

## CAPÍTULO 4: ELABORACIÓN DE LA CUENCA: PROGRAMA SOBEK

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA SOBEK

Una vez teníamos toda esta información se pasó a trabajar con el programa informático SOBEK.

En un inicio en SOBEK elegimos un proyecto nuevo desde el cual trabajar, y dentro de este nuevo proyecto elegimos un caso nuevo. Una vez estamos dentro de un caso podremos escoger a través del “import network”: si queremos empezar con un caso guardado en otro proyecto, o si queremos importar de una base de datos una “schematisation” (las veremos más adelante) para utilizarla en nuestro nuevo caso, también podemos empezar un caso en blanco (es decir desde cero).

En nuestro trabajo se ha elegido empezar un caso en blanco (“Start from scratch”) para poder definir todos los parámetros de nuestro caso desde cero.

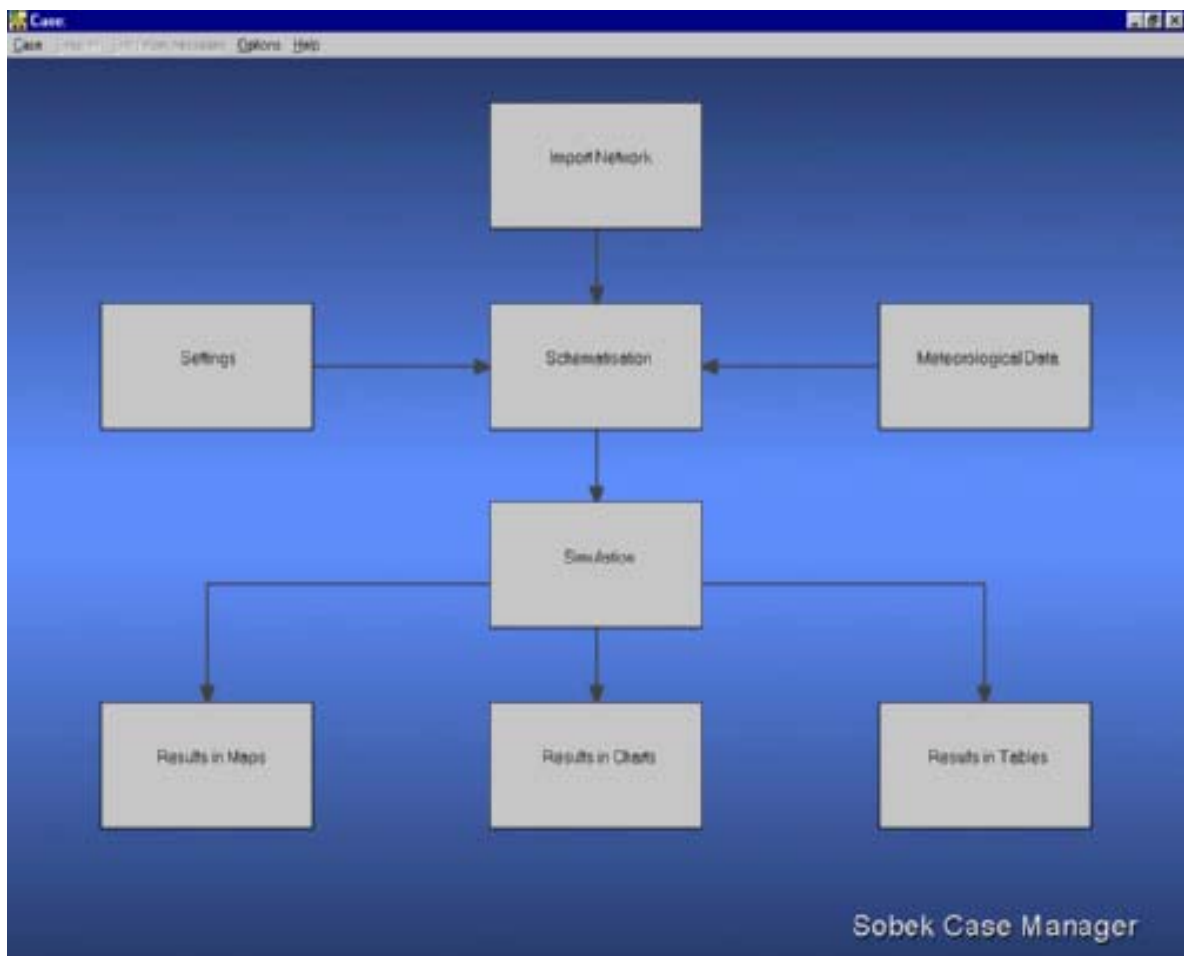


Figura 9: Presentación del programa SOBEK

## 4.2 UTILIZACIÓN DE LOS DIFERENTES MODELOS

En el programa podemos establecer el modelo que seguirá nuestro proyecto. Según el modelo que nosotros definimos tendremos un tipo de flujo u otro. También podemos utilizar una combinación de estos modelos simultáneamente, como también secuencialmente.

