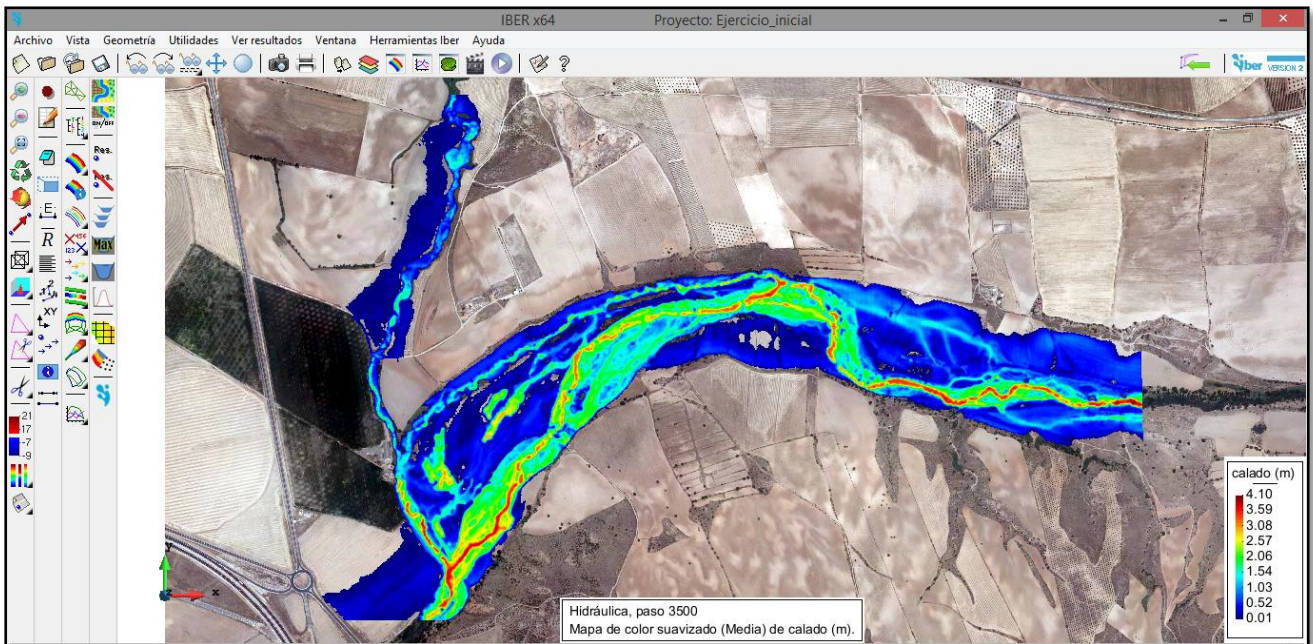


## Modelización Hidrodinámica 2D de Caudales. *Modelo IBER 2D*



Mediante la realización de este ejercicio práctico se describirá el flujo de trabajo común para llevar a cabo el proceso de modelización hidrodinámica de caudales. De tal forma que, partiendo de un evento de avenida fluvial y su hidrograma asociado, se presenta el modo de construcción de un modelo hidrodinámico con el que obtener la distribución espacial de zonas afectadas por la avenida (zonas anegadas por las aguas), así como las características hidráulicas (como la altura de la lámina de agua, o la velocidad de flujo). 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 tramo bajo del río Guadarrama (ya próximo a su desembocadura en el río Tajo), aguas arriba de su intersección con la autovía A-40 (Provincia de Toledo). A continuación, se describen los datos utilizados en el ejemplo propuesto:

- *Modelo Digital de Elevaciones (DEM)*. Datos topográficos en formato raster, procedentes de los ficheros digitales de nubes de puntos 3D obtenidos con LiDAR del CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica-IGN), disponibles a través del Centro de Descargas del CNIG ([Centro de Descargas del CNIG \(IGN\)](#)). Estos datos provienen del LiDAR 1ª Cobertura, con fecha 2009-2010, y una densidad de 0.5 ptos m<sup>-2</sup>. El ráster, interpolado a partir de los puntos clasificados como terreno (“ground”) tiene una resolución espacial de 1 metros.

# Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

---

- *Modelo variable Coeficiente Rugosidad Manning (n)*. Datos del valor del parámetro *Coeficiente de Rugosidad de Manning ('n' manning)*, representativos de la oposición al flujo de agua que provoca tanto la irregularidad de la superficie del terreno, como la vegetación existente. El modelo es de elaboración propia para el presente ejemplo, y para su construcción se ha empleado 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), así como la Ortofotografía del PNOA.
- *Hidrograma de Avenida*. El hidrograma ("*Hidrograma\_Guadarrama.xlsx*") representa en dos columnas el tiempo (s) y el caudal ( $m^3 s^{-1}$ ) para un evento de avenida asociado a un periodo de retorno de 100 años. El hidrograma fue construido en función del valor de caudal punta obtenido a través de la aplicación informática CauMAX, la cual puede obtenerse gratuitamente a través de la Web del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), en el siguiente enlace web: [Mapa de caudales máximos en régimen natural \(miteco.gob.es\)](http://mapa.de.caudales.máximos.en.régimen.natural(miteco.gob.es)).
- *Subzonas del área de estudio*. Esta capa de información ("*superficies\_poligonos.shp*"), en formato vectorial de tipo "shapefile", contiene una serie de polígonos que serán utilizados posteriormente para diferenciar el nivel de detalle del análisis en función de la importancia de cada zona del territorio.
- *Ortofotografía PNOA*. Se proporcionan tanto la ortofotografía del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) de la zona de estudio ("*ortofoto\_PNOA.jpg*"), como una imagen del modelo de sombreado del terreno de dicha zona ("*sombreado.jpg*"). Ambas imágenes están referenciadas espacialmente (Sistema de Referencia ETRS UTM Zona 30N), y por tanto pueden ser utilizadas como imagen de fondo en nuestro ejercicio.

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

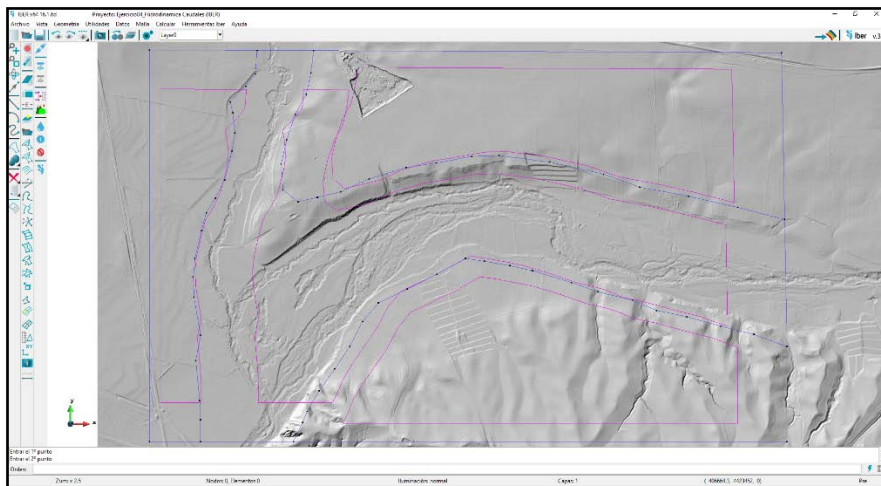
## **1. Importación de superficies e implementación de las condiciones hidráulicas**

- 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:
- En este ejemplo no es necesaria la activación de ningún módulo extra de Iber, dado que el módulo de hidráulica se encuentra activo por defecto. Sí podremos optar por la optimización del cálculo mediante el uso del procesador de nuestra tarjeta gráfica (siempre y cuando esta sea potente, pues sino no notaremos diferencia en el tiempo de cálculo). Para ello, entraremos en el menú "Herramientas Iber".
  - o Herramientas Iber \ Plug-ins
    - Seleccionamos la opción que permite que el programa utilice "GPU parallelization" con

# Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

IberPlus. Si nuestra tarjeta gráfica es relativamente potente, se reducen significativamente los tiempos de cálculo de los modelos.

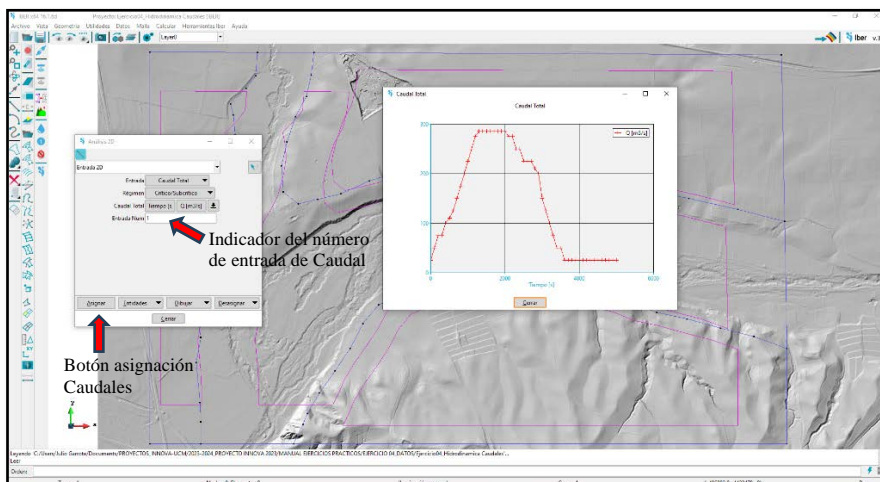
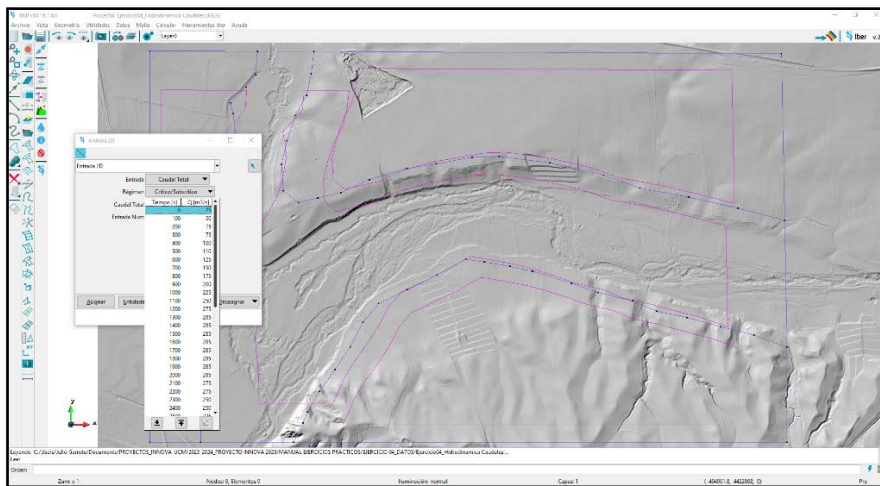
- Como siguiente paso vamos a generar la geometría que representará la zona de trabajo. Para ello vamos a importar los polígonos definidos en un fichero de tipo “shapefile”, los cuales representan una propuesta de áreas con distinta importancia para nuestra modelización, en las que se ha dividido el área de estudio. La utilización de estas superficies nos permitirá la opción de más adelante en este mismo ejemplo, definir diferentes tamaños de malla de cálculo en función de la importancia de cada zona del territorio (cauces, laderas, ...).
  - o Menú Archivo \ Importar \ Shapefile
    - Seleccionamos el shapefile “*superficies\_poligonos.shp*” de la carpeta “*SUPERFICIES*” del proyecto.
  - o 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.



