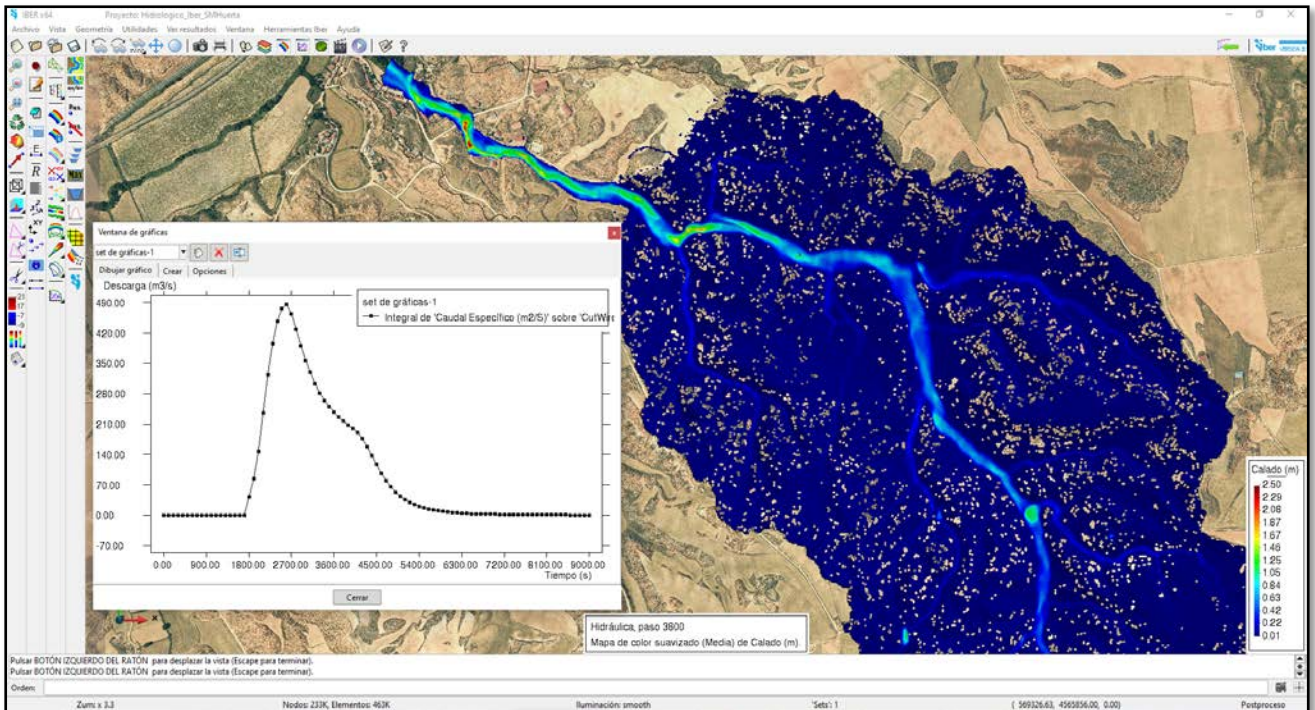


Modelización hidrológica de caudales. Aplicación de modelos hidrológicos al proceso de transformación lluvia – escorrentía superficial. *Modelo IBER 2D*



Mediante la realización de este ejercicio práctico se describirá el flujo de trabajo común para llevar a cabo el proceso de transformación entre lluvia y escorrentía superficial en una pequeña cuenca fluvial. De tal forma que, partiendo de un evento de lluvia y su hietograma asociado, se presenta el modo de construcción de un modelo hidrológico con el que obtener el hidrograma de salida de la cuenca, así como las características hidráulicas de la escorrentía en su tránsito por la superficie del terreno. Para desarrollar este ejemplo se utilizará el software libre de modelización hidrodinámica Iber (<https://www.iberaula.es/>). Todos los datos necesarios para la realización del ejercicio pueden obtenerse del siguiente enlace web: “<https://www.ucm.es/geomorfologia-riesgos/>”.

El presente ejemplo se localiza en el entorno de la población de Santa María de Huerta (Soria). A continuación, se describen los datos utilizados en el ejemplo propuesto:

- *Modelo Digital de Elevaciones (DEM)*. Datos topográficos en formato raster, procedentes del modelo DEM05 del CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica-IGN), disponibles a través del Centro de Descargas del CNIG ([Centro de Descargas del CNIG \(IGN\)](http://www.cdnig.ign.es/)). El raster tiene una resolución espacial de 5 metros.

Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

- *Modelo variable Número de Curva (CN)*. Datos del valor del parámetro *Número de Curva (Curve Number)* del *Soil Conservation Service (SCS, USA)*. El modelo es de elaboración propia para el presente ejemplo, y para su construcción se ha empleado el modelo digital de elevaciones (DEM) con resolución de 5 metros del *CNIG*, los mapas geológicos de la serie *MAGNA* del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) a escala 1:50.000, y la información de usos del suelo contenida en la cartografía del proyecto *CORINE Land Cover* (disponible también a través del Centro de Descargas del CNIG-IGN).
- *Hietograma de precipitaciones*. El hietograma ("*Hietograma Sta Maria Huerta.xlsx*") representa en dos columnas el tiempo (s) y la intensidad de precipitación ($mm\ h^{-1}$) para un evento de lluvia de alta intensidad y duración 1 hora. El hietograma fue construido en función de la precipitación máxima en 24 horas calculada mediante el ajuste de una función de distribución GEV (*Generalized Extreme Values*) a la serie de precipitaciones máximas anuales en 24 horas de la estación de la AEMET en Arcos de Jalón (código estación: 9344C).
- *Subcuencas de la zona de estudio*. Esta capa de información ("*Subcuencas_Huerta.shp*"), en formato vectorial de tipo "shapefile", contiene una serie de polígonos que representan un esquema de subcuencas para el área de estudio.