Hay diferentes modelos:

- Rainfall-runoff (lluvia-)**
- Channel flow (flujo en canal)**
- Sewer flow (flujo en alcantarillado)**
- River flow (flujo en río)**
- Realtime flow**
- Water quality**
- Emissions**
- Overland flow**
- Groundwater**

En nuestro caso solo trabajaremos con los modelos de Rainfall-runoff y Chanel flow simultáneamente. Para poder conseguir una flujo coordinado por los dos modelos. Aunque podríamos utilizar los modelos funcionando secuencialmente: de esta forma no hay una interacción de flujos, el programa primero simula el flujo de rainfall-runoff, una vez acabado este cálculo utilizará estos resultados para poder simular el flujo del chanel flow.

### **Modelo Rainfall-runoff**

Tenemos que especificar diversos parámetros como son:

Los escalones de tiempo de computación, es decir, escogemos el tiempo que pasa entre un cálculo y otro. Donde el resultado de estos cálculos pueden ser los niveles de agua en una sección, o el caudal en una determinada sección, etc.

El período total en el cual queremos hacer estos cálculos.

El período del día que se produce la evaporación del agua.

Tenemos otros parámetros que hacen referencia a períodos de bombeo de aguas, secciones de obra, concentración de sales, etc. Que no utilizaremos en este caso.

La opción write restart file nos permite tener una copia de la simulación que nosotros hemos acabado de obtener para poder utilizarlo en una nueva simulación.

Podemos elegir si hay o no interacción con el flow model, con lo cual podemos elegir una interacción con el flujo creado por la escorrentía superficial y el módulo del flujo del canal.

Si hemos elegido una interacción simultánea entre el modelo rainfall-runoff y el modelo channel-flow, únicamente podremos elegir interacción con flow model.

Disponemos de la opción output options: donde timestep output es un comando que nos permite elegir si queremos una media, un máximo, o una media de los valores finales de la simulación; si por ejemplo tenemos en la simulación un timestep de 10 minutos y elegimos un timestep output de 1 hora, cuando el programa simule cada 10 minutos yo solo obtendré como resultado un valor cada 6 valores que el programa ha calculado. Esto es necesario cuando trabajamos con sucesos de lluvias durante grandes períodos para no saturar al ordenador

### **Modelo Channel-Flow**

Tenemos que especificar diversos parámetros como son:

Los escalones de tiempo de computación, es decir escogemos el tiempo que pasa entre un cálculo y otro. Donde el resultado de estos cálculos pueden ser los niveles de agua en una sección, o el caudal en una determinada sección, etc.

El período total en el cual queremos hacer estos cálculos.

El modo de simulación podemos elegir:

Unsteady calculation: significa que en la computación simulará un intervalo de tiempo, donde todas las condiciones de contorno, la precipitación, etc; pueden cambiar durante el tiempo.

Steady calculation: significa que en la simulación solo calcula una situación: el estado de equilibrio. Todas las condiciones serán valores fijos. Todas las condiciones de límite de cuenca son valores fijos (no variables con el tiempo). Donde el modelo solo tiene como premisa el estado de equilibrio.

La opción write restart file nos permite tener una copia de la simulación que nosotros hemos acabado de obtener para poder utilizarlo en una nueva simulación

Las opciones avanzadas nos permiten modificar el método de interpolación en las secciones, el que he utilizado es el método antiguo. En el método antiguo escoge como nivel de sección para los puntos de cálculo entre dos cross-sections( del mismo tramo) el nivel más alto que existe entre éstas dos cross-sections. El método nuevo en cambio para obtener el nivel sección para los puntos de cálculo interpola linealmente entre dos cross-section (del mismo tramo).

Hay opciones sobre el flujo lateral así como la medida de las partículas para establecer el transporte de sedimentos.

Podemos establecer las condiciones iniciales en el canal: Estas pueden ser condiciones globales (generales): como el caudal inicial, el nivel de agua en el canal o el conjunto de los canales inicialmente secos. También podemos establecer condiciones locales.

