común.
- Varíe los intervalos del tiempo común de forma irregular si la simulación pasa por ejemplo de condiciones de simulación con valores diarios a mensuales.
- En esta columna el último valor de tiempo debe ser igual o mayor que el tiempo total que durará la simulación.
- El primer tiempo debe ser siempre cero, si por alguna razón no lo define la interfaz lo hará automáticamente.

■ Funcionamiento de las filas para los valores medidos o adquiridos:

- Rellene las propiedades con valores medidos o adquiridos, y en la columna de tiempos, etiqueta **TIMEFILE**, pegue los incrementos de tiempo en que estas fueron medidas en las unidades correspondientes.

- Tenga en cuenta que para un incremento de tiempo ($t_1 - t_2$) la tasa que rige ese incremento es la tasa de t_2 , vea el método de [interpolación como histograma con paso atrás](#). Por lo tanto, si en la etiqueta BOMBEO (Figura E.13) se establece que el primer valor de tiempo es 20 días y la tasa correspondiente de 15 m³/día, eso es igual a que en los primeros 20 días de simulación se bombea a una tasa de 15 m³/día.
- Las tasas o caudales no representan un valor instantáneo sino el valor medio para un incremento de tiempo.

6.2.5 Grabar Video

Herramienta para configurar las propiedades de la grabación de vídeo.

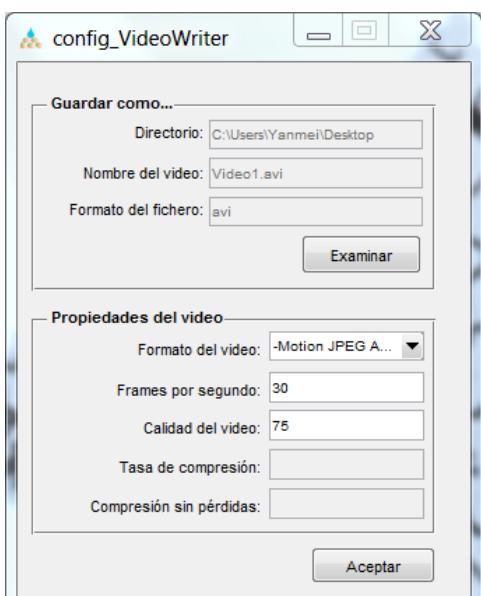


Figura E.14. Herramienta para configurar la grabación de vídeo a partir de los resultados simulados.

A continuación, se describen cada una de las propiedades de la herramienta mostradas en la Figura E.14:

Guardar como...

Directorio: muestra el directorio donde se guardará el vídeo.

Nombre del vídeo: muestra el nombre y la extensión del vídeo.

formato del fichero: muestra el formato del fichero.

Examinar: permite modificar el directorio, nombre del vídeo y el formato del fichero.

Propiedades del video

Formato del vídeo: la herramienta permite generar cinco tipos de vídeos: [Archival; Motion JPEG AVI; Motion JPEG 2000; MPEG-4; Uncompressed AVI]. El formato por defecto es Motion JPEG AVI. El formato MPEG-4 requiere de Windows 7 para generarse.

Frames por segundo: imágenes por segundo que serán mostradas en el vídeo. A menor número de frames el vídeo es más lento, mientras que a mayor número de frames el vídeo avanza más rápido.

Calidad del vídeo: cuando está habilitado puede definir en un rango de 0 -100 la calidad del vídeo, donde 100 es la máxima calidad del vídeo.

Tasa de compresión: cuando está habilitado puede definir la tasa de compresión del vídeo.

compresión sin pérdidas: cuando está habilitado puede definir compresión sin pérdidas.

Si desea generar un vídeo de forma rápida (AVI), entonces sólo defina el directorio y el nombre del vídeo y haga clic en aceptar. Durante la grabación del vídeo no cierre ni cambie el tamaño o posición de la ventana que se está grabando.

6.3 Modelo FreshWaterSheds

El modelo utilizado en la modelización de los recursos hídricos, FreshWaterSheds, es un código de elementos finitos en dos dimensiones (2D) horizontales para flujo regional superficial subterráneo del agua dulce y/o salada a través de diversos tipos de sistemas de cuencas hidrográficas, desarrollado con una aproximación numérica implícita (Euleriana) temporalmente centrada (Crank – Nicholson) y especialmente centrada (Galerkin). En particular, elementos triangulares de tres nodos permiten la integración analítica correspondiente a la formulación numérica para el régimen permanente y transitorio. El algoritmo iterativo previamente condicionado GMRES provee la solución del sistema utilizando una cantidad reducida de memoria de cálculo y un procesamiento simple de la malla numérica. La evolución reciente de estas metodologías hace posible valorar la red de drenaje de la escorrentía superficial y los niveles freáticos de agua dulce y/o salada, además del escurrimiento, el flujo subálico o hipodérmico, las recargas y descargas en zonas puntuales y superficiales difusas, el espesor y las velocidades del flujo de agua superficial y subterránea, así como las derivaciones de agua superficial en ríos, los balances de agua y la inundación de cuerpos de agua superficial.

Por lo tanto, la aproximación numérica presente acopla las metodologías de simulación citadas de todos los recursos de agua de una región en particular, o de una cuenca hidrográfica, a fin de considerar el flujo 2D de agua dulce y de agua salada para una gran variedad de dominios hidrológicos, usos de agua y resultados hidráulicos.

La necesidad de gestión de cuerpos de agua superficial, tanto de origen natural como artificial, ha requerido el desarrollo de nuevas capacidades de simulación en el código FreshWaterSheds. Las nuevas soluciones implementadas en el código permiten ahora simular compuertas de presas (vertedor tipo guillotina) y desagües de fondo e intermedios (tubería circular de desagüe), así como, utilizar el agua obtenida en bombeos, derivaciones y vertederos, en tiempo real de simulación, para devolverla al medio (inyección de agua) de forma automática en cualquier zona del modelo discreto.

6.3.1 Modelo Subterráneo

El código MELEF para aplicación en cuencas continentales y costeras acopla en una hidrología regional los flujos de agua dulce y salada en medios porosos saturados a través de una interfase inmiscible, y una aproximación de onda difusiva para el flujo superficial.

Para establecer adecuadamente las ecuaciones transitorias en derivadas parciales, ecuaciones en dos dimensiones promediadas en profundidad, que gobiernan los acuíferos regionales continental y costero, es necesario previamente definir las distintas fases de flujo: el agua dulce y el agua salada.

Cuando la interfase inmiscible no es estacionaria la hipótesis de Hubbert establece que la presión en un punto dado es la misma cuando está es aproximada desde ambos lados, agua dulce y agua salada.

$$(h_f - s) \gamma_f = (h_s - s) \gamma_s$$

donde h_s y h_f son las alturas piezométricas, γ_s y γ_f son los pesos específicos del agua salada y del agua dulce respectivamente, s es la posición de la interfase inmiscible. Esto puede escribirse en otros términos:

$$h_s = \frac{s + Gh_f}{G + 1} \quad \text{donde} \quad G = \frac{\gamma_f}{\gamma_s - \gamma_f} \quad \text{es el factor de Ghyben-Herzberg, que varía entre 25 y 30.}$$

Aqua dulce:

$$n_f \frac{\partial h_f}{\partial t} - n_s \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} (h_f - s) \frac{\partial h_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xy} (h_f - s) \frac{\partial h_f}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yx} (h_f - s) \frac{\partial h_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} (h_f - s) \frac{\partial h_f}{\partial y} \right) + Q$$

Aqua salada:

$$n_s \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} (s - p) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{s + Gh_f}{G + 1} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xy} (s - p) \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{s + Gh_f}{G + 1} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yx} (s - p) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{s + Gh_f}{G + 1} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} (s - p) \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{s + Gh_f}{G + 1} \right) \right) + Q$$

Donde K_{ij} es el tensor hidráulico, p es la posición del sustrato impermeable, n_f y n_s son, respectivamente, la porosidad eficaz del medio poroso para el agua dulce y el agua salada. Ecuaciones similares pueden encontrarse en la elaboración de modelos numéricos horizontales que resuelven el flujo subterráneo continental y costero con una aproximación de la interfase inmiscible.

La Figura E.15 es una representación conceptual del cómo es resuelto el modelo de agua subterránea dulce-salada en interacción con el modelo de agua superficial.

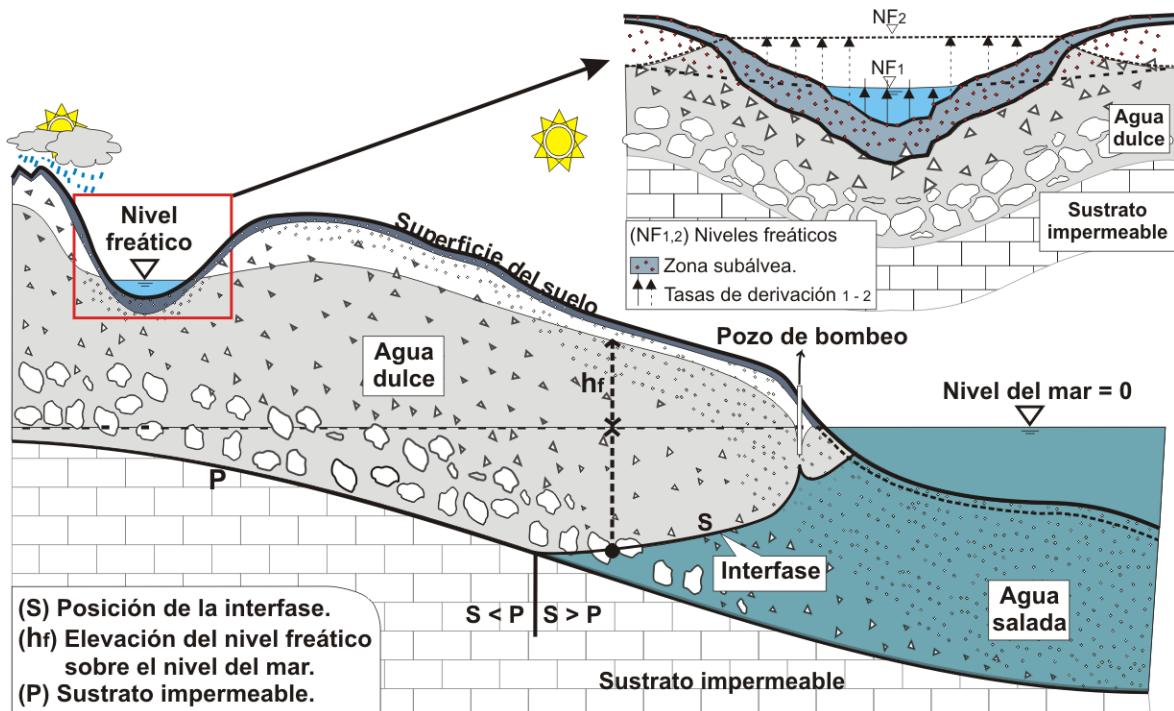


Figura E15. Modelo subterráneo (agua dulce y salada) y superficial.

6.3.2 Modelo Superficial

El modelo numérico FreshWaterSheds utiliza una simplificación de las ecuaciones que gobiernan el flujo de agua superficial. En particular, como sucede a menudo con otras aproximaciones de onda cinemática y difusiva comúnmente utilizadas en hidrología, sólo la ecuación clásica de conservación de masa o ecuación de continuidad es considerada.

Modelo hidrodinámico de onda difusiva

Este modelo parte de la Ecuación de Continuidad:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial(Vy)}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial(Vy)}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial y}{\partial t} + C \frac{\partial y}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial y}{\partial t} + V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

donde C es la celeridad, V es la velocidad, y el nº de Froude $F = V/C$:

$$C = \frac{\partial x}{\partial t} = \frac{\partial(Vy)}{\partial y}$$

y de la ecuación de la cantidad de movimiento de la onda difusiva:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = i - I$$

donde a partir de la pendiente del terreno i , y de la pendiente motriz I , se puede definir en función de la carga hidráulica h o del calado y como:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t}$$

Combinando ambas ecuaciones se llega a la ecuación de la difusión:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + F \cdot C \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial y}{\partial t} F \frac{\partial y}{\partial t} + y \frac{\partial V}{\partial x} = 0; \quad (1 - F) \frac{\partial y}{\partial t} = -y \frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{\partial q}{\partial x}$$

Modelo de Muskingum

El modelo de laminación de Muskingum se puede definir como $(I-Q) = dQ + d(I-Q) X$, donde X es el coeficiente de Muskingum. Si hacemos $d(I-Q) X = (I-Q) dX = (I-Q) x$, estamos haciendo que el coeficiente de Muskingum X sea variable, y que sin embargo dX sea constante e igual x .

Esto conlleva a que la ecuación de Muskingum se pueda escribir como $(1-x) (I-Q) = dQ$, o bien: $(1-x) dq = dQ$; donde hemos hecho $(I-Q) = dq$; $dx \ dq = dQ = dy \ dq$ que es una ecuación de continuidad similar a la que hemos encontrado mediante el modelo de onda difusiva, donde el nº de Froude F sería equivalente a x .

Modelo de Cattaneo

El modelo de Cattaneo establece que la ecuación de difusión (en nuestro caso, la ecuación de Darcy) es errónea, porque predice una velocidad infinita de las partículas de agua (ya que la solución es asintótica), lo cual no es posible. La ecuación de la difusión debe escribirse en ciertos casos, donde posiblemente el coeficiente de difusión (en nuestro caso la Conductividad hidráulica, o bien, la Transmisividad) es muy elevado (caso del agua superficial) de la siguiente manera:

$$q = -T^* \frac{\partial h}{\partial x} - Dq \quad \text{combinado con la ecuación de continuidad, } \frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x}, \text{ da la siguiente ecuación}$$

donde τ el coeficiente de relajación:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T^* \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (Dq) = \frac{\partial}{\partial x} \left(T^* \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\tau \frac{\partial q}{\partial t} \right); \quad \text{para } \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{dq}{dt}$$

Si hacemos que $\tau/\delta t = x = cte$, tendremos $Dq = x \cdot dq$, y la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T^* \frac{\partial h}{\partial x} \right) + x \frac{\partial(dq)}{\partial x}; \quad \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T^* \frac{\partial h}{\partial x} \right) + x \frac{\partial h}{\partial t}; \quad \text{para } \frac{\partial(dq)}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial y}{\partial t}$$

Donde por el momento podemos hacer las definiciones siguientes:

$$x = \frac{\tau}{\delta t} = \frac{\bar{t}}{\delta t} = \frac{dt}{\delta t} = \frac{\bar{x}}{\delta x} = \frac{dx}{\delta x} = \frac{\bar{y}}{\delta x} = \frac{dy}{\delta x} = \frac{\partial h}{\partial x}$$

Donde hemos definido los diferenciales dt , dx y dy en función del gradiente hidráulico ($\delta h/\delta x$).

Si hacemos la diferencial $dy = \bar{y} = y^x$, definiremos la variación del calado como:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial \bar{y}}{\partial x} = \frac{dy}{\delta x} \frac{\partial \bar{y}}{\partial y} = \frac{\partial h}{\delta x} \frac{\partial \bar{y}}{\partial y} = x \frac{y^x}{y} = x \cdot x' = x^*; \quad \text{donde } \frac{\partial \bar{y}}{\partial y} = \frac{\partial y}{\partial h} = x'$$

Con esto hemos definido dos nuevos factores x' y x^* .

La ecuación general de la continuidad será similar a la que hemos encontrado con anterioridad por los modelos de onda difusiva de Muskingum:

$$(1-x^*) \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T^* \frac{\partial h}{\partial x} \right)$$

Modelo de las diferenciales

La ecuación de continuidad se puede escribir a una dimensión en derivadas parciales, para el caso en que las diferenciales totales no sean nulas:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{dq}{dx}; \quad \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{dq}{dy} \frac{\partial y}{\partial x}; \quad \frac{\partial y}{\partial t} - \frac{dq}{dy} (x^*) + \frac{\partial q}{\partial x} = 0; \quad (1-x^*) \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0$$

para

$$\frac{dq}{dy} = \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial(dq)}{\partial x}; \quad \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{dy}{\partial x} = x; \quad Dq = x dq; \quad \frac{\partial y}{\partial x} = x^*$$

Donde x^* podría equivaler también al cociente entre dos expresiones de la celeridad, una en derivadas totales C y otra en derivadas parciales C' ($X^* = C/C^*$).

Es decir:

$$\frac{dq}{dx} = \frac{dq/dy}{dx/dt} = x^* \frac{\partial y}{\partial t}$$

Definamos entonces el dy :

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x} dx + (dx)^2 = \frac{\partial h}{\partial x} dx = x dx$$

Entonces también podemos definir:

$$x^* = 1 - dx; \quad dy \approx dx = 1 - x^* = x dx$$

Modelo superficial redefinido

El modelo superficial se puede redefinir considerando lo siguiente:

- a) si le damos solución a la celeridad C , estaremos definiendo también lo que podríamos llamar la variación dq con respecto a dy :

$$C = \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial(dq)}{\partial x} = \frac{\partial(Dq)}{x dx} = \frac{\partial(Dq)}{dy} ; \quad \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{Dq}{dq} = \frac{\tau}{\partial t} \approx x = \frac{dy}{\partial x}$$

$$C = \frac{\partial(Dq)}{dy} = \frac{Dq}{\bar{y}} = \frac{Dq}{y^x} = \frac{x dq}{y^x} = \frac{\partial(dV \cdot y)}{\partial y} = dV + y \frac{\partial(dV)}{\partial y} = \frac{xdV \cdot y}{y^x}$$

Esta última igualdad, se puede escribir en diferenciales, para su integración:

$$\frac{d(dV)}{dy} = \frac{xdV}{y^x} - \frac{dV}{y} = dV \left(\frac{x}{y^x} - \frac{1}{y} \right)$$

Si integramos:

$$\int \frac{d(dV)}{dV} = \int \left(\frac{x}{y^x} - \frac{1}{y} \right) dy ; \quad \ln \frac{|dV|}{|dV^0|} = X \frac{y^{1-x}}{1-x} \quad ; \quad \ln \frac{|dV| \cdot |y|}{|dV^0|} = X \frac{y^{1-x}}{1-x}$$

Lo que es equivalente a:

$$|dV| \cdot |y| = |dq| = V_0 dx \left(e^{\frac{x y^{1-x}}{1-x}} \right); \quad q = V_0 (1-x^*) \left(e^{\frac{x y^{1-x}}{1-x}} \right) = V_0 \cdot f(y, x)$$

q sería aquí caudal por unidad de longitud, mientras que $f(y, x)$ tendría unidades de longitud (en este caso de espesor artificial). Todo lo cual se puede expresar mediante la conductividad hidráulica K , la transmisividad artificial T^* y el gradiente hidráulico dh/dx (donde $y = h$) de la forma:

$$q = V_s \cdot (1-x^*) \left(e^{\frac{x y^{1-x}}{1-x}} \right) = V_s \cdot f(y, x) = -K \frac{dh}{dx} \cdot f(y, x) = -K \cdot f(h, x) \frac{dh}{dx} = -T^* \frac{dh}{dx} = -T^* i = -Kh^* i$$

Podremos utilizar x^* en lugar de x , donde $x^* = x \cdot x'$. El espesor artificial $h^* = f(y, x^*)$, y el gradiente hidráulico será i .

- b) La función de la celeridad C conserva la masa para un determinado valor de x .

$$C = \frac{\partial(Dq)}{dy} = \frac{Dq}{\bar{y}} = \frac{Dq}{y^x} ; \quad \frac{\partial(Dq)}{Dq} = \frac{x^* dx}{y^x} ; \quad \ln Dq = \frac{x^* \bar{x}}{\bar{y}} = x^* ; \quad Dq = e^{x^*}$$

Lo que permite establecer también que:

$$\frac{\partial(Dq)}{\partial x^*} = e^{x^*}$$

Que ocurre de forma similar con:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial \bar{y}}{\partial x} = \frac{dy}{\partial x} \frac{\partial \bar{y}}{dy} = x \frac{y^x}{y} = x \cdot x' = x^* ; \quad x' = \frac{y^x}{y} ; \quad y = x'^{\frac{1}{x-1}} ; \quad y \xrightarrow{x \approx x' \approx x^* \rightarrow 1} e^{x^*}$$

Esta última función conservaría la masa para un x^* determinado próximo a 1.