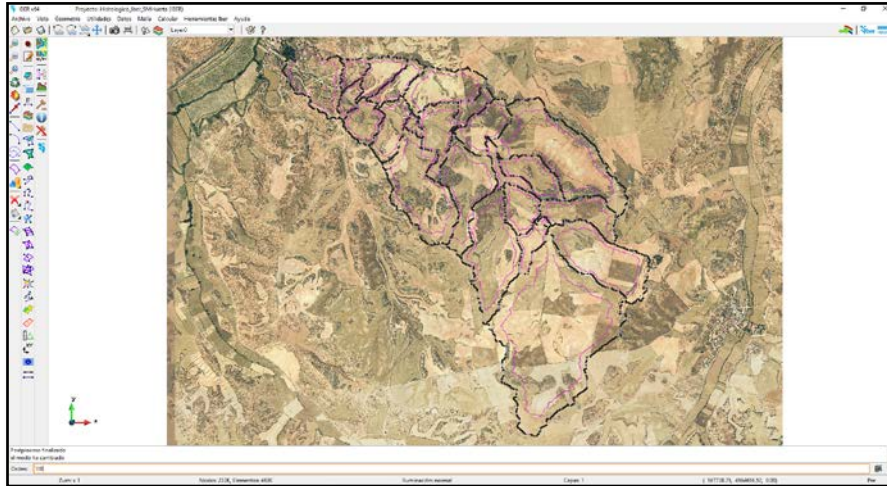
Procedemos ahora a enumerar el flujo de trabajo para su resolución.

1. **Generación de la malla representativa del relieve y condiciones hidrológico-hidráulicas**

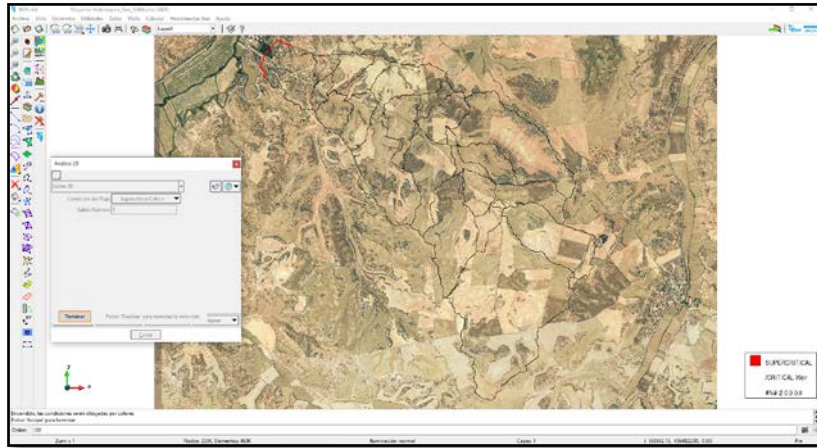
- Lo primero de todo es arrancar el programa Iber
- A continuación, procedemos a guardar un proyecto, indicando la localización y nombre que tendrá el mismo.
 - o Archivo \ Guardar como:
- Ahora debemos activar el módulo hidrológico de Iber, el cual no se encuentra activo por defecto. Para ello, entraremos en el menú "Herramientas Iber".
 - o Herramientas Iber \ Plug-ins
 - Seleccionamos la opción "Procesos Hidrológicos".
 - También podemos seleccionar si deseamos que el programa utilice "GPU parallelization" con IberPlus. Si nuestra tarjeta gráfica es relativamente potente, se reducen significativamente los tiempos de cálculo de los modelos.
- Como siguiente paso vamos a generar la geometría que representará la zona de trabajo. Para ello vamos a importar los polígonos definidos en un fichero de tipo "shapefile", los cuales representan una propuesta de distintas subcuencas en las que se ha dividido la cuenca hidrológica de estudio. La utilización de estas superficies nos permitirá la opción de más adelante en este mismo ejemplo, implementar la variable CN bien como valores medios por sub-cuenca, bien como valor espacialmente distribuido para cualquier punto del territorio analizado.
 - o Menú Archivo \ Importar \ Shapefile

Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

- Seleccionamos el shapefile “*Subcuencas_Huerta.shp*” de la carpeta del proyecto.
- Los distintos polígonos que componían el shapefile han sido importados como “superficies”. Vamos a utilizar la función de colapso de las superficies que forman la geometría para depurar posibles incongruencias en las mismas.
 - Menú Geometría \ Edición \ Colapsar \ Modelo
 - Confirmamos el colapsar el modelo con la tolerancia por defecto.



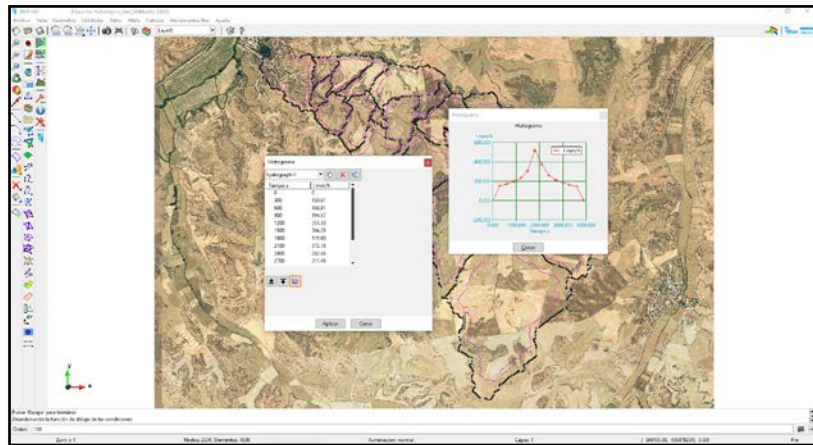
- Ahora procedemos a introducir las condiciones de contorno del problema. En este ejemplo, las condiciones de contorno solo se componen de Salida 2D (al no estar considerando una Entrada 2D de caudal; la entrada de agua al modelo se produce por la lluvia); puesto que consideraremos que el cauce principal se encuentra seco y por tanto no hay otras entradas de agua más allá de las precipitaciones que vamos a simular.
 - Menú Datos \ Hidrodinámica \ Condiciones de Contorno
 - Introducimos las condiciones de Salida 2D
 - Régimen Crítico / Supercrítico
 - Asignamos los elementos de la geometría que actuarán como salida de caudal (es decir, indicamos por donde podría salir el agua de nuestro modelo). Es preferible seleccionar una zona grande, pues luego el modelo ajusta la zona de salida de agua en función del caudal que esta saliendo del modelo. Si definimos una zona demasiado pequeña, se van a producir acumulaciones de agua artificiales e incorrectas en la zona de desembocadura.