Disponemos de la opción output options: donde timestep output es un comando que nos permite elegir si queremos una media, un máximo, o la media de los valores finales de la simulación; si por ejemplo tenemos en la simulación un timestep de 10 minutos y elegimos un timestep output de 1 hora, cuando el programa simule cada 10 minutos yo solo obtendré como resultado un valor cada 6 valores que el programa ha calculado. Esto es necesario cuando trabajamos con sucesos de lluvias durante grandes períodos para no saturar al ordenador

En la opción numerical parameters podemos establecer diferentes parámetros como es: el valor de la gravedad, la máxima velocidad horizontal, densidad del agua, etc. También podemos elegir la opción de los típicos valores de estos parámetros para un flujo urbano o rural.

### 4.3 UTILIZACIÓN DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS

Debemos seleccionar los datos meteorológicos. Podemos establecer los datos de los siguientes parámetros:

- 4.3.1 DATOS DE PRECIPITACIÓN
- 4.3.2 DATOS DE EVAPORACIÓN
- 4.3.3 DATOS DE VIENTO
- 4.3.4 DATOS DE TEMPERATURA DEL AGUA/RADIACIÓN SOLAR

#### 4.3.1 DATOS DE PRECIPITACIÓN

Tenemos varias alternativas para introducir los datos de precipitación:

Podemos seleccionar un suceso de precipitación que tengamos previamente introducido, así como modificar los datos de éste suceso.

Podemos crear nuevos sucesos de precipitación. En éste proceso tendremos que introducir el número de estaciones meteorológicas, la fecha y hora exacta que comienza y finaliza éste suceso, y el tiempo entre cada dato de precipitación. Los datos de precipitación serán introducidos en mm.

En nuestro caso solo tenemos una estación meteorológica, con los problemas asociados que ésto representa. Conocemos las precipitaciones con una frecuencia de tiempo de un día para diferentes años.

#### 4.3.2 DATOS DE EVAPORACIÓN

Tenemos varias alternativas para introducir los datos de evaporación:

Podemos elegir unos datos de evaporación basados en el KNMI. Estos datos están basados en el método de Penman.

También podemos introducir valores seleccionando el suceso de precipitación o simplemente introducir valores de evaporación en el transcurso de tiempo que queramos.

También existe la opción “long term data” donde elegimos unas series de lluvias medidas entre 1951 y 1994 en De Bilt, ésta estación pertenece al Instituto meteorológico Holandés.

Como última opción tenemos “Values according Guideline Sewer systems” dedicada a simulaciones de carácter urbano, relacionadas con alcantarillado.

#### 4.3.3 DATOS DE VIENTO

Tenemos la opción de introducir valores constantes o en función del tiempo en la simulación de las rachas de viento.

Cuando introduzcamos los datos daremos la dirección (grados) y la velocidad (m/s) del viento.

#### 4.3.4 DATOS DE TEMPERATURA DEL AGUA/RADIACIÓN SOLAR

Tenemos la opción de introducir valores constantes o en función del tiempo en la simulación, para la temperatura del agua y de la radiación solar.

Cuando introduzcamos los datos daremos la temperatura (grados) y la radiación solar.

## 4.4 ESQUEMA FINAL DE LA CUENCA

### 4.4.1 Editar modelo

Podemos importar un caso del proyecto con el cual estamos trabajando o de otro proyecto grabado anteriormente.

En nuestro caso empezamos un proyecto nuevo, donde el primer cometido es introducir el mapa escaneado de la cuenca para poder trabajar sobre el.

Para ello tendremos que ir a opciones y luego a opciones de mapa. Tendremos que abrir la carpeta donde hemos guardado el mapa, que siempre deberá estar en una carpeta dentro del archivo Sobek. En nuestro caso el mapa es una imagen (.bmp). Podríamos trabajar con otro tipo de mapas (con las siguientes extensiones: .mpl , .shp, .dem, etc). Intentamos utilizar un mapa con extensión .shp (Arc view) pero tuvimos muchos problemas. Este mapa solo era un mapa topográfico pero muy discretizado, es decir teníamos curvas de nivel cada pocos metros de desnivel (cada 20 metros) y datos medidos de cota en una área muy pequeña (5m\*5m). Disponíamos de una información detallada en el estudio de una cuenca de 100 Km<sup>2</sup>, ésto hizo que la información ocupara 700 Mb. Era muy complicado trabajar con este mapa porque cuando querías hacer alguna modificación tenías que esperar a que se cargara el mapa otra vez. Con lo cual decidimos trabajar con la imagen del mapa e introducir las cotas de las diferentes subcuencas manualmente (es decir un extenso trabajo).

