



Universidad de Granada
Dpto. de Mec. de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Área de Ingeniería Hidráulica

Manual Básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1

Leonardo S. Nanía

Curso de Especialización
Cálculo de Caudales de Avenida con HEC-HMS y SIG
Granada, 29 al 31 de Enero de 2007

Edificio Politécnico
Campus de Fuentenueva
18071 Granada

© Leonardo S. Nanía
Editor: Leonardo S. Nanía Escobar

ISBN: 978-84-690-5876-3
Depósito Legal: GR-1126/07

Se permite la difusión electrónica sin cambios del original y su impresión sin omisiones.
Se recomienda imprimir en color y doble cara, sobre papel de 100 gr/m².

Índice

1.Introducción	7
2.Componentes de HMS	7
3.Componentes del modelo de la cuenca.....	7
4.Componentes del modelo meteorológico	9
5.Componentes de las especificaciones de control.....	9
6.Componentes de la entrada de datos	9
7.Interfaz de usuario.....	10
Explorador de cuenca	10
Editor de componentes	12
Registro de mensajes.....	12
Escritorio	12
8.Desarrollar un proyecto con HEC-HMS.....	13
Enunciado del problema	13
Solución	16
Configurar el directorio del proyecto	17
Crear un proyecto nuevo.....	17
Elegir los métodos de cálculo	17
Crear el modelo de la cuenca	18
Cargar Mapa de fondo (opcional).....	19
Crear los elementos hidrológicos	20
Conectar los elementos	21
Introducir las Características de las subcuencas	23
Crear datos de entrada	23
Crear las Tormentas de Proyecto	23
Crear el modelo meteorológico.....	26
Definir las especificaciones de control.....	27
Crear, seleccionar y ejecutar una simulación	28
Crear	28
Seleccionar	29
Ejecutar	29

Mensajes	29
Ver los resultados	30
Simulación de futura urbanización.....	32
Crear un modelo de la cuenca modificado.....	32
Crear una nueva simulación	33
Ver los resultados.....	34
Realizar una prueba de Optimización	35
Introducir datos de caudales	35
Asignar los datos a un elemento	36
Crear Intento de Optimización.....	37
Definir el parámetro a optimizar	38
Ejecutar la optimización	39
Ver los resultados de la optimización	40
Cálculo de la laminación en un embalse.....	41
Crear nuevo modelo con Embalse.....	41
Activar el modelo meteorológico	41
Crear curva Cota-Área	42
Editar las características del embalse.....	43
Crear la simulación	44
Ejecutar la simulación	45
Ver los resultados.....	45
9.¿Qué es HEC-GeoHMS?.....	46
10.¿Para qué sirve HEC-GeoHMS?	46
11.Instalación de HEC-GeoHMS.....	46
12.Carga de HEC-GeoHMS	46
13.Preprocesado del Terreno	47
14.Características y funciones	48
Reacondicionamiento del terreno (opcional)	48
DEM sin depresiones	49
15.Proceso Paso a Paso.....	51
Flow direction	51
Flow Accumulation	52
Stream Definition	53
Stream Segmentation	53

Watershed delineation.....	55
Watershed Polygon Processing	55
Stream Segment Processing	56
Watershed Aggregation	57
16.Configuración del procesado completo	58
17.Exploración de datos con las herramientas y botones	58
Agregar temas nuevos.....	58
Encontrar el área	59
Trazar el camino del flujo.....	59
Definir la cuenca vertiente a una celda.....	59
Identificar Área de drenaje.....	59
18.Configuración del Modelo Hidrológico	59
Comenzar un nuevo proyecto	59
19.Procesado de la Cuenca	61
Fusión de cuencas	61
Subdivisión de cuencas	62
Subdividir sobre un cauce existente.....	62
Subdividir sobre un punto sin ser cauce	63
Subdividir sobre un tributario.....	63
Fusión de cauces.....	63
Perfil del cauce	64
Separar cuencas en las confluencias.....	65
20. Características de la Cuenca y su Red de Drenaje	65
Longitud de los cauces.....	66
Pendiente de los cauces	66
Centroide de las subcuencas	66
Camino más largo del flujo	68
Camino del flujo desde el centroide	68
21.Estimación de Parámetros Hidrológicos	69
Número de curva (CN) de la subcuenca.....	69
Procesado del grid ModClark por subcuencas	69
Parámetros de Muskingum-Cunge.....	69
Tiempo de concentración.....	70
Tiempo de retardo de la cuenca	70

22. Entradas para HEC-HMS	70
Autonombrado de tramos de cauces	71
Autonombrado de Cuencas	71
Unidades del Mapa a HMS	71
Control de los datos de HMS	72
Esquema de la Cuenca para HEC-HMS	72
Leyenda de HMS	73
Agregar coordenadas.....	73
Archivo de Mapa de fondo	73
Modelo de la Cuenca agregado.....	73
Fichero de parámetros distribuidos (no obligatorio).....	73
Modelo distribuido de la Cuenca (no obligatorio).....	74
Configuración del Proyecto HMS.....	74
Conexión con HMS 3.0.0	74
Crear un nuevo proyecto	75
Importar el Modelo de la Cuenca.....	75
Especificar el fichero de fondo.....	75
Modelo Meteorológico.....	75
23. Nota Final	75
24. Referencias.....	76

1. Introducción

El presente manual básico fue desarrollado para el uso del programa HEC-HMS versión 3.0.0, tomando como referencia HEC (2000 y 2005) y de la extensión HEC-GeoHMS versión 1.1 para ArcView 3.x, tomando como referencia HEC (2003), en el curso de especialización “Cálculo de caudales de avenida con HEC-HMS y SIG”, impartido en la Universidad de Granada, España, del 29 al 31 de enero de 2007.

2. Componentes de HMS

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. Una simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico. Las especificaciones de control definen el periodo de tiempo durante el cual se realizará la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar. Los componentes de los datos de entrada, tales como las series temporales, tablas y datos por celdas son requeridos como parámetros o condiciones de contorno tanto en el modelo de la cuenca como en el meteorológico.

3. Componentes del modelo de la cuenca

El modelo de la cuenca representa la cuenca física. El usuario desarrolla el modelo de la cuenca incluyendo y conectando elementos hidrológicos. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos que se producen en la cuenca. La Tabla 1 describe tales elementos hidrológicos.

Los métodos de cálculo que se usan en las subcuencas se describen en la Tabla 2. Los métodos de cálculo que se usan en los tramos son los relativos a la propagación de caudales y son: Onda cinemática, Retardo, Puls modificado (embalse a nivel), Muskingum y Muskingum-Cunge.

Tabla 1: Descripción de los elementos hidrológicos

Elemento Hidrológico	Descripción
Subcuenca (Subbasin)	Se usa para representar la cuenca física. Dada la precipitación, la salida de agua de la subcuenca se calcula restando las pérdidas a la precipitación y transformando el exceso de precipitación en caudal en el punto de salida de la subcuenca, sumando finalmente el caudal base.
Tramo (Reach)	Se usa para transportar el agua generada en algún punto de la cuenca hacia aguas abajo hasta otro punto de la cuenca, definidos ambos en el modelo de la cuenca. La respuesta de este transporte es un retardo y una atenuación del hidrograma de entrada.
Unión (Junction)	Se usa para sumar flujos de agua que provienen de elementos hidrológicos situados aguas arriba de la unión. La respuesta es simplemente la suma de los hidrogramas de todos los elementos conectados a la unión.
Fuente (Source)	Se usa para introducir agua dentro del modelo de la cuenca. Este elemento no tiene entrada y la salida está definida por el usuario.
Sumidero (Sink)	Se usa para representar el punto de salida de la cuenca. La entrada puede provenir de uno o más elementos situados aguas arriba del sumidero. Este elemento no tiene salida.
Depósito (Reservoir)	Se usa para modelar la retención y atenuación de un hidrograma causado por un embalse o depósito de retención. La entrada puede provenir de uno o varios elementos hidrológicos situados aguas arriba del depósito. La salida puede calcularse de 2 maneras: el usuario define una relación almacenamiento-salida, cota-almacenamiento-salida o cota-área-salida o bien el usuario define una relación cota-almacenamiento o cota-área y una o más estructuras de salida.
Derivación (Diversion)	Se usa para modelar un flujo de agua que abandona un tramo de cauce. La entrada proviene de uno o varios elementos de aguas arriba. La salida de este elemento consiste un flujo derivado y otro no derivado (que sigue por el cauce). El flujo derivado se define por el usuario. Tanto los flujos derivado como no-derivado se pueden conectar aguas abajo con otros elementos.

Tabla 2: Métodos de cálculo para subcuencas

Tipo de modelo	Método
Pérdidas	Déficit y tasa constante (DC) Inicial y tasa constante Exponencial Número de curva CN SCS Green y Ampt Consideración de la humedad del suelo (SMA) DC por celdas CN SCS por celdas SMA por celdas
Transformación lluvia-caudal	Hidrograma Unitario (HU) de Clark Onda cinemática ModClark HU SCS HU Snyder HU especificado por el usuario Hidrograma en S del usuario
Flujo Base	Recesión restringida Constante mensual Depósito lineal Recesión

4. Componentes del modelo meteorológico

El modelo meteorológico calcula la entrada de precipitación que requiere un elemento de subcuenca. El modelo meteorológico puede usar precipitación puntual o por celdas y puede modelar precipitación sólida y líquida junto con la evapotranspiración. Los métodos de evapotranspiración incluyen el método constante mensual y el de Priestley Taylor. Un método de evapotranspiración se requiere únicamente cuando se desee una respuesta de la cuenca continua o a largo plazo. Un abreviado descripción de los métodos disponibles para calcular la precipitación media en la cuenca o celda a celda se incluye en la Tabla 3.

Tabla 3: Descripción de los métodos incluidos en el modelo meteorológico

Métodos de Precipitación	Descripción
Tormenta asociada a frecuencia	Se usa para desarrollar un evento de precipitación donde los volúmenes correspondientes a distintas duraciones tienen una probabilidad de excedencia consistente.
Pluviómetros con pesos	Este método aplica pesos definidos por el usuario a los pluviómetros que el usuario desee.
Precipitación por celdas	Este método permite usar productos con precipitación por celdas, como por ejemplo los datos de Radar.
Inversa de la distancia	Se usa para calcular la precipitación media en una subcuenca aplicando una ponderación basada en la inversa de la distancia al cuadrado.
Tormenta del SCS	Este método aplica una distribución temporal tipo SCS a un volumen total de lluvia en 24 horas.
Hietograma especificado	Este método aplica un hietograma definido por el usuario a un elemento de subcuenca.
Tormenta de proyecto estándar	Este método aplica una distribución temporal a un volumen índice de precipitación (este índice se extrae de un Manual del Corps of Engineers y es válido sólo para Estados Unidos. Está actualmente en desuso).

5. Componentes de las especificaciones de control

Las especificaciones de control se refieren al tiempo de duración de la simulación, incluyendo también fecha y hora de comienzo y fin del proyecto e intervalo de cálculo.

6. Componentes de la entrada de datos

Datos de series temporales, pares de datos y datos por celdas son requeridos como parámetros o condiciones de contorno en los modelos de la cuenca y meteorológicos. En la Tabla 4 se presenta una lista de los datos de entrada. Los datos de entrada pueden introducirse a mano o bien pueden referenciarse a un registro en un fichero HEC-DSS (HEC-Data Storage System). Todos los datos por celdas deben referenciarse a un registro HEC-DDS existente.

Tabla 4: Componentes de los datos de entrada.

Series temporales de datos	Pares de datos	Datos por celdas
Pluviómetros Medidores de caudal Limnímetros Termómetros Medidores de radiación solar Medidores de coeficientes de cultivo	Funciones almacenamiento-caudal Funciones cota-almacenamiento Funciones cota-área Funciones cota-caudal Funciones caudal-derivación Secciones transversales Hidrogramas unitarios Curvas de porcentaje Funciones de fusión de nieve Patrones de tasa de fusión de nieve	Precipitación Temperatura Radiación solar Coeficiente de cultivo Capacidad de almacenamiento Tasa de percolación Coeficientes de almacenamiento Déficit de humedad Área impermeable Número de curva CN SCS Cotas Equivalente de agua de nieve Contenido de agua Tasa de fusión de nieve

7. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario consiste en una barra de menú, barra de herramientas y cuatro paneles principales, que se muestran en la Figura 1:

- Explorador de cuenca
- Escritorio
- Editor de componentes
- Registro de mensajes

Explorador de cuenca

El explorador de cuenca está desarrollado para dar un rápido acceso a todos los componentes de un proyecto HEC-HMS. Se puede navegar del modelo de la cuenca a un pluviómetro y después al modelo meteorológico sin abrir ventanas adicionales. El explorador de cuenca está dividido en 3 partes: “Components”, “Compute” y “Results”. La estructura jerárquica de los componentes del modelo, tales como el modelo de la cuenca, el modelo meteorológico, las especificaciones de control, etc, está disponible en la pestaña “Components” (Figura 2). Los componentes del modelo están organizados en carpetas individuales. Cuando se selecciona un componente, el explorador de cuenca lo expande para mostrar los subcomponentes. Los signos más (+) y menos (-) pueden usarse para expandir o colapsar el explorador. Desde la pestaña “Compute” puede accederse a las simulaciones, optimizaciones y análisis. En la pestaña “Results” encontraremos todos los resultados del proyecto. Incluso los resultados de diferentes simulaciones pueden compararse en un mismo gráfico o tabla.

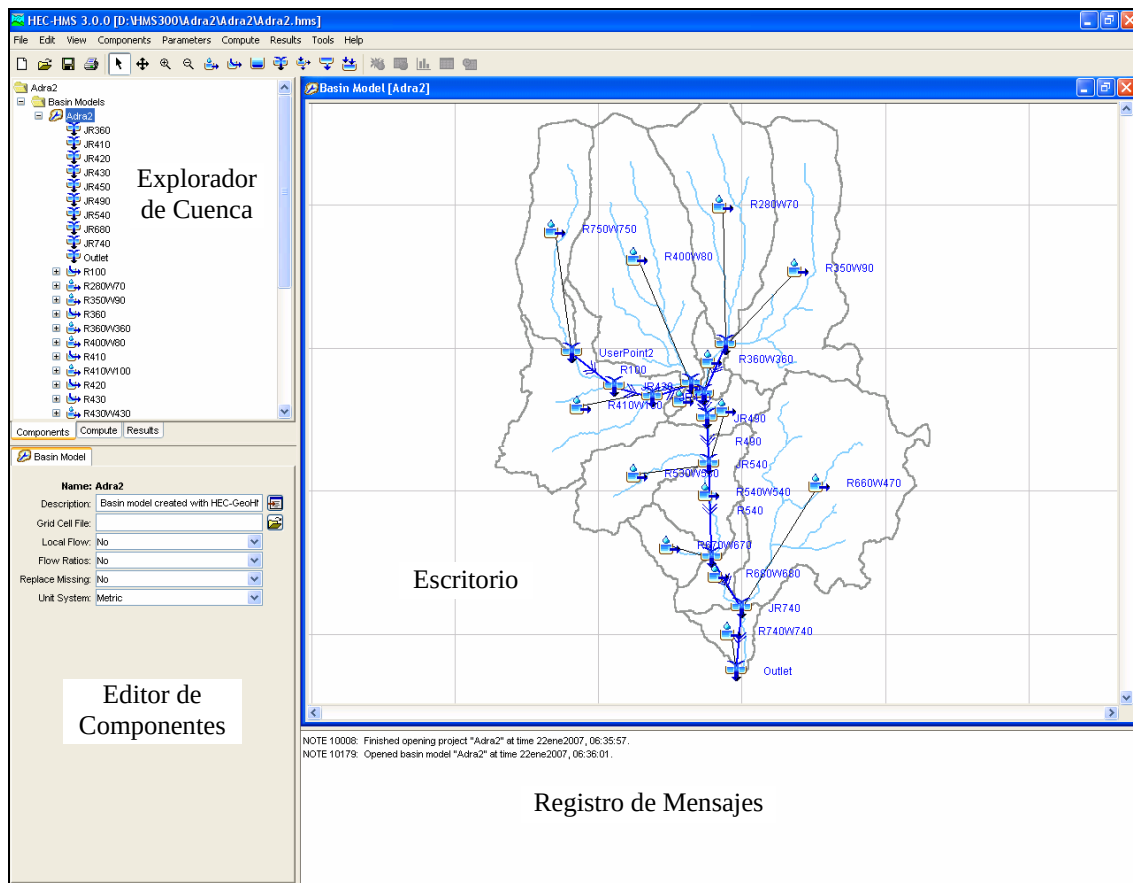


Figura 1: Interfaz de usuario de HEC-HMS.

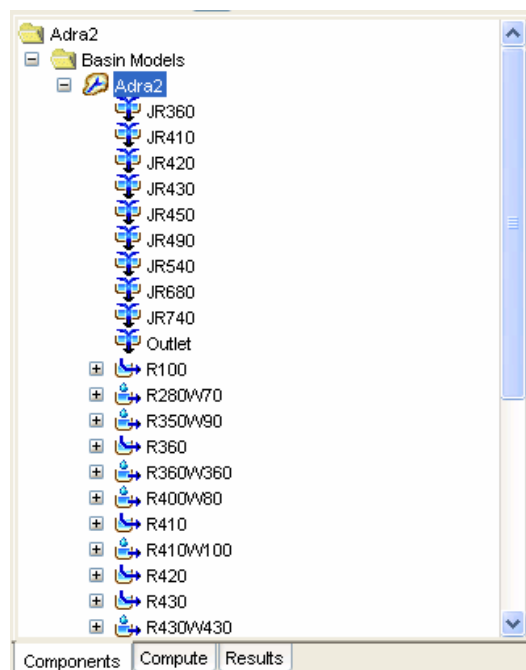


Figura 2: Explorador de cuenca.

Editor de componentes

Cuando un componente o subcomponente se activa en el explorador de cuenca haciendo clic en el nombre del componente, se abre un editor de componente específico. Todos los datos requeridos por los componentes se ingresan en el editor de componentes. En la Figura 3 se presenta un ejemplo de editor de componentes.

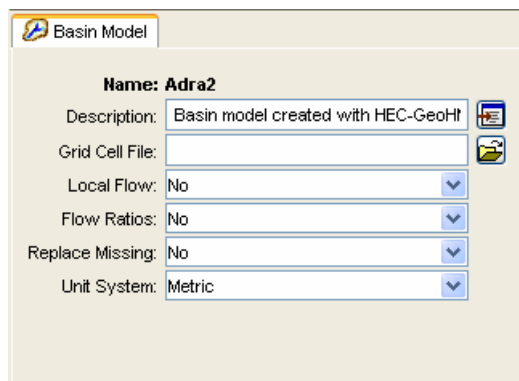


Figura 3: Editor de componente de un modelo de cuenca.

Registro de mensajes

Las notas, avisos (warning) y errores, se muestran en el registro de mensajes. Los mensajes son útiles para identificar porqué una simulación ha fallado o porqué una acción requerida no ha sido completada.

Escritorio

En el escritorio pueden aparecer varias ventanas, incluyendo tablas de resumen, de series temporales, gráficos, editores globales y el mapa del modelo de la cuenca. El mapa del modelo de la cuenca está confinado al área del escritorio, pero las ventanas de resultados no lo están. Una opción de configuración del programa permite mostrar los resultados fuera del área de escritorio. El mapa del modelo de la cuenca se usa para dar forma al modelo de la cuenca. Los distintos elementos pueden añadirse a partir de la barra de herramientas y conectados para representar la red de drenaje del área de estudio. Pueden importarse también mapas de fondo para ayudar a visualizar la cuenca. En la Figura 1 se muestra un ejemplo.

8. Desarrollar un proyecto con HEC-HMS

Enunciado del problema

La cuenca vertiente al embalse de Benínar, situada entre las provincias de Granada y Almería, tiene 478 km² y se ha dividido en 11 subcuencas, como muestra la Figura 4.

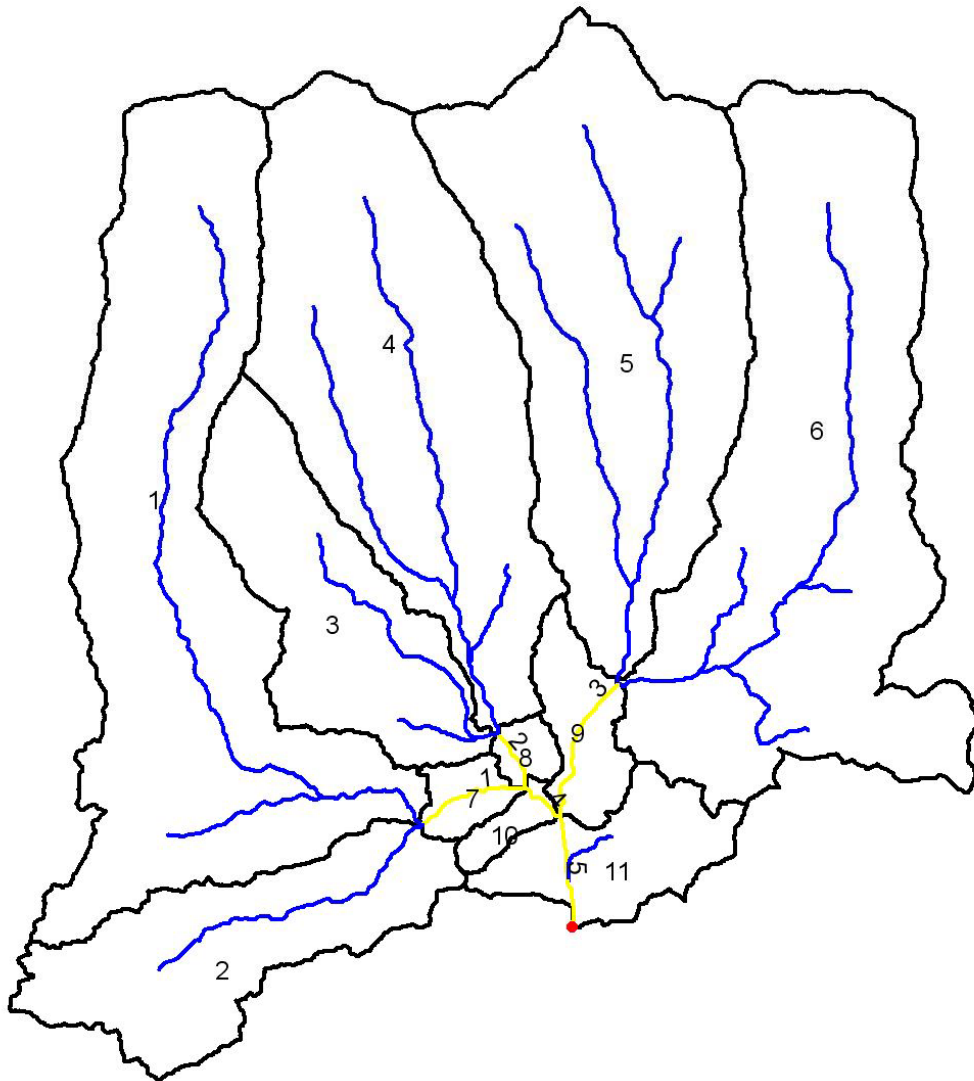


Figura 4: Cuenca vertiente al embalse de Benínar, con red de drenaje principal y separación en subcuencas.

1) Se desea calcular el hidrograma de avenida con un periodo de retorno de 100 años. Para ello, se tiene la tormenta de proyecto de esa frecuencia estimada con los datos de 5 pluviómetros, que se detalla en la Tabla 5. Con estos pluviómetros se han trazado los polígonos de Thiessen de la Figura 5 para determinar los pesos de cada tormenta en cada subcuenca, que se muestran en la Tabla 6. Calcular las pérdidas de precipitación y la transformación lluvia-caudal por medio del método del SCS y realizar la propagación de caudales por el método de Muskingum. Los datos

de las subcuencas, incluyendo los parámetros de los modelos a utilizar se resumen en la Tabla 7. Los datos de los tramos de cauces donde se realizará la propagación se incluyen en la Tabla 8.

2) Analizar el efecto que tendría la urbanización de un 10 % de la subcuenca 1, lo cual hace subir el CN a 66, en el cálculo de la avenida con TR de 100 años.

3) Calcular qué aumento en el CN de la subcuenca 1 haría subir el hidrograma al doble en esa subcuenca, para un TR de 100 años.

4) Calcular la disminución del caudal punta y el retardo de la punta que provocaría la presencia del embalse de Benínar en la avenida con TR de 100 años, cuando el agua del embalse esté a la cota 348 m. La curva cota-área del embalse se da en la Tabla 9. El descargador de fondo está a una cota de 300 m, tiene 2 m de diámetro y un coeficiente de descarga de 0,62. El aliviadero es de pared gruesa, está a una cota de 350 m, tiene una longitud de 70 m y un coeficiente de descarga de 2,4.