- c) La ecuación de la cantidad de movimiento permanente gradualmente variado en hidráulica establece que:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{i - I}{1 - F^2} ; \quad Si \quad dy \approx dx \Rightarrow i - I = 1 - F^2 = i - I = 1 - x^* = 1 - x \cdot x'$$

Cuando:

$$i \approx I \Rightarrow x^* \approx x' \rightarrow 1 \rightarrow x_{\max} ; \quad F^2 = x^* = x \cdot x'$$

Por lo que x' es el x_{\max} (que depende del Δt y de la convergencia) y x depende del gradiente hidráulico esencialmente subterráneo para la pendiente del terreno.

Qué en definitiva es el nº de Froude:

$$F^2 = x^* = x \cdot x' ; \quad (1 - x^*) \approx dx \approx dy \approx i - I$$

Otra manera de analizarlo es definir la ecuación anterior como equivalente a:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{i - I}{1 - F^2} ; \quad x^* = \frac{i - I}{1 - x} ; \quad \text{donde si } i \geq I \Rightarrow x^* \leq 1$$

Entonces, desde el punto de vista superficial, estaríamos trabajando en un régimen gradualmente variado, subcrítico o lento de pendiente moderada, aunque las pendientes pronunciadas estarán

también contempladas en la definición del coeficiente x^* (x gradualmente inferior para pendientes de terreno θ).

- d) Definamos pues el factor x que depende del gradiente hidráulico para la pendiente del terreno. Sea $h = Ax^2 + B$ la parábola de $h(x)$, que para $[h=1; x=0]$ y $[h=0; x=2]$ nos permite calcular las constantes A y B .

El gradiente hidráulico subterráneo tiene un comportamiento parabólico. Sea pues la parábola siguiente la apropiada función: $h + 1/4x^2 = 1$, en la que la carga hidráulica h y la coordenada horizontal x dependen de la pendiente del terreno θ mediante las funciones siguientes:

$$h = \frac{1}{2}(1 - \cos \theta); \quad x = -2 \cos \frac{\theta}{2}$$

Entonces el gradiente hidráulico subterráneo x se podrá estimar en una ladera de pendiente θ de la siguiente forma:

$$x = \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\frac{\partial h}{\partial \theta}}{\frac{\partial x}{\partial \theta}} = \frac{\frac{1}{2} \operatorname{sen} \theta}{\operatorname{sen} \frac{\theta}{2}} = \frac{\operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}}{\operatorname{sen} \frac{\theta}{2}} = \cos \frac{\theta}{2}$$

Lo que nos da la interacción del gradiente hidráulico subterráneo con el agua superficial para la pendiente del terreno, la cual puede ser pronunciada. Esta solución está altamente contrastada en hidrogeología.

- e) Definamos el flujo q' en hidráulica mediante la transferencia hidráulica Kc (1), y el flujo subterráneo q'' mediante la Transmisividad T (2), donde i es el gradiente hidráulico horizontal, y es el calado y h es el espesor saturado. O sea que:

$$q' = Kc \cdot \sqrt{i} = Kc \cdot y \cdot \sqrt{i} \quad (1); \quad q'' = T \cdot i = K \cdot h \cdot i \quad (2)$$

Los flujos verticales de ambos deben ser equivalentes:

$$q'_v = Kc \cdot \sqrt{i^2} = Kc \cdot i = q''_v = T \cdot i^2 = T \cdot i^* \cdot i = T^* \cdot i = K \cdot h^* \cdot i = q$$

Lo que es equivalente al flujo superficial q ya definido con anterioridad, donde T^* , h^* e i^* serían la Transmisividad, el espesor y el gradiente artificiales respectivamente.

De donde se deduce que:

$$T^* = Kc = T \cdot i^*; \quad i^* = \frac{T^*}{T} = \frac{h^*}{h} = \frac{q''_v}{q'_v} = \frac{q'_v}{q''} = \frac{q}{q''}$$

El factor x^* , para $h^* = f(y, x^*)$, respetará estas relaciones cuando exista agua superficial, y deberá conservar la masa para cada pendiente del terreno.

- f) Algunas equivalencias

- El valor y^x sería en realidad el calado crítico para la sección de pendiente θ , y equivalente a: $y_c^{3/2} / y^{1/2}$; $y_m = y^{3-2x}$; $y_c = y^{(1+2x)/3}$, donde y_m e y_c son el calado medio y el calado crítico en hidráulica para la sección rectangular. Donde y sería el calado normal del régimen permanente uniforme.
- En la porosidad superficial $(1-x)$, el x sería el nº de Froude $F = V/C$, que en este caso es inferior a 1, y equivale también a $F = (y_c / y)^{3/2}$ para una sección rectangular.
- Ello implica que x^* depende también de la pendiente del terreno. Todo puede depender del Δt que se utilice, ya que x^* es, por Cattaneo, una función también de Δt de cálculo ($x = \tau / \Delta t$) del régimen transitorio.

6.3.3 Modelos de interacción

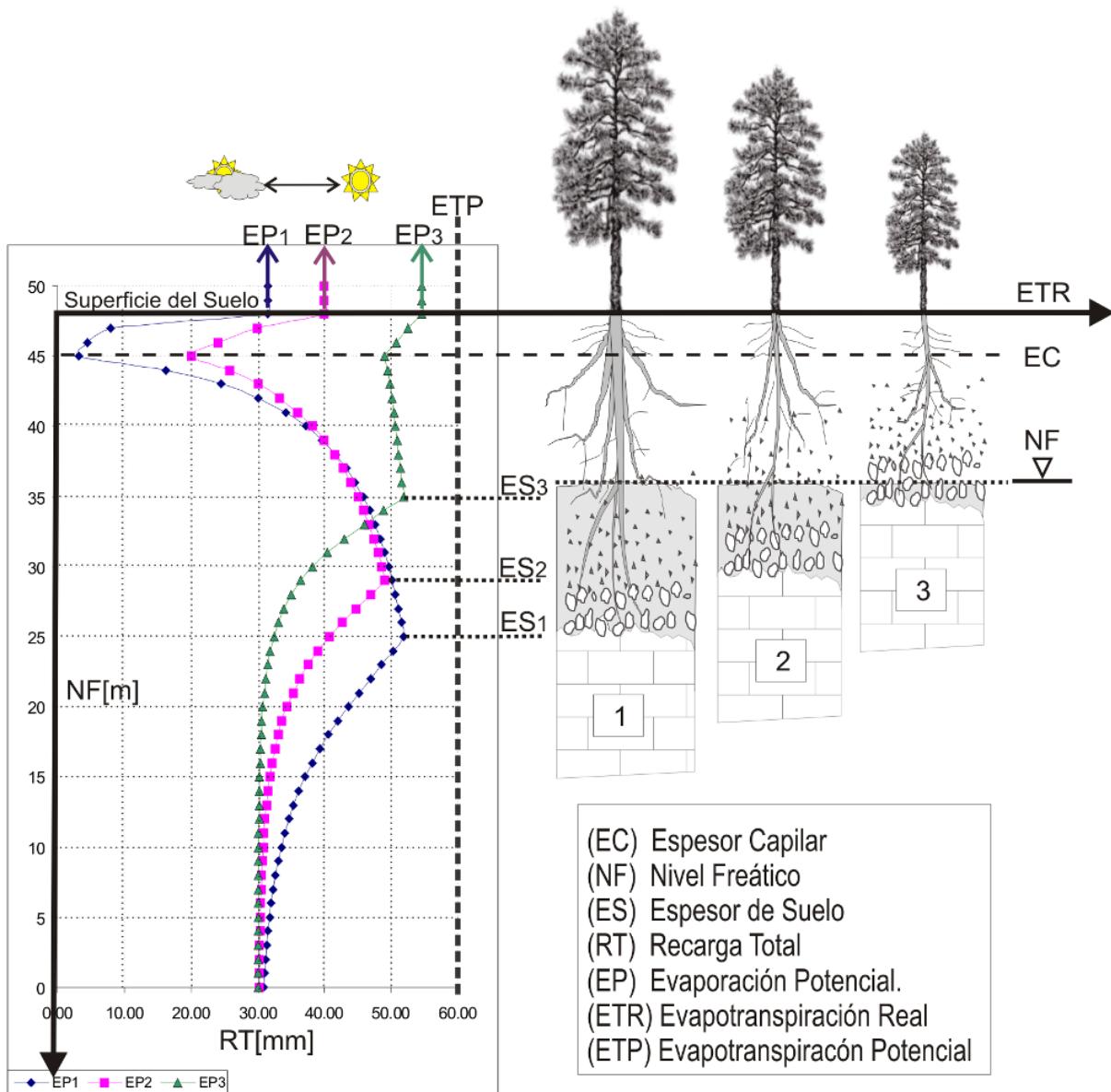
Modelo de evaporación y transpiración continua

El modelo numérico FreshWaterSheds también considera el proceso de evaporación y transpiración continua como descargas difusas desde la superficie del agua y desde la zona no saturada del suelo para cada nodo del sistema modelado. El modelo conceptual de evaporación y transpiración se ilustra a continuación.

Como puede observarse en la Figura E.16, la evapotranspiración real ETR es evaluada en función de la posición que guarde el nivel freático con respecto de la superficie del suelo. Sin embargo, cuando el nivel freático está por encima de la superficie del suelo la evaporación dependerá directamente del valor potencial de evaporación (EP_1, EP_2, EP_3, \dots) que puede ser evaluado mediante funciones empíricas.

Las curvas de transpiración, del modelo conceptual, inician entonces cuando el nivel freático decrece en la región situada entre la superficie del suelo y el espesor capilar del suelo (EC), y su comportamiento es similar a las relaciones empíricas que evalúan la evaporación freática. Por lo tanto, la evaporación freática, ENF, es evaluada como:

$$EC < NF < S_s \quad E_{NF} = \frac{EP \cdot b_1}{\left(\frac{S_s - NF}{EC} \right) + b_1} \quad b_1 = \frac{5 \cdot EP - ETP}{ETP - EP}$$



Donde SS es la superficie del suelo, b₁ es una función de acoplamiento entre ecuaciones anterior y la siguiente y una función de ajuste del comportamiento de la ETR.

La segunda parte de la curva de transpiración comienza incrementándose hacia la evapotranspiración potencial (ETP), en la región delimitada por la franja capilar del suelo (EC) y el espesor de suelo (ES), con un comportamiento similar a otros modelos de transpiración. En esta región la curva de transpiración está definida por la siguiente relación:

$$T = ETP - \left(\frac{5 \cdot E_{NF}}{b_1} \right) \text{ siempre que } ES < NF < EC$$

Donde ETP debe ser evaluada previamente con alguna de las relaciones empíricas existentes para la evapotranspiración potencial o de referencia.

La última parte de la curva de transpiración comienza cuando el nivel freático (NF) se sitúa por debajo del espesor del suelo (ES) durante la evaluación interna del código numérico. La curva de transpiración varía entonces gradualmente hacia la recarga total (RT) o hacia la evapotranspiración potencial (ETP), es decir, si la RT es menor que la ETP, entonces, la curva es limitada hacia la RT, en el caso contrario, la curva es limitada hacia la ETP. El comportamiento de la curva de transpiración en esta zona intenta aproximar la transpiración de las plantas bajo estrés hídrico (T_ψ) empleando la siguiente relación:

$$T_\psi = RT + \frac{(ETP - RT) \cdot b_2}{\left(\frac{Ss - NF}{ES}\right)^\alpha + b_2} \quad b_2 = \frac{(ETP - RT) \cdot \left(\frac{ES}{EC} + b_1\right)}{(5 \cdot EP)} - 1$$

Parámetro de ajuste $\alpha = 4$

$NF < ES$,

Si $RT > ETP \Rightarrow T_\psi \rightarrow ETP$

Si $RT < ETP \Rightarrow T_\psi \rightarrow RT$

Donde b_2 es una función de acoplamiento entre las dos ecuaciones anteriores, y α es un parámetro de ajuste.

Este modelo conceptual de evaporación y transpiración, que tiene en cuenta el espesor del suelo asociado a la profundidad máxima de las raíces de las plantas, tiene importantes ventajas. Una de estas ventajas es que todos los parámetros pueden tener una variabilidad espacial y temporal, así como poder evaluar la evapotranspiración real teniendo en cuenta la posición del nivel freático, aspecto importante ante eventualidades de cambio climático, durante el proceso iterativo para encontrar la solución óptima del sistema numérico.

Modelo de escurrimiento

El concepto de capacidad de infiltración espacialmente promediada (K_e), cuando el suelo está saturado y la capacidad de infiltración se considera constante, ha sido una importante asunción para la valoración de la tasa de infiltración en el código FreshWaterSheds, y por lo tanto, se asume un modelo de escurrimiento del tipo Hortoniano. Sin embargo, el concepto de K_e está siendo reconsiderado en hidrología en favor de evaluar la capacidad de infiltración como una función de distribución exponencial aplicando un modelo que implementa la función exponencial en sus datos experimentales de precipitación-escurrimiento a una escala de parcelas, lo que resultó en un mejor ajuste que un modelo que implementa una K_e constante. Por lo tanto, el modelo exponencial es considerado en el modelo FreshWaterSheds para calcular la tasa de infiltración real, I , del suelo que depende de la intensidad de la precipitación.

$$I = I_{max} \left(1 - \exp(-P / I_{max})\right)$$

La ecuación viene a explicar la variación espacial de la capacidad de infiltración del suelo en una superficie determinada (parcela), donde I_{max} es la tasa de infiltración máxima aparente en la parcela y P es la intensidad de la precipitación. Por lo tanto, el exceso de precipitación que genera escurrimiento (R) está dado por la siguiente relación:

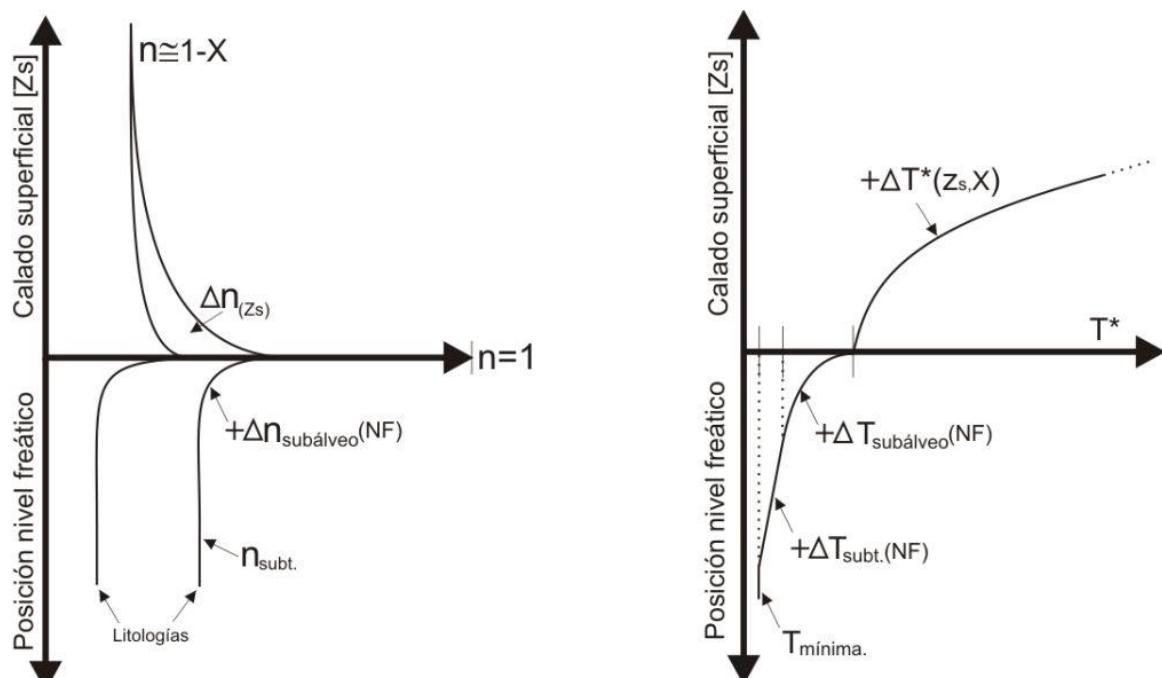
$$R = P - I = P - I_{max} \left(1 - \exp(-P / I_{max})\right)$$

La ecuación se evalúa cuando el nivel freático está por debajo de la superficie del suelo, y el modelo de escurrimiento por exceso de precipitación es entonces resuelto.

Condiciones numéricas y resolución

Teniendo en cuenta la interacción que existe entre los medios subterráneo y superficial, en particular cuando el nivel freático se aproxima hacia la superficie del suelo, se vuelve necesario suavizar numéricamente el cambio abrupto que existe en las propiedades al pasar del medio subterráneo al superficial. Con base en esta necesidad numérica se retoma el uso del concepto hidrológico de zona subálvea, la cual tiene un papel de capa que sirve como interfase de espesor finito con propiedades intermedias (principalmente de almacenamiento y transmisividad) adecuadas para el flujo en la zona subálvea y servir como zona de transición entre ambos medios subterráneo y superficial.

La Figura E. 17 muestra como evoluciona la transmisividad y la porosidad efectiva en su transición del medio subterráneo al medio superficial. En esta interacción, la porosidad efectiva juega un papel de coeficiente de almacenamiento de agua subterráneo/superficial, y que depende de la posición del nivel freático en el medio subterráneo, así como del calado de agua en el medio superficial. El incremento del coeficiente de almacenamiento es entonces gradual entre los medios subterráneo, subálveo y superficial. Ya en el medio superficial, el coeficiente de almacenamiento variará siempre hacia valores próximos a $(1-x^*)$, lo que guarda la correcta evolución del medio superficial. Por otra parte, la transmisividad, que está verticalmente promediada, varía gradualmente su valor entre el medio subterráneo y la zona subálvea como cabe esperar, aunque en el medio superficial esta es incrementada de forma artificial para lograr un funcionamiento similar al del flujo de agua superficial.



n = Porosidad efectiva. NF = Nivel Freático. T = Transmisividad X = Muskingum
Figura E. 17. Mecanismos de interacción entre los medios subterráneo y superficial. Incremento de porosidad y transmisividad.

6.3.4 Simulación de Compuertas

La tipología de compuertas utilizadas para el control de flujos en cuerpos de agua superficial es variada. El sistema de compuerta apoyada en dos puntos y cuyo funcionamiento es del tipo deslizante vertical, es el tipo de compuerta a la que llamaremos de tipo guillotina (o deslizantes).

La compuerta tipo guillotina funciona en base a la ecuación EC.1 en el código FreshWaterSheds. Esta ecuación requiere de la apertura real h para estimar la topografía equivalente (h_s) que permite desalojar un determinado caudal en función de la solución interna de la lámina de agua superficial calculada por el modelo en cada paso de tiempo. Los parámetros que controlan la hidrodinámica del flujo superficial en el modelo, van a condicionar la apertura requerida durante cada paso de tiempo (apertura simulada) para conseguir desalojar el mismo caudal que la apertura real. La apertura simulada (h_s) se reflejará entonces en un cambio en la COTA 2 que incrementará o disminuirá su valor para permitir o cerrar el paso del agua.

$$h_s = 1.31 \cdot h^{2/3} \cdot \left(H - \frac{1}{2} h \right)^{1/3} \quad \text{EC. 1}$$

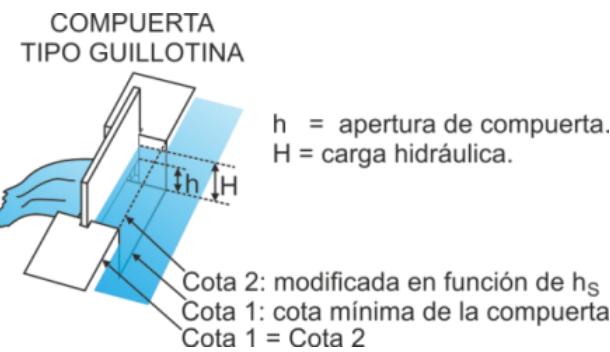


Figura E18. Esquema de funcionamiento de la compuerta tipo guillotina.