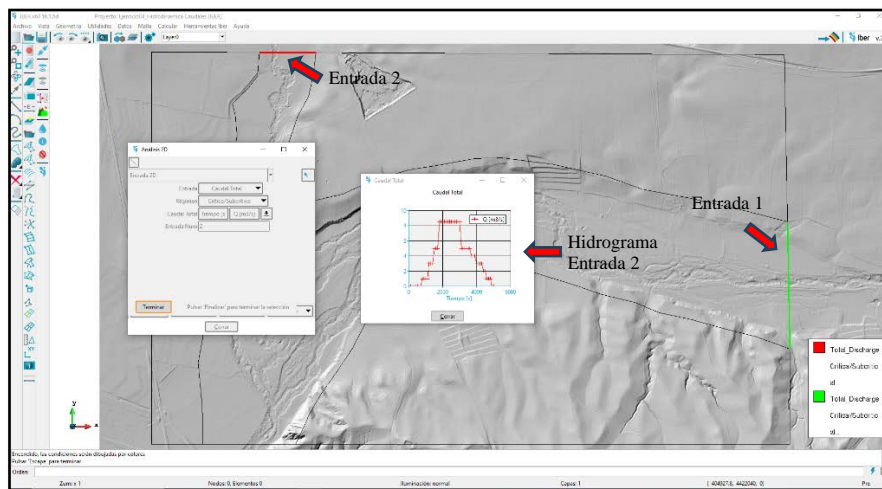
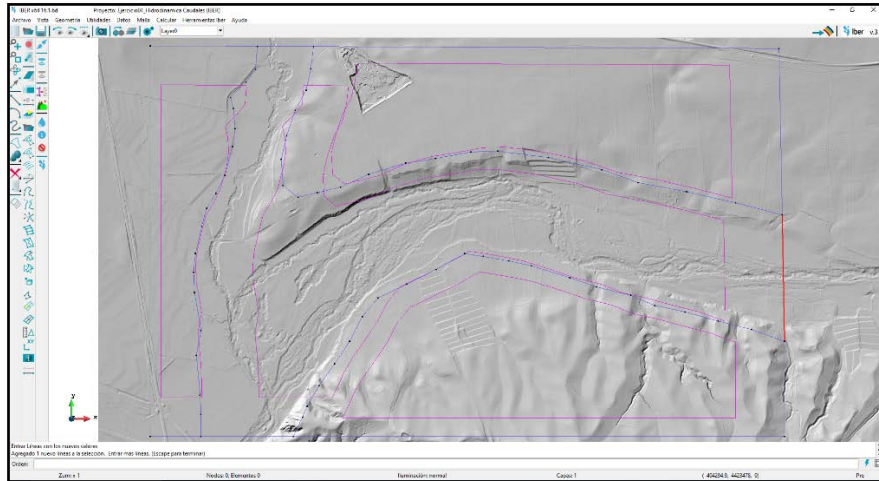
- El fondo que vemos en la imagen anterior, o bien una imagen del PNOA de la zona, se encuentran en la carpeta “PNOA” del proyecto, y podemos usarlas como imagen de fondo de nuestro ejercicio:
  - o Menú Vista \ Imagen de Fondo \ Tamaño Real
    - Y seleccionamos la imagen que deseamos, con la condición de que debe contener información de su referenciación espacial.
- Ahora procedemos a introducir las condiciones de contorno del problema. En este ejemplo, las condiciones de contorno se componen de 2 entradas 2D de caudal (río Guadarrama, y Arroyo de Renales), y de Salida 2D (río Guadarrama). El modelo nos permite definir tantas entradas y salidas sean necesarias en función de la configuración real de la red de drenaje en ese punto del territorio; y a cada una de las entradas se les puede asignar diferentes valores de caudal.
  - o Menú Datos \ Hidrodinámica \ Condiciones de Contorno
    - Introducimos las condiciones de Entrada 2D
      - Caudal Total

# Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

- Régimen Crítico / Subcrítico
- Valor del Caudal Total: Asignamos los siguientes valores de caudal punta.
  - La dinámica de asignación de caudales implicaría que en primer lugar se define el hidrograma en el programa, y luego se asigna dicho hidrograma a los elementos por los que el agua podría entrar en el modelo; para a continuación crear la segunda entrada, definir su hidrograma, y asignar el mismo a los elementos que conforman esa segunda entrada de agua al modelo.
  - Entrada 1 (río Guadarrama): El hidrograma asociado lo encontramos en el fichero “*Hidrograma\_Guadarrama.xlsx*”. Podemos copiar y pegar los datos desde el fichero Excel a la tabla de Iber. A continuación podemos pulsar el botón que representa un gráfico, para lograr una representación básica del hidrograma.
  - Entrada 2 (Arroyo de Renales): El hidrograma asociado lo encontramos en el fichero “*Hidrograma\_Guadarrama.xlsx*”.

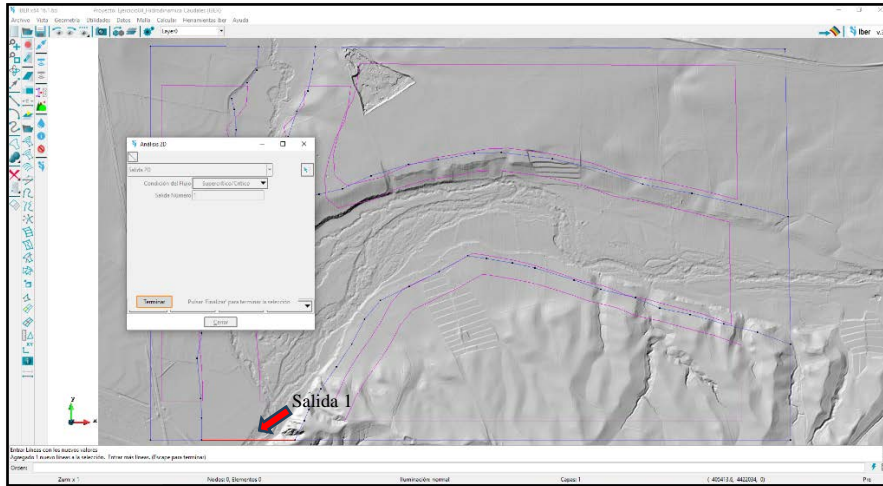


# Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

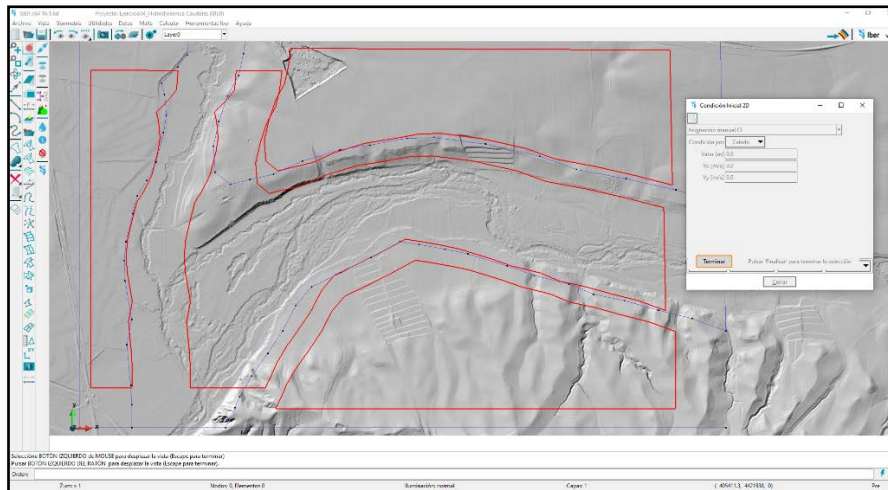


- Para ver a la vez representadas las dos entradas de caudal, dentro de la ventana de asignación, pulsamos el botón “Dibujar”, y seleccionamos la opción “Colores”.
- Ahora procedemos a introducir las condiciones de Salida 2D de nuestro modelo. Para ello, simplemente debemos seleccionar esta opción en el primero de los menús desplegables (el superior) de la ventana de asignación de Condiciones de Contorno.
  - 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.

# Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos



- A continuación, debemos definir 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).

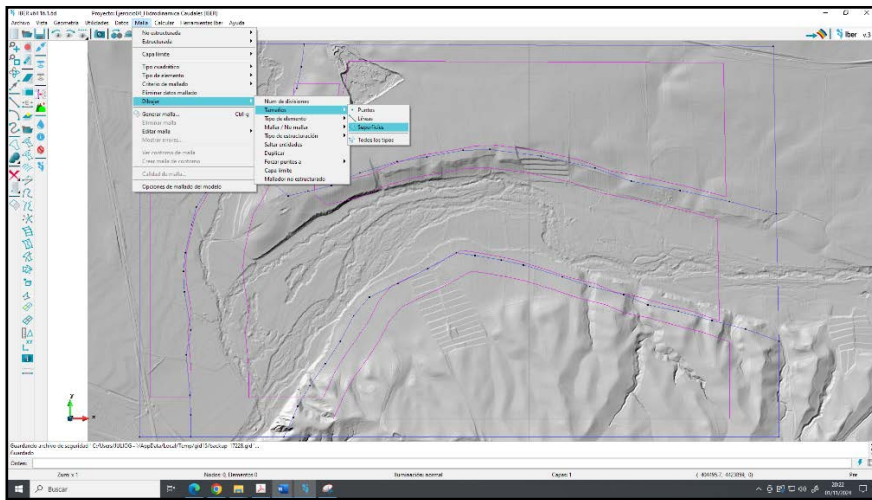


## 2. Generación de la malla representativa del relieve.

- En este punto del ejercicio vamos a crear la malla de cálculo, en la que por un lado quedarán almacenados los datos relativos a las condiciones de contorno e iniciales anteriormente asignadas, y por otro procederemos a implementar nuevas variables como el coeficiente de rugosidad de Manning o la topografía.
  - o En primer lugar, vamos a definir los diferentes tamaños de la malla en función de nuestros interés e importancia de cada zona del territorio
    - Menú Malla \ No Estructurada \ Asignar Tamaño
      - Tamaño = 3 -- Zona Cauce.

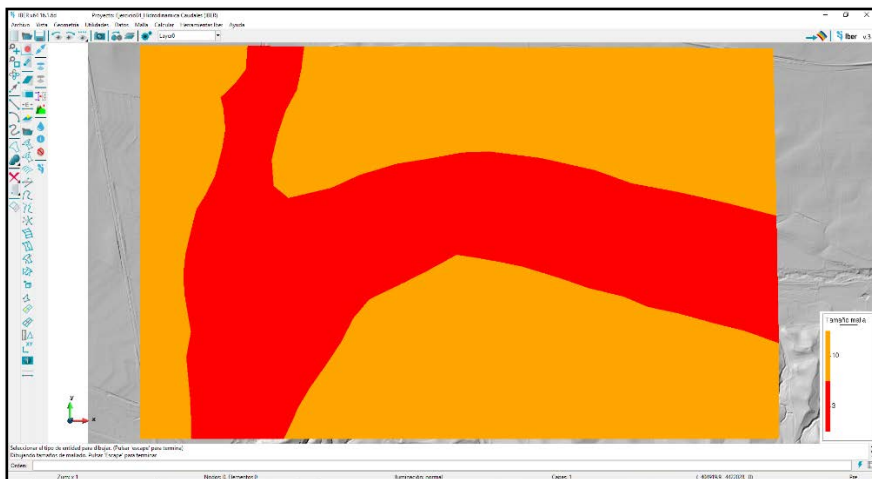
# Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

- Tamaño = 10 -- Zona laderas y cultivos.



- Podemos visualizar la asignación de tamaños así:

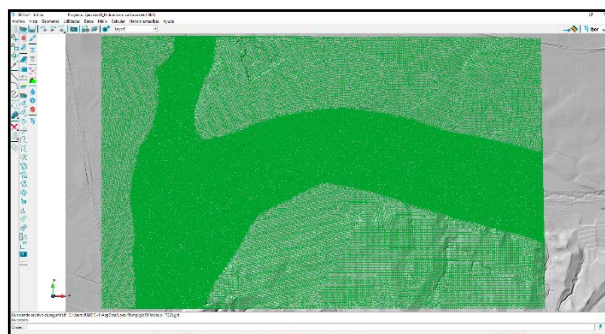
- Menú Malla \ Dibujar \ Tamaño \ Superficies



- Una vez definidos los tamaños de malla, podemos generar la misma.