NOTA: Todos los datos utilizados en este ejercicio son ficticios.

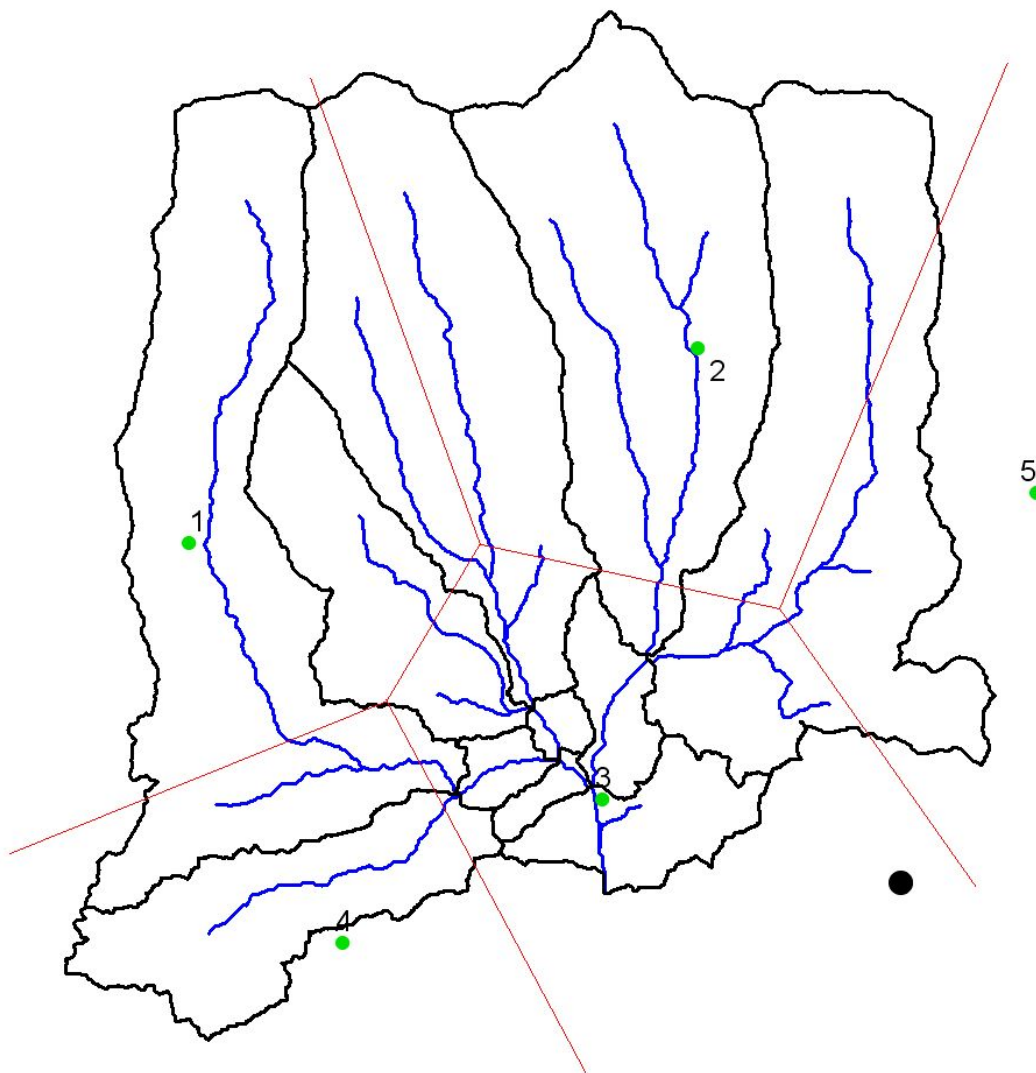


Figura 5: Pluviómetros y polígonos de Thiessen de la cuenca de Benínar.

Tabla 5: Tormentas de proyecto de TR 100 años.

Tiempo (hs)	P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)	P4 (mm)	P5 (mm)
0,5	3,5	3,4	2,5	2,7	3,0
1	3,9	3,8	2,9	3,1	3,5
1,5	4,6	4,4	3,3	3,6	4,0
2	5,4	5,2	4,0	4,2	4,7
2,5	6,6	6,4	4,9	5,2	5,8
3	8,6	8,3	6,3	6,7	7,5
3,5	12,3	11,9	9,0	9,6	10,8
4	23,1	22,4	16,9	18,1	20,2
4,5	64,1	62,1	46,9	50,2	56,1
5	15,9	15,4	11,6	12,4	13,9
5,5	10,1	9,8	7,4	7,9	8,8
6	7,5	7,3	5,5	5,9	6,6
6,5	6,0	5,8	4,4	4,7	5,2
7	5,0	4,8	3,6	3,9	4,3
7,5	4,2	4,1	3,1	3,3	3,7
8	3,7	3,6	2,7	2,9	3,2
8,5	3,3	3,2	2,4	2,6	2,9

Tabla 6: Pesos de cada pluviómetro en cada subcuenca.

Subcuenca	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)	P4 (%)	P5 (%)
1	80,2		4,4	15,4	
2			6,6	93,4	
3	55,8		44,2		
4	25,1	52,1	22,8		
5		89,9	10,1		
6		47,8	11,2		41
7			100		
8			100		
9			100		
10			100		
11			100		

Tabla 7: Datos de las subcuencas.

Subcuenca	Cota media (m)	Pendiente (m/m)	L. cauce más largo (m)	Área (km ²)	CN	TC (hs)	Tlag (min)
1	1289	0,080	27712	100,9	62,3	6,05	127
10	601	0,127	4410	2,7	72,5	1,37	29
11	691	0,066	8427	15,6	72,5	2,54	53
2	1053	0,059	14354	35,1	65	3,89	82
3	720	0,108	14318	35,3	63,2	3,46	73
4	1341	0,108	21376	81,6	57,8	4,69	99
5	1669	0,086	21090	88,4	56	4,85	102
6	1085	0,086	23037	102,6	50,4	5,19	109
7	460	0,067	3795	4,0	75,6	1,38	29
8	487	0,103	2581	2,5	70,4	0,95	20
9	460	0,051	7091	9,6	72,4	2,34	49

Tabla 8: Datos de los tramos de cauces donde se realizará propagación.

Tramo	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Cota Sup (m)	Cota inf (m)	K (hs)	X
1	3259,1	0,0245	500	420	0,89	0,40
2	1701,7	0,0235	460	420	0,55	0,40
3	4278,7	0,0238	480	378	1,11	0,40
4	1300,2	0,0323	420	378	0,42	0,40
5	3067,4	0,0059	378	360	1,12	0,40

Tabla 9: Curva cota-área del embalse de Beninar (no real).

Cota (m)	Área (x 1000 m2)
275	0
280	25,6
285	50
290	100
295	180
300	456
305	756,6
310	1002
315	1366
320	1542,3
325	1700
330	1950
335	2100
340	2450
345	2650
350	2800
355	3000
360	3255,8

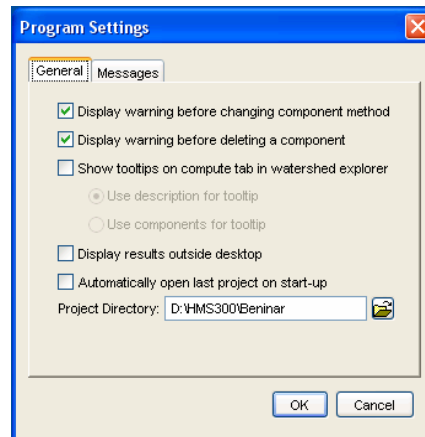
Solución

Para analizar un sistema hidrológico con HEC-HMS, deben completarse los siguientes pasos:

1. Crear un nuevo proyecto
2. Crear datos de pluviómetros
3. Ingresar los datos de los modelos de cuenca (procesos)
4. Ingresar los datos del modelo de precipitación
5. Ingresar las especificaciones de control
6. Crear y ejecutar una simulación del programa
7. Ver los resultados
8. Salir del programa

Configurar el directorio del proyecto

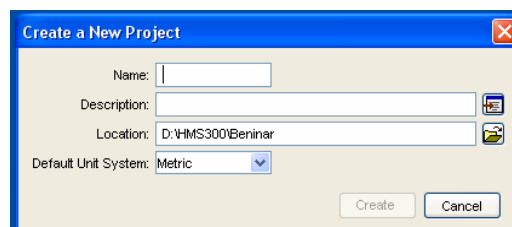
- Ejecutar el programa
- Seleccionar Tools/Program settings



- En Project Directory navegar para seleccionar la ruta del directorio donde se guardará el proyecto, Ej. (Nombre del disco):/Nombre de la Cuenca/
- OK para aceptar

Crear un proyecto nuevo

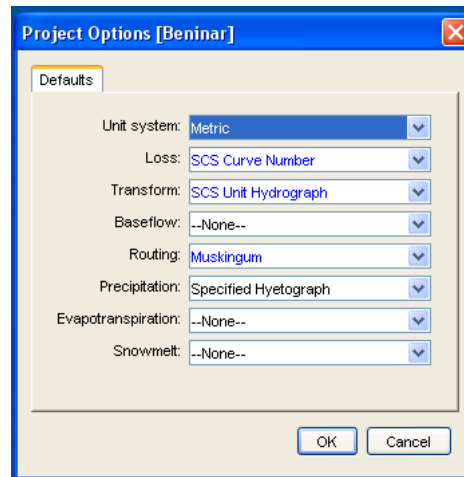
- Seleccionar File/New...



- Ingresar un nombre de proyecto, una descripción del mismo (no es obligatorio) y definir el sistema de unidades por defecto
- Clic en Create para aceptar

Elegir los métodos de cálculo

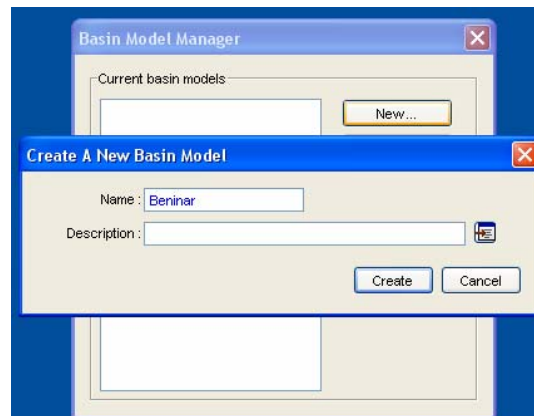
- Seleccionar Tools/Project Options



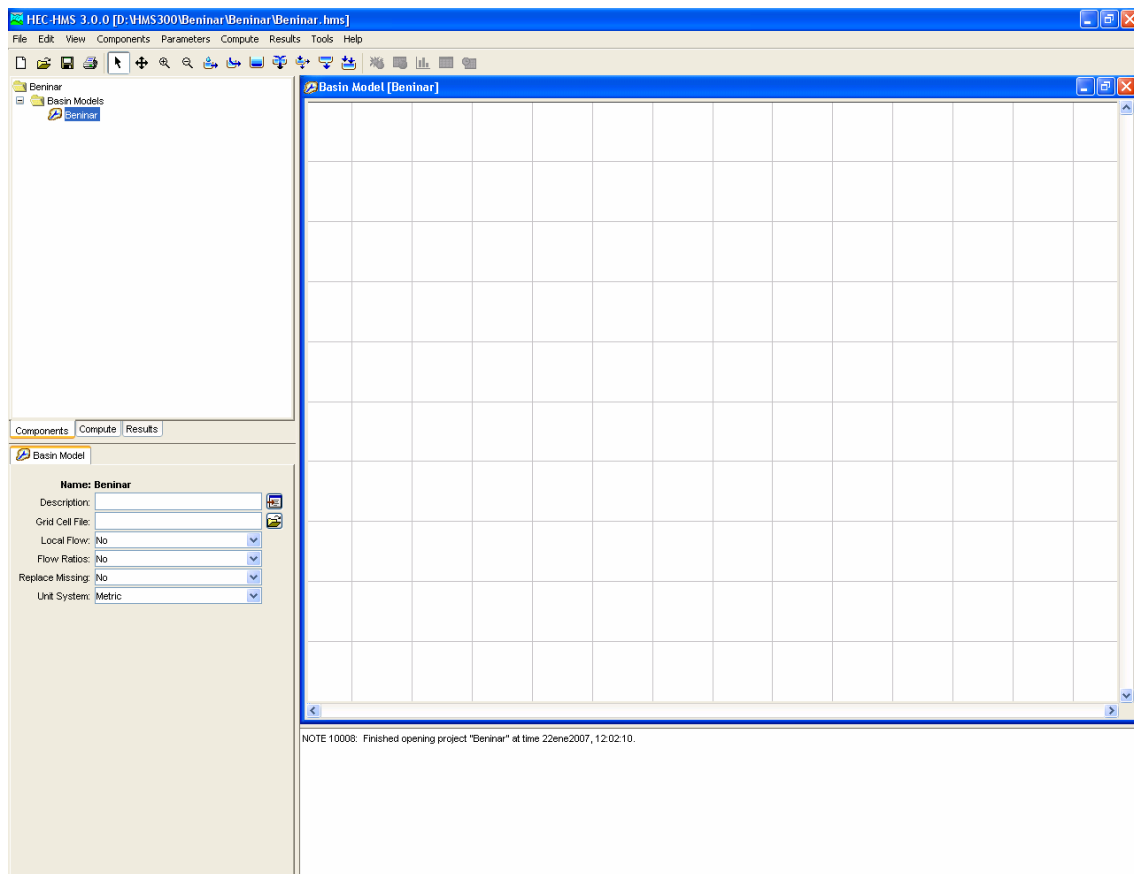
- En “Unit system” seleccionar “Metric”
- En “Loss” seleccionar “SCS Curve Number”
- En “Transform” seleccionar “SCS Unit Hydrograph”
- En “Baseflow” dejar “None”
- En “Routing” seleccionar “Muskingum”
- En “Precipitation” seleccionar “Specified Hyetograph”
- En “Evapotranspiration” y “Snowmelt” dejar “None”

Crear el modelo de la cuenca

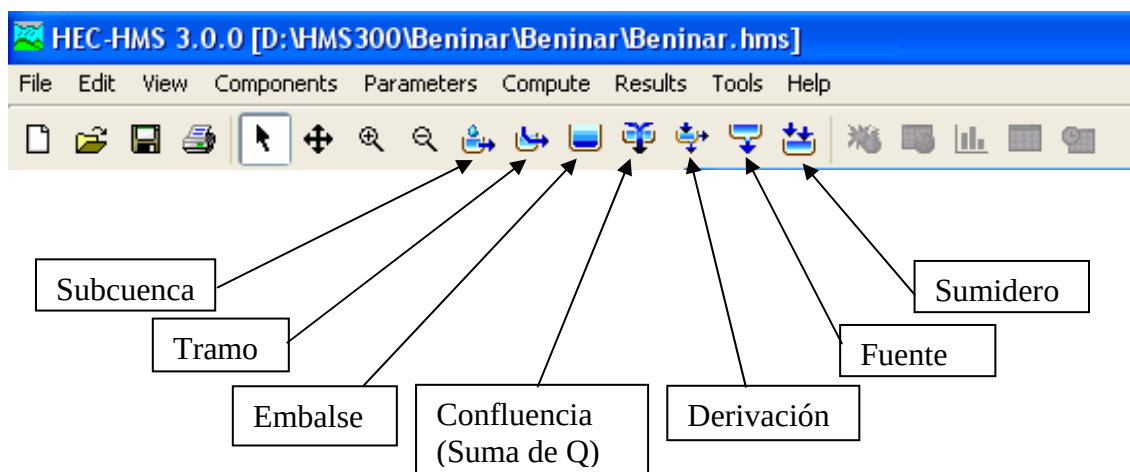
- Seleccionar Components/Basin Model Manager
- En la ventana “Basin Model Manager” seleccionar “New”



- En la ventana “Create a New Basin Model” ingresar un nombre de cuenca y una descripción (no obligatorio), clic en Create para aceptar
- Cerrar ventana “Basin Model Manager”
- Dentro de la carpeta “Basin Models” de la ventana del Explorador de Cuenca, aparecerá la cuenca. Clic en el signo “+” para que aparezca el icono y seleccionarlo.
- Se abrirá en el Escritorio del programa una ventana.



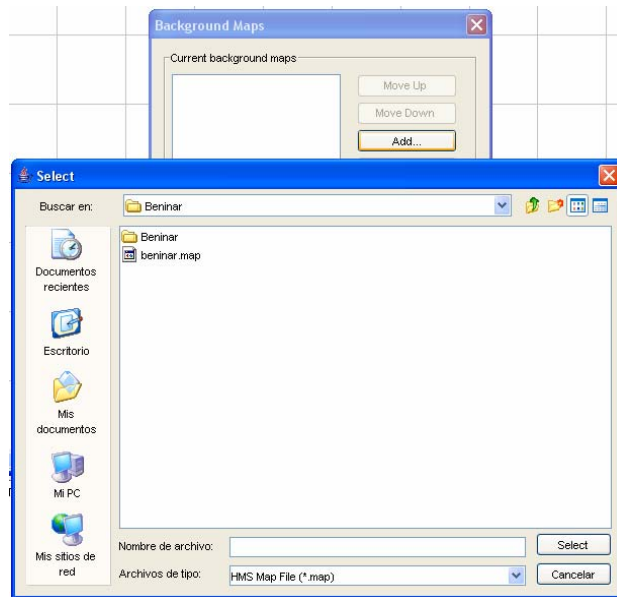
En esta ventana se construye el esquema de la cuenca utilizando los iconos de color azul, hay 7 tipos:



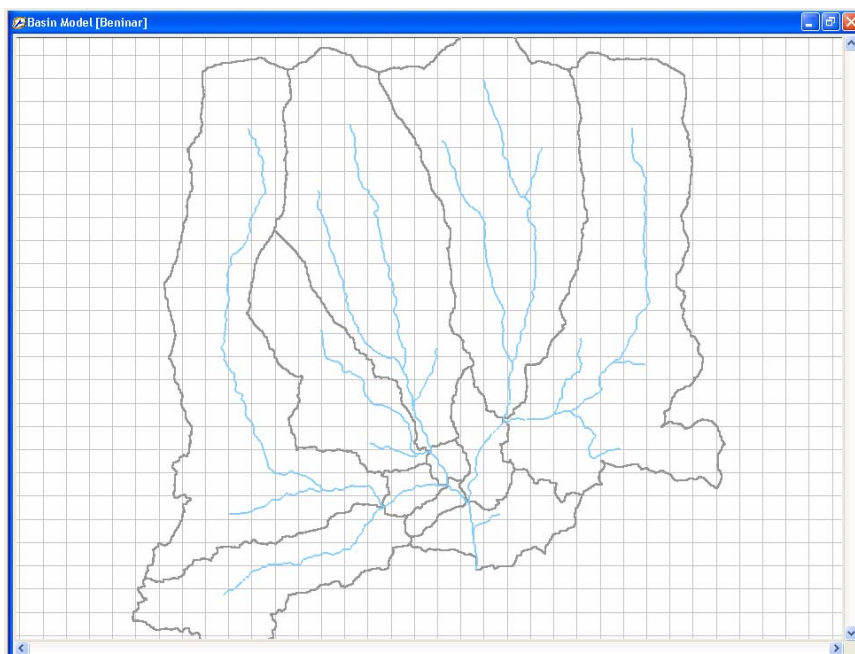
Cargar Mapa de fondo (opcional)

Antes de empezar a construir el modelo de la cuenca, se puede cargar un mapa de fondo para que sirva de ayuda.

- Seleccionar View/Background maps
- Seleccionar Add para cargar un mapa. Los ficheros pueden ser de 5 tipos: *.dlg, *.shp, *.img, *.map, *.dxf



- Select para aceptar
- OK para cerrar la ventana “Background Maps”
- También pueden cargarse mapas haciendo clic con el botón derecho del ratón sobre el Escritorio

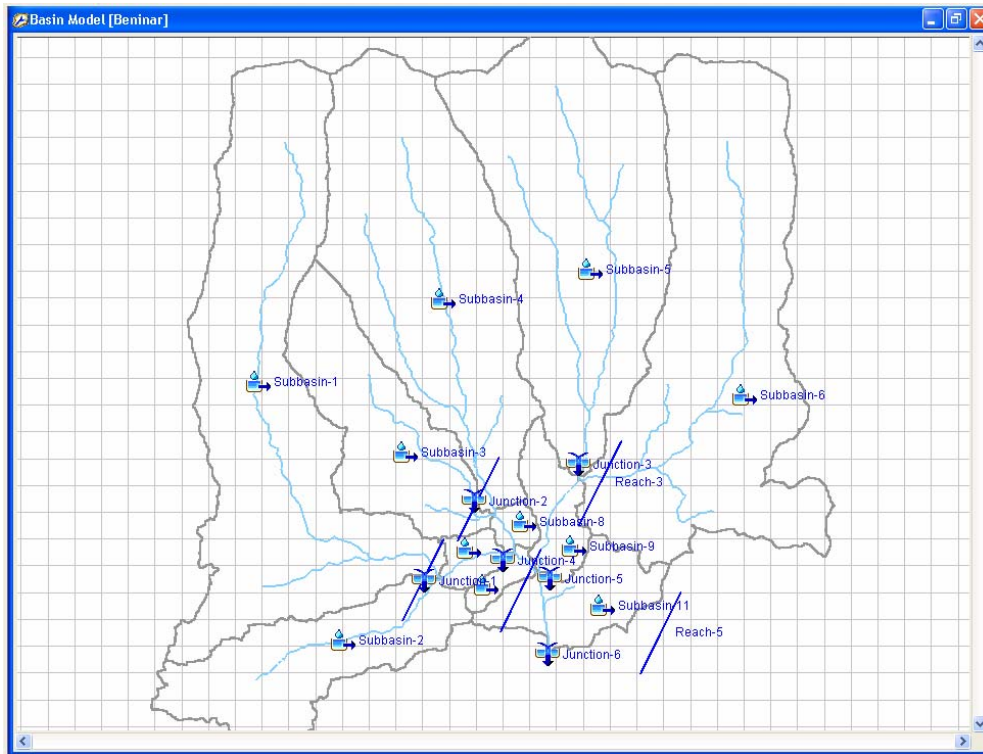


Crear los elementos hidrológicos

- Seleccionar el icono del elemento que se desea crear y pinchar con el cursor en algún sitio de la ventana “Basin Model”.
- Se abrirá una ventana en donde se puede colocar el nombre del elemento (el programa pone uno por defecto) y la descripción (no obligatoria).
- Clic en Create y el elemento queda creado.
- Cada vez que se haga esto, aparecerá un icono dentro de la carpeta con el nombre de la cuenca en la ventana del Explorador de Cuenca.

- Hacer lo mismo con todos los elementos que se deseen crear. Recordar crear elementos “Junction” (confluencia o suma de hidrogramas).