En la Figura E.18 se observa la compuerta tipo guillotina, donde h es la apertura real de la compuerta, y en función de ello se modifica, internamente en el código numérico, la COTA 2 y que es actualizada mediante la siguiente relación:

$$\text{COTA 2} = \text{COTA 1} + H - h_{\Delta\text{-COMP}}$$

Dónde:

H :carga hidráulica en la compuerta evaluada internamente en MELEF.

h_s :apertura simulada equivalente de compuerta evaluada por EC 1

$h_{\Delta\text{-COMP}}$:parámetro de ajuste de la compuerta que suma/resta a la apertura total.

El parámetro $h_{\Delta\text{-COMP}}$ sirve como altura (metros) de ajuste de la apertura simulada para incrementar o reducir el caudal de salida. Su valor puede ser positivo o negativo, lo cual permite conseguir que la compuerta desaloje más caudal para valores menores que cero y reducir el caudal para valores mayores que cero.

Entonces, el nuevo valor de COTA 2 se actualiza internamente en el código FreshWaterSheds para seguir modificar la topografía y permitir el libre flujo del agua, y con ello aproximar el caudal que desalojaría si fuera una compuerta tipo guillotina.

ACTIVACIÓN DE LA CONDICIÓN DE COMPUERTA:

En el código MELEF se requieren una serie de condiciones para que se active el funcionamiento como compuerta, estas condiciones son:

1. Los nodos que participan como zona de compuerta deben tener el valor de COTA 2 > COTA 1. La COTA 1 se interpreta como la cota base o punto de inicio de la compuerta. La COTA 2 puede ser cualquier valor mayor que COTA 1. La modificación de estas cotas puede realizarse desde el fichero de propiedades nodales PRN, o bien desde el shapefile PRNMELEF.dbf en SIG.
2. El código de uso en SIG para la compuerta debe ser el código 9. De forma equivalente el código 9 es impreso como código 2E9 en los ficheros de simulación correspondientes.
3. El modelo requiere que el usuario genere valores de apertura h , en metros, los cuales son las aperturas reales de la compuerta. Si es un único valor permanente puede imponer el valor desde la tabla de atributos del SHP (usos de agua) en SIG que contenga este valor, o bien de forma transitoria través del fichero Excel que contiene las condiciones de simulación SLR.

El parámetro $h_{\Delta\text{COMP}}$ puede ser cualquier valor, positivo o negativo, e incluso cero.

6.3.5 Simulación de Desagües

Los desagües intermedio/fondo, en estructuras como presas, tienen como principal fin el poder utilizar la total capacidad de agua del vaso con fines de gestión, además de evacuar fangos y depósitos de arrastre que prolonguen la capacidad del vaso, e incluso para dejar el vaso seco y poder realizar obras de mantenimiento, así como otras posibles funciones.

El código FreshWaterSheds se ha dotado con la posibilidad de simular desagües intermedio/fondo para gestionar el volumen de agua de un cuerpo de agua superficial. La solución implementada está limitada a desagües de sección transversal circular y de sección longitudinal sin pendiente, por lo que el caudal desalojado sólo obedece a la carga hidráulica sobre el punto de toma del desague, al diámetro de la tubería (centímetros) y a las pérdidas de esta. La ecuación resuelta para los desagües es la siguiente:

$$Q(m^3 / seg) = (D)^2 \cdot 1 \times 10^{-4} \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \right) \cdot (H)^2 + Q_{\Delta-DES} = (D)^2 \cdot f(H) + Q_{\Delta-DES} \quad EC. 2$$

Dónde:

$D = d \cdot (1 + e^{-4d})$: diámetro ajustado a la curva de gasto del desague (cm) que se calcula externamente al modelo y la interfaz FreshWaterSheds.

$d = d_{EQV} \cdot \beta^{1/4} \cdot C_N^{1/2}$: diámetro efectivo de la tubería [cm] que incluye las pérdidas en tubería y que se imprime en el fichero SLR. Las pérdidas (en algunos casos es del orden de 0.85) y el diámetro efectivo deben evaluarse externamente a la interfaz y el modelo FreshWaterSheds.

d_{EQV} : diámetro equivalente a tubería circular [cm] que se evalúa externamente al modelo y depende de la tipología de cierre de la válvula de la tubería.

$$\beta^{1/4} = (1 - \alpha)^{1/4} \rightarrow \alpha = \text{pérdidas en la tubería.}$$

$C_N^{1/2}$: pérdidas en la entrada de la tubería » 0.98

$$H = \text{carga hidráulica total [m]} \rightarrow H = NFs - (\text{COTA } 2 + h_{\Delta-DES})$$

NFs : Nivel Freático superficial [m].

COTA 2 : propiedad nodal de elevación topográfica [m].

$h_{\Delta-DES}$: Incremento Cota Desagüe [m].

$Q_{\Delta-DES}$:Incremento Caudal de Desagüe [m^3/seg]

$$\gamma \approx 0.5;$$

El diámetro d_{EQV} incluye algunas consideraciones respecto al diámetro equivalente, es decir, el diámetro que de forma equivalente da un área de apertura real en la válvula. Así por ejemplo, en el Figura E.19 la válvula tiene una apertura que deja un área efectiva para el paso del agua, esta área efectiva hay que cuantificarla y transformarla en un diámetro equivalente (cm) de una tubería circular.



Figura E.19. Válvula con cierre tipo guillotina.

La tipología de válvulas y su sistema de cierre es variado, por tal razón se ha pensado en un diámetro equivalente, d_{EQV} , que permita el flujo de un caudal equivalente al de la apertura de la válvula.

Volviendo a la condición de desagüe, esta tiene dos parámetros globales de ajuste:

1. INCREMENTO-COTA-DESAGÜES, el cual permite incrementar o reducir la cota topográfica del punto de toma de todos los desagües presentes en la simulación (metros). El propósito de este parámetro no es precisamente modificar la cota de toma, pues ello puede resolverse desde la topografía en SIG, sino la estabilidad del modelo. El modelo con una condición de desagüe puede volverse inestable si la carga hidráulica está próxima a cero o intermitentemente es cero. Es decir, la lámina de agua superficial está próxima a la cota del punto de toma del desagüe. Para evitar esta condición, el desagüe puede ubicarse

un par de metros por debajo de la cota real y el parámetro de ajuste valer la diferencia entre cota real y cota en simulación (ver la Figura E.20).

2. INCREMENTO-CAUDAL-DESAGÜES, el cual permite incrementar o reducir el caudal evaluado por los desagües (m^3/seg). El propósito de este parámetro es ajustar el caudal evaluado para considerar aspectos como pérdidas de la tubería, filtraciones numéricas (-) del modelo o reales (+) de la propia presa, y otras consideraciones.

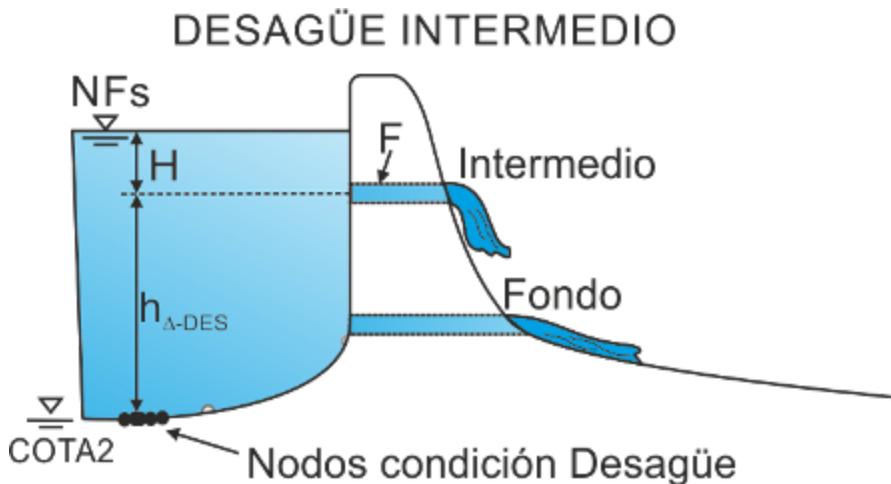


Figura E.20. Variables y parámetros de la condición de desagüe Intermedio / Fondo.

En la Figura E.20 se muestra un ejemplo donde la COTA 2 es inferior a la altura del desagüe intermedio, y el valor de $h_{\Delta-\text{DES}}$ será tal que al evaluar la relación $NFs - (\text{COTA}2 + h_{\Delta-\text{DES}}) + F$, siendo F las pérdidas en la tubería del desagüe intermedio, se obtendrá la carga hidráulica total H en el desagüe intermedio.

La gestión de los desagües desde el [Toolbox MELEF](#) se realiza a través del nuevo código de uso 8 en SIG.

ACTIVAR LA CONDICIÓN DE DESAGÜE INTERMEDIO / FONDO:

Para activar esta condición de simulación se deben cumplir las siguientes condiciones:

1. El código de uso para generar esta condición de simulación en SIG debe ser el 8, lo que en el código FreshWaterSheds es equivalente al código 1E9.
2. El parámetro INCREMENTO COTA DESAGÜE debe ser distinto y mayor que cero. Por lo que este parámetro, además de tener las función de incrementar el calado mínimo en el punto de toma del desagüe, sirve para habilitar o deshabilitar todos los desagües de una simulación. Para activar los desagües basta con un valor distinto de cero, que normalmente será positivo según se ha descrito.

DIÁMETRO MÍNIMO DE LA TUBERÍA DE DESAGÜE:

El valor de la condición debe ser mayor que 1 ($d > 1$ diámetro mínimo para simular un desagüe). Tenga en cuenta que, si la zona de un desagüe está formado por más de un nodo el diámetro que se imprime es el resultado de distribuir el Q calculable entre todos los nodos. Es decir, si la zona de un desagüe

está formado por 8 nodos, esta zona debe tener un diámetro mínimo $d_{ZONA} = 3 \text{ cm}$, el total del caudal Q de desagüe debe ser la suma de 8 nudos de desagüe con un diámetro d .

$$N^o_{nodos} \cdot (d^2) = d_{ZONA}^2 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{d_{ZONA}^2}{N^o_{nodos}}}$$

Entonces, el valor de d resultante sería de 1.06 que es mayor que 1. Tenga en cuenta que este valor lleva implícito distintos tipos de pérdidas en la tubería (véase la EC. 2). Para evitar posibles problemas de diámetros de desagües menores que 1, la interfaz de usuario redondea todo valor mayor que 0.5 hacia 1.001 y los valores menores que 0.5 hacia cero.

Los desagües son resultado de adaptar la capacidad de simular pozos de bombeo en FreshWaterSheds para cumplir una doble función. Por tal razón, la coexistencia de una misma condición de simulación comportándose de manera distinta requiere de una frontera. Esta frontera es el valor de la condición de simulación, donde un valor mayor que 1 (uno) es interpretado como diámetro en centímetros de la tubería del desagüe, mientras que valores menores que uno son interpretados como caudal en m^3/seg de un pozo de bombeo.

Esta frontera, o límite entre ambos comportamientos, desaparece cuando el parámetro INCREMENTO COTA DESAGÜE es igual a cero. En esta situación los pozos de bombeo podrán volver a extraer agua a razones mayores que $1 \text{ m}^3/\text{segundo}$ en un único nodo.

6.3.6 Simulación de Galerías Filtrantes

Las Galerías Filtrantes son estructuras perforadas en forma horizontal con el propósito de captar agua subterránea para llevarla a la superficie por gravedad. Existen diversas tipologías, aunque se pueden englobar de manera muy general en drenes, tuberías filtrantes o más tradicionalmente túneles. Su diseño constructivo tiene como base una estructura permeable que estará en contacto con el acuífero, o estructura geológica que retiene agua, mientras que la base de la Galería puede ser permeable o no y dependerá de la tipología y el uso para el que está destinada.

Las tipologías son diversas y su funcionamiento es particular a la estructura geológica de la que drena agua subterránea. Bajo esta situación, la simulación de una estructura filtrante, en un modelo en 2D como FreshWaterSheds, requiere de un tipo de condición de simulación que mantenga la realidad y el funcionamiento de estas estructuras sin excesiva parametrización.

La solución para simular una Galería Filtrante se puede observar en la Figura E.21, en la que se muestra un bosquejo de una tipología de Galería en la realidad y como es interpretada en el modelo. En el modelo, los nodos que representan el trazado de la galería están representados en amarillo; estos nodos tienen la particularidad de tener como propiedad de elevación un valor en COTA2 menor que COTA1.

GALERÍA FILTRANTE

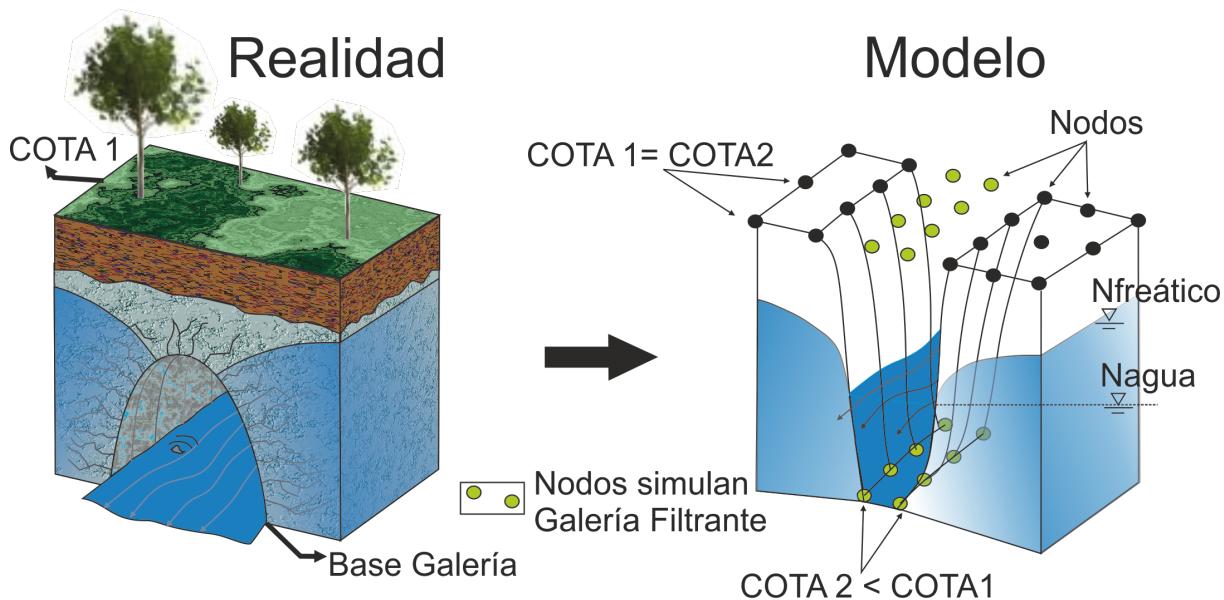


Figura E.21. Galerías filtrantes, comparativa entre el funcionamiento real y modelado.

Los nodos que cumplen la condición de Galería, $COTA 2 < COTA 1$, generan un descenso de la topografía durante la simulación que permite que el flujo subterráneo fluya como si fuese un cauce. Asimismo, el valor de $COTA 2$ también es la posición de la base de la Galería, y a través de esta propiedad es posible establecer las elevaciones de la base de la Galería a lo largo de todo su trazado.

El Coeficiente Galería Filtrante, ubicado en la Interfaz de Usuario, permite establecer cierto control de la capacidad de captación simulada. Este valor tiene un rango de (0 – 1), donde cero desactiva cualquier galería filtrante, mientras que un valor mayor activa las Galerías y al mismo tiempo es indicativo de su capacidad de captación de agua, que será máxima cuando este valor sea uno.

La capacidad de captación de agua se modifica a través del valor $COTA 2$, cuando el Coeficiente de Galería Filtrante (CoefGF) es uno la base de la Galería es la misma que la establecida en $COTA 2$, cuando es menor que 1 la ubicación de la base de la Galería se modifica, ello en función del Nivel de Agua (Nagua) que haya sobre la base de la Galería de la forma siguiente:

$$\text{Base Galería (metros)} = (\text{Nagua}) - \text{CoefGF}(\text{Nagua} - \text{COTA2})$$

Al reducir el valor de CoefGF a valores menores que 1, pero mayores que cero, la posición de la base de la Galería se posiciona más próxima a la posición del Nivel de Agua, lo cual genera un menor gradiente H entre ambos.

La interacción entre la galería y el acuífero se resuelve de forma interna en el modelo sin requerir nuevas formulaciones, por lo que otros parámetros de ajuste y calibración son las conductividades hidráulicas de los materiales circundantes, la conductividad hidráulica superficial y el valor del coeficiente X que define el comportamiento del flujo superficial.

Activación de la condición de Galería Filtrante

1. En ArcGIS modificar el valor de COTA 2, en la tabla de atributos del fichero PRNMELEF.shp o también a través del fichero MDTsustrato.shp
2. En la Interfaz de Usuario modificar el coeficiente Galería Filtrante por un valor mayor que cero para activar las Galerías.
3. Generar el fichero de simulación PRN.

NOTA: esta condición de Galería no utiliza un código de simulación, por lo que es posible definir otra condición de simulación (lluvia, derivaciones e inyecciones de agua, bombeos, otros...) sobre los nodos que simulan una Galería.

6.3.7 Inyección Automática

La correcta gestión de una cuenca y sus recursos hídricos implica conocer los distintos usos del agua y el destino que estos tienen, además de otras implicaciones de gran importancia como pueden ser el uso racional del recurso, su correcta distribución y el mantenimiento de la calidad ecológica del conjunto. Pero centrémonos en el aspecto de conocer hacia dónde es redirigida el agua extraída por un bombeo, una derivación superficial, una canalización, el agua que entra a un sistema de red de abastecimiento o cualquier otro uso que implique el traslado de agua desde un punto de la cuenca a otro.

La capacidad de simular distintos usos consumptivos de agua en MELEF quedan en segundo plano sin la capacidad de poder devolver al medio el recurso extraído en tiempo real.

Poder extraer agua del medio, mediante distintas condiciones de uso consumutivo del agua, y devolverlo en tiempo real a otro punto del mismo puede ser considerado como una condición de simulación del tipo INYECCIÓN AUTOMÁTICA, pero que se define más correctamente como un BYPASS HÍDRICO.

Esta nueva condición se gestiona desde el Toolbox MELEF en SIG y la interfaz de usuario FreshWaterSheds.

ACTIVACIÓN DE LA CONDICIÓN DE INYECCIÓN AUTOMÁTICA:

Para lograr este INYECCIÓN AUTOMÁTICA se requiere de un nuevo código de uso en SIG y de una modificación en la impresión del fichero .SLR.

1. Esta condición de simulación se activa en el fichero .SLR, en donde es necesario indicar con valor negativo los nodos en donde se hará la inyección de agua captada por los nodos con una condición de desagüe de fondo. Entonces, los nodos negativos se imprimen junto con los nodos con una condición de uso consumutivo (bombeo, desagüe, derivación, etc). Cada nodo negativo antecede a los nodos que inyectarán agua en éste, de tal manera que los nodos con una condición de uso consumutivo se distribuyen en el total de nodos de inyección (nodos impresos con valor negativo). A continuación se muestra cómo se imprimen los nodos de una zona con condición de desagüe en el fichero .SLR, y los nodos negativos (resaltados en amarillo) donde se inyectará el agua automáticamente.

10000000000 1.0000E+02

-5312 11659 11660 13960 -5313 13961 13962 13963 -7202 16229 16230 0 0

0

Después de cada nodo negativo se imprimen los nodos con condición de uso consumutivo que inyectarán a dicho nodo negativo.

GESTIÓN DE LA ZONA DE INYECCIÓN AUTOMÁTICA EN SIG:

A partir de la mejora realizada para inyectar automáticamente el agua de una condición de uso consumitivo mediante nodos negativos en el fichero .SLR, se ha diseñado la solución de gestión mediante los Sistemas de Información Geográfica y específicamente con el Toolbox MELEF de SIG esta nueva capacidad.