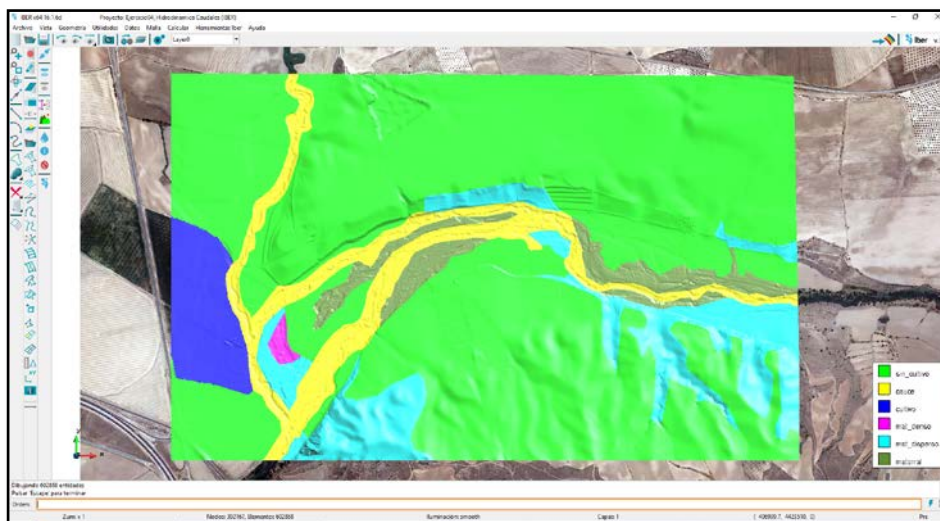
- Menú Malla \ Generar malla

- ¡Comprobando previamente que la opción de utilizar parámetros definidos en el modelo esta activada!. 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.



### 3. Asignación de variables Rugosidad de Manning.

- Ahora procedemos a asignar los valores de rugosidad ( $n$  de Manning) a la malla, que desde el punto de vista hidráulico representan la fricción que la superficie del terreno y la vegetación ejercen frente al paso del agua.
  - o Primero debemos crear los tipos de suelo específicos del ejercicio, según la tabla “*valores\_manning.xlsx*” que se encuentra en la carpeta “N\_MANNING”. El software Iber trae definidos por defecto una serie de usos del suelo, que podemos usar directamente o editar para modificarlos. En este caso, vamos a obviar dichos usos del suelo y crear unos usos nuevos y específicos para nuestro proyecto.
    - Menú Datos \ Rugosidad \ Usos de Suelo
      - Creamos cada uno de los nuevos tipos de suelo, indicando nombre y valor del coeficiente de Manning.
      - El flujo de trabajo consistirá en: 1) crear un nuevo uso del suelo, 2) modificar su nombre para que sea igual al del fichero Excel, y 3) modificar el valor del coeficiente de rugosidad de Manning para que coincida también con el indicado en la hoja Excel.



- o En segundo lugar procedemos a la asignación automática de valores de  $n$  de Manning a partir de un fichero ASCII raster
  - Menú Datos \ Rugosidad \ Asignación automática
    - Archivo ASCII Grid
    - Seleccionamos fichero “*n\_iber\_ascii.txt*”
    - Una vez realizada la asignación, aceptamos el dibujo de los materiales, para comprobar la correcta asignación. En este punto debemos ver tantos usos del suelo como hayamos definido para nuestro proyecto.
- Volvemos a guardar el modelo antes del siguiente paso.

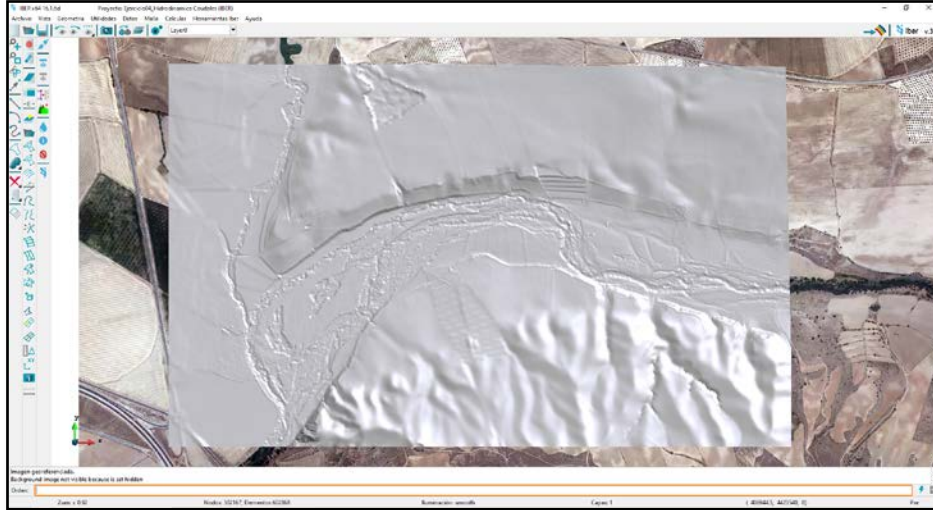
### 4. Asignación de la Elevación del Terreno.