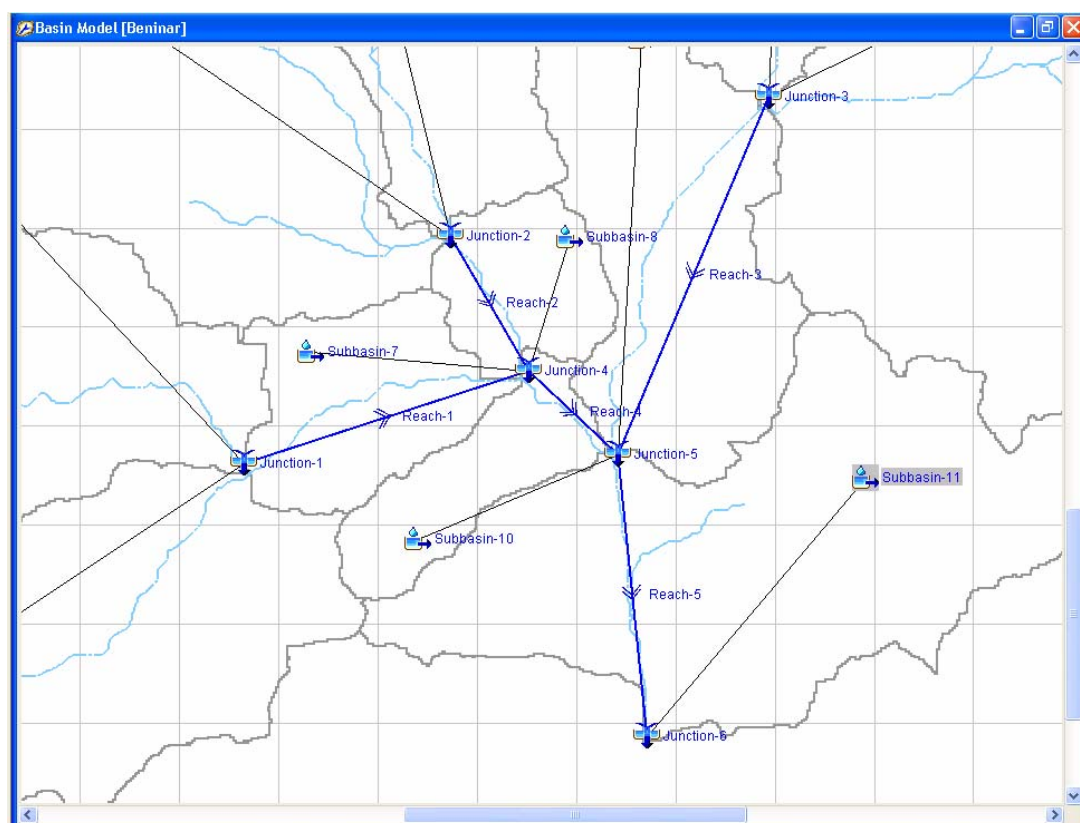
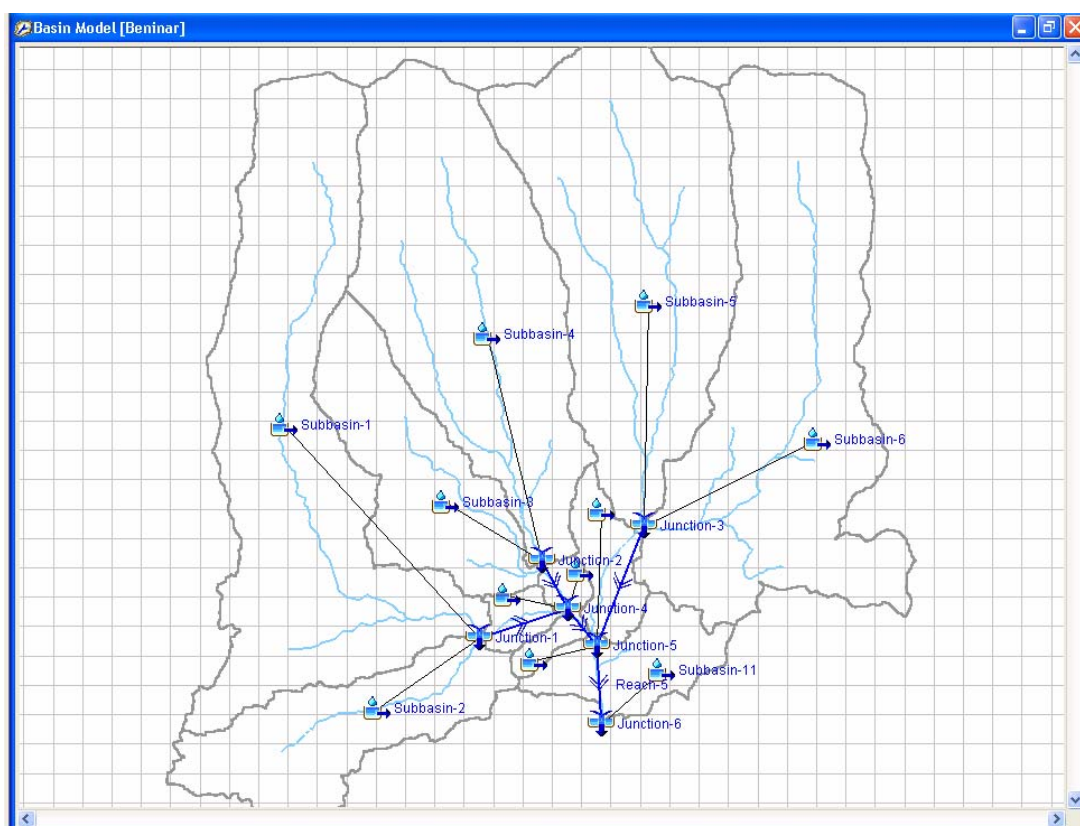
El lugar del escritorio donde se crean los elementos es irrelevante, lo importante son las conexiones entre elementos.



Conectar los elementos

Una vez creados todos los elementos hay que conectarlos unos con otros comenzando desde aguas arriba hacia aguas abajo (esto es importante).

- Seleccionar el puntero (icono de la flecha debajo de “Components”) y luego hacer clic con el botón derecho del ratón sobre el elemento a conectar.
- Aparecerá una ventana, hacer clic con el botón izquierdo en “Connect Downstream” y a continuación elegir el elemento con el que se desea conectar.
- NOTA IMPORTANTE: Cuando se conectan los tramos de cauce es importante el sentido del flujo. Para visualizar el sentido del flujo seleccionar View/Flow Directions.
- Guardar los cambios seleccionando File/Save o bien haciendo clic en .
- Para quitar una conexión errónea, se selecciona el elemento con la conexión errónea, hacer clic con el botón izquierdo en “Delete Connection”.
- En cualquier momento es posible hacer un zoom seleccionando el icono de la lupa  y marcando a continuación la zona que queremos acercar.



Introducir las Características de las subcuencas

Áreas

- Activar el icono de la cuenca  en el Explorador de Cuenca.
- Seleccionar Parameters/Subbasin Area.
- Aparecerá una ventana con una tabla. Introducir las áreas de todas las subcuencas en km². Cuidado con el signo de separación de decimales, hay que usar el mismo que el especificado en Inicio/Panel de Control/Configuración Regional. Puede usarse la opción “copiar y pegar” desde una hoja de cálculo.
- Al terminar hacer clic en “Apply” y luego cerrar.

Parámetros de pérdidas

- Seleccionar Parameters/Loss/SCS Curve Number.
- Aparecerá una tabla con 3 campos a rellenar por subcuenca: abstracción inicial (Initial abstraction) en mm, el número de curva (Curve Number) y el porcentaje de área impermeable (% impervious). El campo de abstracción se puede dejar en blanco, eso significa que lo calculará el programa como $0,2 \cdot S$.
- Al terminar hacer clic en “Apply” y cerrar.

Parámetros para la transformación lluvia-caudal

- Seleccionar Parameters/Transform/SCS Unit Hydrograph
- En la ventana “Transform” llenar la tabla con los tiempos de retardo (Tlag) en MINUTOS.
- Clic en “Apply” y cerrar

Parámetros para propagación de caudales en cauces

- Seleccionar Parameters/Routing/Muskingum
- En la ventana “Muskingum Routing” llenar la tabla con los parámetros K en HORAS y X. En principio dejar la columna de “Number of Subreaches” en 1.
- Clic en “Apply” y cerrar

Una vez que están todos los elementos conectados y los parámetros de los elementos introducidos, ya tenemos listo nuestro modelo de cuenca.

- Guardar los cambios seleccionando File/Save o bien haciendo clic en el icono del diskete.

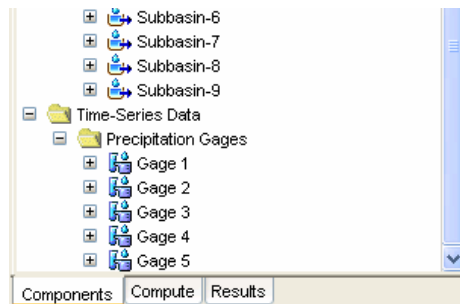
Crear datos de entrada

Crear las Tormentas de Proyecto

- Seleccionar Components/Time-Series Data Manager
- En la ventana “Time-Series Data Manager” elegir dentro de “Data Type”, “Precipitation Gages” con la pestaña, hacer clic en “New”



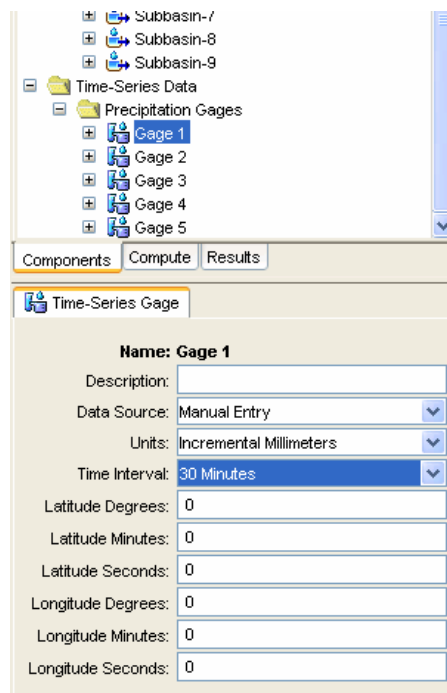
- En la ventana “Create a New Precipitation Gage” ingresar un nombre relacionado con el pluviómetro (en nuestro caso tendremos 5) y una descripción (no obligatorio),
- Clic en Create.
- Crear tantos datos pluviómetros como deseemos introducir.
- Aparecerá una carpeta “Time-Series Data” en el Explorador de Cuenca, dentro de ella una carpeta “Precipitation gages” y dentro de ella un icono por cada pluviómetro.



Cerrar la ventana “Time-Series Data Manager”.

Seleccionar un pluviómetro.

En el Editor de Componentes (ventana inferior izquierda) aparecerán las propiedades del pluviómetro:



- En “Data Source” elegir “Manual Entry”.
- En “Units” seleccionar el modo en que se quiere introducir los datos. Generalmente se usa “Incremental Millimeters”.
- En “Time interval” elegir el intervalo de tiempo elegido para la tormenta de proyecto.
- Lo demás dejarlo en 0.
- Hacer doble clic junto al icono del pluviómetro (o uno solo en el signo “+”).
- Aparecerá el icono de una tabla con unas fechas. Hacer clic en ella
- En la ventana de del Editor de Componentes aparecerán varias pestañas.

Name: Gage 1

Start Date (ddMMYYYY) 01ene2007

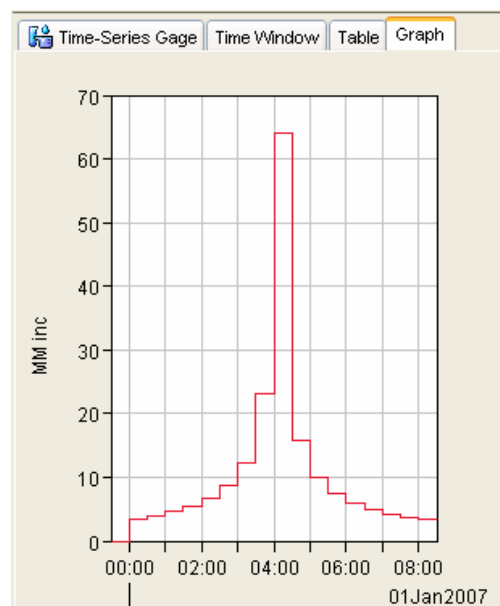
Start Time (HH:mm) 00:00

End Date (ddMMYYYY) 01ene2007

End Time (HH:mm) 08:30

- En la pestaña “Time Window” ingresar las fechas y horas de comienzo y fin de la tormenta de proyecto.
- En la pestaña “Table” ingresar los valores de la lluvia incremental en mm. Cuidado con la separación de decimales. Si se tienen los datos en una hoja de cálculo, se pueden copiar y pegar.

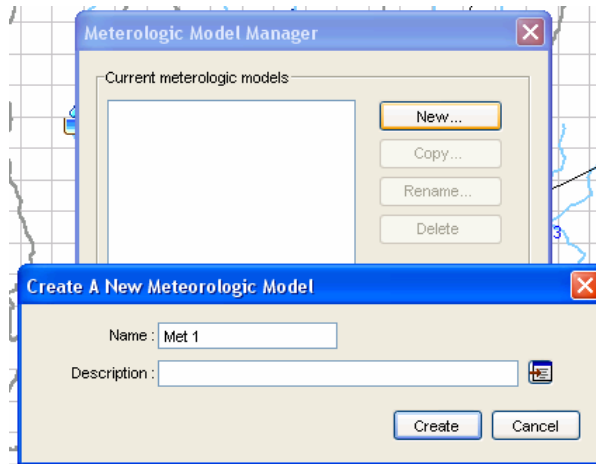
Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM inc)
01ene2007, 00:00	0,0
01ene2007, 00:30	3,5
01ene2007, 01:00	3,9
01ene2007, 01:30	4,6
01ene2007, 02:00	5,4
01ene2007, 02:30	6,6
01ene2007, 03:00	8,6
01ene2007, 03:30	12,3
01ene2007, 04:00	23,1
01ene2007, 04:30	64,1
01ene2007, 05:00	15,9
01ene2007, 05:30	10,1
01ene2007, 06:00	7,5
01ene2007, 06:30	6,0
01ene2007, 07:00	5,0
01ene2007, 07:30	4,2
01ene2007, 08:00	3,7



- Una vez ingresados los datos, en la pestaña “Graph” aparecerá la gráfica de la tormenta de proyecto.
- Hacer lo mismo para las demás tormentas de proyecto.

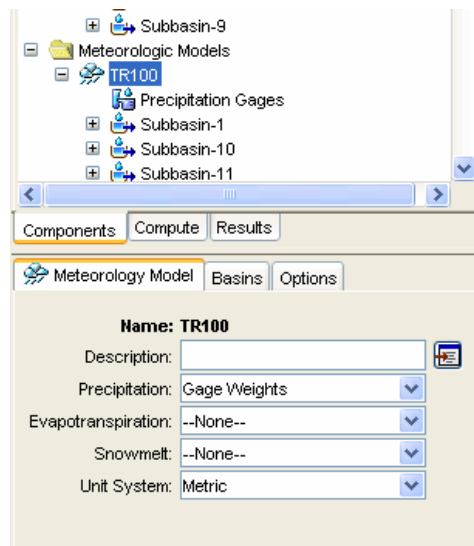
Crear el modelo meteorológico

- Seleccionar Components/Meteorologic Model Manager
- En la ventana “Meteorologic Model Manager” clic en “New”



- En la ventana “Create a New Meteorologic Model” ingresar un nombre de modelo meteorológico y una descripción (no obligatorio), clic en Create.
- Se pueden crear tantos modelos meteorológicos como casos se quieran estudiar (por ej. uno para cada periodo de retorno)
- Cerrar la ventana

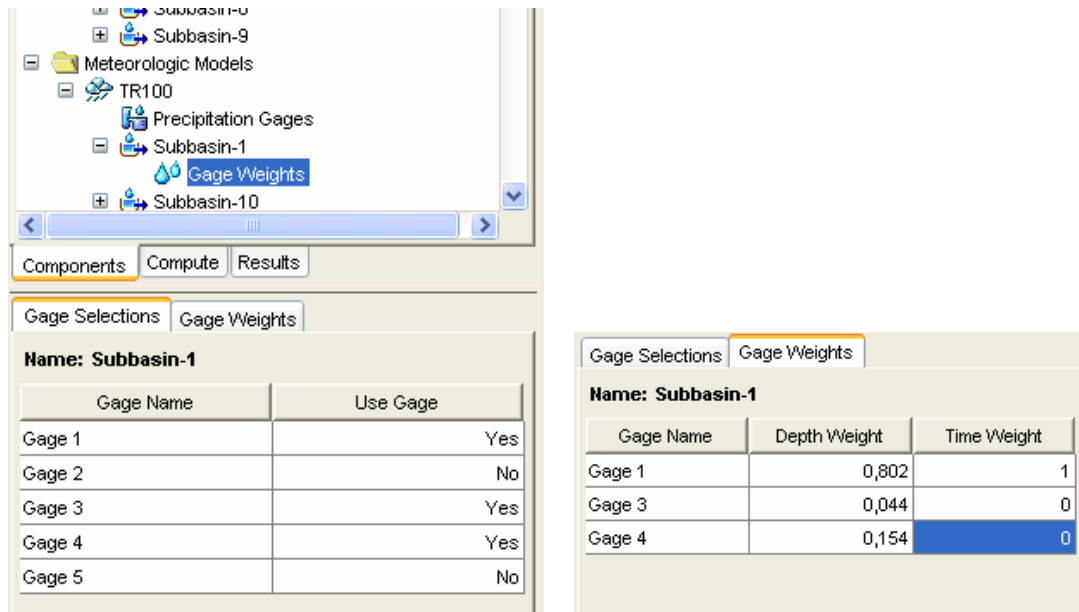
Aparecerá una carpeta “Meteorologic Models” en el Explorador de la Cuenca y dentro de ella tantos iconos con los nombres de los modelos meteorológicos que hayamos creado. Elegir uno. En la ventana del editor de componentes aparecerán las propiedades del modelo meteorológico y varias pestañas.



- En la pestaña “Meteorology Model”, en “Precipitation” elegir “Gage Weights” y en “Unit System” elegir “Metric”
- En la pestaña “Basins”, en “Include Subbasins” elegir “Yes”.
- La pestaña “Options” queda como viene por defecto.

Ahora hay que especificar qué pesos tiene cada pluviómetro en cada subcuenca.

- Hacer clic en el icono de la subcuenca dentro del modelo meteorológico que estamos creando (TR100). En el Editor de Componentes aparecerán dos pestañas.

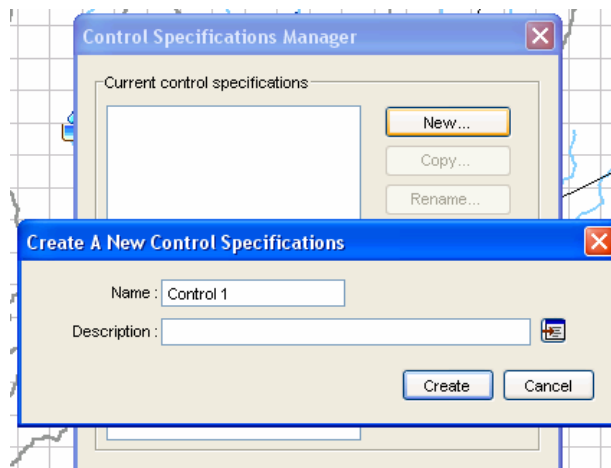


- En la pestaña “Gage Selections” especificamos los pluviómetros que participan y lo que no.
- En la pestaña “Gage Weights” ingresamos la porción que participa de cada pluviómetro, en tanto por uno. Si todos los pluviómetros tienen la misma base de tiempo, es indiferente colocar a cualquiera con peso 1 y el resto 0.
- Hacer lo mismo con cada subcuenca.

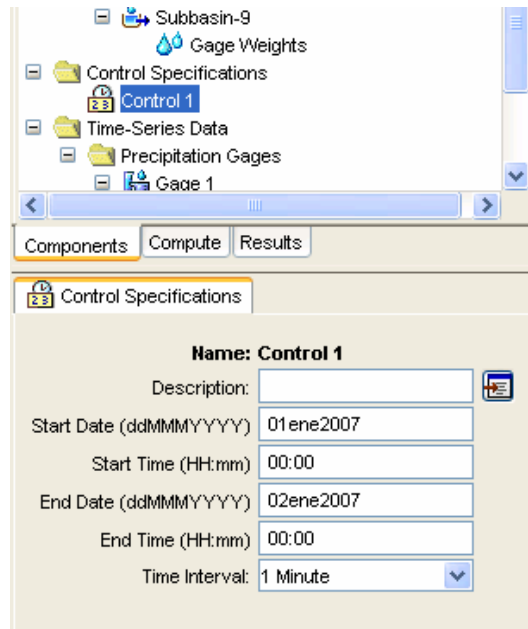
NOTA: quizás hubiese sido más fácil obtener primero en una hoja de cálculo las lluvias medias ponderadas de cada subcuenca. De esta manera hubiésemos tenido 1 tormenta de proyecto por cada subcuenca, por lo que habría que crear 1 pluviómetro por cuenca y elegir luego en la pestaña “Meteorology Model”, “Specified Hyetograph”, etc.

Definir las especificaciones de control

- Seleccionar Components/Control Specifications Manager
- En la ventana “Control Specifications Manager” clic en “New”



- En la ventana “Create a New Control Specifications” ingresar un nombre de especificaciones de control y una descripción (no obligatorio), Clic en Create.
- En principio no hace falta crear más, pero podríamos tener varias especificaciones distintas si lo deseamos.
- Cerrar ventana.
- Aparecerá una carpeta “Control Specifications” en el Explorador de Cuenca y un icono dentro de ella. Hacer clic en él.

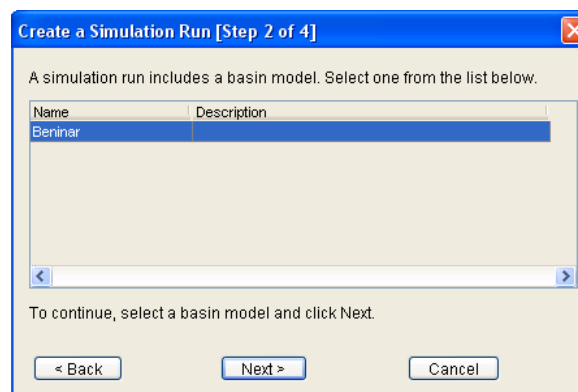


- En el Editor de Componentes aparecerán las propiedades. Ingresar las fechas y horas de comienzo y fin del estudio (el estudio debe durar hasta varias horas después de haber cesado de llover).
- Elegir un intervalo de tiempo puede ser diferente al elegido para la tormenta de proyecto, es el intervalo con el que se realizarán las simulaciones.

Crear, seleccionar y ejecutar una simulación

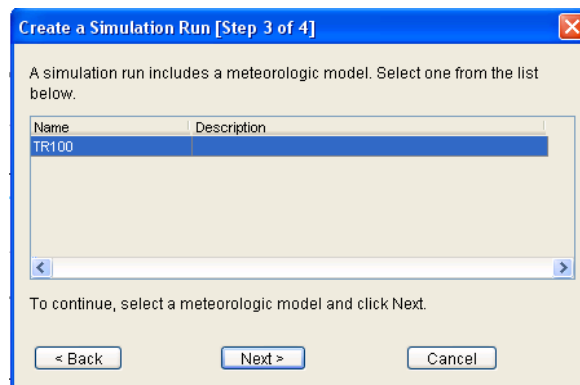
Crear

- Seleccionar Compute/Create Simulation Run
- En la ventana “Create a Simulation Run” ingresar un nombre de simulación
- Clic en “Next”

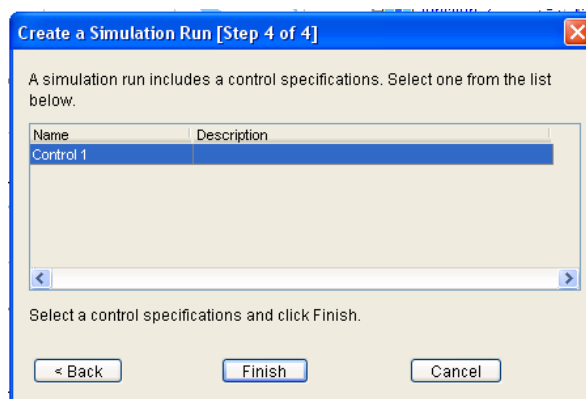


Seleccionar

- Elegir un modelo de cuenca de los que aparecen listados, clic en “Next”



- Elegir un modelo meteorológico de los que aparecen listados, clic en “Next”



- Elegir una especificación de control de las que aparecen listados, clic en “Finish”

Ejecutar

- Seleccionar Compute/Select Run y seleccionar una de las simulaciones que aparecen
- Seleccionar Compute/Compute Run [Nombre de la simulación]
- Cerrar la ventana con “Close”.

Mensajes

```

NOTE 10184: Began computing simulation run "Run 1" at time 22ene2007, 21:35:06.
NOTE 10307: 931 missing or invalid values set to zero for gage "Gage 1".
NOTE 10307: 931 missing or invalid values set to zero for gage "Gage 3".
NOTE 10307: 931 missing or invalid values set to zero for gage "Gage 4".
NOTE 10307: 931 missing or invalid values set to zero for gage "Gage 2".
NOTE 10307: 931 missing or invalid values set to zero for gage "Gage 5".
WARNING: Error in routing for Reach-3;
  Muskingum routing is unstable with the given parameters.
WARNING: Error in routing for Reach-1;
  Muskingum routing is unstable with the given parameters.
WARNING: Error in routing for Reach-2;
  Muskingum routing is unstable with the given parameters.
WARNING: Error in routing for Reach-4;
  Muskingum routing is unstable with the given parameters.
WARNING 41660: 32 negative inflows to reach "Reach-5" set to zero.
  Equivalent volume (cu m): -14,1678
WARNING: Error in routing for Reach-5;
  Muskingum routing is unstable with the given parameters.
NOTE 10185: Finished computing simulation run "Run 1" at time 22ene2007, 21:35:07.