Al abrir el mapa aparecerá en unas dimensiones que no se corresponden con la escala del mapa escaneado, para introducir su escala verdadera tendremos que ir a opciones de mapa y en el apartado coordenadas ir a Georeferencia. Una vez estemos en georeferencia tendremos unas coordenadas cualquiera , referenciadas con el mapa, por lo tanto el mapa estará en una escala desconocida.

Como nosotros conocemos la verdadera escala del mapa escaneado, sabemos la longitud real del mapa. Nosotros podemos asignar unas coordenadas relativas al mapa porque conocemos la longitud (metros) entre los bordes del mapa (ANEJO1 (figura 1).

Una vez tenemos el mapa geo-referenciado en el comando editar y dentro de éste activamos “Network”, en la parte superior izquierda nos aparece los comandos básicos para diseñar nuestra cuenca. Este comando básico nos permitirá elegir entre los diferentes tipos de nodos, según el tipo de modelo.

#### 4.4.1.1 Diseño del modelo de flujo:

##### 4.4.1.1.1 Iconos

###### a) Flow- Connection node

Permite conectar dos tramos de canales.

###### b) Flow- Connection node with Storage and Lateral Flow

Permite asignar un volumen en el cual podemos almacenar agua y también podemos determinar el caudal (constante o variable) que puede introducirse en el sistema en este punto.

###### c) Flow- Boundary

Representa el punto de inicio o final de nuestra riera principal y secundaria, al mismo tiempo es un punto donde aplicamos las condiciones de contorno.

###### d) Flow- Calculation Point

Punto de cálculos (caudal, calado) del programa.

###### e) Flow- Lateral Flow

Representa un punto de entrada de caudal en la riera. Este caudal puede ser un caudal constante, en función del tiempo o podemos utilizar el método racional del programa para introducir este caudal.

###### f) Flow-Cross Section

Permite introducir los datos de la sección en el punto deseado. Podemos elegir la forma de la sección con unos casos predeterminados o también podemos dar las coordenadas de cada punto de la sección (si la conocemos). En nuestro caso elegimos una sección trapezoidal que íbamos redefiniendo según el tramo de riera. Con este tipo de sección tuvimos que introducir ancho de la sección en la solera, calado máximo de la sección y su ancho. Al introducir la cota de la solera de cada sección introducíamos al mismo tiempo la topografía del cauce de la riera. El programa nos determinará la pendiente de los hastiales. Hay que introducir datos de la constante de fricción en cada sección, así como el método elegido en la determinación de la constante de fricción.

Estos son básicamente los iconos utilizados para el modelo de flujo en el diseño de la cuenca de la riera del Carme.



#### 4.4.1.1.2 Conexiones

Utilizaremos siempre conexiones del tipo Flow-Channel. Estas conexiones son las que conforman la riera principal y las secundarias. Tenemos la opción de utilizar la conexión Flow-Channel lateral discharge, pero no es necesaria.

#### 4.4.1.2 Diseño del modelo de escorrentía:

##### 4.4.1.2.1 Iconos

###### a) RR-Unpaved

El buen diseño de este icono es la base de nuestra tesina.

Representa las diferentes sub-áreas donde se produce la escorrentía de la cuenca.

En nuestro caso hemos subdividido la cuenca en 59 subcuencas, es decir, hemos utilizado 59 iconos de RR-Unpaved.

En nuestra tesina hemos hecho una serie de hipótesis en relación a éstas subcuencas:

Suponemos todas las subcuencas impermeables, esto nos lleva a suponer una capa superficial de arcilla, en la cual no habrá infiltración, y toda la precipitación será precipitación neta. Aunque los datos en un primer momento son de precipitación bruta, a través de la caja negra de Hans Paul transformamos según unas funciones esta precipitación bruta a neta.

Tampoco habrá almacenamiento de agua en el terreno. Por lo tanto no puede haber un flujo subterráneo iniciado desde las subcuencas, y esto no representa la realidad. Pero como tenemos los datos de hidrogramas subterráneos en los diferentes puntos de aporte a la riera, podremos aplicar estos hidrogramas con ayuda del Flow-Lateral Flow (explicado anteriormente). Es una simplificación que debemos hacer porque se desconocen la mayoría de los parámetros que se necesitan para que Sobek modelase correctamente el flujo subterráneo, y aún así solo podríamos modelarlo como acuíferos individuales en cada una de las subcuencas, lo que tampoco representaría la realidad.