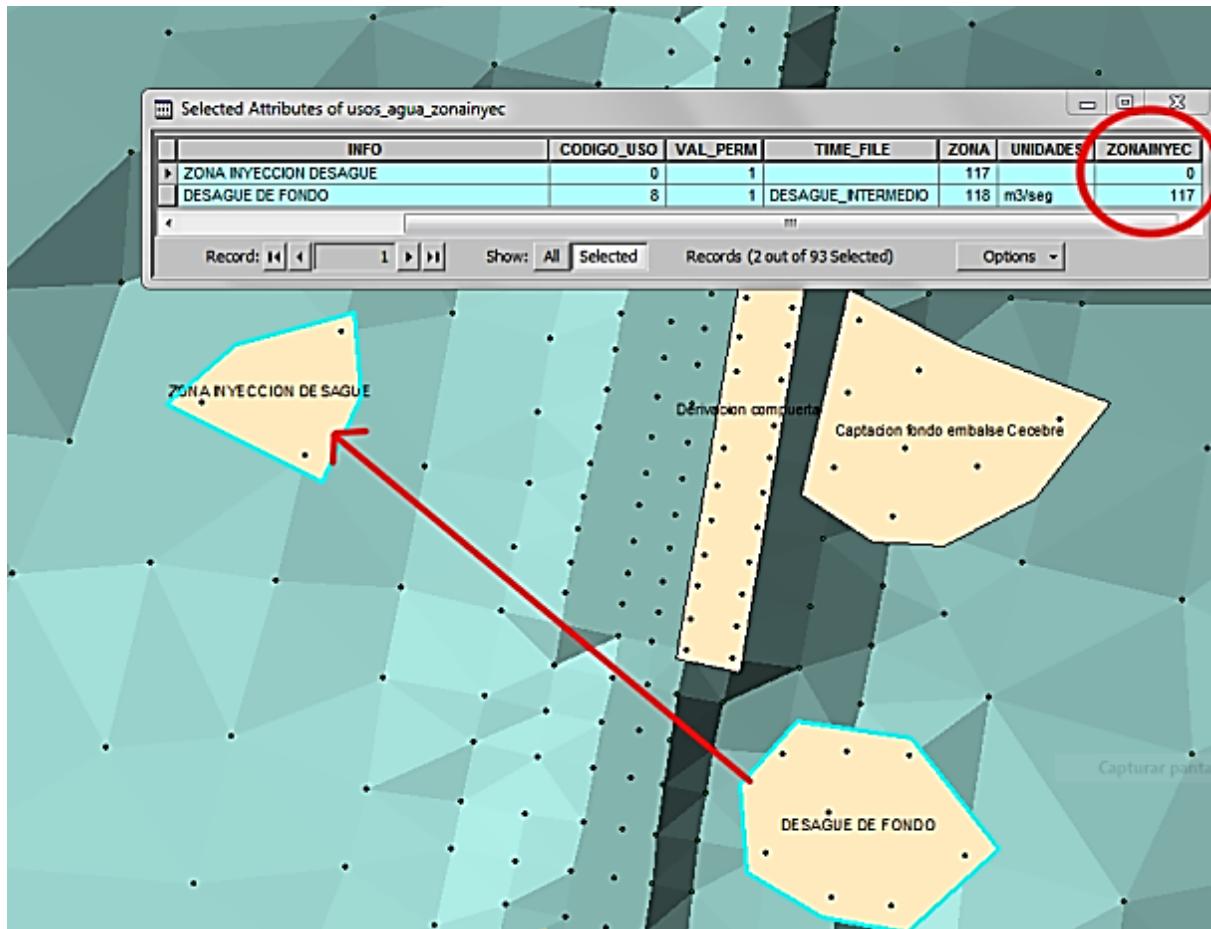


Figura E.22. Nueva zona de inyección automática gestionada a través de la columna "ZONAINYEC". La figura es de la zona donde se localiza la presa de Cecebre.

El Toolbox MELEF es la herramienta que se encarga de generar los shapefiles y generar la estructura interna de la tabla de atributos de estos, así como, procesar las distintas capas para generar los shapefiles, que con ayuda de la interfaz FreshWaterSheds se transforman en los distintos ficheros de simulación. Por lo tanto, se ha modificado esta herramienta para considerar la gestión de la nueva zona de inyección automática de agua proveniente de zonas de desagüe. Para ello, el shapefile de usos de agua (usos_agua.shp) adquiere una nueva columna en su tabla de atributos. La nueva columna de la tabla de atributos se ha denominado "ZONAINYEC" (los nombres de las columnas en las tablas de atributos están limitadas a 10 caracteres).

La nueva columna "ZONAINYEC" permite entonces decidir la zona donde se desea inyectar el agua de una zona con condición de desagüe. Véase el Figura E.22 para ilustrar las modificaciones realizadas a

nivel de tablas de atributos con los shapefiles de polígonos que gestionan las condiciones de simulación del fichero .SLR.

Para imponer la zona donde se hará una inyección automática es necesario iniciar la edición del shapefile, seleccionar la zona con una condición de desagüe y en el campo que corresponde a la columna ZONAINYEC escribir el número de ZONA que recibe la inyección automática. Todas las otras zonas que no tienen una inyección automática se dejan con valor cero. A partir de aquí el Toolbox MELEF y la interfaz de usuario se encargan de la gestión de las zonas de inyección automática.

NUEVO CÓDIGO DE USO EN SIG (CÓDIGO CERO):

La nueva zona de inyección automática no podría existir sin un código de uso, esto debido a la verificación estructurada (la interfaz verifica los códigos de uso de SIG para convertirlos a códigos de uso de FreshWaterSheds, verifica que cada ZONA está asociada a un código de uso, así como otras verificaciones) que realiza la interfaz FreshWaterSheds sobre la tabla de atributos antes de escribir el fichero .SLR. En consecuencia, se vuelve necesario un nuevo código de uso que no implique incrementar los códigos de uso ya utilizados pero que a efectos prácticos exista. Este NUEVO CODIGO DE USO es el 0 (cero). Si se observa nuevamente la Figura E.22 en la columna COD_USO la ZONA con número 117 tiene un código de uso igual a cero.

IMPLICACIONES DEL NUEVO CÓDIGO DE USO EN EL FICHERO SLR:

Como es de esperar la zona que pertenece a este nuevo código de uso (cero) no se imprime en el fichero SLR. Pero, los nodos de este código de uso cero se imprimen con valor negativo en toda aquella ZONA que les haga referencia a través de la ZONAINYEC. Por lo tanto, múltiples zonas pueden utilizar la ZONAINYEC para hacer referencia a una misma zona de inyección automática, lo que significa que en estas múltiples zonas se imprimen los nodos negativos donde se inyectara automáticamente el agua extraída.

Es importante señalar que, en la interfaz FreshWaterSheds no está limitado el uso de la ZONAINYEC y se ha dejado abierto para cualquier código de uso perteneciente a los usos de agua (derivaciones, bombeos, desagüe de fondo y otras), esto con la visión de que futuras versiones del código FreshWaterSheds pueda ampliar sus posibilidades de automatismo durante la ejecución del código.

MANUAL FreshWaterSheds

Modelo para simulación hidrológica
integrada de flujos regionales
subterráneo y superficial.

Parte



VII

7 F. Formación

7.1 Caso práctico 1: inundación de la mina de Meirama (cuenca del río Barcés)

1. Introducción

Desde 1980 la empresa Lignitos de Meirama S.A. (LIMEISA) ha explotado a cielo abierto un yacimiento de carbón (lignito pardo) de edad Mioceno, Terciario. Las actividades de extracción de lignito finalizaron en diciembre de 2007. Durante 2008 LIMEISA continuó con los trabajos de construcción y finalización de los rellenos o escombreras de fondo de la mina y los trabajos de mantenimiento y preparación de los taludes para la clausura de la explotación.

El 18 de marzo de 2008 LIMEISA dio inicio a la rehabilitación hídrica de la excavación minera como el futuro Lago de Meirama. En la Figura F.1, el hueco tiene longitud máxima próxima a los 2 km, un ancho cercano a los 700 m y el futuro lago alcanzará una profundidad máxima cercana a los 200 metros.

La excavación minera se localiza en el valle de la localidad de Meirama, en el Término Municipal de Cereda, A Coruña, España. La Corta de Meirama se sitúa en la cabecera de la cuenca del río Barcés, conocida así misma como cuenca de Meirama, con una superficie próxima a 33 km². En su totalidad, la cuenca del Barcés tiene una superficie cercana a los 90 km². El flujo de agua superficial, producto del exceso de agua subterránea y del escurrimiento, es drenado por el río Barcés hasta su confluencia en el embalse de Cecebre. En el embalse de Cecebre confluyen los ríos Barcés y Mero, en este punto de confluencia se localiza la presa que regula el suministro de agua potable de La Coruña y sus alrededores.

Las principales actividades que originan un consumo de agua o modifican el régimen hídrico en la cuenca del Barcés son, por una parte, la actividad minera durante el periodo de explotación, y por otra, la concesión de hasta 100 litros por segundo de bombeo de agua superficial de la Estación de Tratamiento de Agua Potable de Cañas situada sobre el río Barcés, así como la concesión de agua superficial para el llenado de la mina (Figura F.2).

En este sentido, se requiere un mejor conocimiento de los flujos de agua subterránea y superficial generados como consecuencia del llenado de la mina y su posterior evolución, en función de la hidrología regional, con objeto de la planificación de las acciones más apropiadas para la rehabilitación ambiental sostenible de dicha excavación minera.



Figura F.1. Inundación de la Mina de Meirama (LIMEISA, 2009).

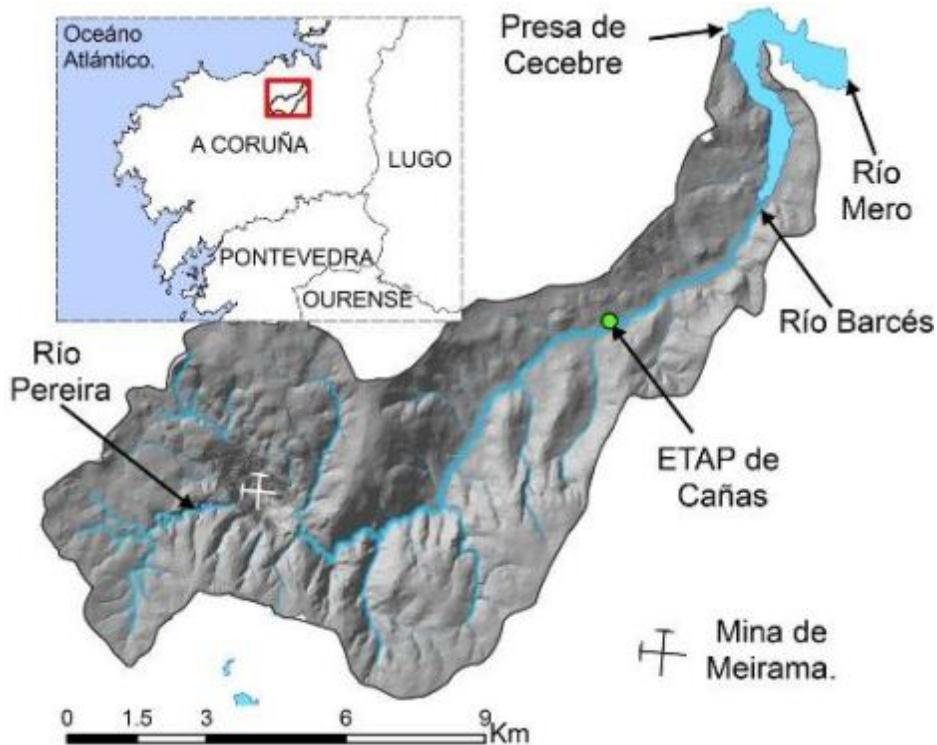


Figura F.2. Ubicación de la cuenca del río Barcés. A Coruña, España.

2. Objetivos

La aplicación práctica del código FreshWaterSheds a la cuenca del río Barcés, con énfasis especial en la mina de Meirama, tiene como objetivos principales:

- Calibrar la hidrología de las aguas subterráneas y superficiales durante un periodo conocido.
- Modelizar la evolución futura del régimen hídrico regional hasta alcanzar la cota de vertido al río Barcés.
- Analizar la interacción de los flujos subterráneo y superficial en la zona de la mina durante el periodo de simulación mediante balances hidrológicos.

3. Preparación del modelo numérico:

Siga los enlaces a las diferentes prácticas para preparar el modelo numérico del caso práctico 1: inundación de la mina de Meirama (cuenca del río Barcés).

[Práctica 1: preparar la interfaz de usuario FreshWaterSheds para el modelo Barcés.](#)

[Práctica 2: Generar las condiciones de simulación en ArcGIS.](#)

[Práctica 3: preparar las bases de datos transitorios XLS.](#)

[Práctica 4: Generar ficheros de simulación y ejecución de FreshWaterSheds.](#)

7.1.1 Práctica 1: preparar la interfaz de usuario MELEF para el modelo Barcés.

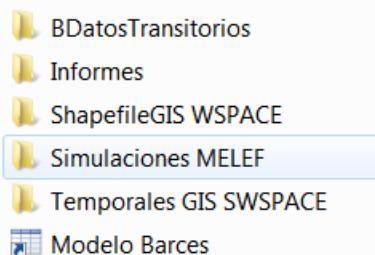
Objetivo de la práctica: configurar la duración de simulación, así como los parámetros y resolución del sistema, para el modelo numérico del caso práctico 1, con ayuda de la interfaz de usuario del modelo FreshWaterSheds.

Tareas de la práctica 1:

- 1. Ejecutar la interfaz FreshWaterSheds y generar un nuevo proyecto de simulación.
[Generar un nuevo proyecto.](#)

En la ventana que se despliega cuando se abre la interfaz elija **-Nuevo proyecto de simulación-**, defina la ruta y un nombre. En este ejemplo el nuevo proyecto se llamará de aquí en adelante **-Modelo Barcés-**.

Cuál es la función de cada una de las 5 carpetas que se generan?



BDatosTransitorios: almacena las tablas Excel con el comportamiento transitorio de los ficheros de simulación.

Informes: almacenar informes de resultados.

ShapefileGIS WSPACE: carpeta de trabajo de ArcGIS en donde se almacenan los ficheros vectoriales, shapefiles, con las condiciones de simulación.

Simulaciones MELEF: en este directorio se almacenan todos los ficheros de simulación .COR, .ELE, .PRN..., y en las subcarpetas se almacenan los ficheros de cada simulación que ejecute.

Temporales GIS SWSPACE: carpeta de ficheros vectoriales de ArcGIS donde se almacenan ficheros vectoriales temporales.

Modelo Barces.mat: base de datos de la interfaz de usuario.

2. En la pestaña Control de la simulación.

[Pestaña Control de la simulación.](#)

Añada una nueva carpeta de simulación con el nombre -Simulación 1-, la carpeta se agrega a la lista de carpetas de simulaciones, Figura F.3, haga un clic sobre esta carpeta para habilitar los paneles de configuración de parámetros.

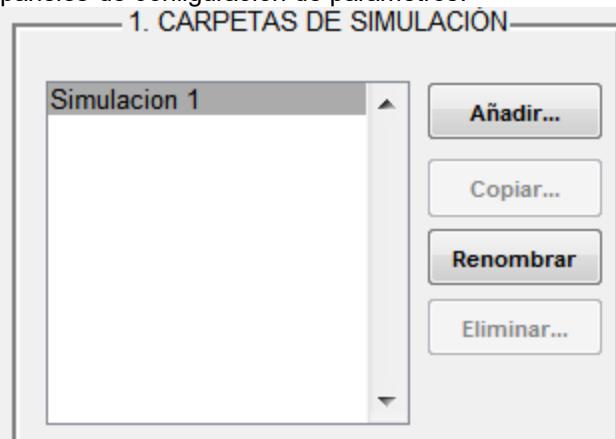


Figura F.3. Haga clic en la lista sobre el ítem -Simulacion 1- para habilitar los paneles de configuración de la interfaz.

3. Vaya a la pestaña condiciones de simulación y configure lo siguiente:

[Pestaña condiciones de simulación.](#)

Control de tiempos: configure la duración de la simulación y los pasos de tiempo de cálculo.

- Fecha inicio de la simulación: 1-junio-2006
- Pasos de tiempo: 6 horas.
- Fecha fin de la simulación: 30-septiembre-2016.
- El total de pasos de tiempo se rellena automáticamente.
- Casilla salto de lectura: mantenga inactiva esta casilla pues no se utilizará para el modelo Barcés.

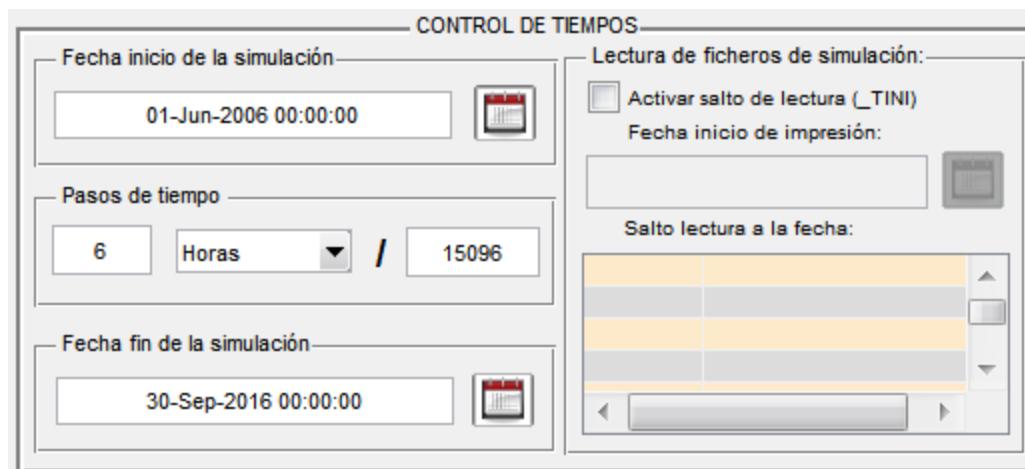


Figura F.4. Configuración del control de tiempos para el Modelo Barcés.

La configuración debería quedar como en la Figura F.4.

Nombre de ficheros: defina el nombre que la interfaz utilizará para todos los ficheros de simulación, puede dejar el nombre por defecto - Proyecto- o bien cambiar a -Barcés-.

Ficheros de entrada: presione el botón **Definir ...** para desplegar la ventana que se muestra en la Figura F.5.

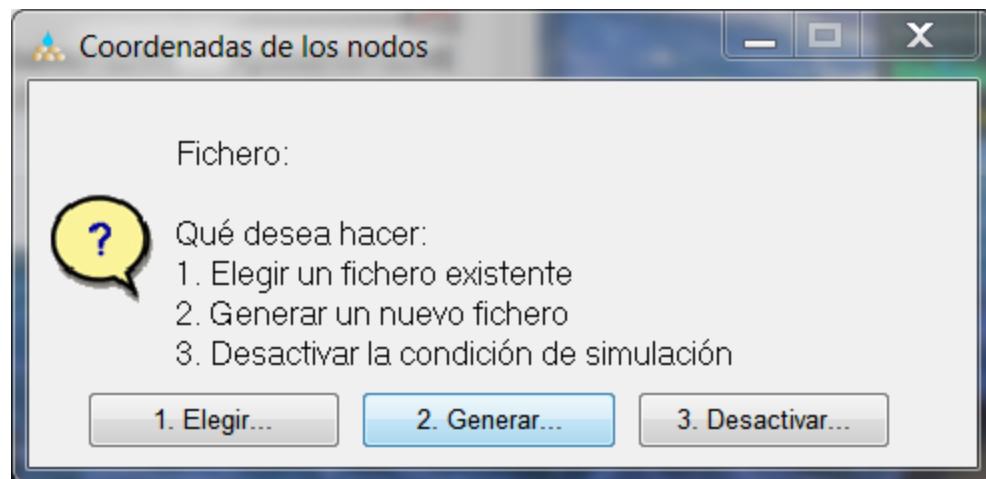


Figura F.5. Cuadro de dialogo para definir los ficheros de simulación.

En la Figura F.5 elija la opción 1. Elegir... para abrir el explorador de Windows, Figura F.6, y seleccionar el fichero de entrada, que en este caso es el fichero de coordenadas de los nodos .COR. También puede generar los ficheros de simulación ([Práctica 2](#)).