```

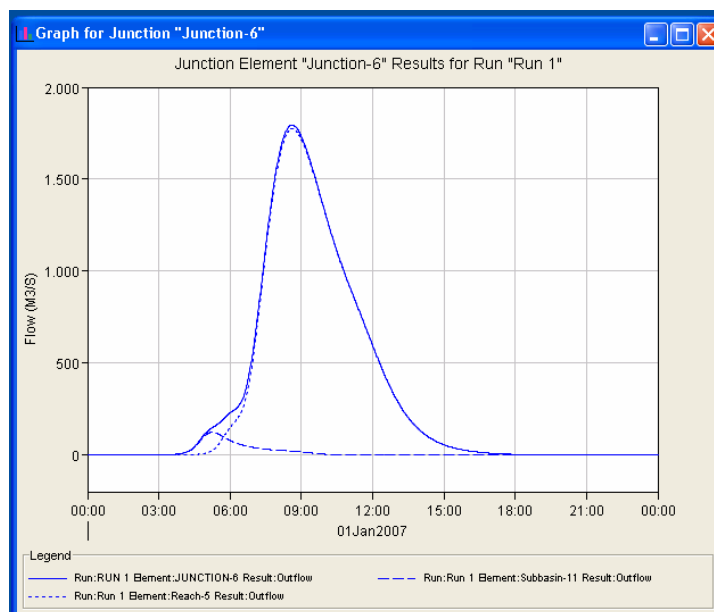
Significa que ha encontrado ceros en los datos de los pluviógrafos.

Error en la propagación. La propagación es inestable. No existe una relación adecuada entre los parámetros del modelo. Incluso llega a dar caudales negativos en el tramo 4. Se suele solucionar aumentando el número de subtramos.

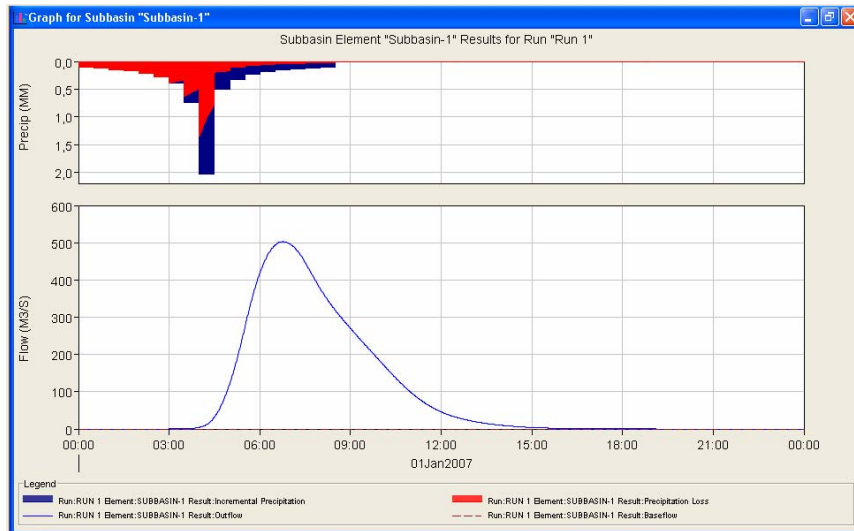
Ver los resultados

Haciendo clic con el botón derecho en cualquiera de los elementos y eligiendo “View Results” podemos visualizar los hidrogramas obtenidos en cada elemento. Hay 3 opciones:

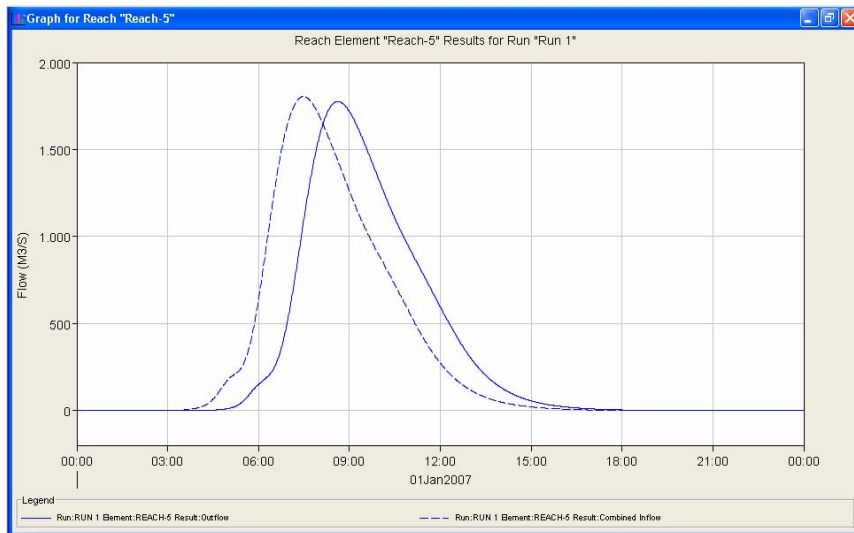
- “Graph”: muestra los hidrogramas en una gráfica. Por ejemplo, en una unión, la gráfica tiene este aspecto:



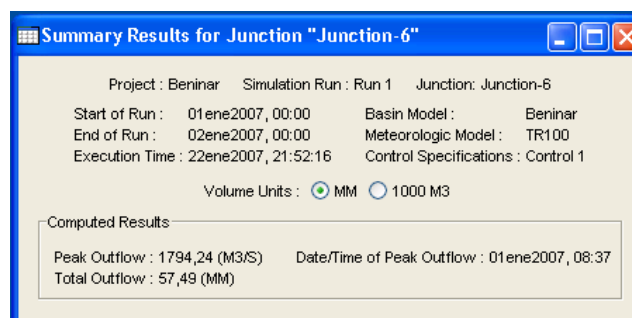
Pero en una subcuenca tiene este otro:



Y en un tramo este otro:



- “Summary Table”: muestra un resumen de la simulación ejecutada.



- “Time-Series Table”: muestra una tabla con los hidrogramas relacionados con el elemento.

Time-Series Results for Junction "Junction-6"

Project : Beninar Run : Run 1 Junction: Junction-6

Start of Run : 01ene2007, 00:00 Basin Model : Beninar
 End of Run : 02ene2007, 00:00 Meteorologic Model : TR100
 Execution Time : 22ene2007, 21:56:29 Control Specifications : Control 1

Date	Time	Inflow from Subbasin-11 (M3/S)	Inflow from Reach-5 (M3/S)	Outflow (M3/S)
01ene2007	04:14	18,921	0,450	19,371
01ene2007	04:15	19,915	0,499	20,414
01ene2007	04:16	20,956	0,552	21,508
01ene2007	04:17	22,053	0,610	22,664
01ene2007	04:18	23,209	0,674	23,883
01ene2007	04:19	24,422	0,744	25,166
01ene2007	04:20	25,692	0,820	26,513
01ene2007	04:21	27,021	0,904	27,925
01ene2007	04:22	28,416	0,994	29,411
01ene2007	04:23	29,883	1,093	30,977
01ene2007	04:24	31,423	1,200	32,623
01ene2007	04:25	33,036	1,315	34,352
01ene2007	04:26	34,724	1,439	36,163
01ene2007	04:27	36,490	1,572	38,062
01ene2007	04:28	38,341	1,715	40,056

Los datos pueden copiarse para ser editados en cualquier hoja de cálculo o software de gráficos.

Simulación de futura urbanización

Para analizar el efecto de una futura urbanización en la cuenca, no es necesario cambiar ni el modelo meteorológico, ni las especificaciones de control, sólo es necesario modificar convenientemente el modelo de la cuenca.

Crear un modelo de la cuenca modificado

Crearemos una copia del modelo y luego lo modificaremos.

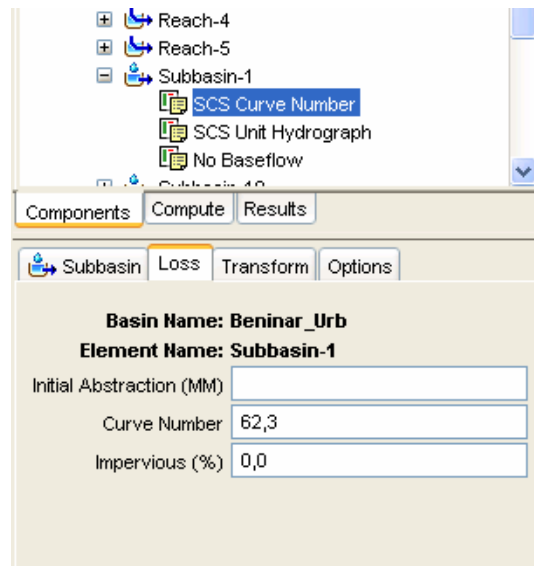
- Colocar el puntero del ratón sobre el icono de la cuenca en Explorador de Cuenca, clic con el botón derecho y seleccionar "Create Copy".
- Aparecerá una ventana para nombrar a la copia

Copy Basin Model "Beninar"

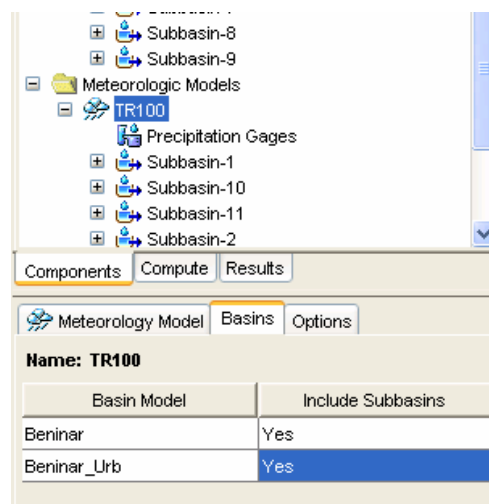
Name :

Description :

- Ingresar el nombre de la copia del modelo y una descripción (no obligatoria).
- En el Explorador de la Cuenca, seleccionamos el nuevo modelo de cuenca y seleccionamos el icono de la subcuenca 1 que es donde se realizarán las modificaciones.
- Luego se selecciona sobre las propiedades del método de pérdidas "SCS Curve Number"

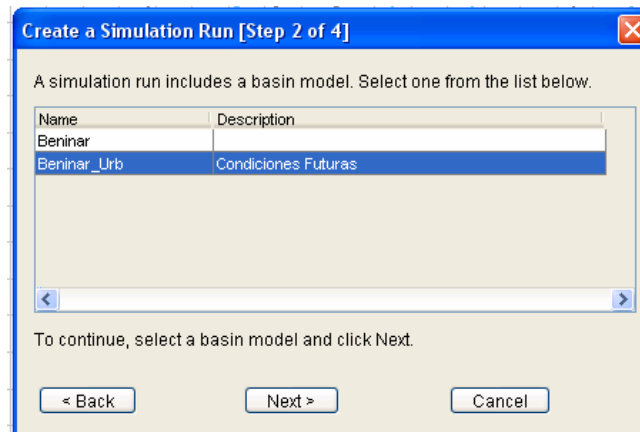


- En el Editor de Componentes aparecerán los parámetros del modelo. Cambiamos el número de curva de 62,3 a 66.
- Luego en el Explorador de Cuenca seleccionamos el modelo meteorológico y en la pestaña “Basins”, incluimos las subcuencas seleccionando “Yes” en “Include subbasins” del nuevo modelo de cuenca.



Crear una nueva simulación

- Seleccionar Compute/Create Simulation Run. Dejar el nombre por defecto [Run2].



- Seleccionar el nuevo modelo de cuenca. Los pasos siguientes son iguales que en la simulación anterior.
- Seleccionar Select Run/Run2.
- Seleccionar Compute/Compute Run [Run2].
- Una vez completado el cálculo cerrar la ventana con “Close”.

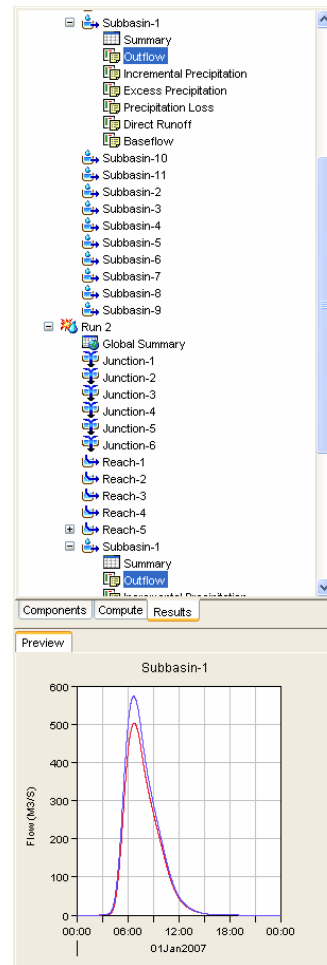
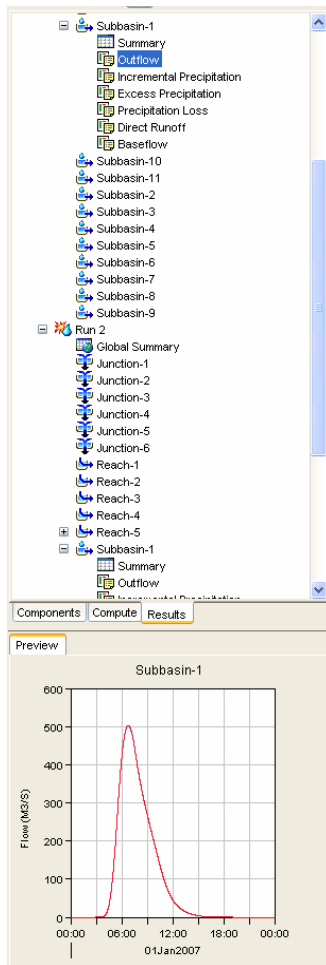
Ver los resultados

Los resultados de cualquiera de los elementos pueden verse en la pestaña “Results” del Explorador de Cuenca.

Para ver los resultados, seleccionando cualquiera de los elementos, aparecerá la lista de resultados, seleccionar por ejemplo el hidrograma de salida de la subcuenca 1 de la simulación 1 “Outflow”, aparecerá el hidrograma en el Editor de Componentes.

Para comparar el hidrograma con el de la simulación 2, con la tecla “Ctrl” presionada, seleccionamos la misma subcuenca pero en la simulación 2. Aparecerán ambos hidrogramas en el Editor de Componentes.

De la misma manera pueden compararse cualquier grupo de resultados.



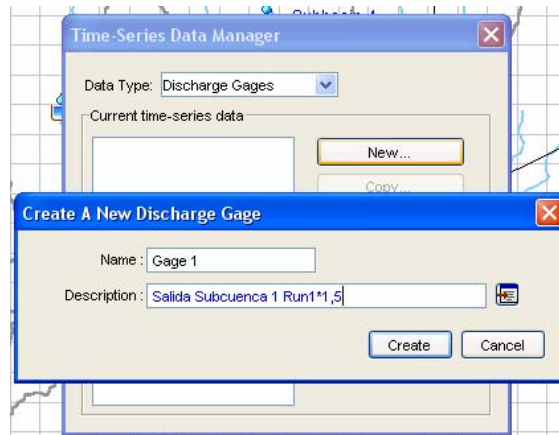
Podemos ver que el resultado del aumento en la superficie urbanizada provocó un aumento del caudal punta de 503 a 573 m³/s, es decir, casi un 14 %.

Realizar una prueba de Optimización

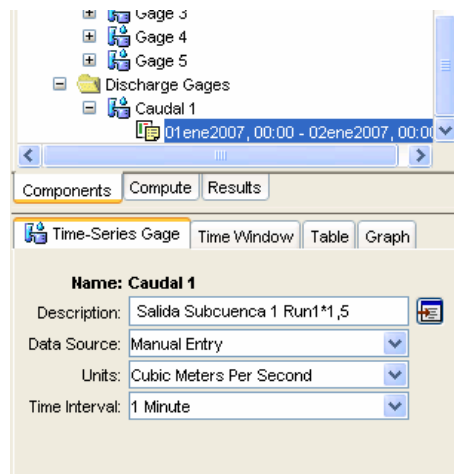
Para poder realizar una prueba de optimización es necesario tener datos de caudales medidos en algún punto de la cuenca. Como nuestra prueba está relacionada con un aumento del 50 % en el hidrograma de TR 100 años, introduciremos como dato de caudal el hidrograma obtenido en la simulación 1 multiplicado por 1,5. Esta operación se puede realizar en una hoja de cálculo.

Introducir datos de caudales

- Seleccionar Components/Time-Series Data Manager
- Seleccionar datos de caudales “Discharge Gages”



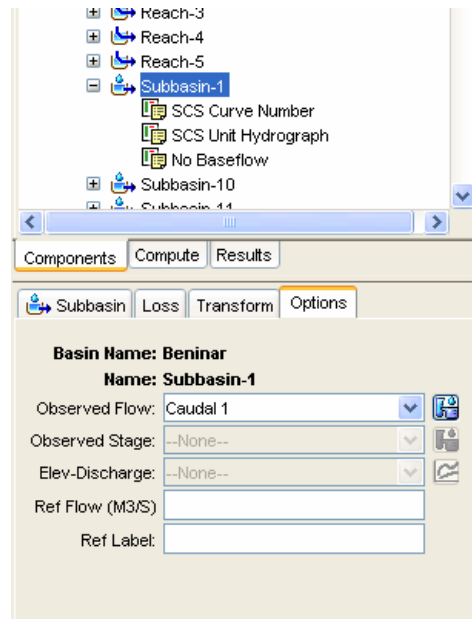
- Lo nombramos “Caudal 1” y le ponemos una descripción.
- Clic en Create para cerrar la ventana.
- En el Explorador de Cuenca, en la pestaña “Components” y en la carpeta “Time-Series Data”, encontraremos el icono “Caudal 2”, seleccionarlo y seleccionar el fichero con las fechas.
- Revisar las unidades y seleccionar un incremento de tiempo.



- En la pestaña “Table” ingresamos los valores de los caudales.
- En la pestaña “Graph” podemos ver la gráfica.

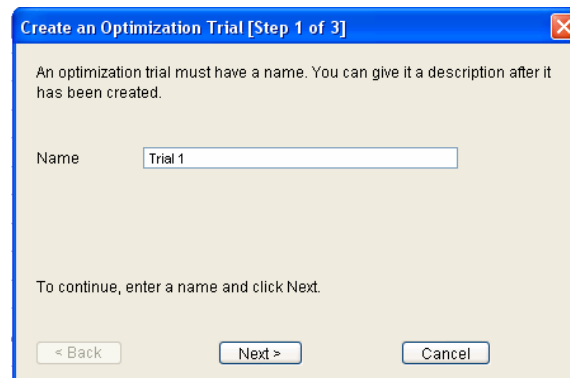
Asignar los datos a un elemento

- Seleccionar la subcuenca 1 del primer modelo de cuenca.
- En el Editor de Componentes aparece una pestaña “Options” donde puede asignársele un hidrograma de caudales observado.
- Seleccionar “Caudal 1”.

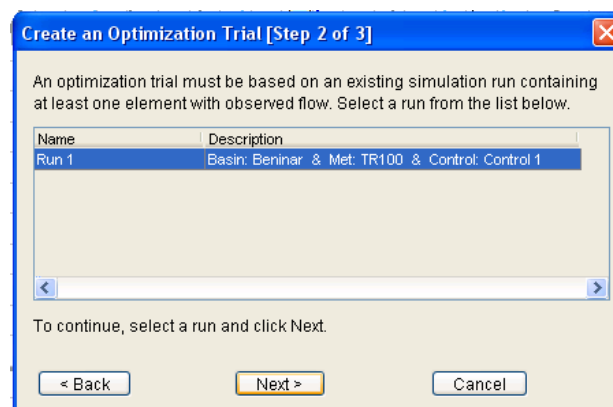


Crear Intento de Optimización

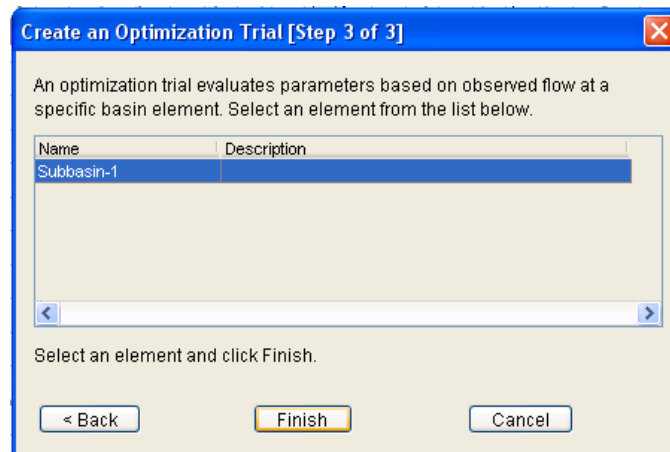
- Seleccionar Compute/Create an Optimization Trial. Asignar un nombre.



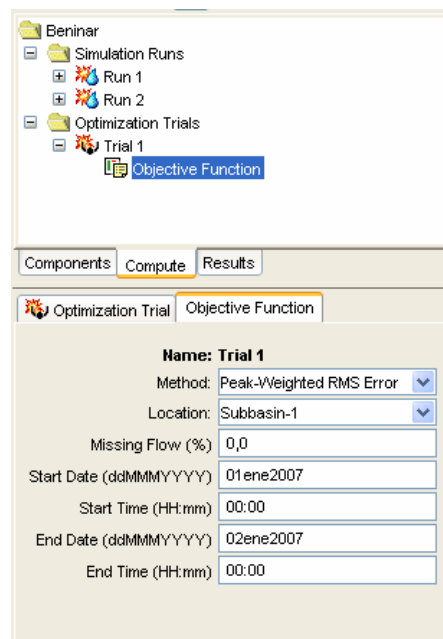
- “Next” para continuar
- Seleccionar una simulación existente.
-



- “Next” para continuar.
- Seleccionar el elemento donde se quiere realizar la optimización, aparecerán sólo los que tienen relacionados datos de caudales “observados”.



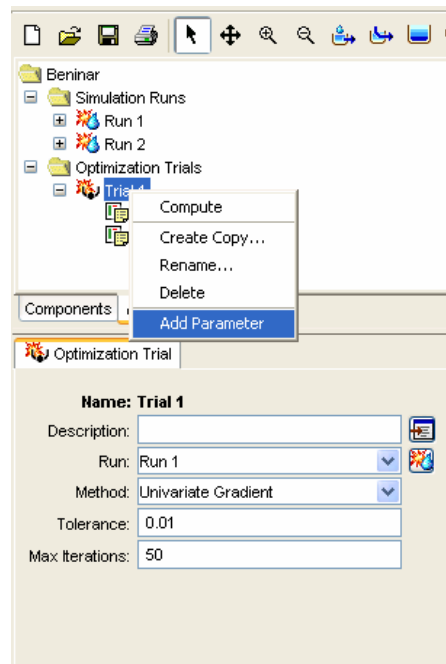
- “Finish” para terminar.
- En el Explorador de Cuenca, en la pestaña “Compute”, en la carpeta “Optimization trials”, seleccionamos “Trial 1” y “Objective Function”



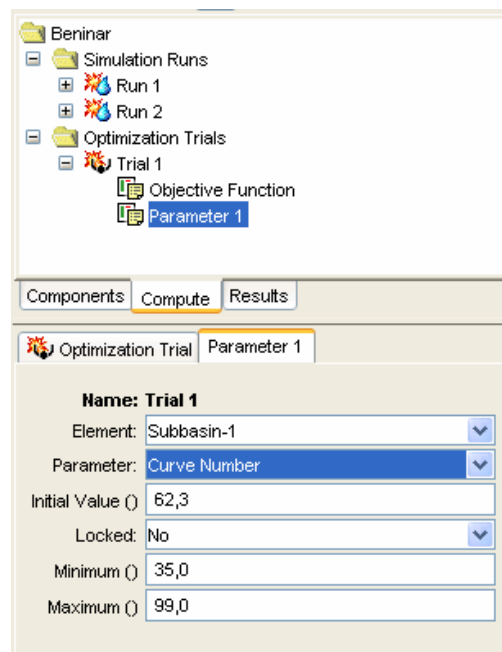
- En el Editor de Componentes aparecerán las características de la optimización, elegir el método de optimización, el elemento donde realizaremos la optimización y cambiar las fechas si fuese necesario.

Definir el parámetro a optimizar

- En el Explorador de Cuenca, haciendo clic con el botón derecho del ratón sobre “Trial 1” aparecerá un menú, seleccionar “Add parameter”.



- Clic en “Parameter 1” y aparecerán las características en el Editor de Componentes.