Tendremos que introducir una gran variedad de datos como son:

-El área de escorrentía total. Aunque el programa nos permite definir el porcentaje de área que tenemos según el material.

-Tenemos que definir la cota a la cual se encuentra esta área(Figura 10). Podemos dar un valor constante para todo el área o podemos dar el porcentaje del área que esta a una determinada cota (teniendo una subcuenca escalonada).

	Area [%]	Level [m NAP]
1	0	0.055
2	3	0.065
3	4.5	0.075
4	6	0.075
5	7.5	0.085
6	10.4	0.085
7	11.9	0.095
8	16.4	0.095
9	17.9	0.105
10	19.4	0.105
11	20.9	0.115
12	25.4	0.115
13	26.9	0.125
14	28.4	0.125
15	29.9	0.125
16	31.3	0.125
17	32.8	0.135

**Figura 10: Porcentajes del área que esta a una determinada cota.**

Cuando el nivel de agua excede el nivel de superficie se produce la inundación.. Podemos decir que cuando el nivel de agua excede el nivel de superficie, el almacenamiento es igual a cero. También hay que decir aunque nosotros trabajamos con un nivel de agua subterránea nulo, que si el nivel de agua subterránea sobrepasa el nivel de superficie se producirá la escorrentía. Cuando la precipitación supere a la infiltración se producirá un almacenamiento en la propia subcuenca, se producirá la escorrentía cuando se sobrepase el máximo almacenamiento de la subcuenca. Cuando el nivel de superficie no es constante se asume que el nivel inicial de agua subterránea esta definido por el nivel superficial más bajo de la subcuenca.

- Tenemos que especificar el tipo de terreno (arcillas, arenas,...)
- Hay que introducir el grosor de la capa más delgada con flujo subterráneo (aunque solo es necesario para calcular la salinidad).
- Hay que especificar cual es el máximo nivel de agua subterránea permitido (aunque no es utilizado en ningún calculo, solo sirve para comprobar cuanto tiempo hemos rebasado ese nivel).

-Tenemos que especificar en  $m^3$  o  $mm \cdot Area$  la cantidad de agua que tiene almacenada nuestra subcuenca en un inicio y la cantidad máxima que podrá almacenar.

-Hay que conocer el nivel inicial de agua subterránea para poder determinar el primer diferencial de tiempo del suceso. También es usado para determinar el coeficiente de almacenamiento. Este parámetro está definido en metros por debajo del nivel superficial. Podemos definir el parámetro en función del tiempo para separar sucesos que se inician en unas condiciones u otras, como pueden ser los cambios producidos en el nivel subterráneo en verano o en invierno.

-Tenemos que especificar la infiltración de estas subcuencas en  $mm/hora$  o  $mm/día$ . En nuestro caso como hemos dicho tanto el almacenamiento y la infiltración serán nulos.

-El siguiente parámetro es muy importante como difícil de definir. Es el parámetro de drenaje de la cuenca. Había diferentes métodos, nosotros utilizamos el de Zeeuw-Hellinga. Con este método hay que evaluar una variable llamada "reaction factor". Esta variable hay que conocerla tanto para la capa superficial donde se produce la escorrentía como para las diferentes capas subterráneas. Como nosotros no consideramos las diferentes capas subterráneas quedará reducido a conocer el "reaction factor" para la capa superficial. Para especificar el "reaction factor" tuvimos que ayudarnos con el programa HEC-1 porque su valor para las diferentes subcuencas se desconocía. Aunque este tema lo abordaremos más adelante.

-Hay otro parámetro llamado seepage. Es un parámetro que aporta agua al reservorio de la subcuenca y que proviene de una zona subterránea profunda. En nuestro caso como no tenemos reservorios de agua en la subcuenca, este parámetro es nulo.

-Como último parámetro tenemos que introducir los datos de lluvia. Tenemos que elegir para cada subcuenca la estación de aforo relacionada a ella. Previamente hemos introducido en datos meteorológicos las diferentes estaciones de aforo.

#### 4.4.1.2.2 Conexiones

Utilizaremos la unión RR-Link que nos permite la unión de los iconos RR-unpaved con los iconos Flow-RR Connection on Flow Connection Node, que a su vez estos nos conectan con el canal. Tenemos otro tipo de conexiones como son RR- Sewerage Link que tampoco utilizaremos porque son conexiones para redes de alcantarillado.