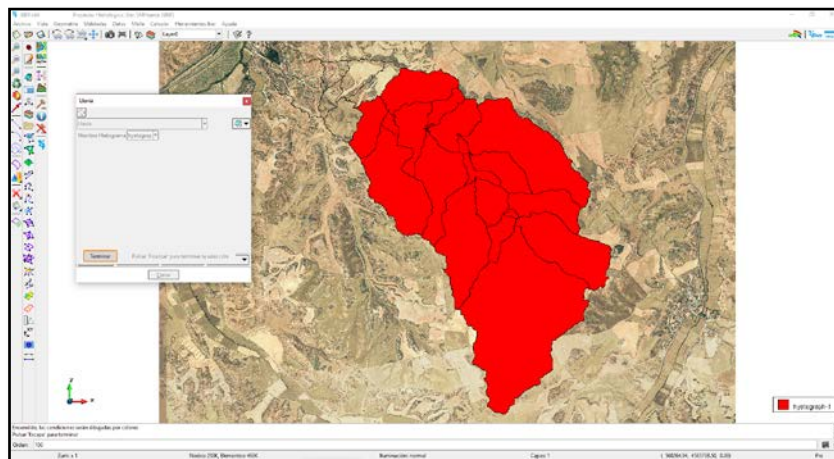
- Procedemos a introducir las condiciones iniciales del problema
 - o Vamos a considerar que la avenida se produce en unas condiciones en las que el cauce está seco. De esta forma también se simplifica el ejercicio.
 - Menú Datos \ Hidrodinámica \ Condiciones Iniciales
 - Calado
 - Valor Calado: 0 m
 - Asignamos los elementos de la geometría que cumplen la condición indicada (seleccionamos todos los elementos del modelo).
- Ahora procedemos a asignar el valor de la rugosidad superficial (coeficiente de rugosidad de manning) al modelo. En este caso, por simplificar, se va a utilizar un valor de rugosidad constante para todo el modelo. Y se selecciona uno de los usos del suelo que ya vienen pre-definidos en el modelo.
 - o Menú Datos \ Rugosidad \ Uso del Suelo \ Suelo Desnudo ($n = 0.023$)

2. Asignación de precipitaciones al modelo.

- Este proceso se lleva a cabo en dos pasos; en un primer paso se procede a generar el hietograma de precipitación (intensidad de precipitación). En un segundo paso se procede a asignar ese hietograma a las distintas superficies que se ven afectadas por la precipitación.
 - o Menú Datos \ Procesos Hidrológicos \ Lluvia \ Definición de Hietogramas
 - Los datos del hietograma se obtienen del fichero "*Hietogram Sta Maria Huerta.xlsx*", situado dentro de la subcarpeta "LLUVIA" dentro del directorio del proyecto. Se han de copiar las columnas "t (segundos)" e "It (mm/hora)", que corresponden a un hietograma centrado (construido mediante el método de los bloques alternantes a partir de la precipitación máxima en 24 horas, y con la mayor intensidad de precipitación en la parte central del hietograma) para la precipitación con periodo de retorno de 50 años.



- Menú Datos \ Procesos Hidrológicos \ Lluvia \ Asignación de Hietogramas
 - En nuestro ejemplo, vamos a asignar lluvia únicamente a la parte media-alta de la cuenca, asumiendo que en la parte baja de la misma no llovió. Para lograr este efecto, asignamos el hietograma a las subcuencas superiores, dejando únicamente las 6 subcuencas inferiores sin asignar precipitación.

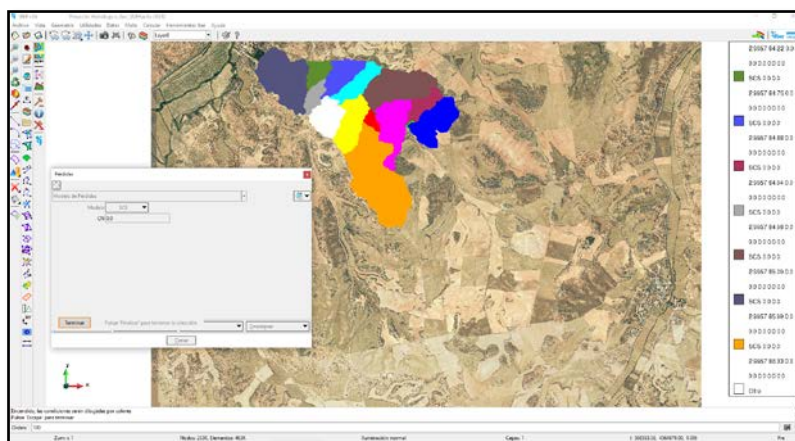


3. Asignación de variables hidrológicas – Pérdidas por Infiltración.

- Una vez introducidos los datos de precipitación en el modelo, procedemos a asignar los datos relativos a las pérdidas (es decir, que proporción de la precipitación no producirá escorrentía superficial debido a procesos de infiltración en el terreno o por quedar retenida por la vegetación). De los distintos modelos disponibles en Iber, vamos a utilizar el método del Número de Curva (*CN*, *curve number*; *SCS*, *Soil Conservation Service, USA*); este método tiene una base teórica sólida detrás, y ha sido ampliamente utilizado en la literatura científica. Además, a diferencia de otros métodos requiere de una menor cantidad de información, al no ser necesario disponer de información hidrológica de las entradas de agua (lluvias) y salidas de agua (caudales generados) de la cuenca fluvial.
 - Menú Datos \ Procesos Hidrológicos \ Pérdidas por infiltración
 - Opción 1 – ... \ Asignación manual
 - Modelo: SCS
 - Se asignará el valor medio del parámetro CN, disponible tanto en la Tabla al final de