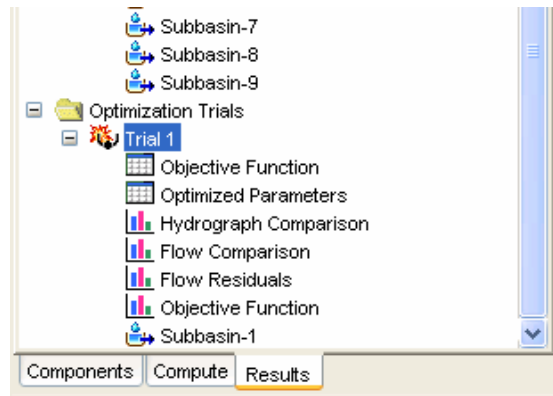
- Elegir el elemento, el parámetro y si se quiere el valor inicial y el mínimo y máximo.

Ejecutar la optimización

- Seleccionar Compute/Select Trial y seleccionar “Trial 1”
- Seleccionar Compute/Compute [Trial 1]
- Aparecerá la ventana de progreso del cálculo. Cuando finalice, cerrar la ventana.
- En el Registro de Mensajes aparecerán datos como las iteraciones realizadas y la variación en la función objetivo

Ver los resultados de la optimización

- Para ver los resultados, en el Explorador de Cuenca, pestaña “Results”, carpeta “Optimization Trials”, seleccionar “Trial 1” y aparecerá la lista de resultados disponibles.



- Por ejemplo, seleccionando “Optimized Parameters” aparecerán los valores de los parámetros optimizados.

Optimized Parameter Results for Trial "Trial 1"

Project: Beninar Optimization Trial: Trial 1

Start of Trial: 01ene2007, 00:00 Basin Model: Beninar
 End of Trial: 02ene2007, 00:00 Meteorologic Model: TR100
 Execution Time: 23ene2007, 09:08:20 Control Specifications: Control 1

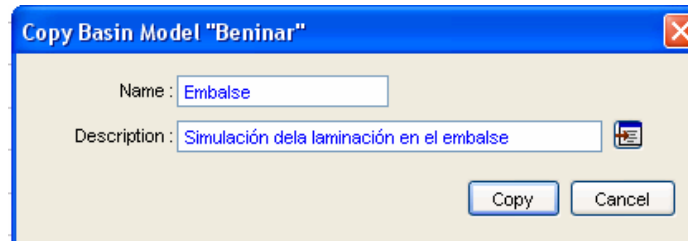
Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value	Objective Function Sensitivity
Subbasin-1	Curve Number		62,3	74,514	-4,64

Es decir que si el cambio del uso de la cuenca hace que el número de curva (CN) pase del 62,3 actual a un 74,5, el aumento del caudal punta será del 50 % para una tormenta con un TR de 100 años.

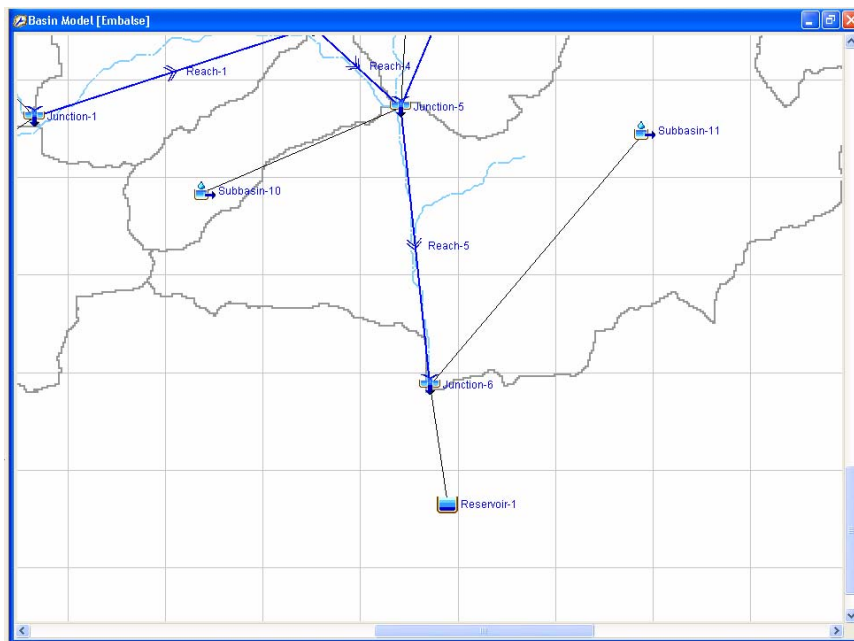
Cálculo de la laminación en un embalse.

Crear nuevo modelo con Embalse

- En el Explorador de Cuenca, nos posicionamos en el icono del modelo de la cuenca a copiar (Por ej. “Beninar”), seleccionar “Create Copy”.
- Ingresar un nombre y una descripción.

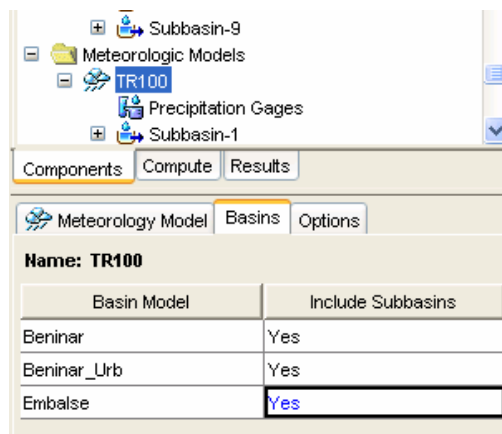


- Seleccionar el icono del embalse (Reservoir) y creamos uno en el Escritorio, cerca de la salida de la cuenca.
- Conectar la salida de la cuenca con el embalse.



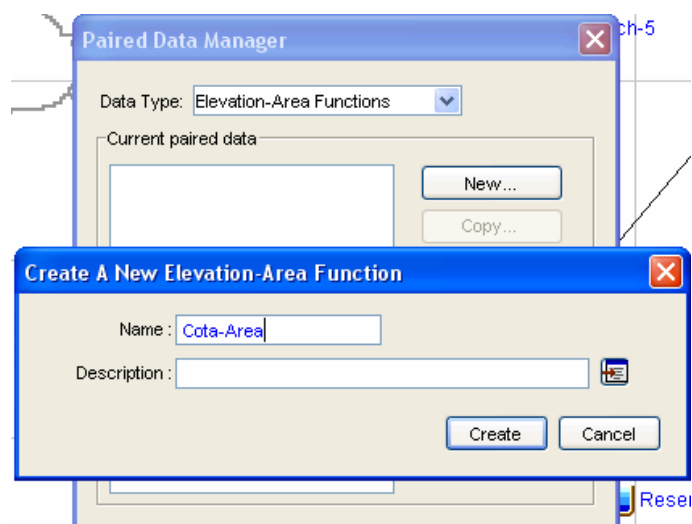
Activar el modelo meteorológico

- En el Explorador de Cuenca, en la carpeta “Meteorologic Models”, seleccionamos el modelo que ya tenemos “TR100”.
- En el Editor de Componentes, seleccionar la pestaña “Basins” y activar la subcuencas del modelo “Embalse”.

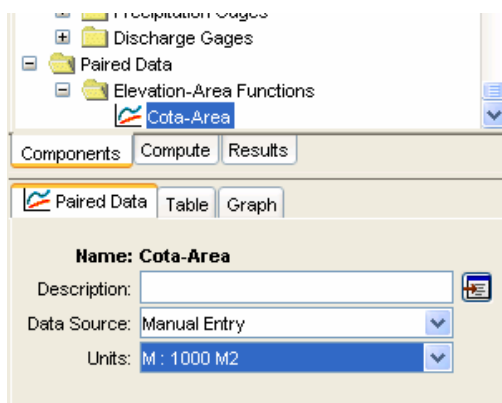


Crear curva Cota-Área

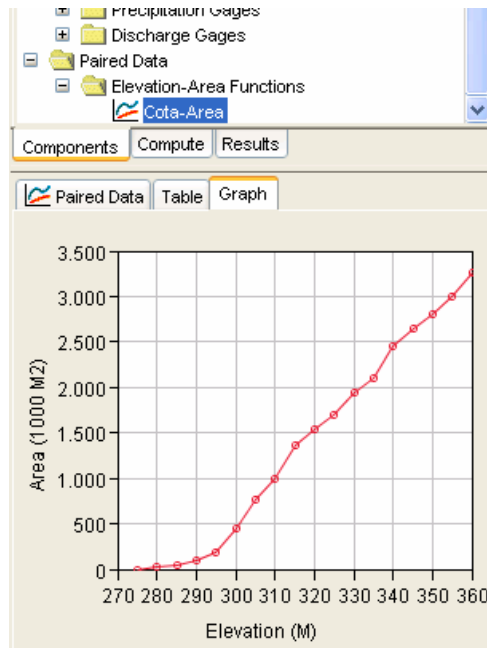
- Seleccionar Components/Paired Data Manager, seleccionar “Elevation-Area Functions”.
- Ingresar un nombre, por ej. “Cota-Area” y una descripción (no obligatoria).



- En el Explorador de Cuenca, aparecerá una carpeta nueva “Paired Data”, seleccionar “Elevation-Area Functions” y el icono “Cota-Area”.
- Aparecerán las características de los datos en el Editor de Componentes.
- Seleccionar “Manual Entry” para ingresar los datos manualmente y las unidades.



- Seleccionar la pestaña “Table” e ingresar los datos. Recordar que se puede copiar y pegar desde una hoja de cálculo.
- Una vez ingresados los datos, se pueden ver seleccionando la pestaña “Graph”.



Editar las características del embalse

- En el Explorador de Cuenca, seleccionar el icono “Reservoir-1”.
- En el Editor de Componentes aparecerán una lista de opciones, seleccionarla e ingresar la información necesaria

Basin Name: Embalse
Element Name: Reservoir-1

Description:

Downstream:

Method:

Storage Method:

Elev-Area Function:

Initial Condition:

Initial Elevation (M):

Tailwater:

Number Outlets:

Number Spillways:

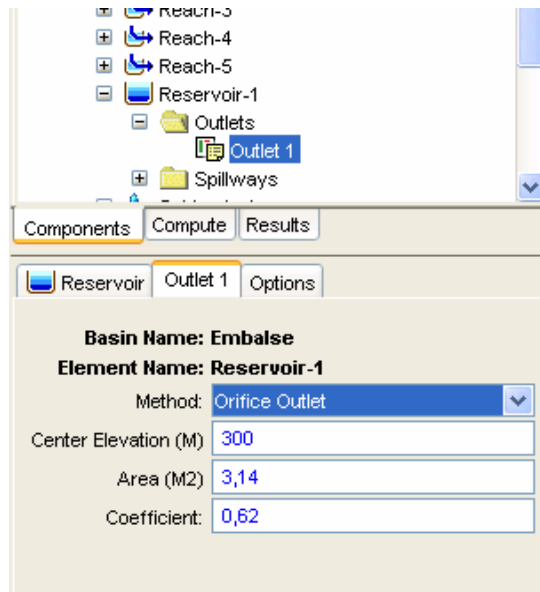
Number Dam Tops:

Number Pumps:

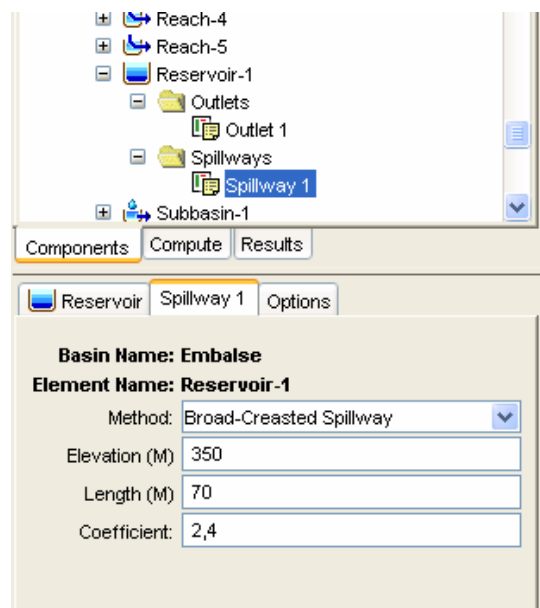
Include Dam Break:

Una vez hemos seleccionado un cierto número de salidas (Outlet) y aliviaderos (Spillway), aparecerán sendas carpetas “Outlets” y “Spillways” dentro de “Reservoir-1” en el Explorador de Cuenca.

- Seleccionar la carpeta “Outlets” y el icono “Outlet 1” para ingresar los datos de la salida por descargador de fondo.

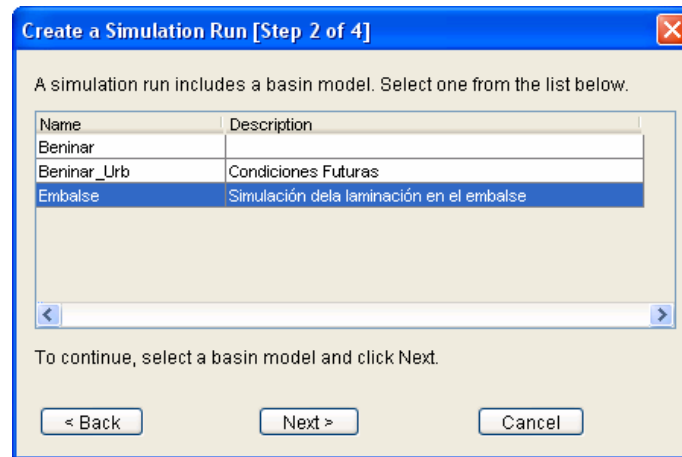


- Seleccionar la carpeta “Spillways” y el icono “Spillway 1” para ingresar los datos del aliviadero.



Crear la simulación

- Seleccionar Compute/Create Simulation Run, aparecerá una ventana para colocar el nombre de la simulación y su descripción.
- “Next” para continuar.



- Seleccionar el modelo de la cuenca, en este caso “Embalse”, Next para continuar.
- Seleccionar el modelo meteorológico, “Next” para continuar.
- Seleccionar las especificaciones de control, “Finish” para terminar.

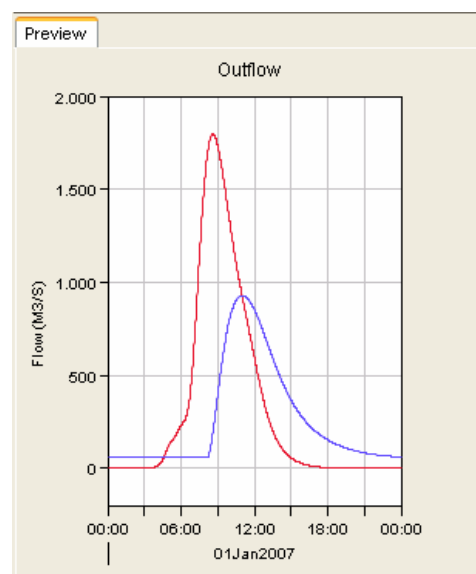
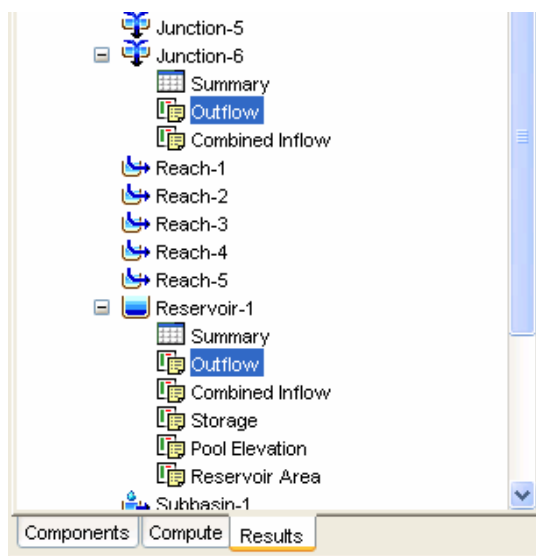
Ejecutar la simulación

- Seleccionar Compute/Select Run/Run 3.
- Seleccionar Compute/Compute Run [Run 3].
- Cuando finalice el cálculo cerrar la ventana.

Ver los resultados

La visualización de los resultados es similar a los casos anteriores.

- En el Explorador de Cuencas, seleccionar la pestaña “Results”.
- Dentro de la carpeta “Run 3”, en la salida de la cuenca “Junction-6”, seleccionar “Outflow”.
- Con la tecla “Ctrl” presionada, en “Reservoir-1”, seleccionar “Outflow”.
- Aparecerán ambos hidrogramas en una misma gráfica en el Editor de Componentes.



Es decir, que la respuesta a la cuestión planteada es que el embalse logra una disminución del caudal punta de 1796 a 927 m³/s y un retardo de 2 horas y media en el mismo, con la tormenta de proyecto de TR 100 años y con las condiciones indicadas en los datos.

9. ¿Qué es HEC-GeoHMS?

HEC-GeoHMS es una extensión para ArcView 3.x que ha sido desarrollada como un grupo de herramientas hidrológicas geoespaciales para ingenieros e hidrólogos con una limitada experiencia en sistemas de información geográfica (SIG). El programa permite visualizar información espacial, documentar características de la cuenca, realizar análisis espaciales, delinear cuencas y ríos, construir las entradas para modelos hidrológicos y ayudar en la preparación de informes. Trabajando con HEC-GeoHMS a través de sus interfaces, menús, herramientas, en un entorno con ventanas, el usuario puede crear rápidamente entradas hidrológicas que pueden usarse directamente con HEC-HMS.

10. ¿Para qué sirve HEC-GeoHMS?

HEC-GeoHMS se usa para procesar los datos de la cuenca después de haber realizado una preparación y compilación inicial de los datos del terreno. La preparación de los datos del SIG puede ser realizado con cualquier software estándar de SIG (ArcView, ArcGIS, etc) . HEC-GeoHMS no es una herramienta para preparación datos SIG. Ejemplos de datos necesarios para trabajar con HEC-GeoHMS incluyen un modelo digital de elevaciones (DEM), la localización digital de los cauces y de las estaciones de aforo. Cuando la preparación de los datos está lista, HEC-GeoHMS procesa al terreno y la información espacial para generar una serie de entradas hidrológicas, que le darán al usuario un modelo inicial para Hec-HMS. El usuario puede estimar los parámetros hidrológicos a partir de las características de la cuenca y los cauces, precipitación medida y datos de caudales. Además, el usuario de Hec-HMS tendrá plena libertad para modificar los elementos hidrológicos y su conectividad para representar más fielmente las condiciones reales.

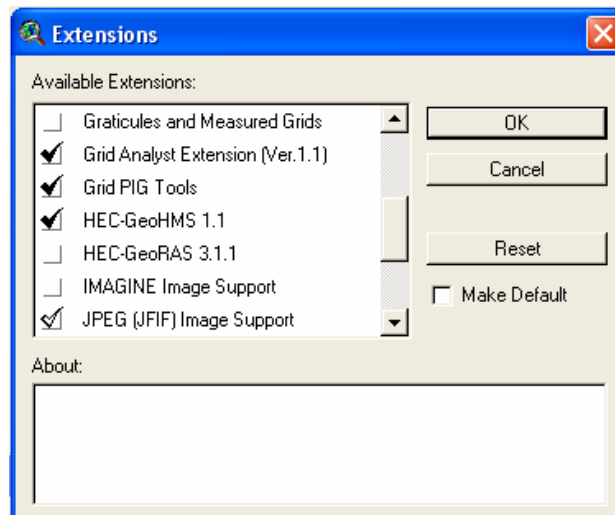
11. Instalación de HEC-GeoHMS

Antes de instalar HEC-GeoHMS, se debe instalar ArcView GIS 3.2 y la extensión Spatial Analyst. Utilizando la instalación automática, cuando se ejecuta el fichero de instalación se copian los ficheros en las carpetas de ArcView y Spatial Analyst correspondientes de forma automática.

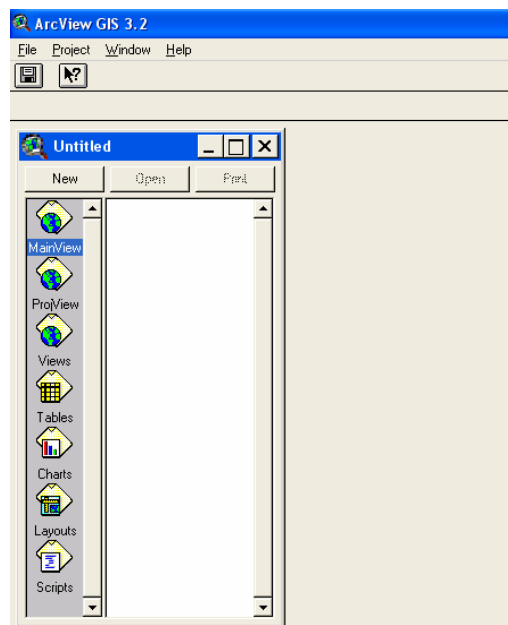
12. Carga de HEC-GeoHMS

Una vez se ha instalado HEC-GeoHMS, éste debe ser cargado dentro de ArcView. Para ello hay que abrir ArcView y cargar la extensión de HEC-GeoHMS de la siguiente forma:

- Seleccionar File/Extensions, aparecerá una ventana, buscar y activar la extensión HEC-GeoHMS 1.1
- OK para cerrar la ventana.



Con esta operación también se activa automáticamente la extensión Spatial Analyst. El efecto de esta operación es que se crean 2 tipos nuevos de documentos “Main View” y ProjView”, como se muestra a continuación.



13. Preprocesado del Terreno

En este paso el modelo del terreno se usa como entrada para obtener 8 conjuntos de datos que describen los patrones de drenaje de la cuenca y permiten la delineación de las subcuencas y la red de drenaje. Los primeros 5 son en formato “grid” (valores celda a celda o raster):

1. Flow direction
2. Flow accumulation
3. Stream definition
4. Stream segmentation
5. Watershed delineation

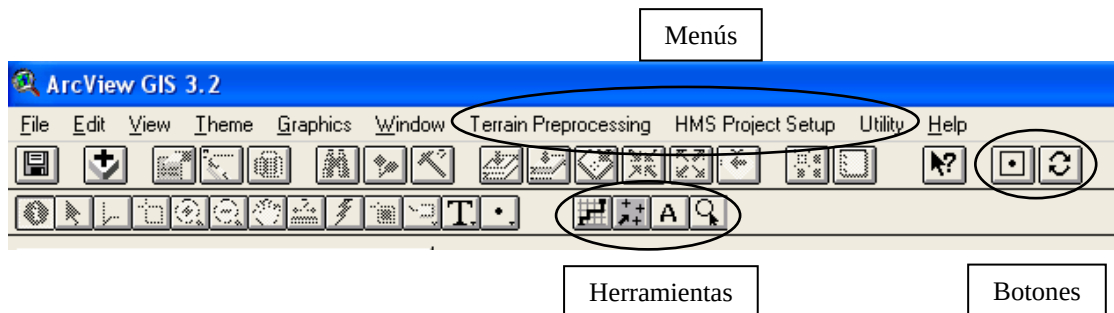
Los siguientes 2 son en formato “vector” (información de puntos y líneas):

1. Watershed polygons
2. Stream segments

El último, “aggregated watersheds” se usa para mejorar al “watershed delineation”.

14. Características y funciones

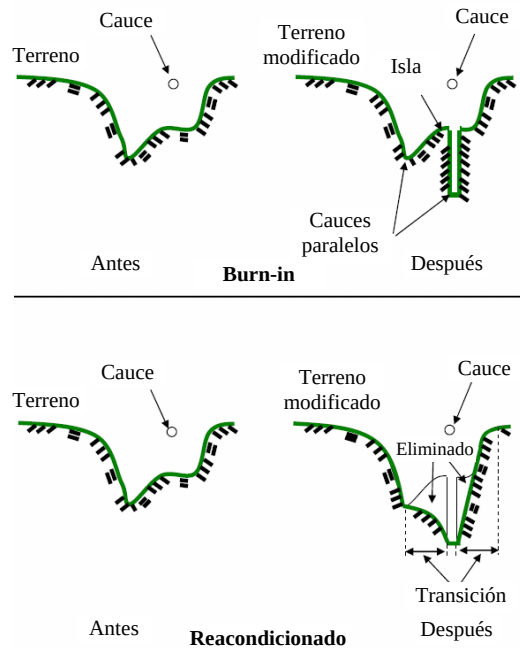
La extensión HEC-GeoHMS incorpora al programa ArcView una serie de menús: “Terrain preprocessing”, HMS Project Setup” y “Utility”, además de uso botones y herramientas que se muestran a continuación.