- 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 “*mdt01\_guadarrama.tif*” disponible en la sub-

# Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

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



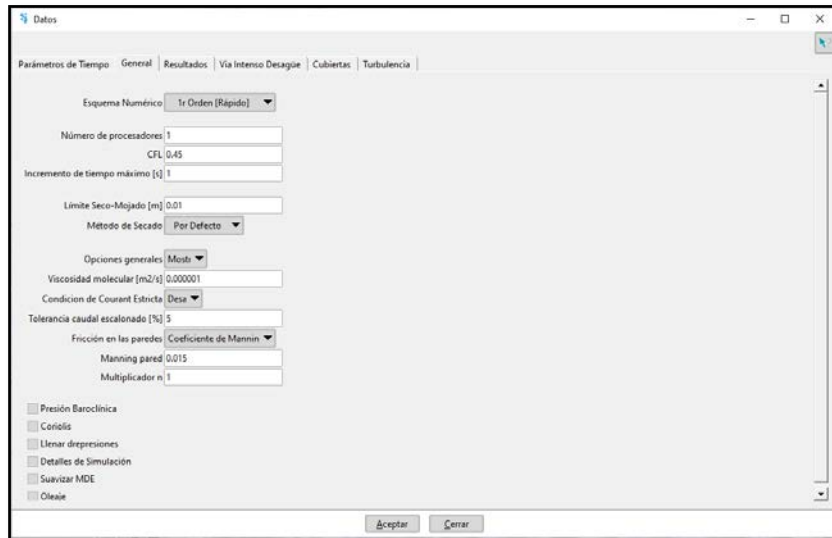
- Por último, volvemos a guardar el modelo antes del siguiente paso.

## 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.

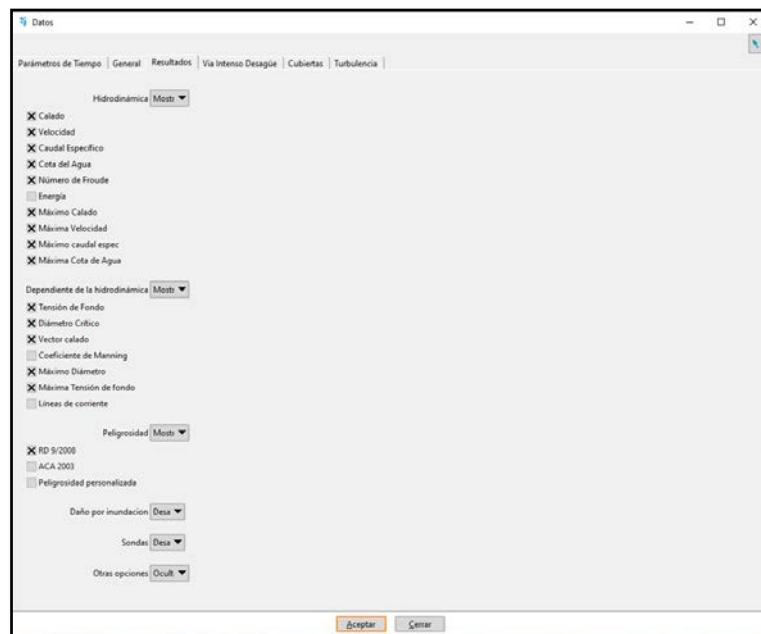
- Para lograr este objetivo, en primer lugar accedemos a la ventana de Datos del Problema
  - Menú Datos \ Datos del Problema
  - Procedemos a cumplimentar las pestañas de información que se indican a continuación.
    - Pestaña “Parámetros de tiempo”
      - Instante inicial: 0 s
      - Tiempo de la simulación: 15.000 s
      - Intervalo de tiempo de cálculo: 50 s
    - Pestaña “General”
      - Esquema Numérico: 1r Orden [Rápido]
      - 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.