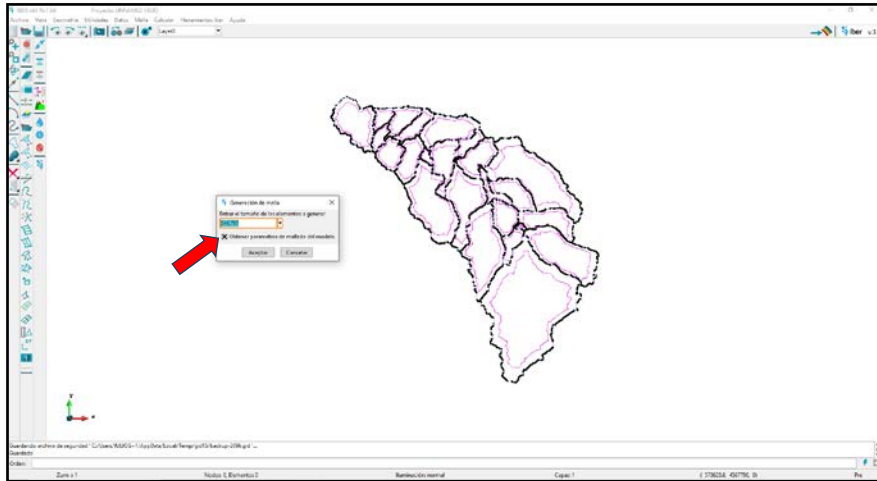
Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

este guion, como en el fichero “Valores Medios NCurva_Huerta.xlsx” localizado en la sub-carpeta “NUM_CURVA_HUERTA” que se encuentra dentro de la carpeta general del proyecto. Se ha incluido también una imagen geo-referenciada (*Mean Value CN_Huerta.jpg*) que se puede utilizar como imagen de fondo en Iber para ayudar a la identificación de cada cuenca; esta imagen se encuentra también en la sub-carpeta “NUM_CURVA_HUERTA”. Se le asignará el valor medio correspondiente a cada una de las subcuencas.

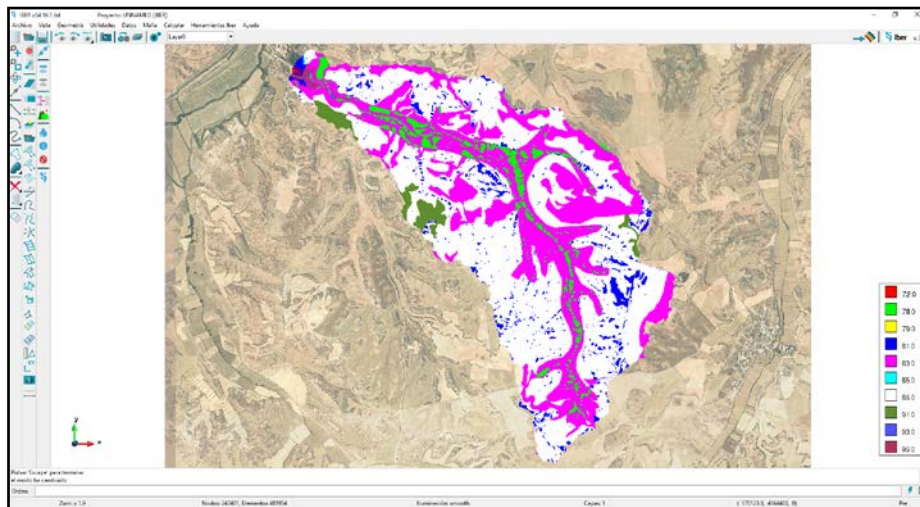


- Opción 2 – ... \ Asignación automática por parámetros \ SCS
 - ATENCION!, para utilizar esta opción (*usada en el presente ejemplo*) es necesario, previo a la asignación de valores de CN-SCS, proceder a generar una malla (inicialmente 2D al no contener valores de elevación, que se incorporaran en pasos posteriores, y que transforman dicha malla a 3D) a partir de las superficies anteriores. Para ello seguimos los siguientes pasos:
 - En primer lugar procedemos a definir el tamaño que tendrán los elementos de la malla en cada una de las superficies existentes (este valor puede o no ser homogéneo para todas las superficies).
 - Menú Malla \ No Estructurada \ Asignar Tamaño
 - Tamaño = 5. Utilizamos un mismo tamaño para todas las superficies.
 - En segundo lugar, procedemos con la generación efectiva de la malla en función de los tamaños definidos previamente.
 - Menú Malla \ Generar malla
 - Aceptamos sin tener en cuenta el valor que nos muestra el programa, pues ya hemos definido anteriormente los tamaños al asignar el número de divisiones a las superficies. *¡Pero hemos de asegurarnos de que esta activado que el programa lea los valores de mallado definidos para el modelo!*

Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos



- Una vez generada la malla, procedemos a usar un fichero raster que habremos generado previamente en un entorno SIG para la asignación del valor de CN a cada uno de los nodos que componen la malla 3D. En este caso, utilizaremos el fichero “*cn_huerta_2024.asc*” localizado en la sub-carpeta “NUM_CURVA_HUERTA” que se encuentra dentro de la carpeta general del proyecto.
 - Menú Datos \ Procesos Hidrológicos \ Pérdidas por Infiltración \ Asignación Automática por Parámetros \ SCS



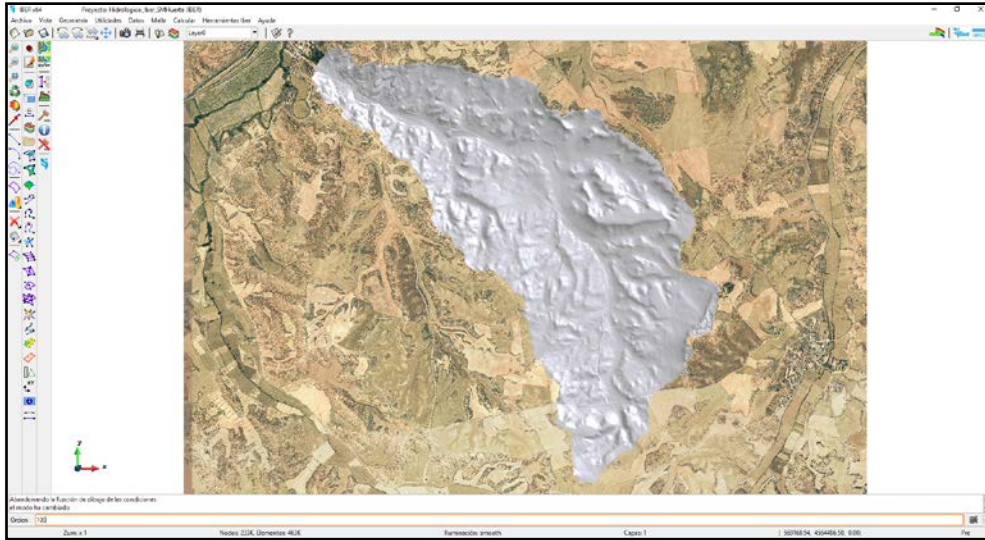
- Si en el anterior paso hubiesemos optado por la “Opción 1”, ahora deberíamos proceder con la generación de la malla del modelo. Si optamos (como así es) por la “Opción 2”, podemos saltarnos este paso puesto que ya lo hemos realizado previamente.
 - Procedemos con la creación de la malla que representará por un lado el relieve de la zona (al ser una malla 3D), y por otro almacena los datos relativos al ejercicio a resolver.
 - Menú Malla \ No Estructurada \ Asignar Tamaño
 - Tamaño = 5. Utilizamos un mismo tamaño para todas las superficies.
 - Menú Malla \ Generar malla
 - Aceptamos sin tener en cuenta el valor que nos muestra el programa, pues ya hemos

Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

definido anteriormente los tamaños al asignar el número de divisiones a las superficies.

4. Asignación de variables Topográficas – Elevación del Terreno.

- Finalmente, hemos de asignar los valores de la topografía de la zona a cada uno de los elementos de la malla que acabamos de generar, para lo cual se utilizará el fichero “dem05_huerta.tif” disponible en la sub-carpeta “DEM” que se puede encontrar en la carpeta de datos del proyecto. Con este proceso, transformamos la actual malla 2D con la que hemos estado trabajando, a una malla 3D que considera por tanto las tres coordenadas (X–Y–Z) en su representación espacial del territorio.
 - Herramientas Iber \ Malla \ Editar \ Asignar elevación desde archivo



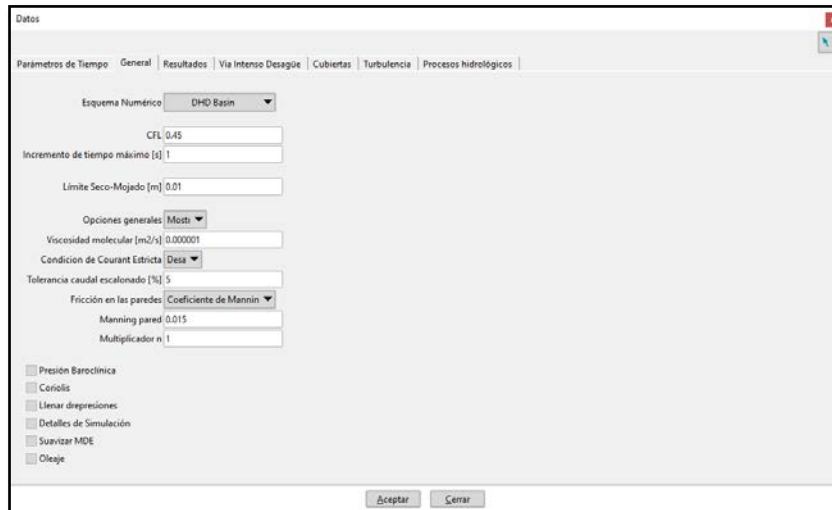
- Por último, volvemos a guardar el modelo antes del siguiente paso.

5. Asignación de Parámetros de Cálculo y Resultados del Modelo.

Una vez construido y guardado el modelo hidrológico-hidráulico, debemos completar su información mediante la introducción de los datos relativos al cálculo que vamos a llevar a cabo. Para posteriormente proceder a ejecutar la simulación hidrológico-hidráulica 2D.