El preprocesado del terreno requiere un modelo del terreno que haya sido “corregido hidrológicamente”, para lo cual se usa un DEM “sin depresiones”

Reacondicionamiento del terreno (opcional)

Cuando tenemos un grid de la zona del estudio y además un tema vectorizado de ríos es posible que los cauces no coincidan exactamente con las depresiones, por lo que es necesario “forzar” a que la depresión esté donde el fichero de ríos nos indica. Esto se logra con la opción “Terrain reconditioning” permitiendo al usuario bajar la cota de la celda donde debería haber una depresión y además bajar gradualmente las celdas vecinas, como se muestra a continuación.



- Seleccionar Terrain Preprocessing/Terrain Reconditioning
- Confirmar que la entrada de “RawDEM” es “Fillgrid” y la de “AgreeStream” es “River.shp”. La salida será “AgreeDEM”.
- OK para aceptar.
- Luego se nos pedirán 3 parámetros:
 1. Celdas de transición (Vector buffer (cells)): es el número de celdas a cada lado del cauce donde ocurrirá se modificará la cota de las celdas para lograr la transición.
 2. Aumento o bajada suave (Smooth drop/raise): cantidad de unidades (en vertical) que el cauce se profundizará (si el número es positivo) o se elevará el cauce (si el número es negativo). Este número de usa para interpolar el DEM en la zona de transición.
 3. Aumento o bajada brusca (Sharp drop/raise): cantidad de unidades adicionales (en vertical) que el cauce se profundizará o elevará más allá de la zona de transición.
- Introducir los parámetros en la ventana correspondiente y OK para aceptar.

Para obtener óptimos resultados se recomienda hacer varias pasadas. Si no estamos seguros de los resultados que pueda ofrecer esta opción, puede obviarse.

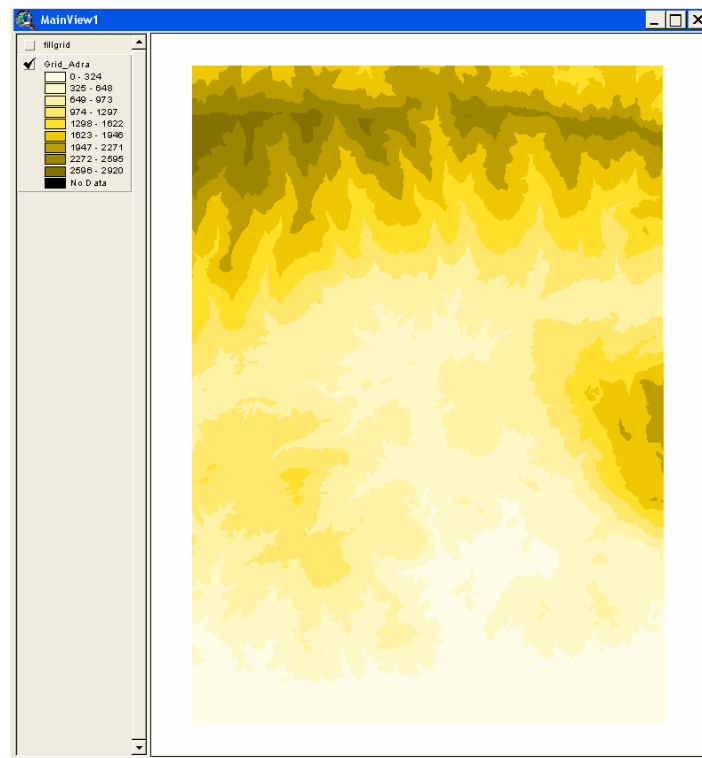
DEM sin depresiones

El DEM sin depresiones se crea rellenando las depresiones, es decir, aumentando la cota de las celdas que estén rodeadas completamente de celdas con mayor cota, asignándole a dicha celda la menor cota de las celdas circundantes. De esta manera el agua podrá fluir de una celda a otra sin “estancarse”.

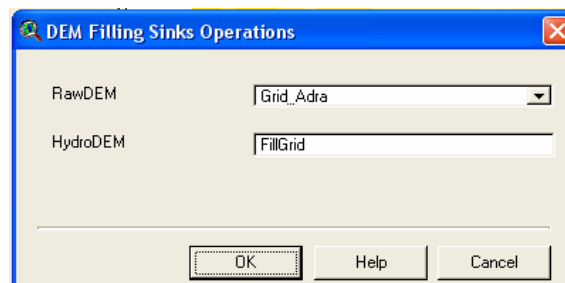
Para rellenar las depresiones hay que seguir los siguientes pasos:

- Agregar el DEM sin rellenar a “MainView” usando el icono “Add Theme” , o seleccionarlo en el menú “View”.

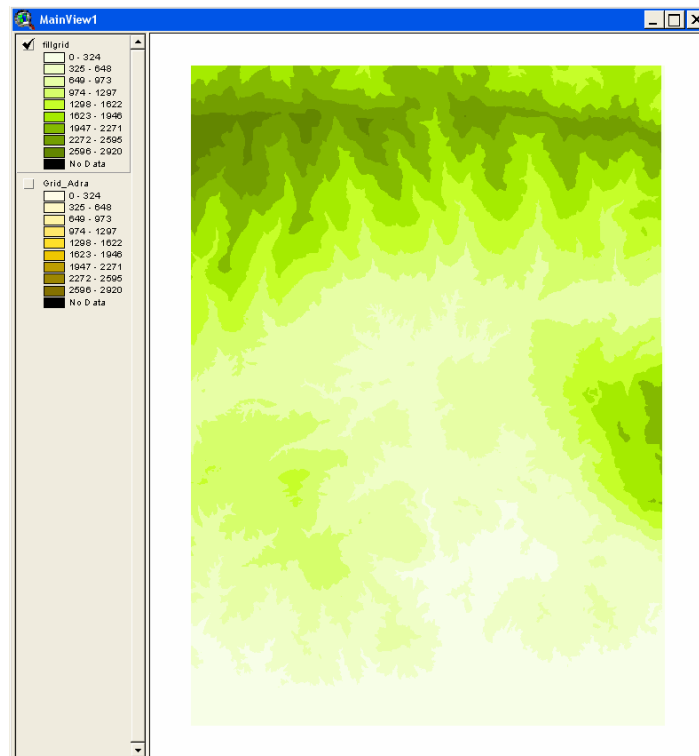
- Activar el grid cargado y seleccionar Terrain preprocessing/Fill Sinks.



- Confirmar el nombre del grid a ser rellenado y si se desea, editar el nombre de la salida.
- OK para aceptar.



El resultado es el tema “fillgrid”. Para que se muestre la leyenda, seleccionar Theme/Hide/Show Legend.



15. Proceso Paso a Paso

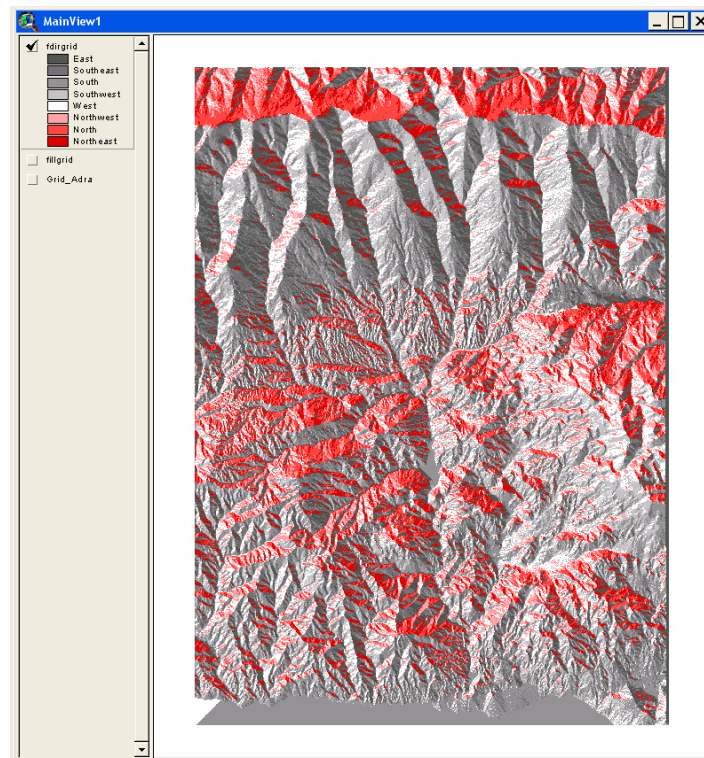
En este proceso se usa el DEM sin depresiones obtenido en el apartado anterior. En cada paso se usa la salida del paso anterior. Los pasos son los siguientes:

Flow direction

En este paso se define la dirección de la mayor pendiente, evaluando celda a celda las cotas de las celdas circundantes a cada una de ellas.

- Seleccionar Terrain Preprocessing/Flow direction.
- Confirmar que la entrada de HydroDEM es “fillgrid”. La salida será “FDirGrid”.
- OK para aceptar.

El resultado es el grid “FDirGrid”.

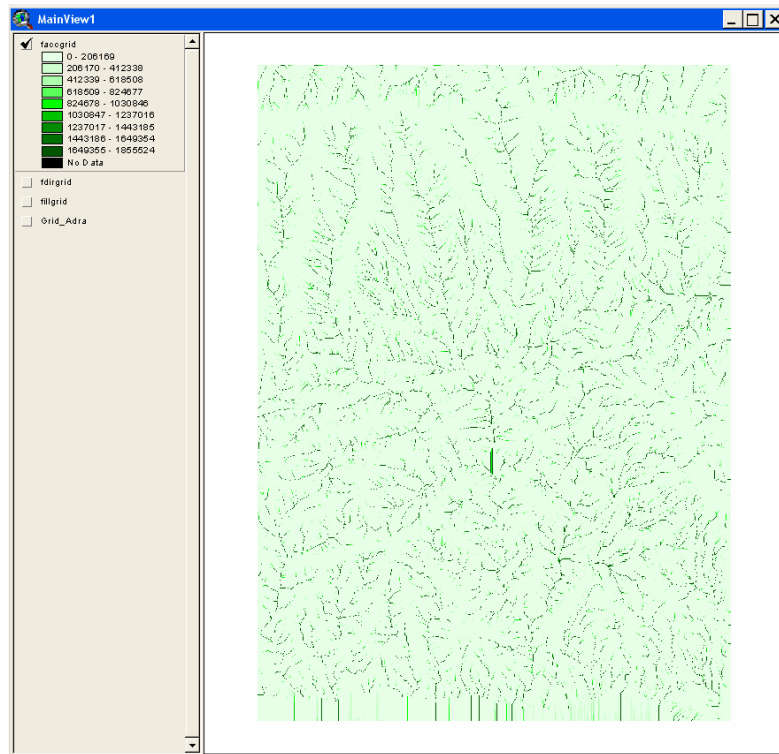


Flow Accumulation

Este paso determina el número de celdas que drenan a cada celda. El área de drenaje de una celda dada se puede calcular multiplicando el número de celdas por el área de cada celda.

- Seleccionar Terrain Preprocessing/Flow Accumulation
- Confirmar que la entrada de FlowDirGrid es “fdirgrid” y la salida será “FAccGrid”.
- OK para aceptar.

El resultado es el grid “FAccGrid”.



Stream Definition

Este paso clasifica todas las celdas con flujo procedente de un número de celdas mayor a un umbral definido por el usuario como pertenecientes a la red de drenaje. El umbral puede especificarse como área en unidades del DEM al cuadrado o como número de celdas. El valor por defecto del el 1% de la mayor área de drenaje de toda la cuenca y cuanto menor sea el umbral, mayor será el número de subcuencas que defina GeoHMS.

- Seleccionar View/Properties .
- En “Map Units” y “Distance Units” especificar “meters”.
- OK para aceptar.
- Seleccionar Terrain Preprocessing/Stream Definition
- Confirmar que la entrada de FlowAccGrid es “faccgrid” y la salida de StreamGrid es “StrGrid”.
- OK para aceptar.
- Aparecerá la ventana “Stream Threshold Definition” que es donde debemos definir el umbral. Elegir, por ejemplo, “Area in Distance Units squared” e ingresar el número deseado. Puede dejarse el valor por defecto, OK para aceptar.

El resultado es el grid “strgrid”.

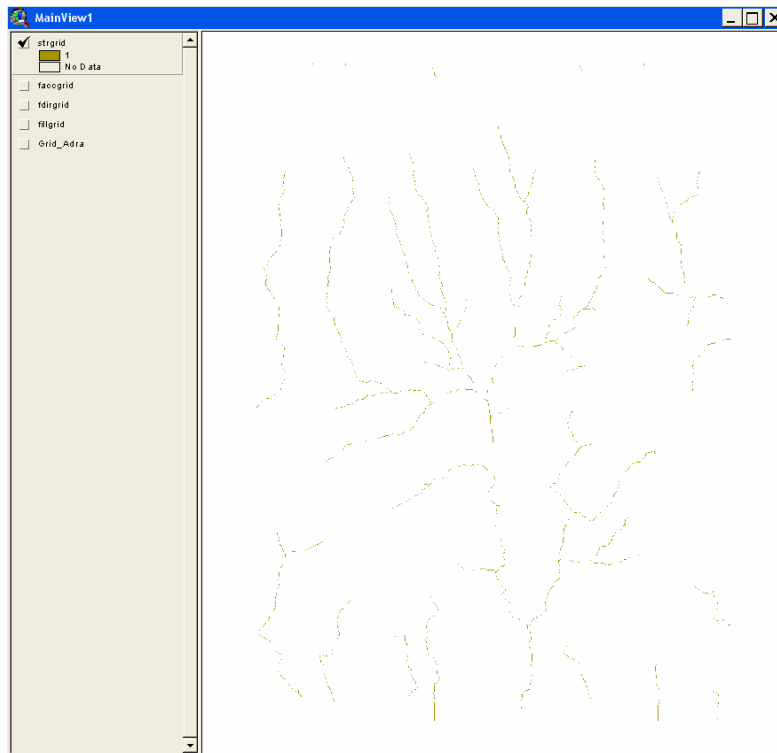
Stream Segmentation

Este paso divide los cauces en segmentos. Los segmentos son tramos de cauces situados entre 2 uniones de cauces sucesivas, una unión y la salida o una unión y el límite de la cuenca.

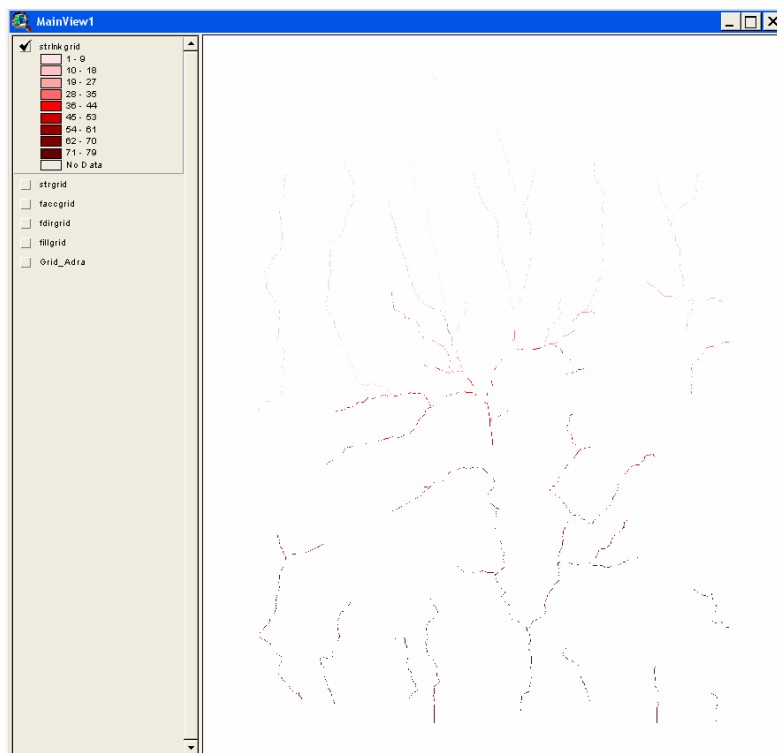
- Seleccionar Terrain Preprocessing/Stream Segmentation.
- Confirmar que la entrada de FlowDirGrid es “fdgrid” y de StreamGrid es “strgrid”. La salida de LinkGrid será “StrLnkGrid”.

- OK para aceptar.

El resultado de la operación se muestra a continuación.



Resultado de la operación Stream Definition



Resultado de la operación Stream Segmentation

Watershed delineation

Este paso define una cuenca por cada segmento de cauce.

- Seleccionar Terrain Preprocessing/Watershed Delineation
- Confirmar que la entrada de FlowDirGrid es “fdirgrid” y de LinkGrid es “strlnkgrid”. La salida de WaterGrid será “WShedGrid”.
- OK para aceptar.

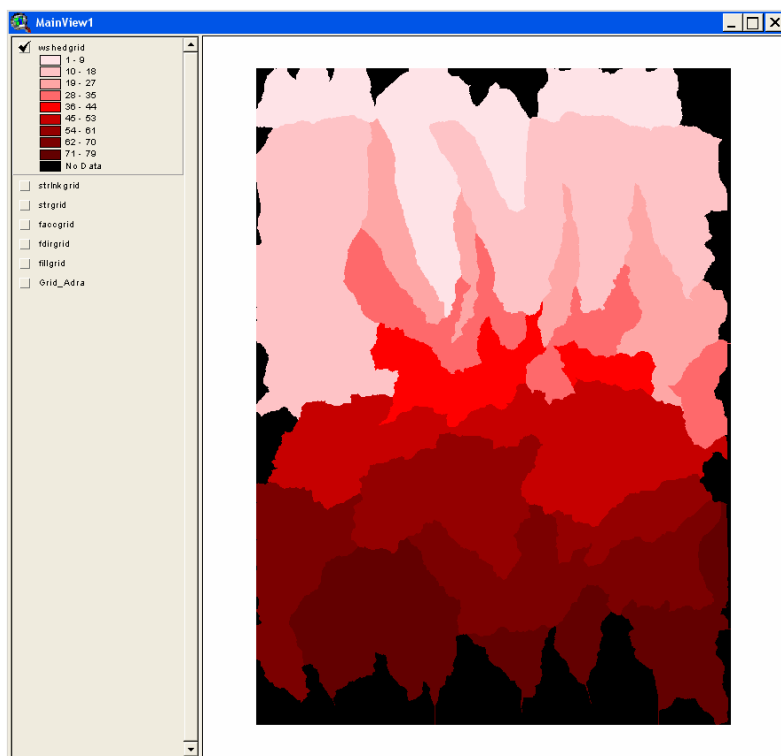
El resultado de la operación Watershed Delineation se muestra a continuación.

Watershed Polygon Processing

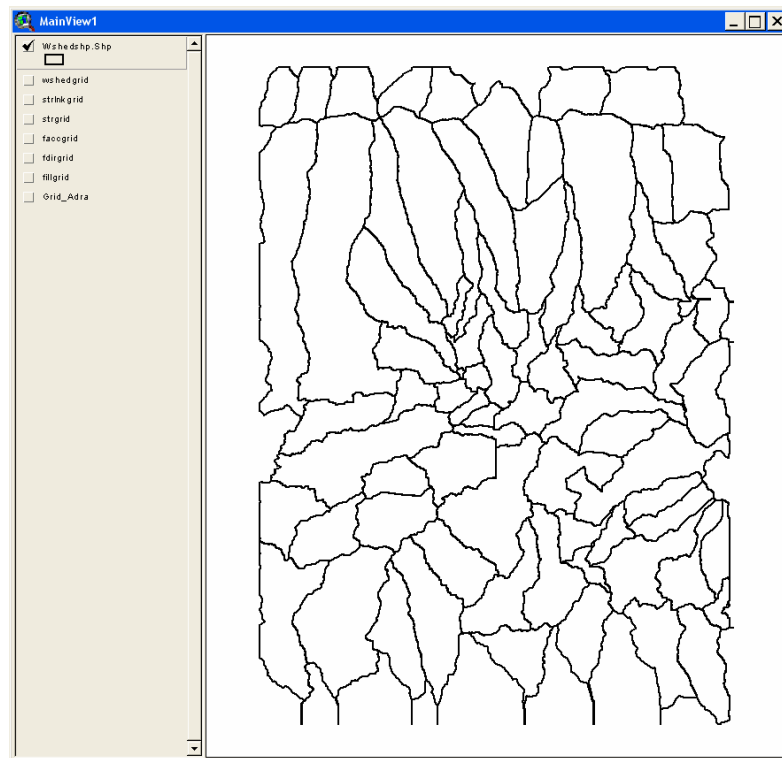
Este paso convierte las subcuencas de formato grid a formato vector.

- Seleccionar Terrain Preprocessing/Watershed Polygon Processing.
- Confirmar que la entrada de WaterGrid es “wshedgrid” y la salida de Watershed será “Wshedshp.Shp”.
- OK para aceptar.

El resultado de la operación es el tema “Wshedshp.shp” que se muestra a continuación.



Resultado de la operación Watershed Delineation.



Resultado de la operación Watershed Polygon Processing.

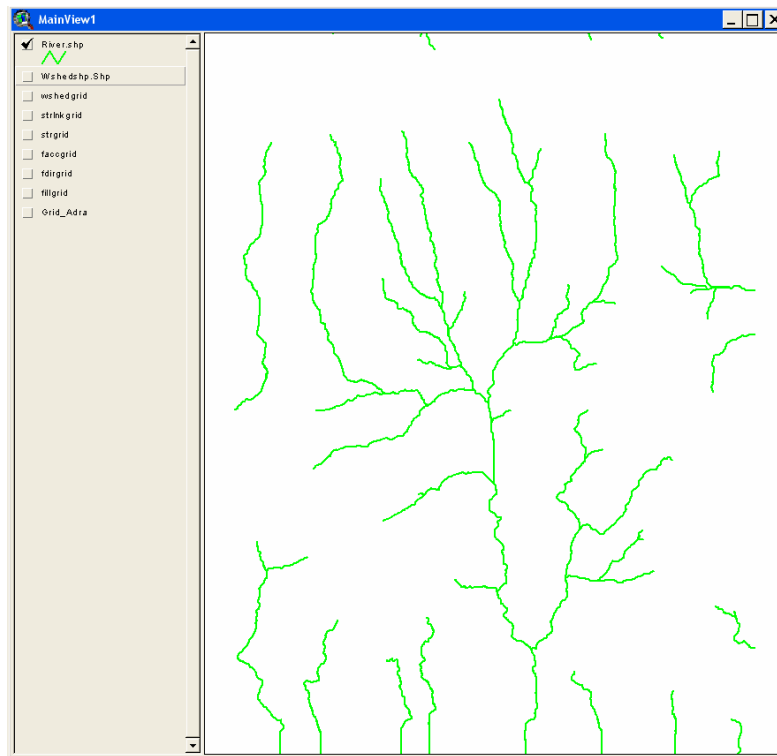
Stream Segment Processing

Este paso convierte los cauces de formato grid a formato vector.

- Seleccionar Terrain Preprocessing/Stream Segment Processing.
- Confirmar que la entrada de LinkGrid es “strlnkgrid” y de FlowDirGrid es “fdirgrid”. La salida de River será “River”.
- OK para aceptar.

Aparecerá una ventana que nos pregunta si el punto mostrado es una salida de una cuenca (outlet), si lo es ingresamos 1, de lo contrario ingresamos 2. Si no vemos muy bien de qué punto se trata se puede ampliar la zona de visualización con las opciones 3 y 4. Si contestamos siempre 1, el programa definirá la cuenca vertiente a cada salida y luego podemos editar las cuencas y subcuencas que nos interesen.

El resultado de la operación es el tema “River.shp” que se muestra a continuación.



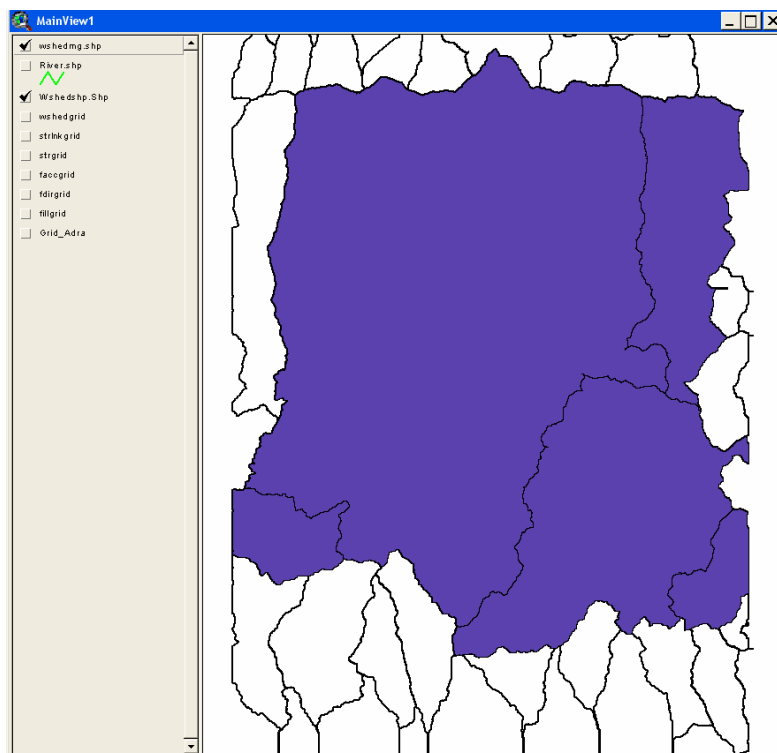
Resultado de la operación Stream Segment Processing.