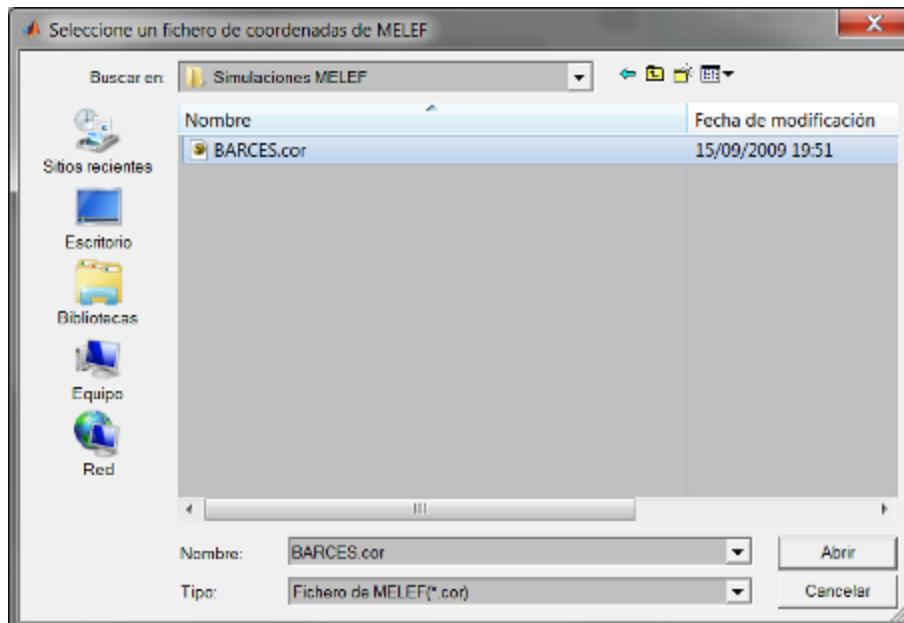


Figura F.6. Ventana para seleccionar los ficheros de entrada.

Seleccione todos los ficheros de entrada: verifique que a la izquierda el recuadro en negro cambia a color verde.

[.COR](#): coordenadas de los nodos.

[.ELE](#): elementos triangulares.

[.SEC](#): secciones de aforo.

[.CND](#): condiciones impuestas en el contorno de la malla de nivel o gradiente.

[.SLC](#): esta condición de recarga por el contorno no es utilizada

[.PRN](#): propiedades de geología y topografía.

[.SOI](#): propiedades de suelo y parámetros modelo de evapotranspiración.

[.SLR](#): usos del agua y precipitación.

[.INI](#): posición del nivel freático en cada nodo que sirve como solución inicial.

Impresión de resultados: defina qué resultados de la simulación desea imprimir, así como la frecuencia de impresión.

[Caudales \(DEB\)](#): active esta casilla para imprimir los flujos que pasan por las secciones de aforo con un frecuencia de 4 pasos de tiempo. Los caudales que imprime el modelo FreshWaterSheds son puntuales y no caudales medios del incremento de tiempo, por ello es necesario imprimir los caudales con una frecuencia alta para obtener mejores balances hidrológicos.

[Niveles freáticos \(VNO\)](#): active esta casilla para imprimir una serie de resultados relacionados con los niveles freáticos en agua dulce/salada, con una frecuencia de impresión de 12 pasos de tiempo.

[Nivel freático \(FIN\)](#): desmarque esta casilla pues la solución inicial puede fabricarse con los resultados de niveles freáticos (VNO).

[Velocidades \(VEL\)](#): active esta casilla para imprimir las velocidades de los flujos subterráneo, subárvico y superficial en todos los nodos de la malla. Defina una frecuencia de impresión de 12 pasos de tiempo.

[Variables climáticas y usos del agua \(SOL\)](#): active esta casilla para imprimir las tasas de evapotranspiración y transpiración, de la precipitación, y de los caudales de los diferentes usos del agua. Utilice una frecuencia de impresión de 12 pasos de tiempo.

Resultados globales (ETA): active esta casilla para imprimir una serie de resultados globales necesarios para verificar la correcta evolución de la simulación, la frecuencia de impresión es por defecto la misma que la de los niveles freáticos (VNO).

La configuración de la impresión de resultados debería quedar como en la Figura F7.

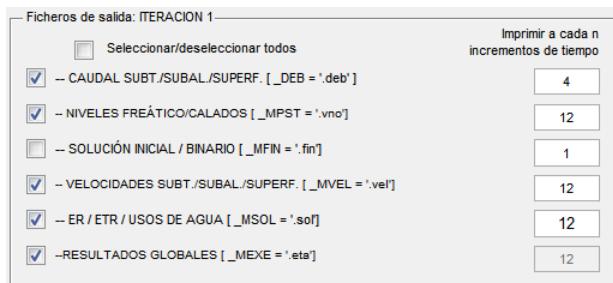


Figura F.7. Configuración de la impresión de resultados del modelo Barcés.

- **4. Vaya a la pestaña Parámetros / resolución y configure lo siguiente:**
[Pestaña parámetros / resolución.](#)

Parámetros del modelo superficial:

- Coeficiente X superficial: defina el valor 0.929.
- Desagüe de Fondo: $+\Delta H$. mantenga este valor a cero (estado inactivo) pues no se van a simular desagües de fondo.
- Conductividad medio superficial: valor que será definido zonalmente en el fichero .SOI.
- Coeficiente de porosidad superficial: factor que modifica el almacenamiento del medio superficial ($1-X$), deje este valor en 1.

La configuración de parámetros del modelo superficial debería quedar como en la Figura F.8.

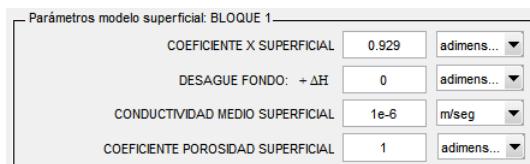


Figura F.8. Configuración de parámetros del modelo superficial.

Parámetros zona no saturada / subálveo:

- Factor de espesor Subálveo: factor que modifica la importancia del flujo sub-superficial sobre el medio subterráneo, deje este valor en 200.
- Factor de conductividad Subálvea: factor que modifica la importancia de la conductividad subálvea en la zona delimitada entre la superficie del suelo y la máxima profundidad de las raíces de las plantas, deje este valor en 1.
- Factor de porosidad Subálvea: factor que funciona en la misma región que la conductividad subálvea pero modificando la porosidad, deje este valor en 1
- Espesor mínimo (sustrato impermeable): cuando el nivel freático se sitúa por debajo del sustrato impermeable se utiliza este valor para evaluar una transmisividad mínima, deje este valor en 3.
- Espesor de Suelo/Raíces: valor que será definido zonalmente en el fichero .SOI.
- Franja capilar del Suelo: valor que será definido zonalmente en el fichero .SOI.

La configuración de parámetros del modelo superficial debería quedar como en la Figura F.9.

Parámetros zona no saturada / Subálveo: BLOQUE 1		
Factor de espesor Subálveo	200	adimens...
Factor de conductividad Subálvea	1	adimens...
Factor de porosidad Subálvea.	1	adimens...
ESPESOR MINIMO (Sustrato impermeable)	3	metros
Espesor de Suelo/Raíces	5	metros
Franja Capilar del Suelo	0.5	metros

Figura F.9. Configuración de parámetros de suelo y zona subálvea.

Pérdidas de agua zonal / global: active la casilla de pérdidas de agua y configure lo siguiente:

- Precipitación recarga: precipitación global, deje este valor en cero.
- EvapoTranspiración Potencial: evapotranspiración potencial, este valor debe ser diferente de cero para que el modelo de evapotranspiración se active y procese las tasa zonales impuestas en el fichero .SOI, deje este valor en 1 mm/año.
- Evaporación Potencial: deje este valor en cero.
- Tasa de detención superficial global: en el modelo Barcés no se detrae agua global por derivación, deje este valor en cero.
- Volumen máximo de detención global: este valor limita el volumen de derivación global/zonal, imponer un valor suficiente de 500 hm³.

La configuración de pérdidas de agua zonal/global debería quedar como en la Figura F.10.

Perdidas de agua zonal/global: BLOQUE 1		
<input checked="" type="checkbox"/> Activar las pérdidas de agua:		?
PRECIPITACIÓN/RECARGA	0	mm/año
EvapoTranspiración Potencial	1	mm/año
EVAPORACION POTENCIAL	0	mm/año
TASA DETENCIÓN SUPERF. GLOBAL :	0	m^3/m^2...
VOL. MÁX. DETENCIÓN:	500	hm^3

Figura F.10. Configuración de las pérdidas de agua en el modelo Barcés.

Resolución del sistema:

- Modelo agua dulce/salada: para el modelo Barcés sólo se simulará flujo continental (agua dulce), deje la opción AL2H.
- Resolución permanente/transitoria: deje la resolución en EULR que se corresponde con una simulación transitoria.
- Error mínimo (_EPSDL): deje este valor en 1.0E-15.
- Precondicionamientos (NPREC): deje este valor en 60.
- Iteraciones (NRDEM): deje este valor en 1.
- Tamaño (NITER): deje este valor en 20.
- Precondicionador (_IML): deje este valor en 1 (Masa)

La configuración de la resolución del sistema debería quedar como en la Figura F.11.

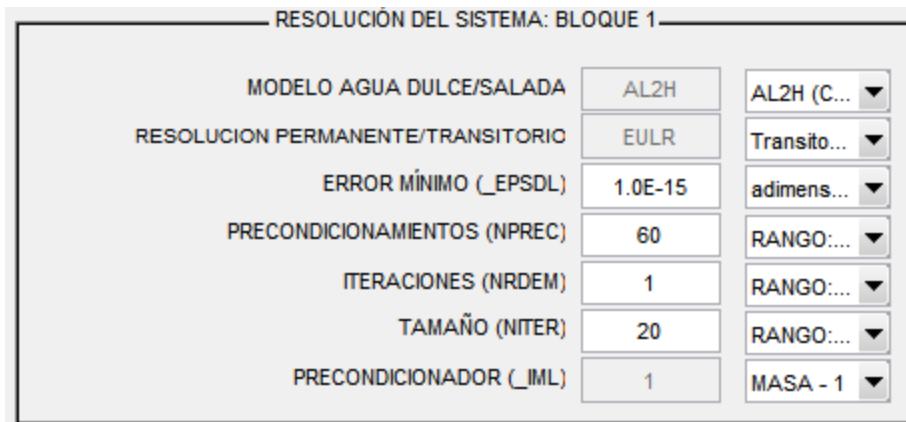


Figura F.11. Configuración de la resolución del sistema en el modelo Barcés.

7.1.2 Práctica 2: Generar las condiciones de simulación en ArcGIS.

Objetivos de la práctica:

- Importar la geometría de la malla de elementos finitos triangulares en ArcMap.
- Generar con ayuda del Toolbox MELEF los shapefiles que almacenarán las condiciones de simulación y con la herramienta de edición dibujar polígonos o poli-líneas alrededor o sobre los nodos que tengan una condición de simulación específica.
- Gestionar los parámetros almacenados en la tabla de atributos de los shapefiles.
- Generar los [ficheros SIG](#) de simulación y posteriormente generar los [ficheros de entrada](#) del modelo MELEF con la interfaz de usuario.

NOTA: antes de iniciar la práctica recuerde verificar que el directorio de trabajo de ArcMap sea el mismo que la del proyecto de simulación.

■ 1. Importar la geometría de la malla en ArcMap.

Ficheros necesarios para iniciar este apartado:

- fichero con la geometría de la malla de SMS en formato .geo - .2dm

- a) Ejecutar la herramienta [Procesa Malla \(geo-2dm\)](#) en la interfaz de usuario, esta herramienta se localiza en el menú **Malla > Procesar Malla (geo - 2dm)**, o bien acceda a la herramienta mediante el botón **Definir...** que está a la derecha de los ficheros de entrada .COR y .ELE en el [Panel 2](#) de la interfaz de usuario. Genere los ficheros de coordenadas y elementos para ArcGIS (ArcGISNodos.txt y ArcGISElementos.txt) en el directorio -ShapefileGIS WSPACE- del proyecto.
- b) Abrir ArcMap y ejecutar la herramienta [1.1 Importar nudos-Malla](#) del Toolbox MELEF para importar los ficheros de texto con los nodos y elementos del apartado anterior. Esta herramienta genera los siguientes shapefiles que son necesarios para definir las condiciones de simulación:
 - i. nudos.shp (capa de puntos con los nudos de la malla, almacenan además información del ID del nudo y el área de influencia).
 - ii. malla.shp (capa de polígonos con los elementos triangulares de la malla).
 - iii. cuenca.shp (capa de polígonos con el área de estudio).
 - iv. MDTsustrato.shp (capa de puntos con información de la topografía y sustrato impermeable).

■ 2. Generar los ficheros SIG y editar las condiciones de simulación.

Información necesaria para iniciar este apartado:

- Capas de geología, usos del suelo-vegetación, otros...
- Localización de pozos de bombeo, vertidos, derivaciones de agua superficial.
- Ubicación de estaciones de aforo, estaciones pluviométricas, zonas de regadío o de recarga, otros...

a) Caja de herramientas [2. Zona no saturada \(SOI\)](#).

- i. Ejecute la herramienta [2.1 Nuevo ZonaNoSaturada.shp](#):
 - ☞ Inicie la [edición del shapefile](#) para poder copiar las entidades de polígonos de una capa de usos de suelo o de vegetación existente, o bien para generar manualmente los polígonos con base en alguna otra información disponible.
 - ☞ Con las entidades de polígonos definidas el siguiente paso es gestionar los parámetros de la tabla de atributos del shapefile. Para modificar la tabla de atributos del shapefile active la edición para desbloquear la tabla y poder modificar directamente la información. Rellene la información de los espesores de suelo, asociados a la máxima profundidad de las raíces, y la franja capilar del suelo. Seleccione grupos de polígonos con el mismo uso de suelo o tipo de vegetación con la herramienta **Select By Attributes** del menú **Selection** para modificar valores por grupos de polígonos. Imponga en el campo TIME_FILE las etiquetas { 'MABEGONDO' 'CARRAL' 'MEIRAMA' } en función de la altura.
- ii. Ejecute la herramienta [2.2 Nuevo Ksuperficial.shp](#):
 - ☞ Inicie la edición del shapefile para copiar el polígono del shapefile cuenca y a continuación utilice las herramientas de la barra de edición para [cortar el polígono](#) y generar zonas de mayor interacción de flujo subterráneo/superficial.
 - ☞ Gestione las conductividades hidráulicas del medio superficial en m/seg, desde la tabla de atributos del shapefile, teniendo en cuenta que para las zonas de ríos el valor puede variar entre 1e-2 a 1e-4, para zonas de ladera entre 1e-3 a 1e-6, para zonas de inundación de gran calado entre 1e-6 a 1e-10 y las zonas de embalses, que dependerá del tiempo de renovación, con valores entre 1e-2 a 1e-8.
- iii. Ejecute la herramienta [2.3 Generar SOIMELEF.shp](#): seleccione las capas que indica la herramienta para generar el fichero de simulación [SOIMELEF.shp](#).

b) Caja de herramientas [3. Materiales - Sustrato I. \(PRN\)](#).

- i. Ejecute la herramienta [3.1 Crear Sustrato Impermeable](#): en la ventana que se despliega seleccione la capa MDTsustrato y el campo de la tabla de atributos con el nombre SUSTRATO, después defina la posición del sustrato a -50 m de la superficie del suelo, seleccione el método de Krigeado Universal, seleccione un radio de búsqueda variable con 12 nodos de búsqueda y un tamaño de celda del Modelo Digital de Elevaciones del sustrato igual a 50 metros.
- ii. Ejecute la herramienta [3.2 Nueva GELOGIA.shp](#):
 - ☞ Inicie la edición del shapefile para copiar las entidades de polígonos de una capa de geología existente, o bien genere manualmente los polígonos con base en alguna otra información disponible.
 - ☞ Gestione las propiedades de los materiales KX, KY, KZ y el ángulo de anisotropía ALFA desde la tabla de atributos del shapefile.
- iii. Ejecute la herramienta 3.3 Generar PRNMELEF.shp: seleccione las capas que indica la herramienta para generar el fichero de simulación [PRNMELEF.shp](#).

c) Caja de herramientas 4. Condiciones de contorno (CND - SLC).

- i.

7.1.3 Práctica 3: preparar las bases de datos transitorios XLS.

7.1.4 Práctica 4: Generar ficheros de simulación y ejecución de MELEF.

7.2 Problemáticas y soluciones

A continuación encontrarás una serie de problemáticas y posibles soluciones que pueden ayudarte a mejorar las inestabilidades numéricas. Las inestabilidades numéricas son visibles a través de los resultados 2D y 1D que genera la Interfaz de Usuario.

Es importante señalar que, las soluciones a las problemáticas que se proponen tendrán un funcionamiento mejor o peor según las condiciones climáticas, las pendientes topográficas y la exigencia hidrológica que demande el área de estudio.

CONSEJOS PARA MEJORAR OSCILACIONES NUMÉRICAS

- Refinar la malla en zonas en las que se prevea una relación intensiva de flujo subterráneo y superficial.
- Restaurar hidrológicamente el Modelo Digital de Elevaciones. El objetivo es definir mejor el cauce principal eliminando obstrucciones que bloquean el flujo.
- Incrementar el Ksuperficial en la zona de ríos para incrementar la velocidad del agua superficial.
- Incrementar las propiedades de los materiales (porosidad efectiva y conductividades hidráulicas), ya que valores muy bajos pueden generar inestabilidad numérica.
- Incrementar la distancia entre la superficie del suelo y el sustrato impermeable, ya que a menor distancia entre ambos la evolución de la Transmisividad genera una transición más abrupta entre el flujo subterráneo y el superficial.
- La disminución del paso de tiempo de cálculo puede ayudar, aunque, por el coste de cálculo que implica es preferible abordar primero algunas de las soluciones propuestas anteriormente.

7.3 Generar malla

Casos de aplicación de software para generar la malla de elementos finitos triangulares requerida por Freshwatersheds.

7.3.1 IWFM Mesh Generator

Introducción al uso de IWFM Mesh Generator para generar la malla de elementos finitos triangulares para el modelo Freshwatersheds. Esta introducción no sustituye a la ayuda de la herramienta, ya que no describe todas sus capacidades, pero se enfoca principalmente en cómo utilizar algunas de las características de este mallador para generar una malla adecuada para Freshwatersheds.

7.3.1.1 Instalación del software

IWFM Mesh Generator es un generador de mallas gratuito que está integrado en la plataforma del software ArcMap de ESRI (funciona para versiones de ArcGIS 10.0 y superior). El mallador implementa shapefiles, almacenados en una Geodatabase, para representar los límites del área de estudio (cuenca hidrográfica), la red de ríos, líneas de mallado forzado (fracturas, fallas, estructuras lineales, otras...), huecos en la malla y pozos para generar la malla. El tipo de mallas de elementos finitos que puede generar son triangular, cuadrilátero y mixto triangular-cuadrilátero.

Para descargar esta herramienta, y acceder a mayor información de la misma, se adjunta el enlace a la página de Internet del desarrollador.

http://baydeltaoffice.water.ca.gov/modeling/hydrology/IWFM/SupportTools/index_SupportTools.cfm

Instalación:

1. Descargar y ejecutar el instalador IWFM Mesh Generator.
2. Abrir ArcMap, la herramienta automáticamente se instaló en la barra de herramientas donde aparece la escala, si no está visible es necesario dar más espacio a la barra para que aparezca.

3. Ejecutar la herramienta desde el ícono que aparece en la barra con el nombre "IWFM Mesh Generator".

7.3.1.2 Crear Nueva Malla

1. Crear un nuevo proyecto:

Abrir IWFM Mesh Generator y hacer clic en New Project, véase la Figura F.12. El mallador abre una nueva ventana para seleccionar la carpeta donde crea la geodatabase **iwfm.gdb** y la carpeta **mesh** para almacenar las capas que utilizará para generar la malla y otros ficheros que resultan una vez esta es generada.