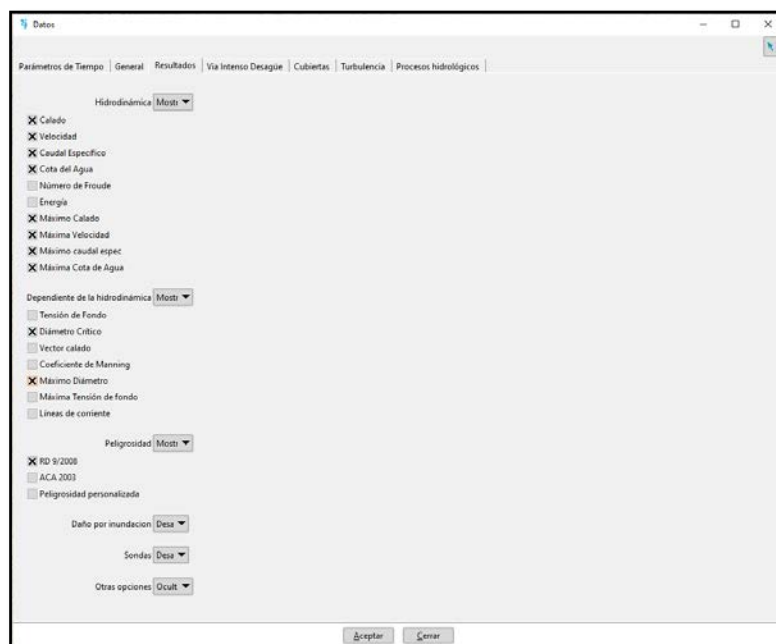
- Para lograr este objetivo, en primer lugar, accedemos a la ventana de Datos del Problema
 - Menú Datos \ Datos del Problema
 - A continuación, procedemos a cumplimentar las pestañas de información que se indican a continuación.
 - Pestaña “Parámetros de tiempo”
 - Instante inicial: 0 s
 - Tiempo de la simulación: 10.000 s
 - Intervalo de tiempo de cálculo: 100 s
 - Pestaña “General”
 - Esquema Numérico: DHD Basin
 - Dejamos todo lo demás por defecto

Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos



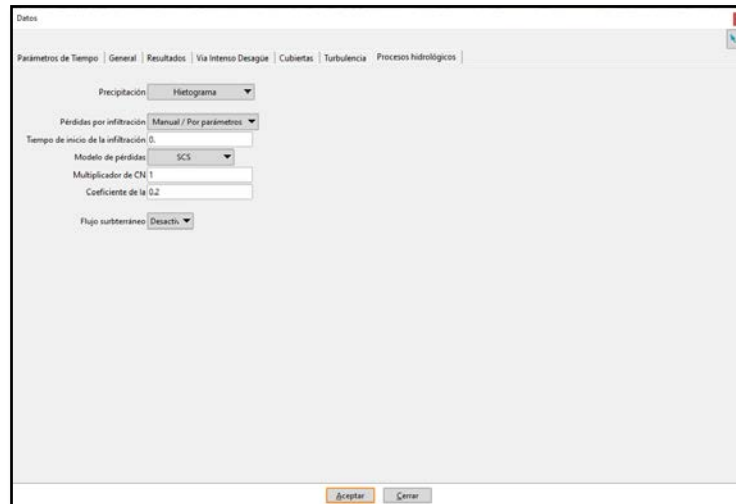
■ Pestaña “Resultados”

- Seleccionamos los análisis de los que queremos resultados. Por ejemplo, las opciones que se muestran en la siguiente imagen.



■ Pestaña “Procesos hidrológicos”

- Precipitación: Seleccionamos la opción “Hietograma”.
- Perdidas por infiltración: Seleccionamos la opción “Manual / Por parámetros”
 - Modelos de pérdidas: SCS
 - El resto de las opciones las dejamos por defecto.



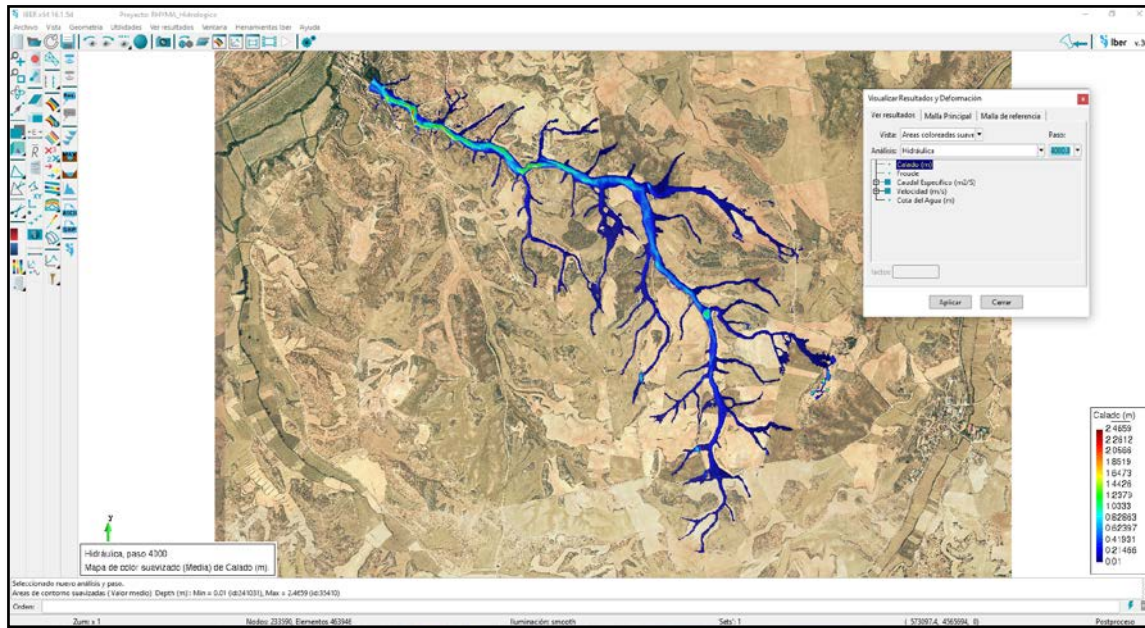
- Una vez hemos completado el apartado de datos del problema, procedemos a guardar el proyecto, y a continuación, pasamos a ejecutar la simulación
 - o Menú Calcular \ Calcular
 - Comienza el proceso de cálculo
 - Para ir siguiendo el progreso del cálculo:
 - Menú Calcular \ Ver información proceso
- Una vez finalizado el proceso de cálculo (que puede durar varias horas), el programa pregunta si queremos ir directamente al Post-proceso, en el cual podemos consultar y visualizar los resultados de nuestro modelo.