Estos dos tipos de modelo nos permitirán diseñar y describir nuestra cuenca. Pero necesitamos unos comandos para poder introducir los diferentes iconos y las diferentes conexiones. Por tanto necesitamos el edit action. Contiene los comandos necesarios para introducir en nuestro mapa estos iconos y conexiones.

#### 4.4.1.3 Editor de acciones

##### 4.4.1.3.1 Nodos

Este comando nos permite: añadir nodos (con el ratón), añadir nodos (con las coordenadas), eliminar nodos, mover nodos, etc.

##### 4.4.1.3.2 Conexiones

Este comando nos permite: establecer conexiones entre dos nodos, eliminar conexiones, etc.

##### 4.4.1.3.3 Tramos

Nos da la opción de eliminar tramos de canal entre nodos, o seleccionar los tramos entre nodos consecutivos que queremos eliminar.

Dentro de tramos podemos utilizar el calculation grid all reaches, este comando es muy utilizado para determinar tu tramo. Es decir podemos definir los tramos como: si cada tramo fuera un único vector entre nodos, en el que cada tramo esta definido por la coordenadas de algún tipo de nodo (en nuestro caso serán los puntos de cálculo), o también podemos definir tramos como un conjunto de vectores unidos por puntos de cálculo ( en este caso podemos definir los puntos de cálculo en función de una longitud).

Tenemos otro comando muy interesante pero fuera del editor de acciones, pero lo introduzco ahora por su relación con el comando tramos. Este es el Edit Reach Vectors, nos permite modificar el trazado de nuestro canal, en nuestro caso podemos imponer al canal la morfología de la riera. Hay unos puntos normalmente en los nodos que nos permiten con ayuda del ratón modificar el trazado. Nos da la opción de añadir coordenadas por si necesitamos más puntos entre nodos para definir mejor el trazado. Estas son básicamente las opciones más interesantes.

#### 4.4.2 Comprobación del modelo de escorrentía

Es necesario comprobar que no hay errores en las conexiones y los nodos del modelo del escorrentía.

#### 4.4.3 Comprobación del modelo de flujo

Es necesaria ésta comprobación para establecer los errores entre conexiones y nodos del modelo de flujo.

## 4.5 SIMULACIÓN

El proceso de simulación es muy complicado. Es uno de los apartados que nos ha dado más problemas. Cuando había un error teníamos que ir a comprobar el comando mensajes de simulación. En este comando con más o menos precisión te daba una idea de donde podía estar nuestro error.

Es verdad que en la comprobación del modelo de flujo o de escorrentía nos avisaba de los posibles errores pero estos solo eran errores del modelo. Un ejemplo: si tienes un nodo de unpaved no conectado con un nodo Flow-RR Connection on Flow Connection Node te daría un error en la comprobación del modelo.

Los errores principales en la simulación son de diferente topología. Los más frecuentes eran errores porque no había una buena conexión entre el modelo de escorrentía y el de flujo. Normalmente producidas por un desfase de la simulación de los tiempos de pasos entre el modelo de escorrentía y el de flujo.

Los problemas con la licencia del programa se veían reflejados en las simulaciones. Al cambiar de licencia teníamos limitados un tipo de nodos que en la anterior licencia no pasaba, y esto requería cambiar todo el proyecto.

En la simulación se nos avisaba que como máximo podíamos tener una cierta cantidad de un tipo de nodos, el problema es que había que cambiar todo el esquema por los nodos de unión de las unpaved con el canal, porque esos nodos de unión se utilizan frecuentemente y esos nodos de tipo modelo de flujo estaban limitados.

Los tiempos de simulación son muy variables. En nuestro caso tenemos una cuenca muy extensa de 100 Km<sup>2</sup>, repartidos en 80 subcuencas que más tarde las agruparemos formando 59 subcuencas. Es decir un total de 107 nodos y 59 tramos de aporte a la riera, si además discretizamos con puntos de cálculo cada 50 metros, y para un periodo de 1 año con datos de precipitación diarios. El tiempo de espera de la simulación puede ser de 10 horas. Es verdad que depende del tipo de ordenador pero la cantidad de datos que debe simular es muy extensa.

No supone un gran error simular con puntos de cálculo cada 150 metros y el tiempo de cálculo se reduce considerablemente. Además por suerte es la única variable que podemos cambiar, ya que las demás son de obligado cumplimiento. Aunque si tuviese los datos de precipitación cada hora y hubiera aumentado en exceso el tiempo de cálculo, se considerarían porque las inconsistencias de resultados del programa tienen que ver con la poca precisión y cantidad de estos datos.