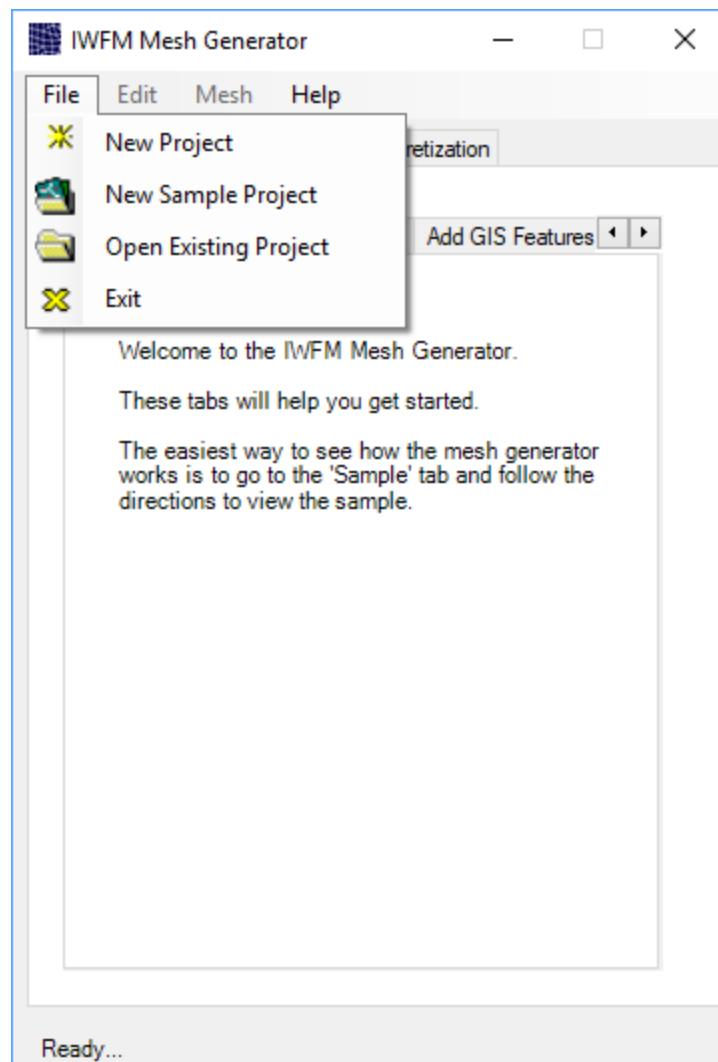


Figura F.12. Menú File para crear Nuevo Proyecto en la ventana principal del mallador IWFM Mesh Generator.

Antes de finalizar, la herramienta despliega una ventana para configurar el sistema de referencia espacial del proyecto, véase la Figura F.13, en la que se debe tener especial atención de seleccionar el mismo sistema de referencia que tienen las capas shp que se van a utilizar, ello para evitar problemas de ejecución del mallador. Asimismo, se debe evitar el uso de capas que no tienen sistema de referencia.

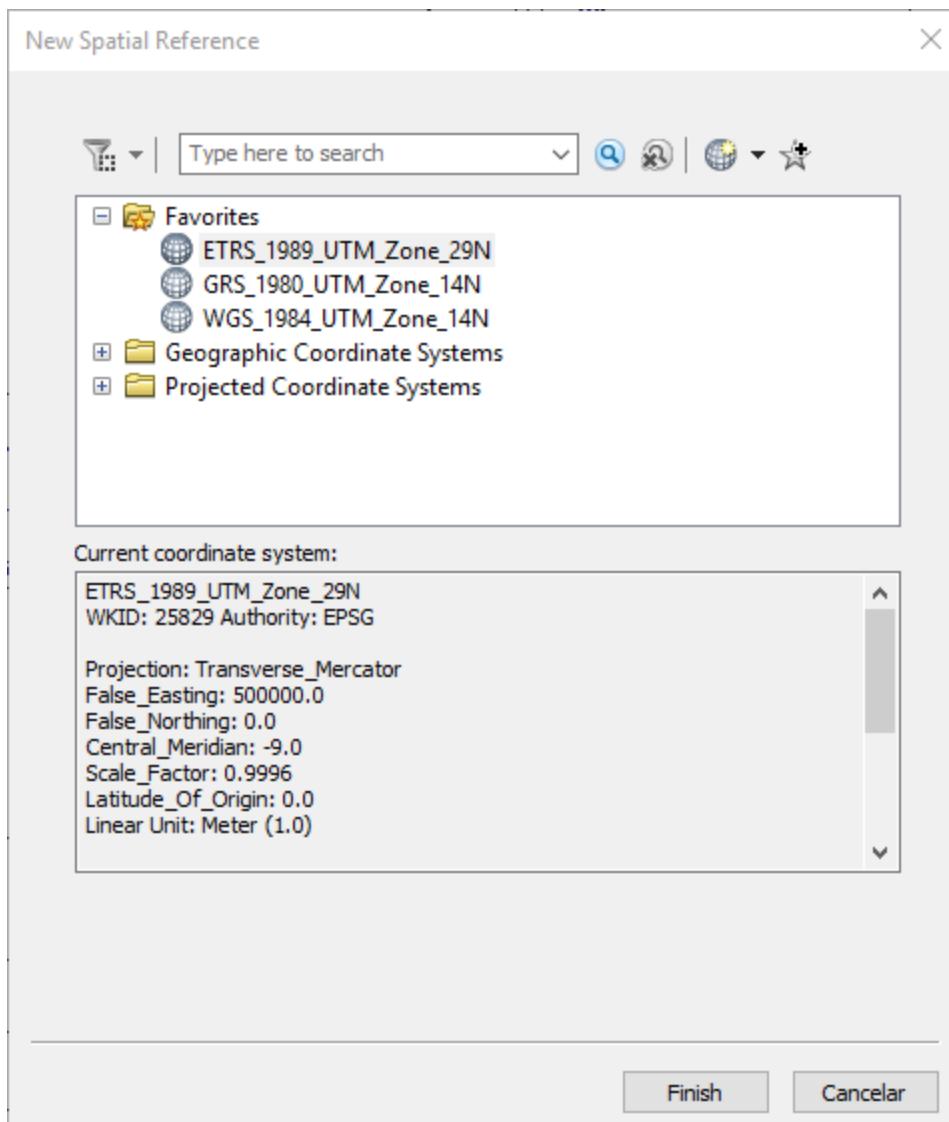


Figure F.13. Al hacer clic en Nuevo Proyecto aparece una ventana para seleccionar el sistema de referencia del proyecto. Es mandatorio que el sistema de referencia del proyecto sea el mismo que el de las capas, o la herramienta no funcionará correctamente.

Si todo ha ido bien se abre un nuevo proyecto de ArcMap y en la tabla de contenidos aparece la simbología preestablecida para las distintas capas que posteriormente se cargarán, todo lo anterior se resume en la Figura F. 14. Asimismo, la herramienta del IWFM Mesh Generator habilita nuevas características en la ventana del mallador (Mesh Refinement, Discretization y otros menús) para continuar con la creación de la malla.

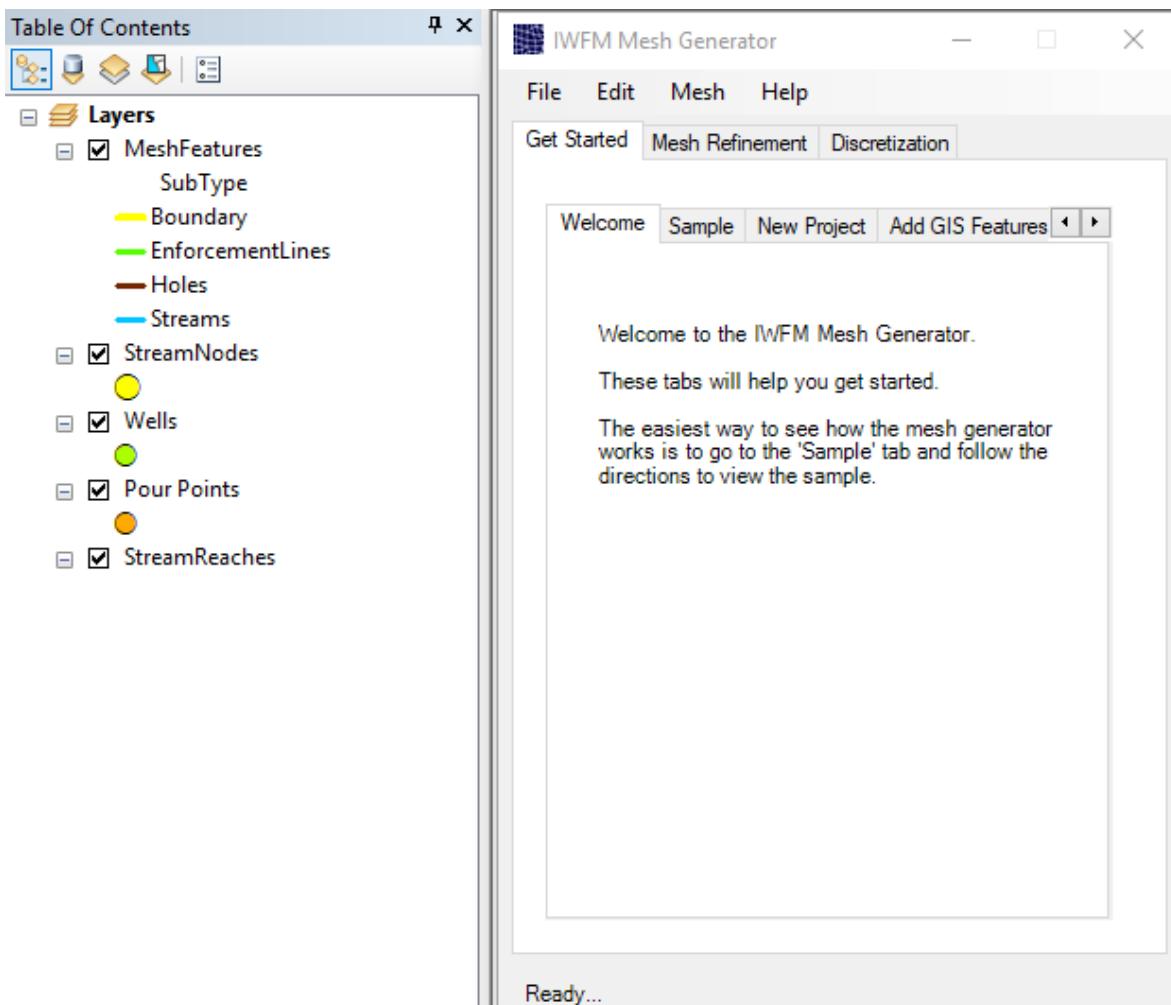


Figure F. 14. Si todo ha ido bien al generar Nuevo Proyecto, debe aparecer un nuevo proyecto de ArcMap, con la simbología precargada para las capas se cargarán posteriormente, y la ventana del mallador habilita nuevas características para continuar con la creación de la malla.

2. Importar capas shp al proyecto:

El siguiente paso es importar las capas shp, que contienen los límites del área de estudio (p. ej. de la cuenca), zonas o trazados donde se requiere un mallado diferenciado con mayor o menor densidad de nodos, así como capas con la ubicación de pozos de bombeo/inyección de agua, entre otras posibles capas shp, a la geodatabase del proyecto.

Requisitos del mallador que se deben verificar antes de importar las capas a la geodatabase:

1. Las capas shp deben ser de puntos o bien de polí-líneas. Esto implica que cualquier capa de polígonos se debe convertir primero a polí-líneas. Esta modificación se realiza con la misma herramienta en el menú **Edit > Planarize**.
2. Las capas no pueden extenderse más allá de los límites de la capa que define los límites del área de mallado. Por ejemplo, si la capa con la red de ríos se extiende más allá de la zona de estudio, entonces es necesario cortar la red de ríos para mantener sólo el trazado que está dentro de los

límites del área de mallado. Esta modificación se puede realizar con la misma herramienta en el menú **Edit > Convert Polygon Layer to Polyline**.

Las capas que se van a utilizar para generar la malla son las mostradas en la Figura F.15, donde se tienen una capa con la red de ríos, una capa con los límites de la cuenca y algunas zonas donde se requiere mayor densidad de nodos.

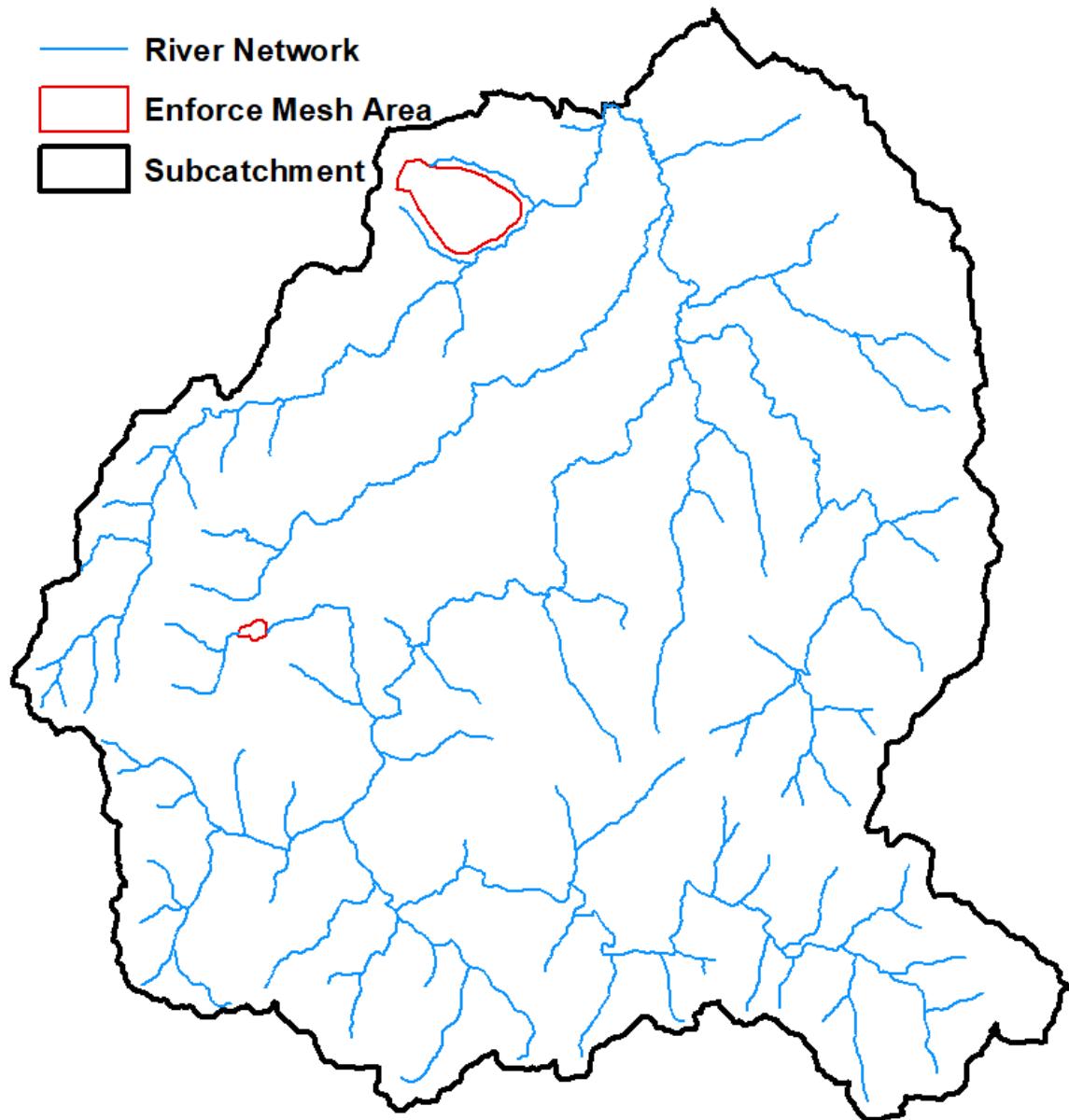


Figura F. 15. Capas utilizadas para generar la malla de ejemplo.

Las capas de subcuenca y zonas de mallado más fino son de polígonos, por lo que se procede a convertirlas a capas de poli-líneas con la propia herramienta IWFM Mesh Generator, véase la Figura F. 16. En esta misma figura se observa la opción **Planarize** en el menú **Edit** que sirve para recortar todas las capas que estén fuera de los límites de la cuenca o zona donde se va a generar la malla.

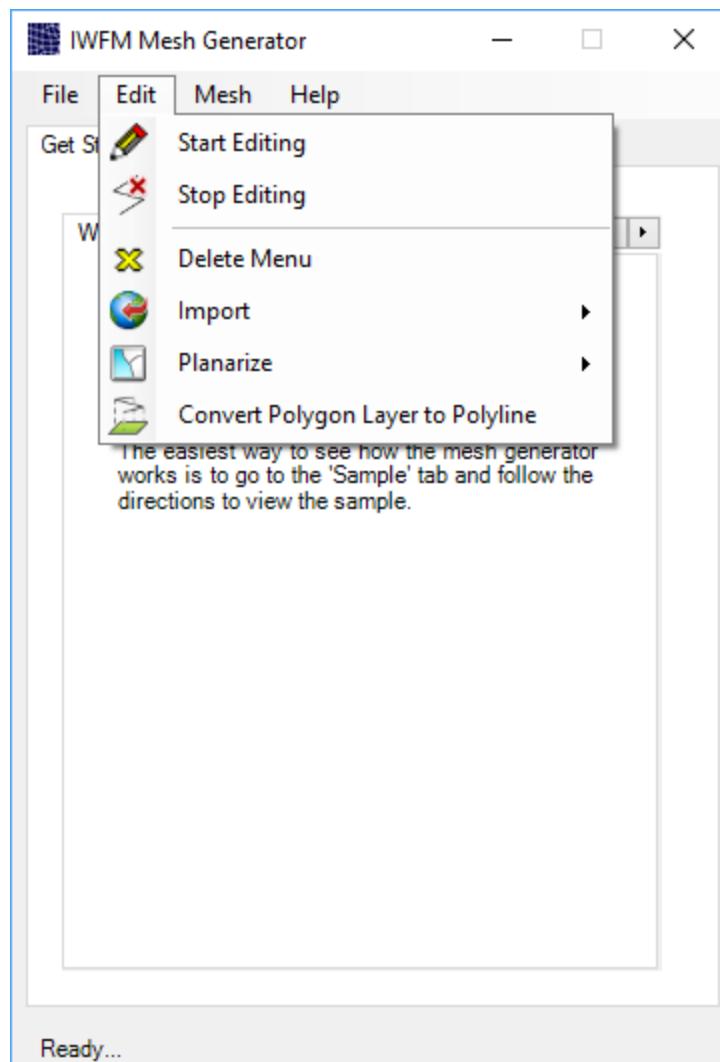


Figure F. 16. El mallador IWFM Mesh Generator cuenta con una herramienta para convertir las capas de polígonos a poli-líneas.

Una vez convertidas las capas de polígonos, a capas de poli-líneas, se procede a importar estas capas a la geodatabase para posteriormente generar la malla. La primer capa que se va a importar es la de subcuenca que servirá para delimitar la extensión del área en la que se va a generar la malla, ver la Figura F.17. Al ejecutar la opción **Edit > Import > Boundary** se despliega una ventana para buscar las capas que se van a utilizar como límites del mallado, en este caso será la capa de subcuenca, una vez seleccionada la capa se añade para continuar el proceso de importación de la capa ,seguir todos los pasos que por defecto aparecen hasta finalizar la importación de la capa.