Watershed Aggregation

Este paso aglutina las subcuencas que vierten a cada confluencia de cauces. Este paso es obligatorio y se realiza para mejorar la delineación de las subcuencas y la obtención de datos.

- Seleccionar Terrain Preprocessing/Watershed Aggregation
- Confirmar que la entrada de River es “River.shp” y de Watershed es “Wshed.shp”. La salida de AggregatedWatershed será “wshedmg.shp”.
- OK para aceptar.

El resultado de la operación es el tema “wshedmg.shp” que se muestra a continuación.



Resultado de la operación Watershed Aggregation.

16. Configuración del procesado completo

Aunque no se recomienda, los pasos anteriores también pueden realizarse todos de una sola vez. Si se ha realizado todo el proceso paso a paso anterior y quiere realizarse este también, hay que tener en cuenta que habrá que hacerlo creando otra “MainView”, cargando nuevamente del DEM inicial, luego seleccionar Terrain Preprocessing/Full Processing y cambiar el nombre a todos las entradas y salidas intermedias, ya que usará los mismos nombres por defectos que utilizamos en los pasos anteriores. En su momento, tendremos que introducir la misma información que nos fue solicitada en el procesado paso a paso y el resultado debería ser obviamente el mismo.

17. Exploración de datos con las herramientas y botones

Existen varios botones y herramientas que sirven para explorar y extraer datos.

Agregar temas nuevos

Con el botón agregar (Add Theme)  se pueden agregar temas nuevos, como por ejemplo, uno de cauces que puede estar disponible para nuestra zona, uno de estaciones meteorológicas, etc.

Encontrar el área

Con el botón encontrar área (Find Area)  se pueden encontrar los lugares de cada cauce que tienen un área de drenaje menor a una determinada. Para usar esta opción, se nos pedirá el tipo de medida que usaremos (área en kilómetros cuadrados o número de celdas).

Trazar el camino del flujo

Con el botón traza de flujo (Flow Trace) , se puede seguir el camino que tomará el agua que caiga en la celda seleccionada por el usuario.

Definir la cuenca vertiente a una celda

Con la herramienta delinear punto (Point Delineate) , se puede delinear la cuenca vertiente a un punto seleccionado por el usuario.

Identificar Área de drenaje

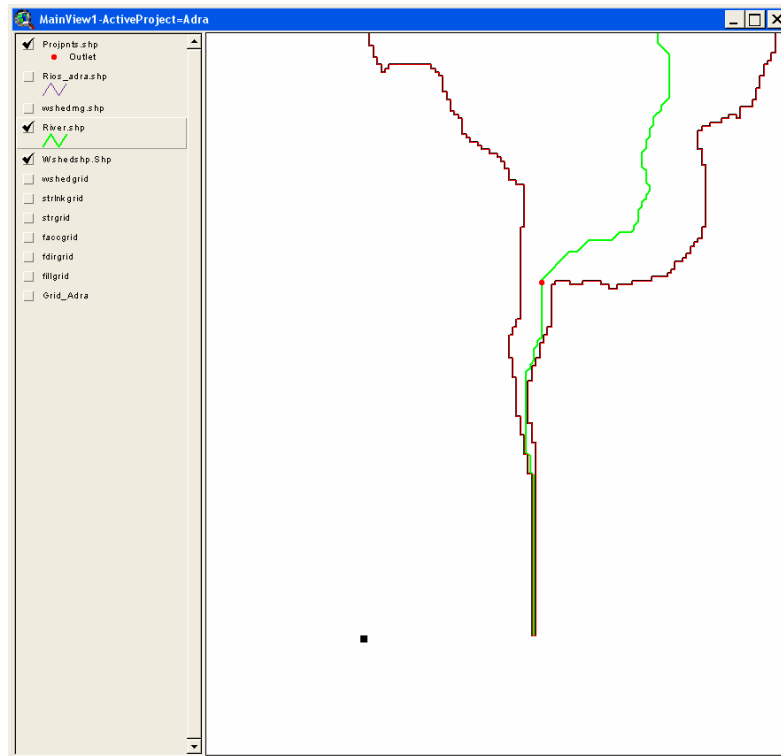
Seleccionando la herramienta identificar área de drenaje (Identify Contributing Area)  y luego una celda, teniendo seleccionado el grid “wshedgrid”, aparecerá en la esquina inferior izquierda el área de drenaje hacia esa celda.

18. Configuración del Modelo Hidrológico

El menú “HMS Project Setup” se encarga de extraer la información necesaria de base de datos espacial y crear un proyecto HMS. Se trata de la especificación de puntos de control a la salida de la cuenca, los cuales definen los tributarios de la cuenca. Dado que se pueden crear múltiples modelos de cuenca a partir de la misma base de datos espacial, estos modelos se gestionan a través de 2 temas: el de puntos del proyecto “ProjPnts.shp” y el de área de proyecto “ProjArea.shp”. La gestión de estos modelos muestran las regiones ya incluidas en un proyecto. Además, la gestión permite la re-creación de un área con diferentes umbrales o borrar el proyecto y los ficheros relacionados de forma ventajosa.

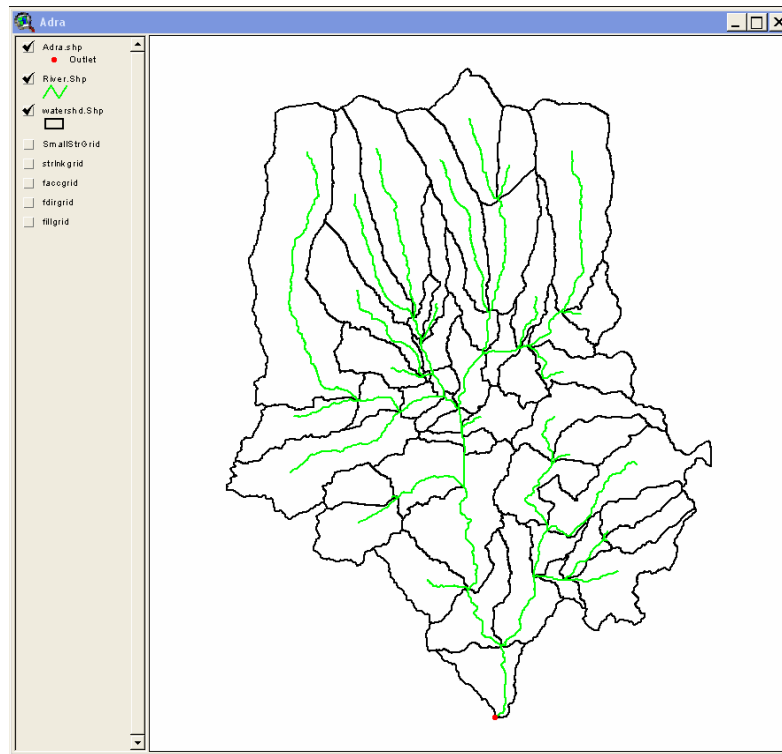
Comenzar un nuevo proyecto

- Seleccionar HMS Project Setup/Star New Project.
- Ingresar el nombre del proyecto
- Seleccionar el botón especificar punto de salida (Specify Outlet Point) 
- Especificar el punto de salida de la cuenca, como se muestra a continuación.



Localización de la salida de la cuenca.

- Aparecerá una ventana “Define New Project” donde se puede introducir un nombre.
- Seleccionar HMS Project Setup/Generate Project
- Seleccionar el método para generar el proyecto. Elegir “Original stream definition”. Las otras opciones son “A new threshold” (un nuevo umbral) y “Head basin area” (área de las cuencas cabeceras). La primera permite especificar un nuevo umbral para el proyecto y la segunda establecer que las áreas de la cabecera de la cuenca tengan un área igual al umbral.
- OK para aceptar
- Aparece la ventana “Create study area”, responder Yes.
- Usar el nombre del fichero por defecto “ProjArea.shp”.
- OK para aceptar
- Aparecerá una ventana de un documento tipo “ProjView” llamado con el nombre que le hayamos dado, en nuestro caso “Adra”, que se muestra a continuación.



Modelo hidrológico del proyecto creado.

En el documento ProjView llamado “Adra” se han extraído y creado los siguientes ficheros de datos:

- “fillgrid”: terreno extraído del área de estudio.
- “fdirgrid”: dirección del flujo extraído del área de estudio.
- “strlnkgrid”: segmentos de los cauces.
- “SmallStrGrid”: grid creado usando el 10% del umbral especificado, para ser usado con propósitos de visualización.
- “WaterShd.shp”: las subcuencas extraídas del área de estudio.
- “River.shp” segmentos de los cauces extraídos del área de estudio.
- “Adra.shp”: salida del proyecto que define el área de estudio.

Los ficheros terminados en grid son en formato raster (celda a celda) y los terminados con shp son temas “shape” de ArcView en formato vector.

19. Procesado de la Cuenca

Las herramientas descritas en este capítulo permiten unir o fusionar y subdividir subcuencas de forma interactiva así como delinear nuevas subcuencas.

Fusión de cuencas

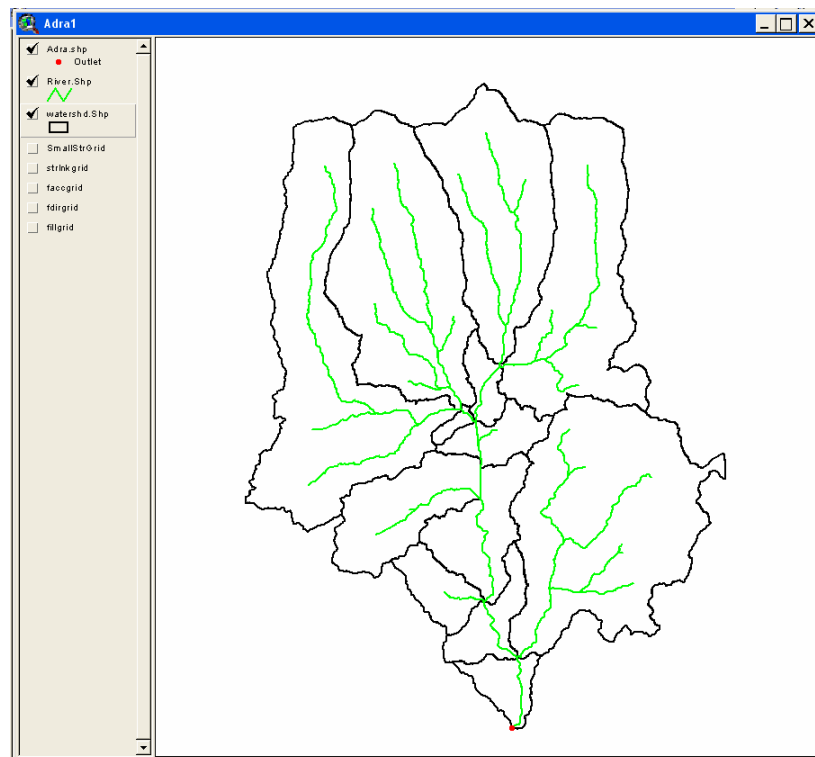
Esta operación puede realizar seleccionando Basin Processing/Basin Merge, y la fusión de cuencas sigue las siguientes reglas:

- Las subcuencas deben compartir una misma confluencia o
- Las subcuencas deben ser adyacentes en sentido aguas arriba-aguas abajo.
- Se permiten más de dos subcuencas

Los pasos a seguir son:

- Hacer activa la capa “WaterShd.shp”.
- Con la herramienta elegir elemento (Select Feature) , seleccionar las subcuencas a unir. Al seleccionar las subcuencas mantener presionada la tecla “Mayúsculas”.
- Seleccionar Basin Processing/Basin Merge.
- El resultado aparecerá rayado. Si estamos de acuerdo contestar Yes.

El resultado se muestra a continuación.



Resultado de unir cuencas.

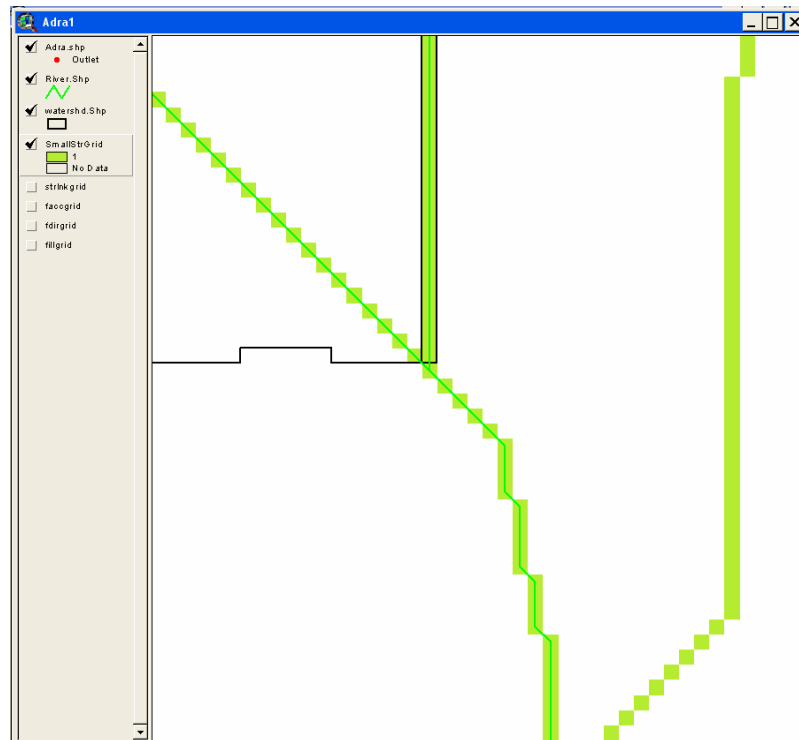
Subdivisión de cuencas

Las cuencas se pueden subdividir con la herramienta subdividir cuenca (Basin Subdivide) . Con un clic sobre este botón, se puede elegir un punto del cauce desde donde realizar la subdivisión y con Ctrl+clic se puede deseleccionar un punto no necesario. Se puede:

Subdividir sobre un cauce existente

- Hacer zoom sobre el área de interés, activar el tema “SmallStrGrid”, que representa la red de drenaje. Los cauces se muestran activando el tema “River.shp”.
- Seleccionar la herramienta  y hacer clic sobre la celda de interés.

- Aceptar el nombre por defecto de la nueva salida de cuenca o sobrescribirlo.
- OK para aceptar.
- Unos segundos después aparecerá una ventana para confirmar la división



Zoom realizado para poder elegir la celda desde donde definir una subcuenca.

Subdividir sobre un punto sin ser cauce

La misma herramienta  puede usarse para definir una subcuenca a partir de una celda que no esté definida como cauce

Subdividir sobre un tributario

La misma herramienta  puede usarse de similar forma para definir una subcuenca a partir de una celda que esté definida como tributario pero no como cauce.

Fusión de cauces

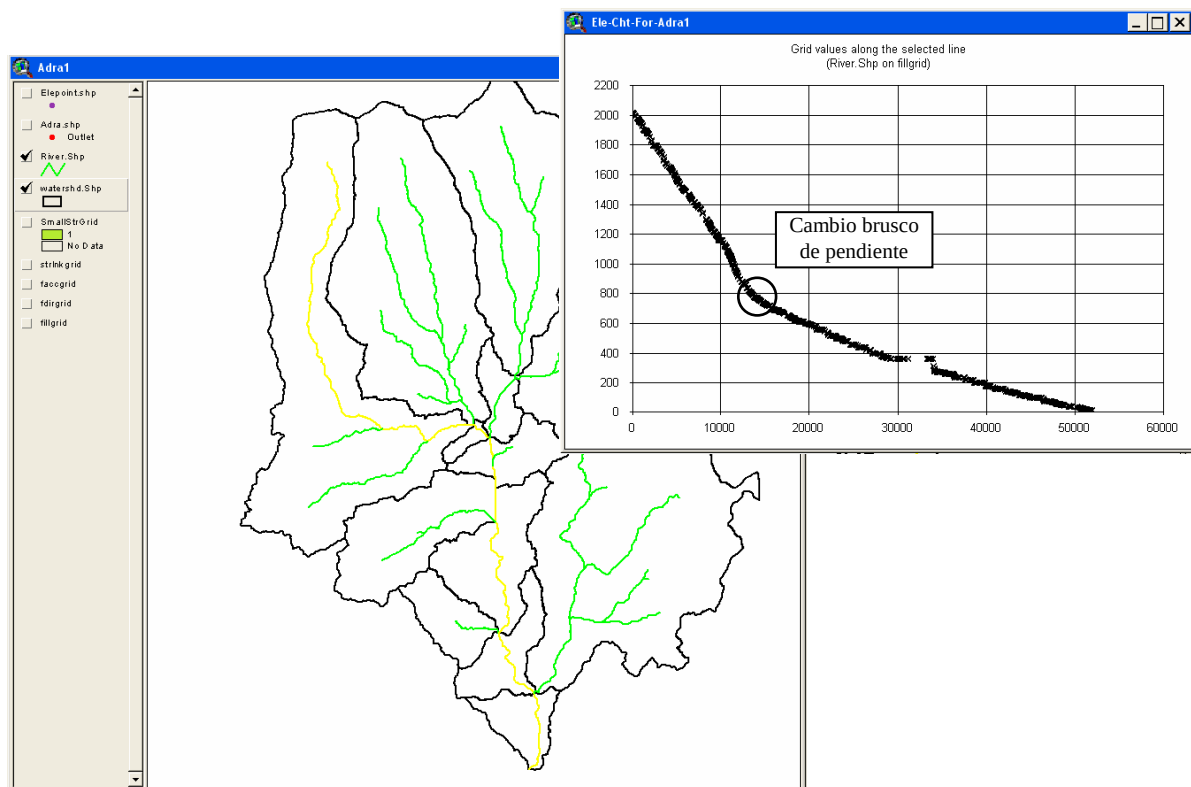
Cuando se realizan uniones y divisiones de cuenca, se suelen crear nuevos segmentos de cauce. La función unir cauces (River Merge) permite unir 2 segmentos de cauce que de otro modo, serían considerados por separado, debiendo incluir sus características por separado.

- Activar el tema “River.shp”
- Seleccionar los segmentos de cauce con la herramienta elegir (Select Feature) .
- Seleccionar Basin Processing/River Merge.
- Los segmentos seleccionados se convertirán en uno solo. El punto de referencia no se borra.

Perfil del cauce

La herramienta perfil del cauce (River Profile) da información de pendientes y cambios de pendientes que pueden usarse para delimitar subcuencas.

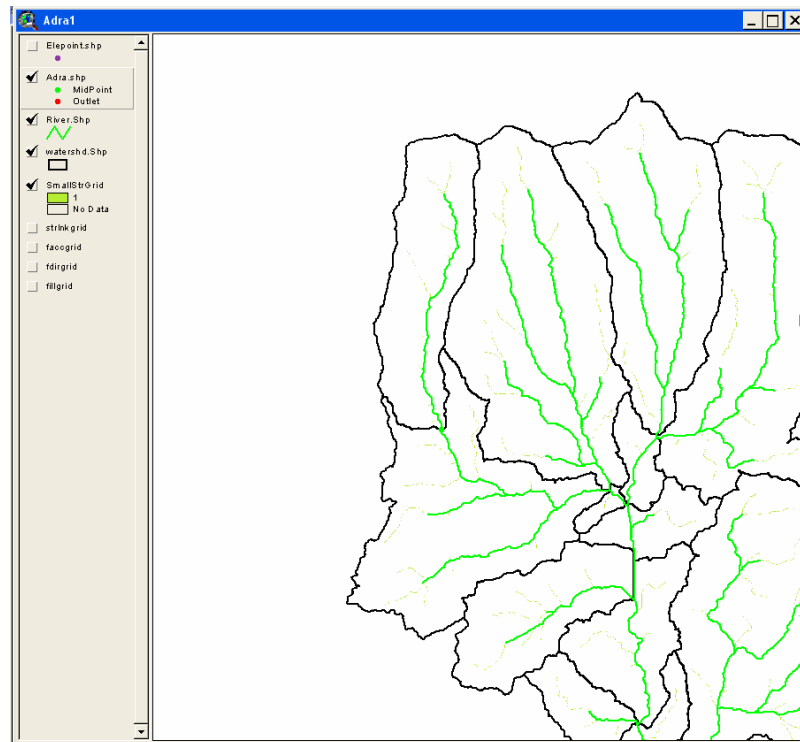
- Estando en el documento ProjView, activar el tema “River.shp”
- Seleccionar uno o varios segmentos de cauce contiguos con la herramienta elegir .
- Seleccionar Basin Processing/River Profile o bien seleccionar la herramienta perfil (Profile) .
- Hacer clic en el mapa en el segmento de cauce para obtener el perfil longitudinal del cauce, como se muestra a continuación.



Puede verse un cambio de pendiente alrededor de la abscisa 15000. Si se desea se puede dividir una cuenca a partir del perfil del cauce.

- Seleccionar la herramienta subdividir perfil (Profile Subdivide)  cuando el gráfico del perfil está activo y seleccionar un punto del gráfico del perfil.
- Ver el punto correspondiente cuando aparezca en el mapa.
- Si el resultado es el buscado aceptar clicando en “Yes”.
- OK para aceptar el nombre del punto por defecto o renombrar y aceptar.

El resultado se presenta a continuación.



Resultado de la división de subcuencas teniendo en cuenta el cambio de pendiente.

Separar cuencas en las confluencias

El comando separar cuencas en confluencias (Split Basins at Confluences) permite dividir una cuenca en subcuencas en una confluencia de cauces. Las reglas son:

- Sólo se puede seleccionar una cuenca para cada operación.
- Este comando se puede usar con una cuenca que tenga múltiples confluencias.

Los pasos son:

Activar el tema “WaterShd.shp” sobre el documento ProjView.

Seleccionar la cuenca que contenga una confluencia.

Seleccionar Basin Processing/Split Basins at Confluences

Esta operación crea 3 subcuencas, una por cada rama de la confluencia.

20. Características de la Cuenca y su Red de Drenaje

HEC-GeoHMS calcula varias características topográficas de los cauces y las cuencas. Estas características son útiles para comparar cuencas entre sí y estimar parámetros hidrológicos. El usuario debe verificar las características físicas con la información publicada antes de estimar los parámetros hidrológicos. Las características físicas de la cuenca y los cauces se almacenan en tablas de atributos, las cuales pueden ser exportadas para ser usadas en hojas de cálculo y otros programas.

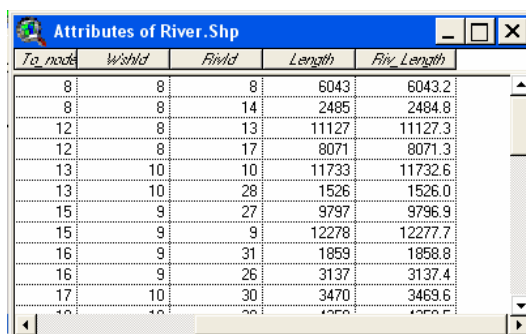
Longitud de los cauces

Esta operación calcula la longitud de los cauces de todas las subcuencas y los cauces de propagación contenidos en el tema “River.shp”. Las longitudes calculadas se agregan a la tabla de atributos. En esta tabla ya existe una longitud calculada con los datos del fichero raster. Esta operación lo hace a partir del fichero en formato vector.

Seleccionar Basin Characteristics/River Length

OK para aceptar

El resultado se muestra en la columna “Riv_Length” de la tabla de atributos, como se muestra a continuación. Para ver la tabla de atributos, con el tema activado seleccionar Theme/Table.