6. Consulta de los Resultados de la Simulación Hidrológico-Hidráulica – Modulo de Postproceso de Iber.

En este último apartado del ejemplo propuesto vamos a proceder a la consulta y visualización de alguno de los resultados obtenidos mediante la simulación hidrológica-hidráulica.

- Dentro de los resultados que nos el programa, en primer lugar, nos vamos a centrar en la visualización de resultados de las variables asociadas a los análisis de “Hidráulica”.
 - o Menú Ventana \ Ver resultados
 - Vista: Áreas coloreadas suaves
 - Análisis: Hidráulica
 - Variable: Calado
 - Paso: 4000
 - Aplicar

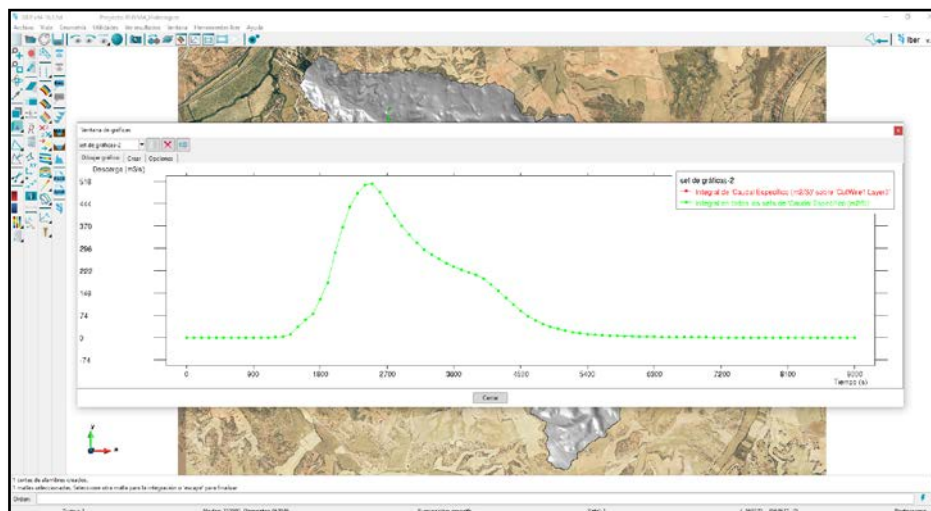
Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos



- También podemos generar el hidrograma de salida de la cuenca, asociado al evento de precipitación que hemos simulado. Para poder generar el hidrograma en la forma que se indica a continuación, es imprescindible que en los resultados a obtener del modelo hayamos seleccionado la opción “Caudal Específico”.

- o Botón “Obtener hidrograma”

- Dibujamos la sección transversal. Para ello indicamos el punto inicial de dicha sección, luego el punto final de la misma, y confirmamos nuestro diseño de sección pulsando la tecla <ESC> de nuestro teclado.



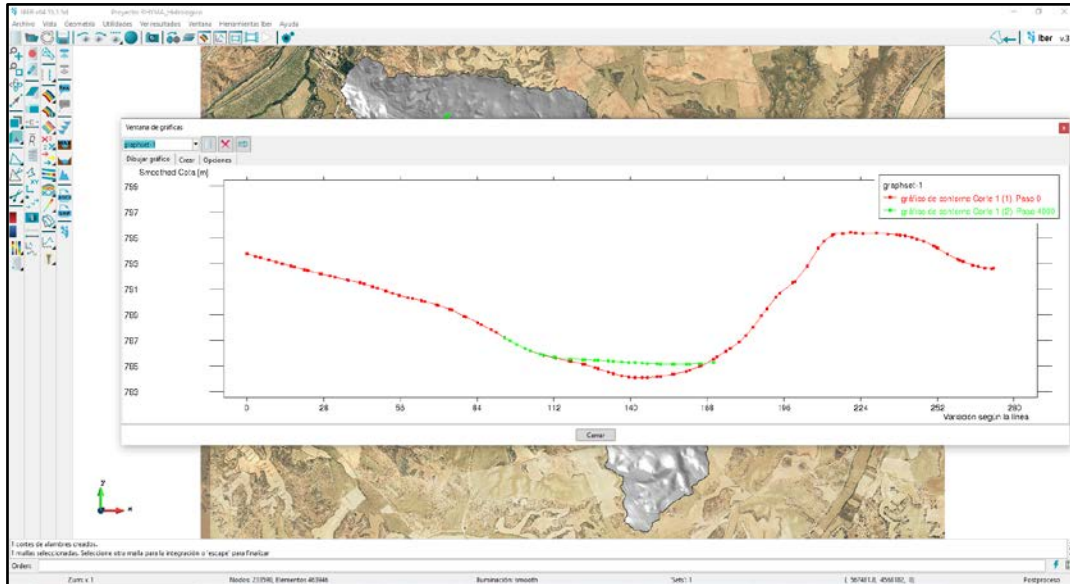
- Asimismo, podemos generar también la sección transversal del canal en un momento dado, y así observar el calado en esa sección. Para poder generar dicha sección transversal, es imprescindible que en los resultados a obtener del modelo hayamos seleccionado la opción “Cota de Agua”.