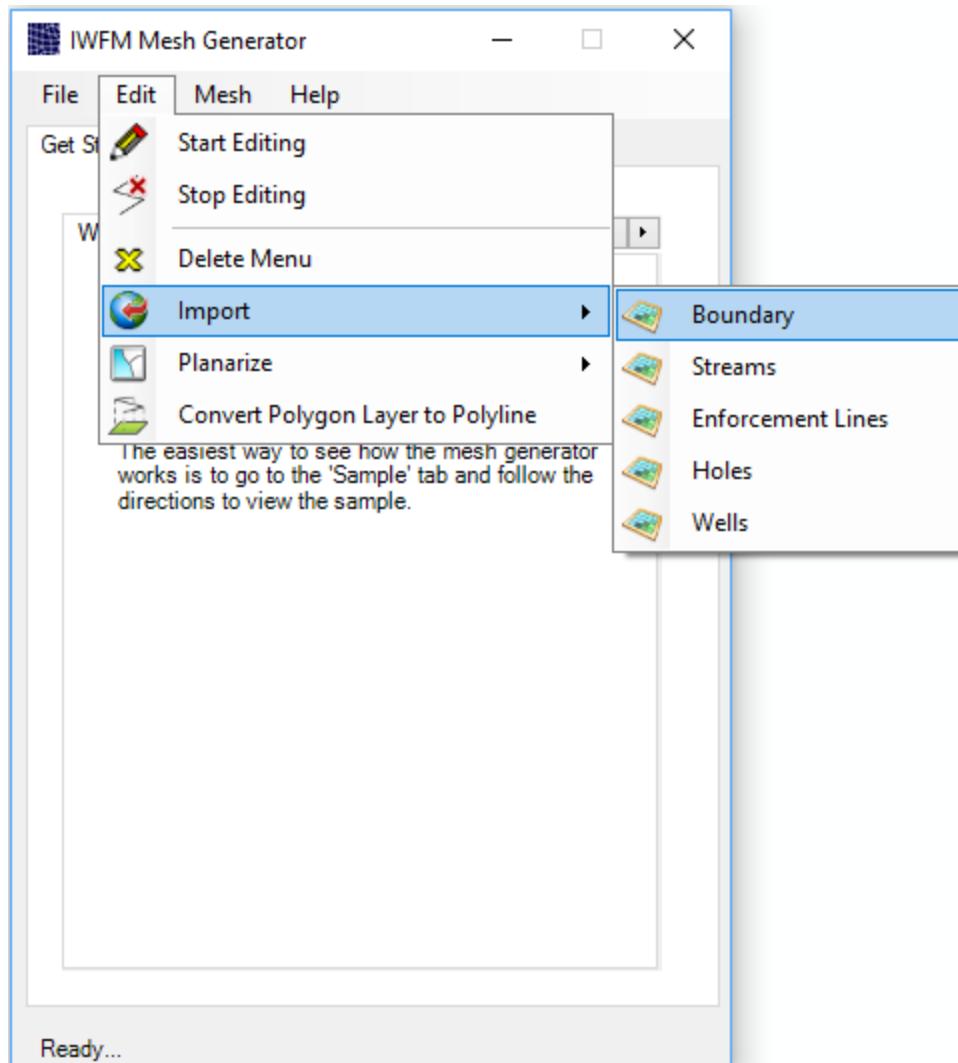


Figura F.17. Importar las capas shp a la geodatabase para poder utilizar esta información para generar la malla.

3. Generar la primer malla sin refinar en zonas de interés:

El paso siguiente es generar la malla de elementos finitos triangulares, la Figura F.18 muestra como generar la primer malla en el menú **Mesh > Generate Mesh > Triangular**. La primer malla que se genera es la primera aproximación en la que sólo se puede controlar el máximo tamaño del elemento triangular. Posteriormente, con la malla generada, se podrá refinar la malla solamente a lo largo de trazados lineales.

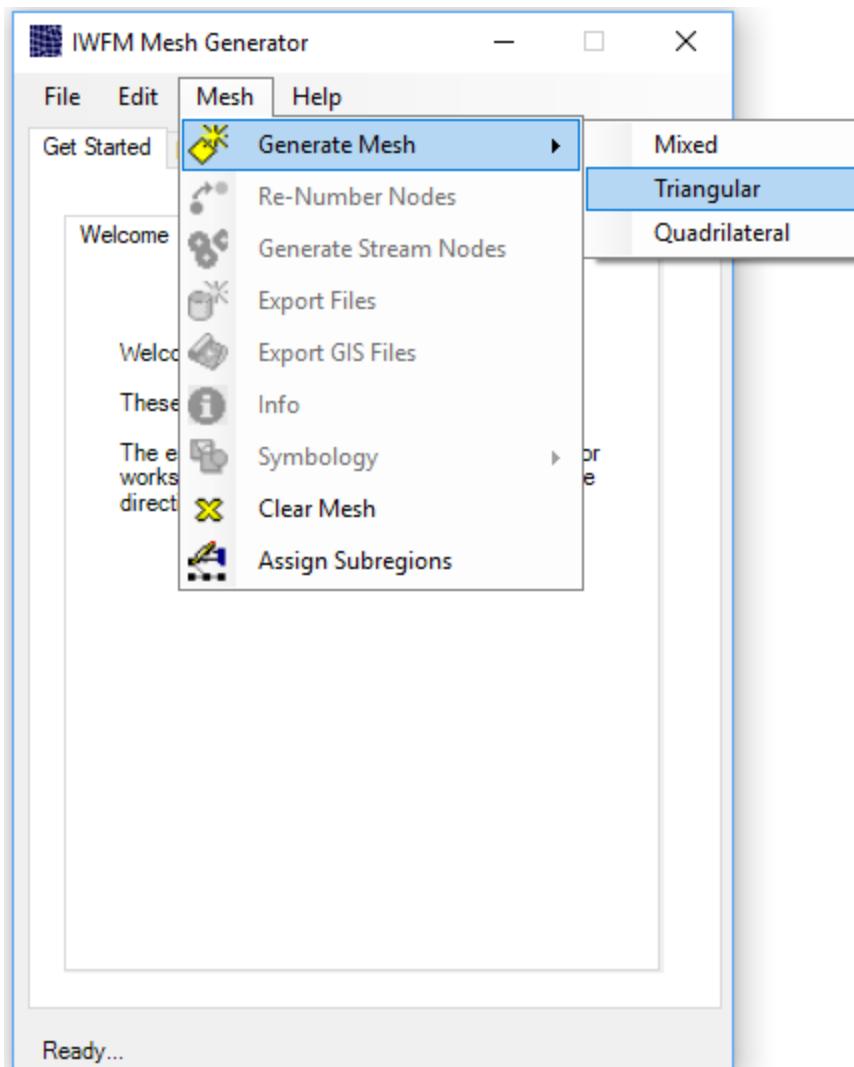


Figura F.18. Generar malla de elementos finitos triangulares. Primera iteración donde sólo se puede configurar el tamaño máximo de cada elemento triangular.

El resultado de aplicar el mallador, sin establecer un área máxima de cada elemento finito triangular, se observa en la Figura F.19, en donde los ríos y el borde de la cuenca presentan mayor densidad de nodos.

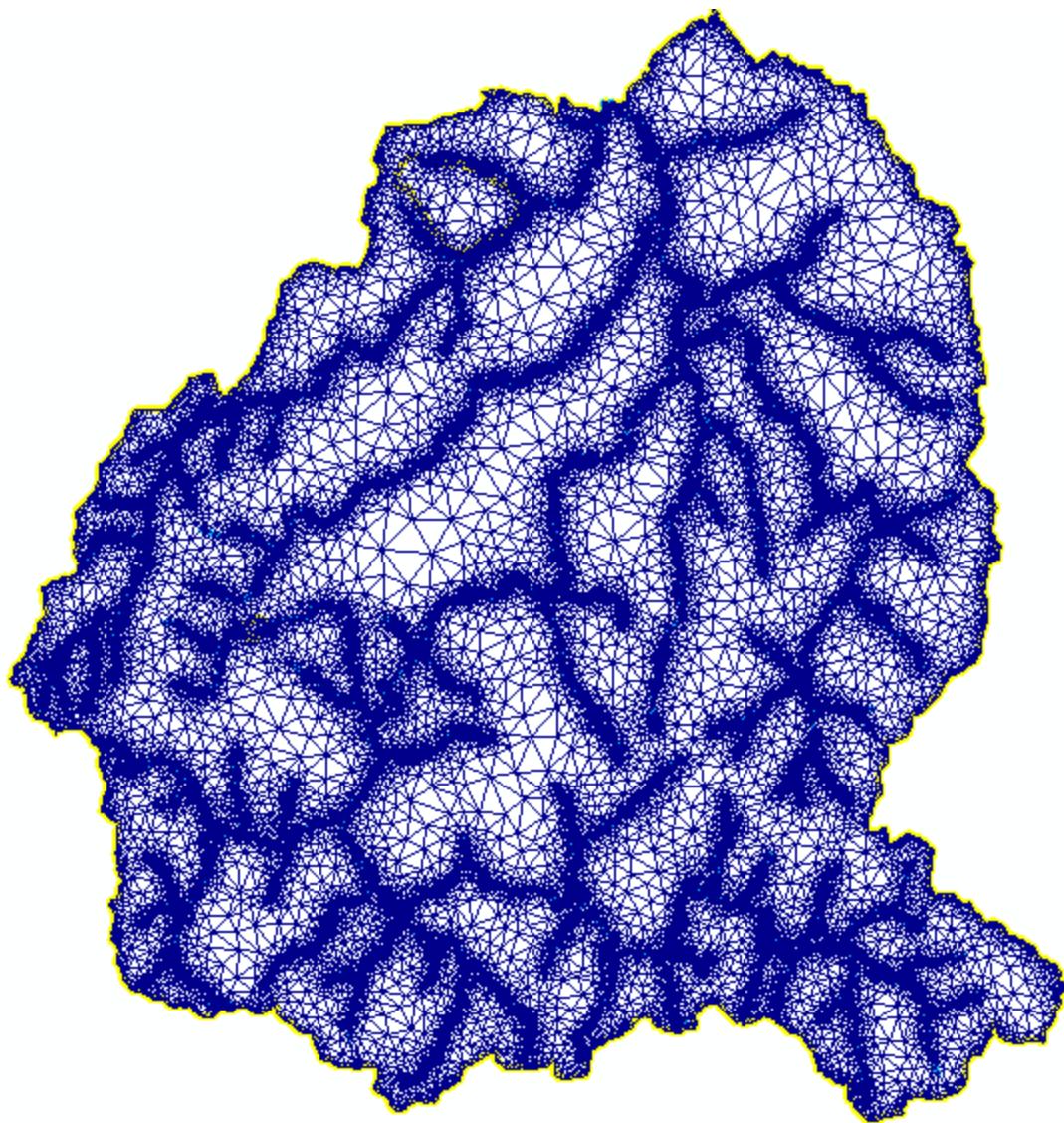


Figura F.19. Resultado de aplicar el mallador IWFM con las opciones por defecto. A partir de esta primer malla se debe trabajar en las zonas que se quiera modificar la densidad de nodos y el tamaño máximo del área de los elementos.

La superficie de la cuenca mostrada en la Figura F.19 es de 135 km², tiene 100074 elementos triangulares y 50858 nodos.

Con esta cantidad de nodos y elementos la malla se vuelve pesada para trabajar con ArcMap y a cada movimiento o cambio de posición de la ventana, cambio de zoom o activar o desactivar capas, entre otras acciones, la malla vuelve a cargarse y puede estar así minutos.

Para evitar el problema anterior se puede configurar en la herramienta para que no represente la malla mientras se realizan cambios. Esta opción está en el menú **Mesh > Symbology > Mesh and Nodes**, donde es posible desactivar o activar la representación de la malla en la ventana, entre otras opciones.

■ 4. Refinar la malla:

Probablemente la primer malla mostrada en la Figura F.19 no cumple con las necesidades de refinamiento en ríos, en los contornos de la malla, en el tamaño máximo del área de los elementos triangulares o se requiere mayor refinamiento a lo largo de trazados lineales pero no es posible densificar por zonas.

Veamos algunos ejemplos de cómo queda la malla al modificar algunos de los parámetros que aparecen en la pestaña **Mesh Refinement** del mallador (vease la Figura F.20):

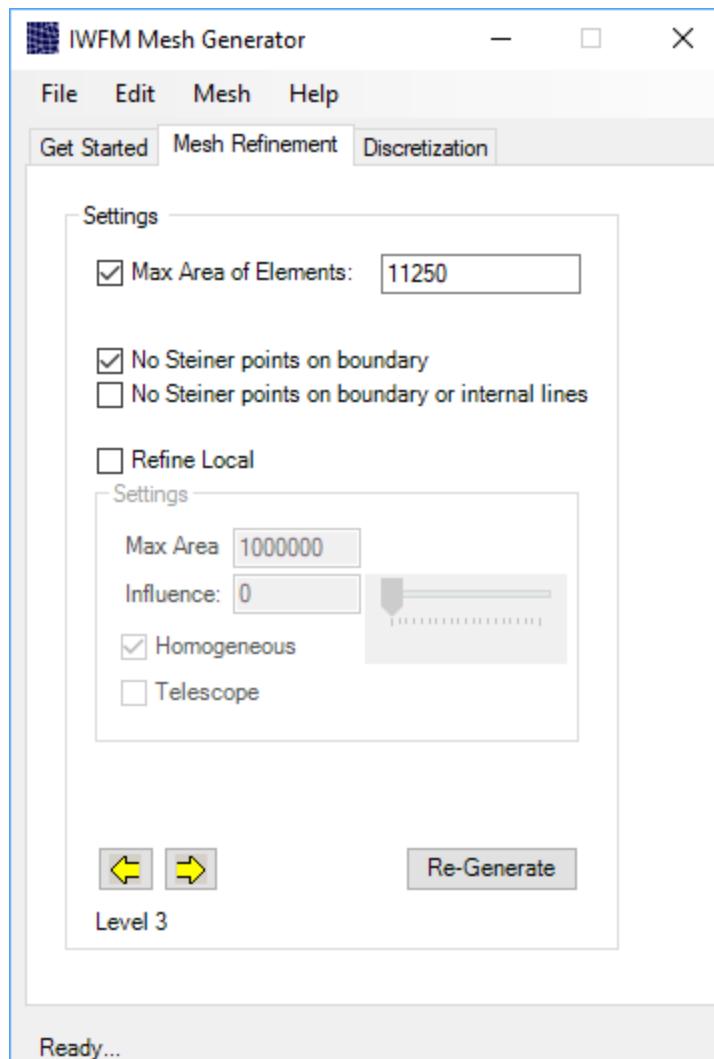


Figura F. 20. Pestaña Mesh Refinement del mallador IWFM Mesh Generator. Esta pestaña sirve para refinar la malla generada en la primera iteración.

- Modificar Max Area ofElements : 11250 (las unidades son en m^2). El resultado se observa en la Figura F.21. El número de elementos generados es de 234376 y 118096 nodos.

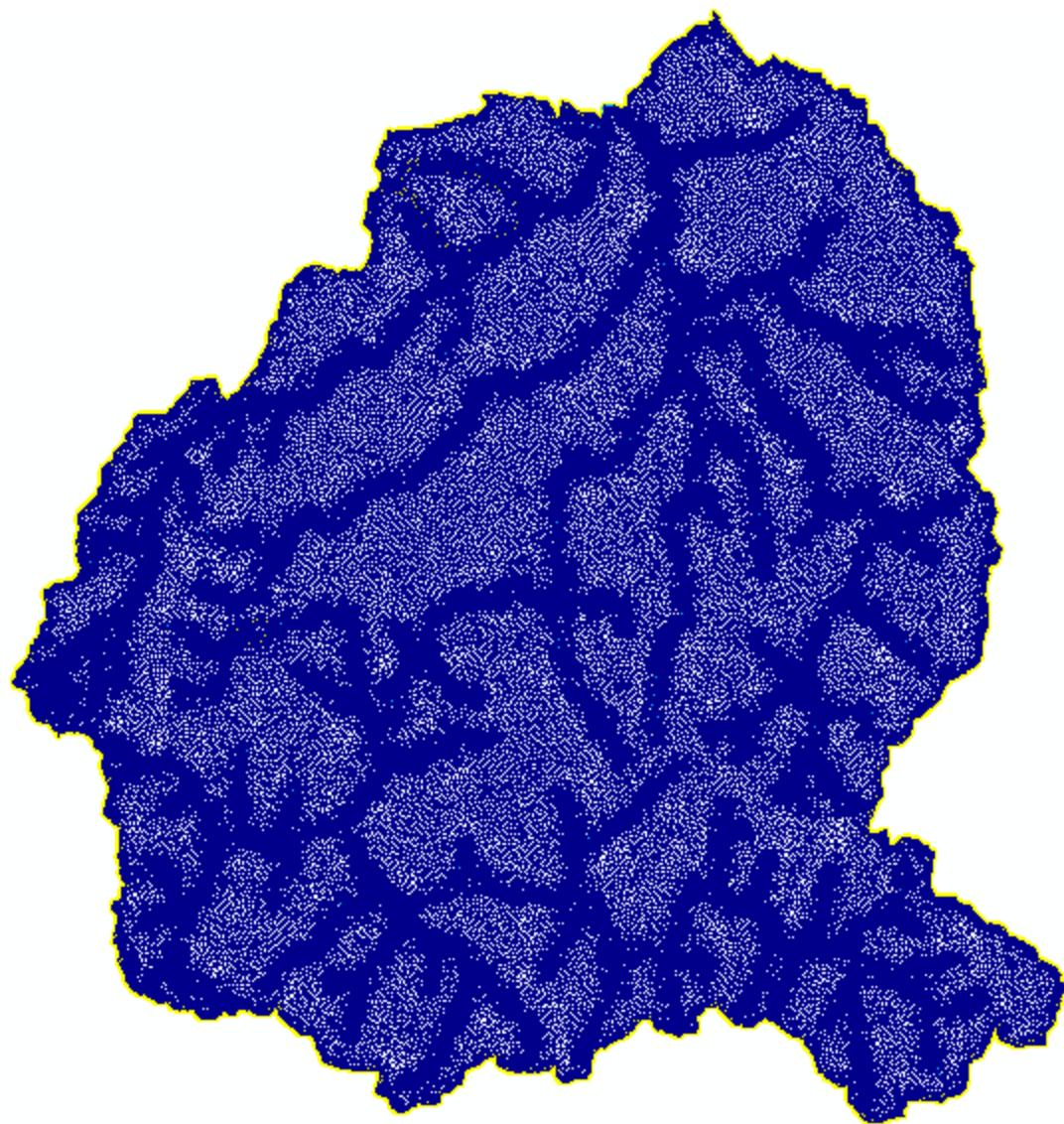


Figura F. 22. Resultado de refinar la malla estableciendo un tamaño máximo del elemento (11250 m²). Las unidades de área son las unidades con las que el software ArcMap está trabajando (metros cuadrados).

En el caso de las opciones referidas como **No Steiner points on boundary** y **No Steiner points on boundary or internal lines**, se refieren a un método de refinamiento que evita elementos triangulares muy alargados garantizando un rango de ángulos internos entre 30° a 120°. La Figura F.23 muestra un ejemplo de una malla utilizando únicamente el método Delaunay Triangulation (malla de la izquierda) y la misma malla refinada con Steiner points que se añaden para generar nuevos elementos triangulares donde los elementos triangulares son demasiado desproporcionados (malla a la derecha).

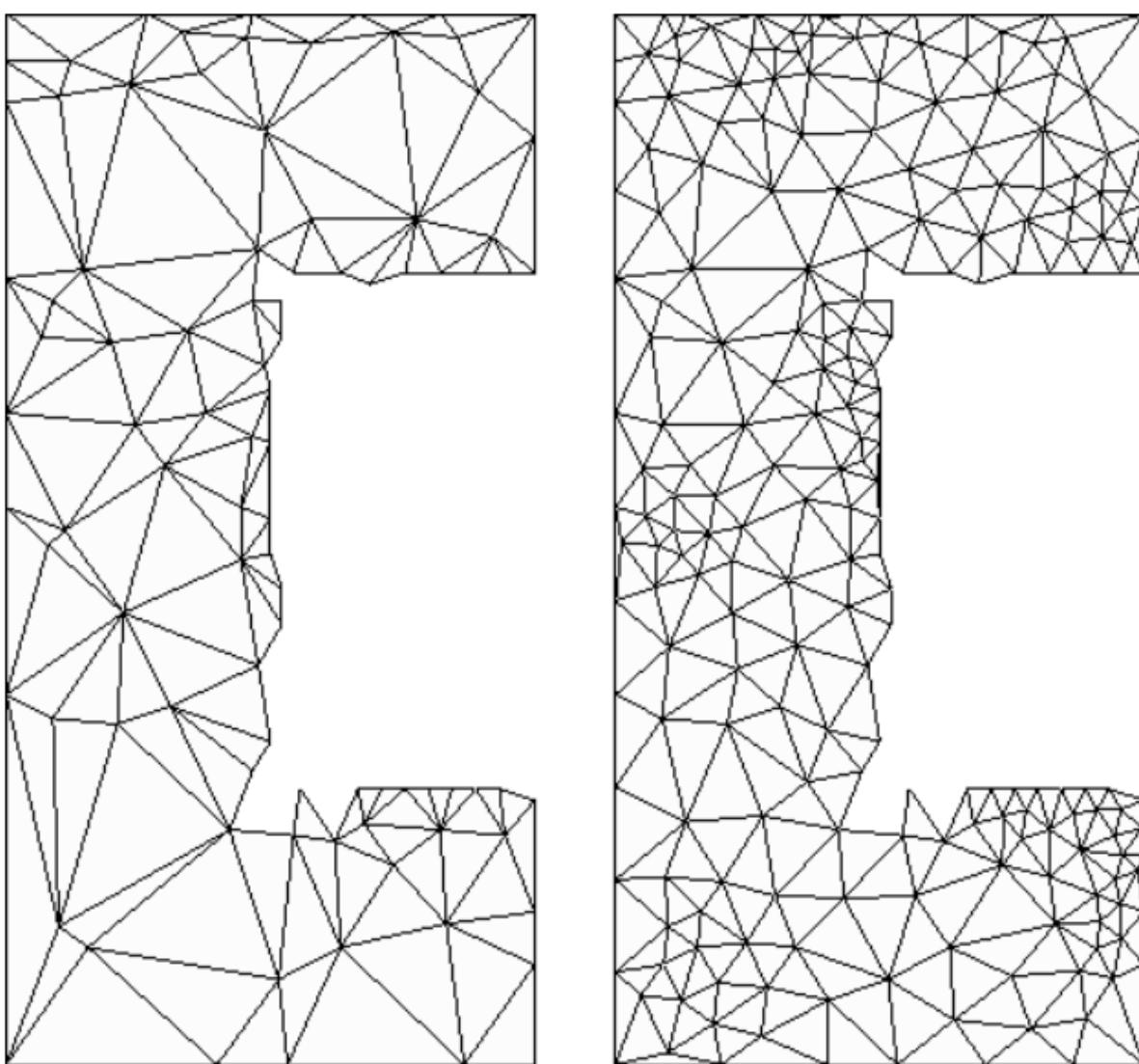


Figura F. 24. Malla izquierda: generada con el método Delaunay Triangulation y contiene 130 triangulos (94 nodos). Malla derecha: refina la malla de la izquierda con Steiner Points, añadiendo 128 nodos que resultan en 376 triangulos.