To_node	Wshld	Rivld	Length	Riv_Length
8	8	8	6043	6043.2
8	8	14	2485	2484.8
12	8	13	11127	11127.3
12	8	17	8071	8071.3
13	10	10	11733	11732.6
13	10	28	1526	1526.0
15	9	27	9797	9796.9
15	9	9	12278	12277.7
16	9	31	1859	1858.8
16	9	26	3137	3137.4
17	10	30	3470	3469.6

Pendiente de los cauces

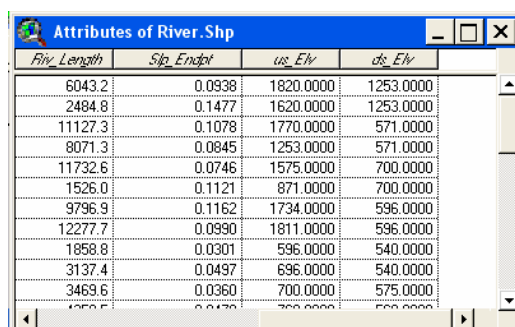
Esta operación extrae las cotas de aguas arriba y aguas debajo de los cauces y calcula la pendiente media. Esta información se agrega a la tabla de atributos como en el caso anterior.

Seleccionar Basin Characteristics/River Slope.

Seleccionar como unidades verticales el metro.

OK para aceptar 2 veces.

El resultado se muestra en la tabla de atributos en las columnas “us_Elv”, ds_Elv” y Slp_Endpt”, como se muestra a continuación.



Riv_Length	Slp_Endpt	us_Elv	ds_Elv
6043.2	0.0938	1820.0000	1253.0000
2484.8	0.1477	1620.0000	1253.0000
11127.3	0.1078	1770.0000	571.0000
8071.3	0.0845	1253.0000	571.0000
11732.6	0.0746	1575.0000	700.0000
1526.0	0.1121	871.0000	700.0000
9796.9	0.1162	1734.0000	596.0000
12277.7	0.0990	1811.0000	596.0000
1858.8	0.0301	596.0000	540.0000
3137.4	0.0497	696.0000	540.0000
3469.6	0.0360	700.0000	575.0000

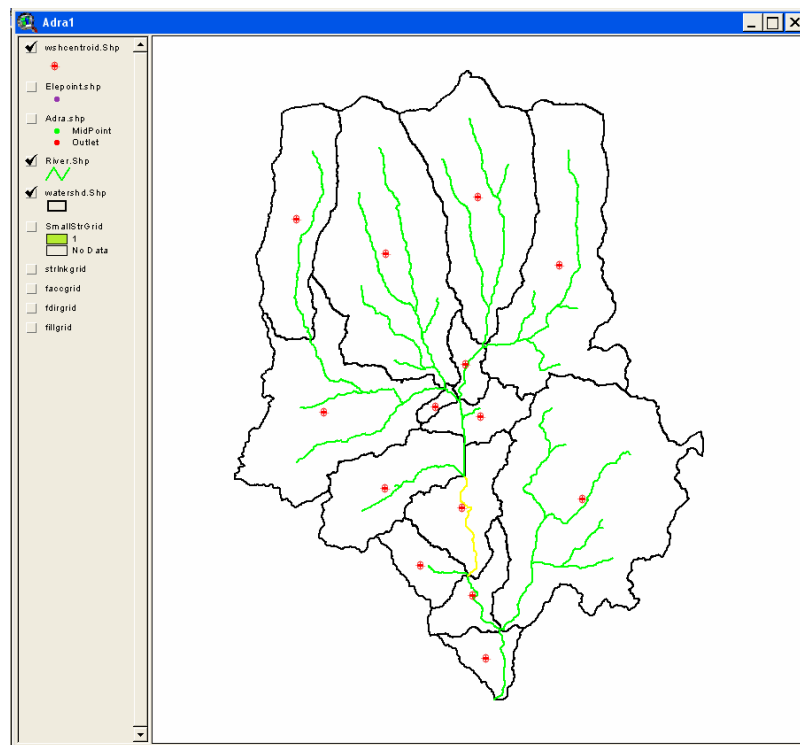
Centroide de las subcuencas

La ubicación del centroide de las subcuencas puede estimarse de 4 maneras:

1. **Bounding Box:** asemeja la subcuenca a un rectángulo y le asigna a la cuenca el centroide del rectángulo.
2. **Elipse:** asemeja la subcuenca a una elipse y le asigna a la cuenca el centroide de la elipse (funciona para menos de 2.000.000 de celdas).
3. **Camino de flujo:** dibuja el camino del flujo más largo de la cuenca y asume que el centroide coincide con el punto medio de ese camino.
4. **Especificado por el usuario:** si los métodos anteriores no son satisfactorios, el usuario puede mover el centroide a cualquier punto dentro de la subcuenca.

- Seleccionar Basin Characteristics/Basin Centroid
- Confirmar las 3 entradas y la salida
- OK para aceptar
- Elegir el método preferido por el usuario
- OK para aceptar 2 veces.

El resultado es un tema de puntos llamado “WshCentroid.shp” que se muestra a continuación.



La cota del centroide se calcula y almacena en la tabla de atributos de “WshCentroid.shp” y también en la de “WaterShd.shp”.

Para mover un centroide:

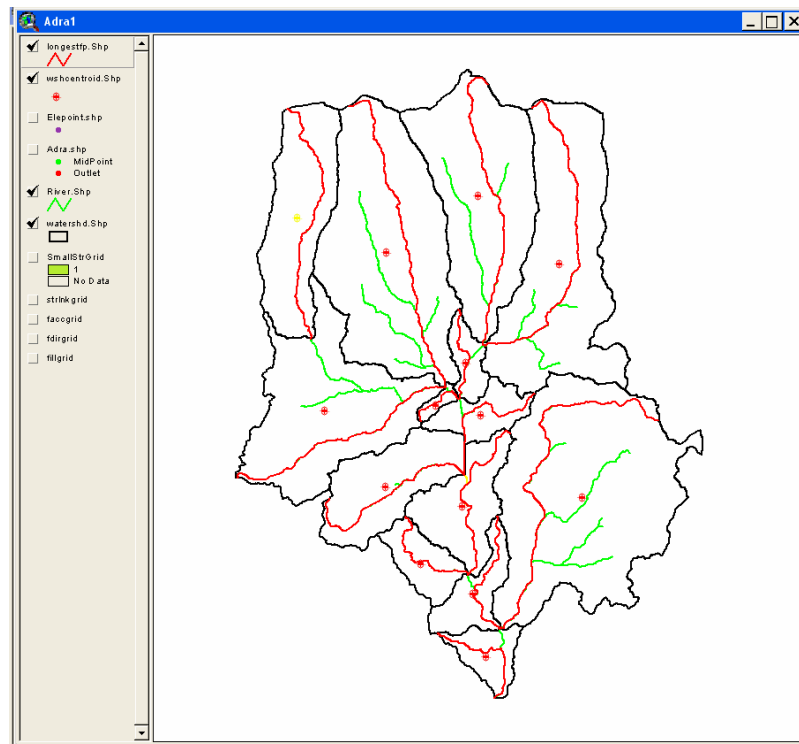
- Activar el tema “wshcentroid.shp”
- Seleccionar Theme/Start editing
- Cuando un tema está siendo editado aparece la caja de la izquierda sombreada.
- Usar el puntero para seleccionar el centroide que se quiere mover
- El puntero se convierte en una flecha doble.
- Clic y arrastrar el centroid a otro lugar.
- Para terminar de editar y guardar los cambios, seleccionar Theme/Stop Editing.
- Seleccionar Basin Characteristics/Centroid Elevation Update.

Camino más largo del flujo

La operación camino más largo del flujo (Longest Flow Path) calcula las siguientes características físicas de la cuenca: longitud más larga de flujo, cota de aguas arriba, cota de aguas abajo, pendiente entre extremos, pendiente entre el 10% y el 85% del camino más largo de flujo. Estas características se almacenan en el tema “WaterShd.shp”.

- Seleccionar Basin characteristics/Longest Flow Path
- OK para aceptar

El resultado de esta operación es el tema de línea “longestfp.shp”, que se muestra a continuación.

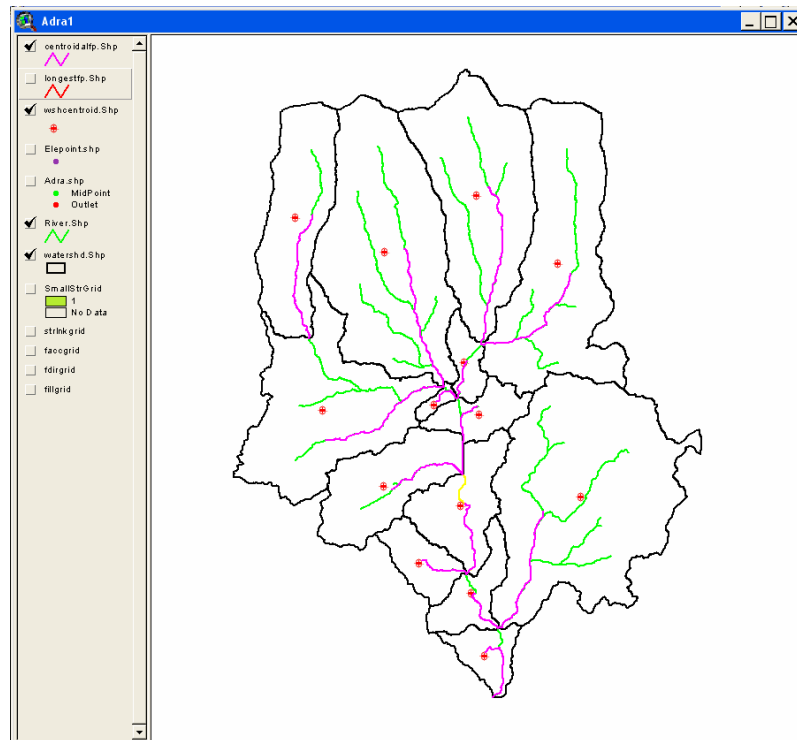


Camino del flujo desde el centroide

La operación Centroidal Flow Path calcula el camino del flujo desde el centroide, proyectando el centroide en el camino más largo de flujo.

- Seleccionar Basin Characteristics/Centroidal Flow Path.
- Verificar los 5 ficheros de entrada y el de salida, OK para aceptar.
- OK para aceptar.

El resultado de la operación es el tema de línea “centroidalfp.shp” que se muestra a continuación. La longitud calculada se almacena en las tablas de atributos de “centroidalfp.shp” y de “WaterShd.shp” en la columna “CentroidalFL”.



21. Estimación de Parámetros Hidrológicos

La extensión HEC-GeoHMS permite la estimación de varios parámetros importantes, pero lamentablemente está preparado para utilizar datos que están ampliamente disponibles en Estados Unidos pero no en otros países, como por ejemplo España. A continuación se comentarán las funciones y la información necesaria para ejecutarlas.

Número de curva (CN) de la subcuenca

Necesita información de usos del suelo y tipos de suelo que debe prepararse según se detalla en los apéndices E, F, y G del manual en inglés (HEC, 2003).

Procesado del grid ModClark por subcuencas

Necesita información de las proyecciones en las que está georeferenciado el DEM de base y genera un fichero con un grid de igual resolución que la de los datos de radar (2x2 km). Si no se tienen datos de radar disponibles no merece la pena realizar esta operación.

Parámetros de Muskingum-Cunge

Esta función facilita el proceso de estimación de parámetros para ser usados en el método de propagación de Muskingum-Cunge, considerando el cauce de forma prismática. Debido a que la información que provee el DEM es muy grosera ($20 \times 20 \text{ m}^2$) no se puede extraer esta información de él, pero si se tienen fotografías o levantamientos fotográficos de los cauces puede hacerse una estimación de los parámetros.

- Seleccionar al menos un tramo de cauce.
- Seleccionar Hydrologic Parameters/Muskingum-Cunge Parameter.
- Ingresar la información de ancho del fondo del canal, pendientes de los cajeros (permite sólo 1) y coeficiente de rugosidad de Manning.

Esta función crea en el tema “River.shp” las columnas “ChnSdSlp”, “ChnWidth”, ChnShape” y ChnManN.

Tiempo de concentración

En esta función se usa la metodología TR55 del NRCS (National Resources Conservation Service) y necesita la lluvia en 24 horas con un periodo de retorno de 2 años, las pendientes, las distancias de flujo del exceso de precipitación (precipitación neta) para los 3 flujos: flujo en lámina, flujo en lámina concentrado y flujo en el cauce.

Esta función genera finalmente una columna “TC” con los tiempos de concentración en horas en la tabla de atributos del tema “Watershd.shp”, por lo que pueden calcularse los tiempos de concentración con una hoja de cálculo y luego agregarlos a dicha tabla o bien luego agregarlos manualmente en HMS.

Tiempo de retardo de la cuenca

Esta función calcula el tiempo de retardo de cada una de las cuencas, usando como base la pendiente media de la cuenca y una fórmula del NRCS Matinal Engineering Handbook. Esta fórmula está limitada a cuencas con un CN mayor a 50 y áreas inferiores a 8 km² (2000 acres) y ha sido obtenida con datos de cuencas americanas, por lo que se aconseja calcular este parámetro con otro método contrastado para el lugar de aplicación.

El resultado se agrega a la tabla de atributos del tema “Watershd.shp” en la columna “BasinLag” en horas.

22. Entradas para HEC-HMS

HEC-GeoHMS desarrolla una serie de entradas hidrológicas para HEC-HMS que son:

- Archivo de mapa de fondo
- Archivo de esquema de la cuenca agregada
- Archivo de parámetros por celdas
- Archivo de esquema de la cuenca distribuida

Estos pasos deben incluir un proceso de nombrado automático de tramos y subcuencas, revisar errores en la cuenca y conectividad de los cauces para poder producir el esquema de la cuenca.

Autonombrado de tramos de cauces

Este proceso nombra a los tramos de cauce en una secuencia desde aguas arriba a aguas abajo. La convención de nombres combina la letra “R” y un número. Estos nombres más tarde puede cambiarlos por otros más descriptivos.

- Seleccionar HMS/River AutoName
- OK para aceptar

El resultado de la operación es la creación de una columna “Name” en la tabla de atributos de “River.shp”.

Para editar los nombres de la tabla de atributos se deben seguir los siguientes pasos:

- Abrir y activar la tabla de atributos “River.shp”
- Seleccionar Table/Star Editing
- Seleccionar la herramienta de edición
- Clicar en el campo que se quiere cambiar y cambiarlo
- Cuando se termina con los cambios, seleccionar Table/Stop Editing
- El programa preguntará “Save Edits?” (guardar edición), Yes para guardar y No para cancelar los cambios

Autonombrado de Cuencas

Este proceso nombra a las subcuencas en una secuencia desde aguas arriba a aguas abajo. La convención de nombres agrega “W” + 10, 20, etc. al nombre del tramo que recibe el flujo de la subcuenca. El usuario luego puede cambiar estos nombres.

- Seleccionar HMS/Basin AutoName
- OK para aceptar

El resultado es la creación de una columna “Name” en la tabla de atributos de “Watershd.shp”.

Unidades del Mapa a HMS

Este paso convierte las características físicas de los tramos y subcuencas de unidades del mapa a unidades de HMS. La unidad del mapa es la de los datos de ArcView, generalmente los datos del terreno están dados en metros. El usuario tiene la opción de convertir las unidades del mapa a unidades del sistema inglés o del Sistema Internacional (SI).

En la Tabla 10 se muestra una lista de las unidades que utiliza HMS para las diferentes características de los tramos y las cuencas.

- Seleccionar HMS/Map to HMS Units
- Seleccionar “SI Unit”, OK para aceptar

El resultado es la creación de 3 columnas en la tabla de atributos del cauce y de 6 columnas en la de la cuenca.

Tabla 10: Unidades utilizadas por HMS.

	Característica física (encabezamiento en la tabla)	Unidades Inglesas (encabezamiento)	Unidades SI (encabezamiento)
Cauces (River.shp)	Longitud (Riv_Length)	Pies (Riv_Length_HMS)	Metros (Riv_Length_HMS)
	Cota aguas arriba (US_Elv)	Pies (US_Elv_HMS)	Metros (US_Elv_HMS)
	Cota aguas abajo (DS_Elv)	Pies (DS_Elv_HMS)	Metros (DS_Elv_HMS)
Cuenca (WaterShd.shp)	Área (Area)	Milas cuadradas (Area_HMS)	Kilómetros cuadrados (Area_HMS)
	Cota del centroide (Elevation)	Pies (Elevation_HMS)	Metros (Elevation_HMS)
	Longitud de flujo más largo (LongestFL)	Pies (LongestFL_HMS)	Metros (LongestFL_HMS)
	Cota aguas arriba (USElv)	Pies (USElv_HMS)	Metros (USElv_HMS)
	Cota aguas abajo (DSElv)	Pies (DSElv_HMS)	Metros (DSElv_HMS)
	Longitud de flujo desde el centroide (CentroidalFL)	Pies (CentroidalFL_HMS)	Metros (CentroidalFL_HMS)

Control de los datos de HMS

Este paso controla la consistencia de los conjuntos de datos para describir la estructura hidrológica del modelo. Por ejemplo, controla que los tramos, subcuencas y puntos de salida tengan nombres únicos. Este control es necesario porque la relación entre los elementos hidrológicos puede haberse roto sin intención al haber usado alguna de las herramientas de edición.

Los resultados de esta operación se guardan en un fichero de texto “SkelConsChk.txt” que presenta los resultados, resumidos por grupos de elementos. Este paso NO CORRIGE los errores, pero pueden localizarse y arreglarse ya sea en GeoHMS o bien en HMS.

- Seleccionar HMS/HMS check Data.
- Revisar los nombre de los ficheros que serán revisados.
- Anotar el nombre del fichero y su localización.
- OK para aceptar.

Los resultados pueden leerse con cualquier editor de texto. Generalmente, los problemas que suelen presentarse tienen que ver con haber cambiado los nombres de los elementos.

Esquema de la Cuenca para HEC-HMS

El esquema de la cuenca para HMS es la representación de SIG del modelo hidrológico de la cuenca, con sus elementos y conectividades. Este paso crea un tema de puntos “HMSPoint.shp”, y un tema de línea “HMSConnect.shp”. “HMSPoint.shp” contiene las ubicaciones de los iconos de las subcuencas (centroide de la subcuenca), salidas y uniones de cauces. “HMSConnect.shp” contiene los conectores de las subcuencas y los tramos.

- Seleccionar HMS/HMS Schematic
- Revisar los nombre de los ficheros de entrada y salida

- OK para aceptar

Leyenda de HMS

Este proceso usa la simbología de HMS para describir los elementos hidrológicos. Puede elegirse entre “HMS Legend” o “Regular Legend”.

- Seleccionar HMS/HMS Legend o HMS/Regular Legend según el caso
- OK para aceptar

Agregar coordenadas

Este paso agrega coordenadas geográficas a los elementos hidrológicos en las tablas de atributos de “HMSPoint.shp” y “HMSConnect.shp”

- Seleccionar HMS/Add Coordinates
- OK para aceptar

Archivo de Mapa de fondo

El archivo de mapa de fondo captura la información geográfica de los límites de las subcuencas y cauces a un fichero de texto ASCII que puede ser leído por HMS.

- Seleccionar HMS/Background Map File
- Anotar el nombre del fichero y su localización
- OK para aceptar

Modelo de la Cuenca agregado

El modelo de la cuenca agregado captura los elementos hidrológicos, sus conectividades y la información geográfica relacionada a un fichero de texto ASCII que puede ser leído por HMS. Este modelo de la cuenca puede ser usado con parámetros agregados, no distribuidos. Los modelos agregados no pueden usar el método ModClark para transformación lluvia-caudal.

- Seleccionar HMS/Lumped Basin Model
- Anotar el nombre del fichero y su localización
- OK para aceptar

Fichero de parámetros distribuidos (no obligatorio)

Esta función genera el fichero de parámetros distribuidos ModClark, que representa las subcuencas y celdas para ser usados con la modelación distribuida. El resultado es la creación de un fichero ASCII llamado “ProjectName.mod” que contiene información de la cuenca celda a celda. Este fichero se ha extendido para incluir los datos del número de curva (CN) del SCS celda a celda.

Esta función requiere como entrada el tema “ModClark”.

- Seleccionar HMS/Grid Cell Parameter File
- Anotar el nombre del fichero y su ubicación
- OK para aceptar

Modelo distribuido de la Cuenca (no obligatorio)

El modelo distribuido de la cuenca tiene rotulaciones adicionales que referencian las subcuencas descritas celda a celda con el fichero de parámetros celda a celda. Con este modelo pueden usarse el método ModClark de transformación lluvia-caudal y el de precipitación celda a celda.

- Seleccionar HMS/Distributed-Basin Model
- Anotar el nombre de fichero y su ubicación
- OK para aceptar

Configuración del Proyecto HMS

Esta función genera un subdirectorio de proyecto en el directorio “HMS Project” y copia todos los ficheros generados con GeoHMS en ese directorio. Si el directorio ya existe, los ficheros que haya en él serán reemplazados. La ubicación del directorio HMS Project está especificada en el fichero “HMSMetDesign.txt” como “HMSDataDirectory”. Modificando este nombre, GeoHMS puede generar subdirectorios en un directorio diferente.

Los ficheros que se copian son (“Proyecto” es el nombre del proyecto en GeoHMS):

- “Proyecto”.basin del subdirectorio del proyecto GeoHMS
- “Proyecto”.hms del subdirectorio del proyecto GeoHMS
- “Proyecto”.met del subdirectorio del proyecto GeoHMS
- “Proyecto”.map del subdirectorio del proyecto GeoHMS
- “Proyecto”.mod del subdirectorio del proyecto GeoHMS
- “Proyecto”.dss renombrado de hmsdesign.dss del directorio de ArcView
- “Proyecto”.control renombrado de hmsdesign.control del directorio de ArcView
- “Proyecto”.gage renombrado de hmsdesign.gage del directorio de ArcView

Si los ficheros *.met, *.mod, *.gage, no existen, aparecerá un mensaje avisando que esos ficheros no se han copiado.

Este grupo de ficheros define completamente un proyecto HMS y se puede cargar y ejecutar directamente desde HMS sin más manipulación en los datos, aunque se recomienda un control de calidad de los datos antes de realizar las simulaciones con HMS.

Conexión con HMS 3.0.0

HEC-GeoHMS desarrolla muchos componentes de un modelo HMS, sin embargo HMS ofrece un control completo sobre la conectividad hidrológica, las metodologías y los parámetros, permitiendo cambiar elementos y sus conectividades.

Crear un nuevo proyecto

- Ejecutar HMS
- Seleccionar File/New...
- Ingresar el nombre del proyecto (se recomienda un nombre corto sin espacios ni acentos) y una descripción (no obligatoria pero se recomienda)
- OK para aceptar

Importar el Modelo de la Cuenca

- Seleccionar File/Import/Basin Model
- Buscar el directorio de nuestro proyecto (que aparecerá por edefecto) y seleccionar el fichero *.basin correspondiente
- Si aparecen mensajes de error, apuntarlos para corregirlos más tarde y aceptar

Especificar el fichero de fondo

- Seleccionar View/Background Maps
- En la ventana "Background Maps" clicar en "Add"
- Buscar y seleccionar el fichero del mapa

Modelo Meteorológico

Los métodos que usa HMS para modelar la precipitación y que incluyen ficheros celda a celda están pensados para ser utilizados con los datos existentes en los Estados Unidos de América, tales como la base de datos DSS (Data Storage System), con una resolución de 2 x 2 km en intervalos de 1 hora o bien los datos NexRad con la misma resolución.

23. Nota Final

“La modelación hidrológica es más un arte que una ciencia y es probable que siga siendo así. La modelación hidrológica predictiva se lleva a cabo normalmente en una cuenca dada usando un modelo específico bajo la supervisión de un hidrólogo. La utilidad de los resultados depende en gran medida del talento y la experiencia del hidrólogo, del entendimiento de los matices matemáticos del modelo en particular y de los matices hidrológicos de la cuenca en particular. Es improbable que los resultados de un análisis objetivo de métodos de modelación pueda nunca sustituir al talento subjetivo de un modelador con experiencia.”

Loague y Freeze (1985)

24. Referencias

Hydrologic Engineering Center (2003) *Geospatial Hydrologic Modeling Extension HEC-GeoHMS User's Manual, Version 1.1*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.

Hydrologic Engineering Center (2005) *Hydrologic Modeling System, HEC-HMS. User's Manual. Version 3.0.0*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.

Hydrologic Engineering Center (2000) *Hydrologic Modeling System, HEC-HMS. Technical Reference Manual. Version 3.0.0*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.

Loague, K.M. y R.A. Freeze (1985) *A comparison of rainfall-runoff modeling techniques on small upland catchments*. Water Resources Research 21, 229–248.