- o Botón “Crear Perfiles”

- Dibujamos la sección transversal

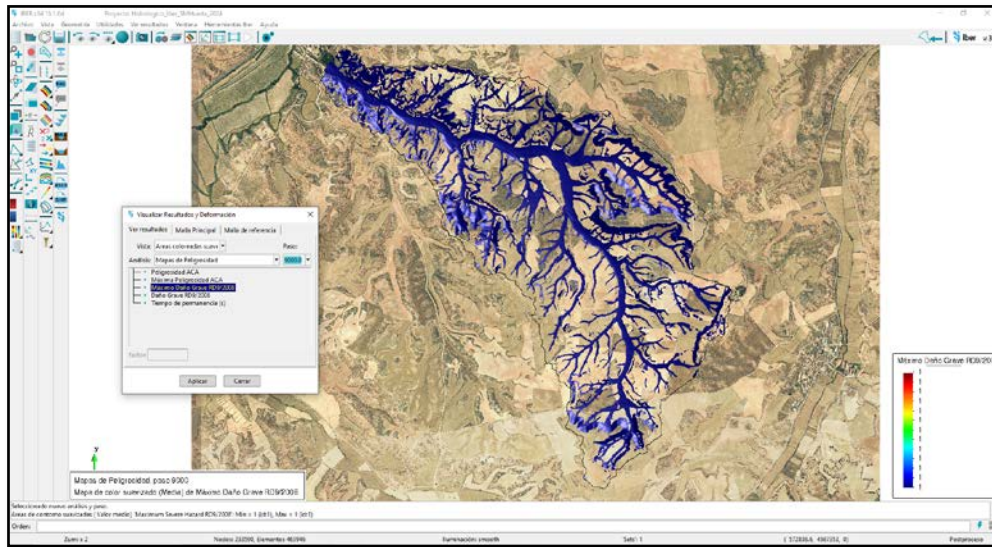
Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

- Botón “Dibuja superficie en un instante”
 - Aparece una ventana en la que seleccionamos la sección transversal que hemos dibujado, y el instante temporal que queremos representar.
 - Seleccionamos también el instante: 4000 seg.



También podemos dibujar la sección transversal y solicitar al programa que nos muestre la máxima altura de la lámina de agua en esa sección a lo largo de todo el tiempo de simulación. Para visualizar este resultado, debemos obligatoriamente haber seleccionado el resultado “*Máxima Cota de Agua*” a la hora de configurar nuestro modelo.

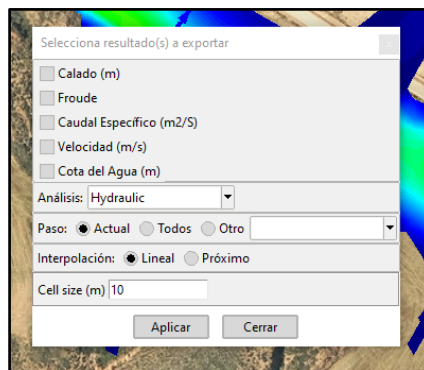
- Es evidente que no solo podemos consultar y visualizar resultados ligados a la “Hidráulica”, sino que podremos consultar sobre todas aquellas variables seleccionadas al construir el modelo. En la siguiente consulta, le pedimos al modelo que nos muestre las zonas en las que a lo largo de toda la simulación se han dado las condiciones necesarias para que se considere la existencia de un “Riesgo Grave” según lo definido en el Real Decreto 9/2008 que modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
 - Menú Ventana \ Ver resultados
 - Vista: Áreas coloreadas suaves
 - Análisis: Mapas de Peligrosidad
 - Variable: Máximo Daño Grave RD9/2008
 - Paso: 9000
 - Aplicar



7. Exportación de resultados de Iber para su uso en otras plataformas de software.





Debemos tener en cuenta que, aunque Iber no es un sistema de información geográfica, si tiene la capacidad de manejar información geo-referenciada. De tal forma, que los datos exportados desde Iber contienen esa información espacial necesaria para su combinación con otras fuentes de datos geo-referenciados.

- En este último paso los resultados obtenidos en Iber pueden ser exportados en formato ASCII Ráster (geo-referenciados), y utilizados posteriormente en cualquier gestor de información geográfica o software SIG.
 - Botón “Exportar resultados a ASCII Ráster”
 - Dependiendo del tipo de análisis que estemos visualizando (Hidráulica; Hidrología; Mapas de Peligrosidad; Mapas de Máximos;...) se nos mostrarán las variables que podemos exportar, pudiendo seleccionar una o varias.
 - También debemos indicar el instante temporal del cual queremos realizar la exportación (o seleccionar la opción “Todos”).
 - Indicaremos también el tipo de interpolación que queremos utilizar.
 - Por último, debemos indicar al programa el tamaño de pixel que tendrá el/los ráster que se van a generar.



- Una vez ejecutamos la exportación, se generará una carpeta dentro de nuestro proyecto que contendrá los ficheros ráster generados durante el proceso de exportación.

Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

P03_PRACTICA_IBER_HIDROLOGICO_HUERTA > Hidrologico_iber_SMHuerta_2024.gid > Rasters > Hydraulic			
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 Depth__4000.0.asc	01/02/2024 18:43	Archivo ASC	178.138 KB
 Velocity__4000.0.asc	01/02/2024 18:43	Archivo ASC	178.138 KB
 Velocity_x_4000.0.asc	01/02/2024 18:43	Archivo ASC	178.138 KB
 Velocity_y_4000.0.asc	01/02/2024 18:43	Archivo ASC	178.138 KB

Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

Valores medios Número de Curva

gridcode	NCurva
1	84.88
2	83.98
3	85.99
4	84.75
5	85.09
6	84.98
7	84.22
8	83.07
9	83.73
10	80.26
11	84.94
12	86.33
13	82.03
14	83.64
15	80.88
16	83.94
17	83.28
18	84.54
19	84.16
20	83.19
21	85.16
22	83.70
23	84.57
24	85.17
25	84.64