- La opción **Refine Local** permite seleccionar cualquiera de las poli-líneas que se han cargado a la geodatabase y definir el área máxima del elemento triangular a lo largo de este trazado, así como la distancia de influencia a ambos lados del trazado. En la Figura F.25 se observan tres mallas correspondientes a tres configuraciones de refinamiento local.
 - La primer malla (parte superior izquierda) es la malla original sin refinamiento local pero con una área máxima del elemento triangular de 20000 m², cabe mencionar que a lo largo de las líneas el tamaño del elemento triangular se reduce por la separación de los vértices que forman estas líneas.
 - La segunda malla (parte superior derecha) es la malla original con refinamiento local (previamente se debe seleccionar los trazados que se van a refinar). La configuración de refinamiento local es de un área máxima del elemento triangular de 5000 m² y con una influencia de 300 metros hacia ambos lados del trazado y un comportamiento homogéneo.

- La tercer malla (parte inferior central) es la malla original con refinamiento local. La configuración es de área máxima de 5000 m² e influencia de 800 metros hacia ambos lados con un comportamiento homogéneo.

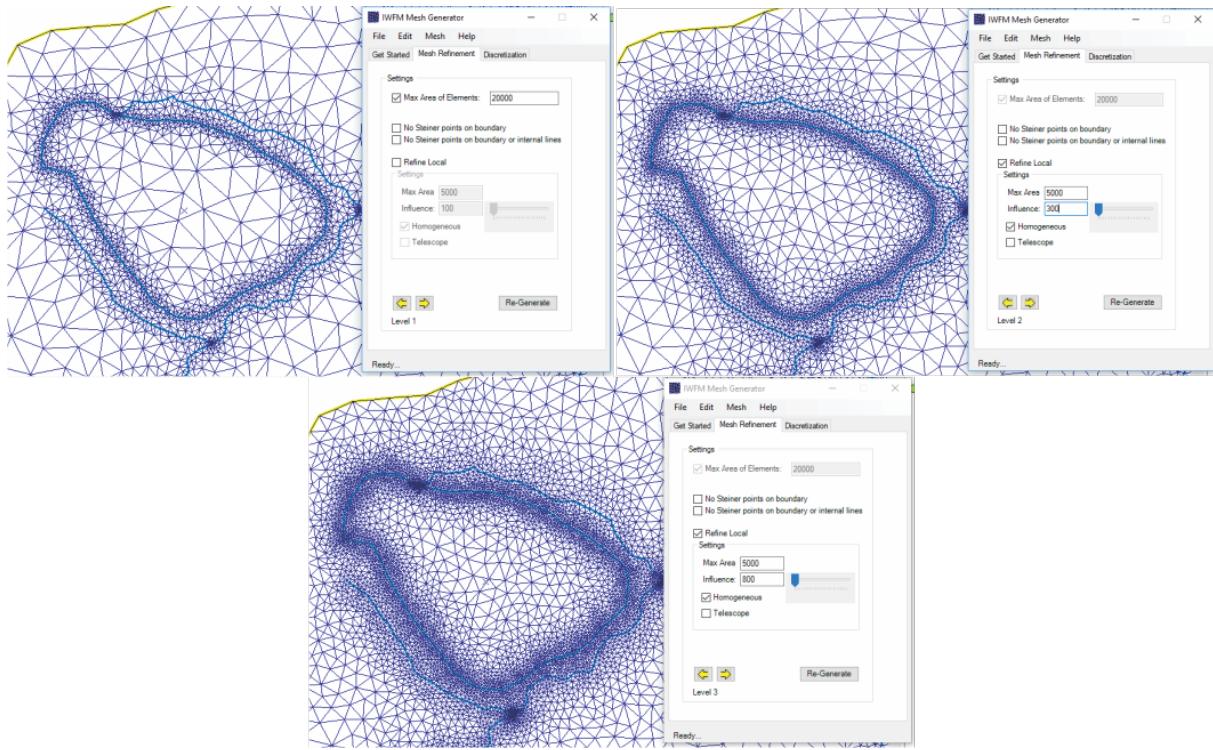


Figura F.26. Comparativa de utilizar refinamiento local en una misma zona de la malla.

Es importante señalar que este mallador tiene la limitación de no poder generar un refinamiento zonal, donde el tamaño de los elementos triangulares sea similar dentro de una zona pero distinto fuera de esta.

□ 5. Cambiar la discretización de las capas:

A lo largo del trazado de ríos, contornos, y otras líneas para forzar el mallado, se generan elementos triangulares cuyo tamaño responde a la posición de los vértices que forman la poli-línea. Por lo anterior, resulta interesante modificar la distancia de estos vértices para controlar el tamaño de los elementos triangulares a lo largo de una poli-línea y reducir o aumentar la densidad de nodos a lo largo de estas. En la Figura F.27 se observa que en la pestaña **Discretization** se puede modificar el espaciamiento entre vértices de las poli-líneas que previamente se hayan seleccionado con la herramienta de ArcGIS.

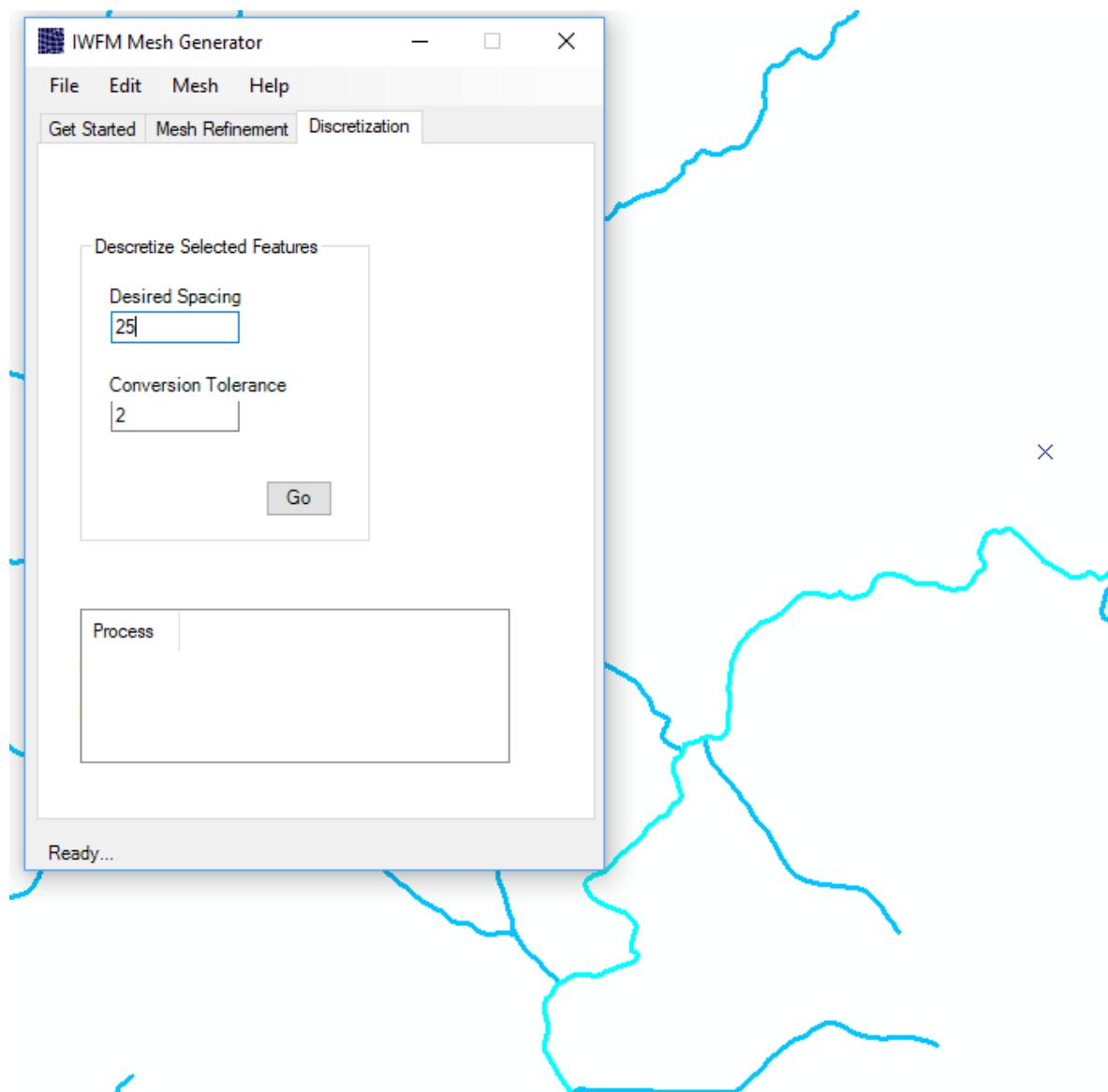


Figura F.27. La pestaña Discretization permite modificar el espaciado de los vértices de una poli-línea seleccionada previamente.

Sin embargo, esta herramienta tiene los siguientes inconvenientes:

- Esta herramienta en ocasiones comete errores que generan nuevas poli-líneas que conectan el inicio con el final de un trazado.
- La velocidad de procesamiento es un poco lenta y puede llevarle algunos minutos terminar el proceso si se seleccionan demasiadas poli-líneas.

Para evitar los inconvenientes antes mencionados, se puede utilizar la herramienta del [Toolbox MELEF > Utilidades > Reacondicionamiento MDE y Malla > Redistribuir vértices](#).

Índice

- A -

- Aforo área-velocidad 67
- Agree DEM 134
- ajuste del espesor de suelo 92
- ALFA 127
- Análisis de resultados 1D 55
- Análisis zonal de resultados 65
- Animación de los resultados 2D 60
- Añadir coordenadas X,Y a shp de puntos 143
- Archydro Tools 134

- B -

- Balances de agua 62
- Base de Datos Transitoria XLS 150
- Bases de datos de la Interfaz (.MAT) 146
- BDatos Transitoria 45
- Buffer Cells 134

- C -

- Caudales: Index of agreement 47
- Caudales: Reporte estadístico 47
- Caudales: Root mean square error 47
- Caudales: Square root coefficient of determination 47
- Caudales: Statistical report hydrograms 47
- CND 113
- CNDMELEF.dbf 126
- Códigos de Uso (SIG-MELEF) 125
- Coeficiente X superficial 29
- Compuerta 165
- Condiciones numéricas y resolución 161
- Conductividad medio superficial 29
- Control de la simulación 177
- COR 113
- COTA1 127
- COTA2 127
- Crear un nuevo proyecto de simulación 21

- D -

- D 125
- DEB 119
- DEM Reconditioning Multiple 102
- Desagüe 166
- discretización de las capas 186
- dt 156

- E -

- EC 129
- Editar un shapefile 144
- Ejecutar el código MELEF 24
- ELE 114
- EP 129
- Error mínimo EPSDL 32
- Espesor de suelo raíces 30
- Espesor mínimo bajo sustrato impermeable 30
- Espesor subávleo 30
- ETA 120
- ETP 129
- Evaporación potencial global 31
- Evapotranspiración potencial global 31
- Evolución del espesor de suelo 142

- F -

- Fector de porosidad subávlea 30
- Filtros ficheros 24
- FIN 123
- Flow Accumulation and Flow Direction 99
- Franja capilar del suelo 30

- G -

- Generar BDatosTransitoriaXLS 45
- Generar PRN 37
- Generar SEC 39
- Generar SLR/CND/SLC 42
- Gestión y cálculo de aforos 67
- Ghyben-Herzberg 154

- I -

- Imprimir INP 24
 Incremento apertura compuerta 31
 Incremento caudal desagüe 31
 Incremento cota desagüe 31
 INI 114
 INP 115
 Interpolación de datos 145
 Inyección automática de agua 171
 Iteraciones NRDEM 32
 IWFM Mesh Generator 185

- K -

- KSUPERF 129
 KX 127
 KY 127
 KZ 127

- M -

- Modelo de Cattaneo 156
 Modelo de escurrimiento 161
 Modelo de Evaporación y transpiración continua 161
 Modelo de las Diferenciales 156
 Modelo de Muskingum 156
 Modelo Hidrodinámico de Onda Difusiva 156
 Modelo superficial redefinido 156

- N -

- N 127
 Nash Sutcliffe Efficiency 47

- P -

- Panel 1: control de la simulación 22
 Panel 2: condiciones de simulación 24
 Panel 3: parámetros y resolución del sistema 28
 Precipitación / recarga global 31
 Precondicionador _IML 32
 Precondicionamientos NPREC 32
 Preparar simulación 23

- PRN 116
 PRNMELEF.dbf 127
 Procesar Malla (geo-2dm) 36

- Q -

- QGIS 10, 110

- R -

- RAU Inicial 28
 RAU Inicial /CCAMPO_PM 28
 Refinar la malla 186
 Resolución permanente / transitorio 32
 Resultados caudales DEB 47
 Resultados globales ETA 120
 Resultados nodales VNO-SOL-VEL 52

- S -

- SEC 117
 SECMELEF 39
 SECMELEF.dbf 128
 Sharp Drop 134
 SLC 118
 SLCMELEF.dbf 128
 SLR 118
 SLRMELEF.dbf 128
 Smooth Drop 134
 SOI 117
 SOIMELEF.dbf 129
 SOL 123
 Solución inicial 24
 Solución inicial: definir 27
 Streams definition 99
 SUSTRATO 127

- T -

- Tamaño NITER 32
 Tasa de detención superficial global 31
 Tiempo restante de ejecución 24
 TIMEFILE 45

- U -

Unidades de medida 126
Unidades habilitadas para usar en la BDatos
Transitorios 152

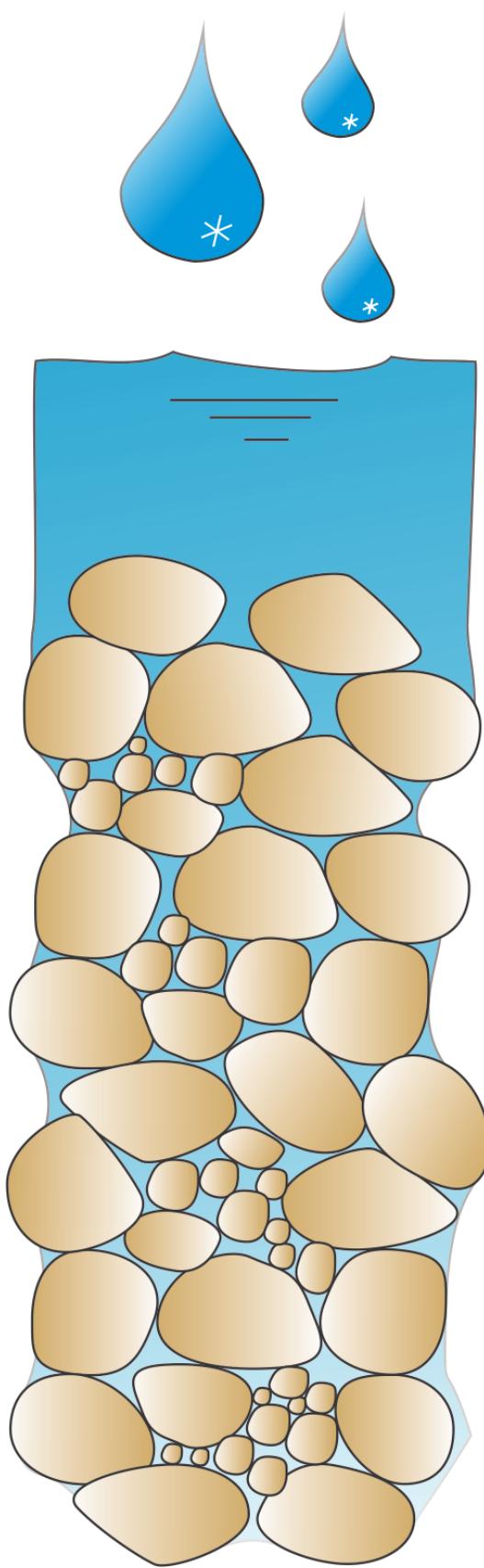
- V -

VEL 124
Velocidad media ríos 67
VNO 124
Volumen máximo de detención 31

FUTURAS VERSIONES DE ESTE MANUAL

Las futuras mejoras en la Interfaz de Gráfica y el Toolbox FreshWaterSheds, ambos parte del Sistema de Gestión de FreshWaterSheds, tienen como principal objetivo integrarse en mayor medida con el código numérico FreshWaterSheds. Esta integración permitirá independizar cada vez más el uso de los distintos programas para gestionar un proyecto de simulación. Aunque, es importante tener en cuenta que esta independización será difícil con los Sistemas de Información Geográfica por las capacidades que aportan a la gestión de la información.

Este manual, en su primer versión, documenta las capacidades más utilizadas del código FreshWaterSheds, así como del Sistema de Gestión desarrollado en torno a este código. En próximas versiones de incluirán otras características que no ha sido posible incluirlas por la variedad de posibilidades que presenta actualmente el código FreshWaterSheds.



Manual de Usuario FreshWaterSheds

Este manual recopila la primera versión de la ayuda de los productos FreshWaterSheds: Interfaz de Usuario; Toolbox FreshWaterSheds ; Código FreshWaterSheds.

El lector encontrará en este manual:

1. Una guía rápida de las principales funciones de la Interfaz Gráfica de Usuario, una descripción de cada una de las herramientas de pre y pos-proceso, así como de la estructura interna de Base de Datos que gestiona toda la configuración de la Interfaz.
2. Una descripción de todas las herramientas desarrolladas en ArcGIS 9.3.1 - 10.x, Toolbox FreshWaterSheds, para gestionar desde ArcMap la información que genera todas las condiciones de simulación y de condiciones de contorno del modelo.
3. Una descripción detallada de la estructura y contenido de todos los ficheros de entrada (input files), ficheros de salida o resultados del modelo (output files), así como todos los ficheros de simulación provenientes desde el Toolbox FreshWaterSheds.
4. Una introducción detallada del funcionamiento de las principales capacidades de simulación (condiciones de simulación) del código FreshWaterSheds.
5. Un ejemplo de aplicación, en forma de tutorial, sobre el caso de la inundación controlada de la mina a cielo abierto de Meirama (Galicia, España) para su restauración como el futuro Lago de Meirama.

El Dr. Horacio Hdez, es profesor de la Universidad de Guanajuato en México, su principal aportación a este proyecto ha sido el diseño y desarrollo del Sistema de Gestión de FreshWaterSheds, así como importantes mejoras al código FreshWaterSheds y la aplicación del mismo para resolver problemas medioambientales con interacción de agua subterránea y superficial. Su doctorado lo realizó bajo la dirección del Dr. Francisco Padilla Benítez, con el objetivo principal aplicar, mejorar y desarrollar de un sistema de gestión del código FreshWaterSheds.