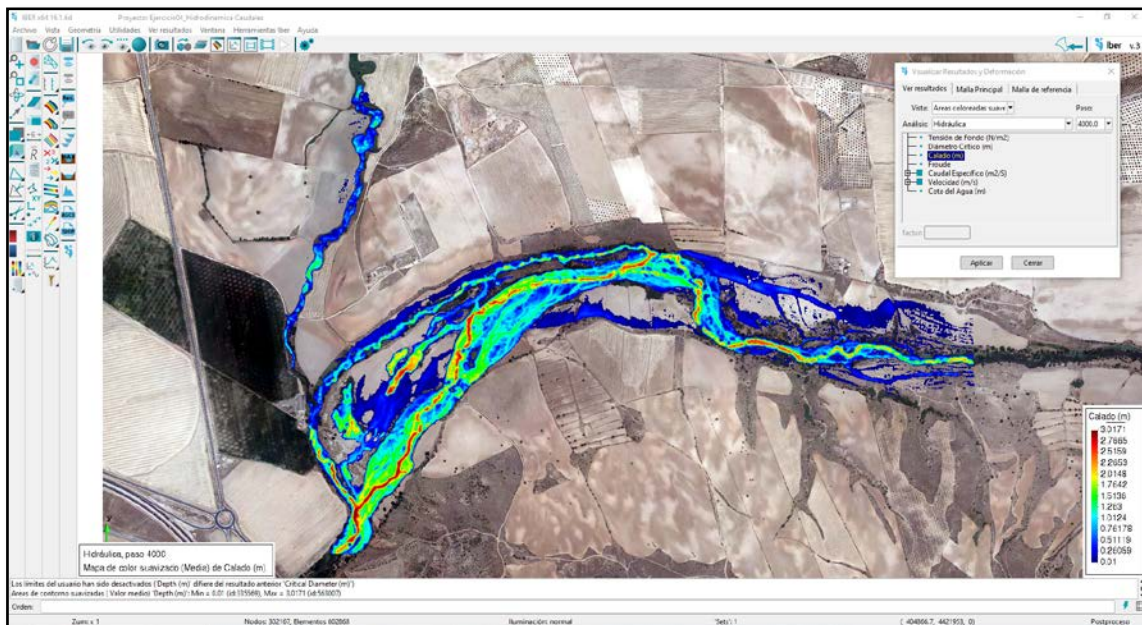


- Una vez hemos completado el apartado de datos del problema, procedemos a guardar el proyecto, y a continuación, pasamos a ejecutar la simulación
  - Menú Calcular \ Calcular
    - Comienza el proceso de cálculo
    - Para ir siguiendo el progreso del cálculo:
      - Menú Calcular \ Ver información 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.

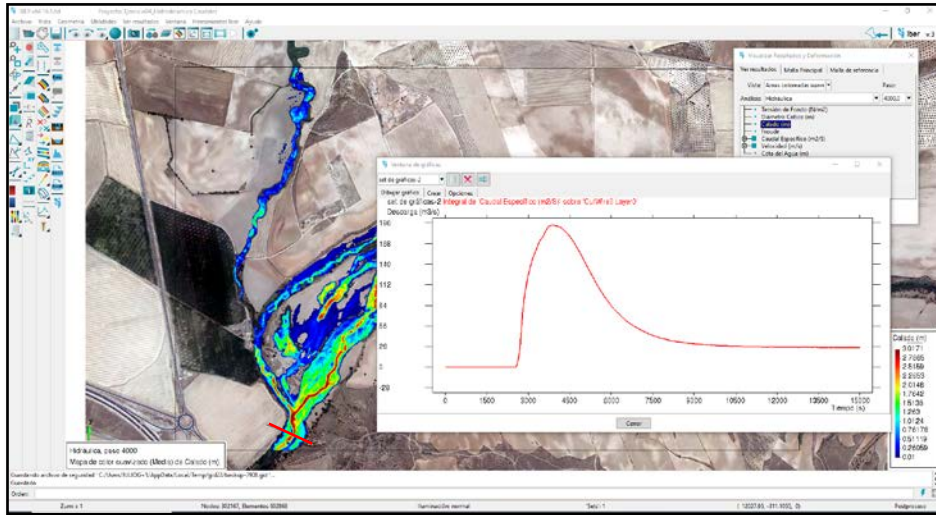
En este último apartado del ejemplo propuesto vamos a proceder a la consulta y visualización de alguno de los resultados obtenidos mediante la simulación hidrológica-hidráulica.

- 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”.
  - Menú Ventana \ Ver resultados
    - Vista: Áreas coloreadas suaves
    - Análisis: Hidráulica
      - Variable: Calado
    - Paso: 4000
    - Aplicar

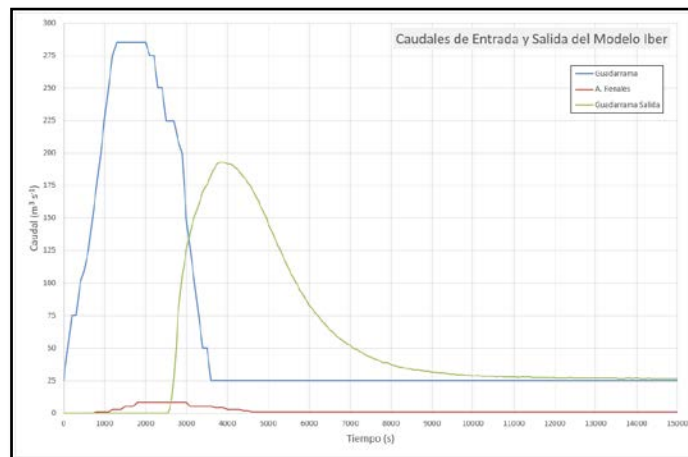


- También podemos generar el hidrograma de salida de la cuenca, asociado al evento de precipitación que hemos simulado. Para poder generar el hidrograma en la forma que se indica a continuación, es imprescindible que en los resultados a obtener del modelo hayamos seleccionado la opción “Caudal Específico”.
  - Botón “Obtener hidrograma”
    - Dibujamos la sección transversal. Esta sección será localizada en la zona final del modelo, aguas debajo de la confluencia entre ambos cauces. Para ello indicamos el punto inicial de dicha sección (dibujada siempre de margen izquierda a margen derecha del canal en el sentido de flujo), luego el punto final de la misma, y confirmamos nuestro diseño de sección pulsando la tecla <ESC> de nuestro teclado. En la siguiente figura, la sección está representada con una línea roja.

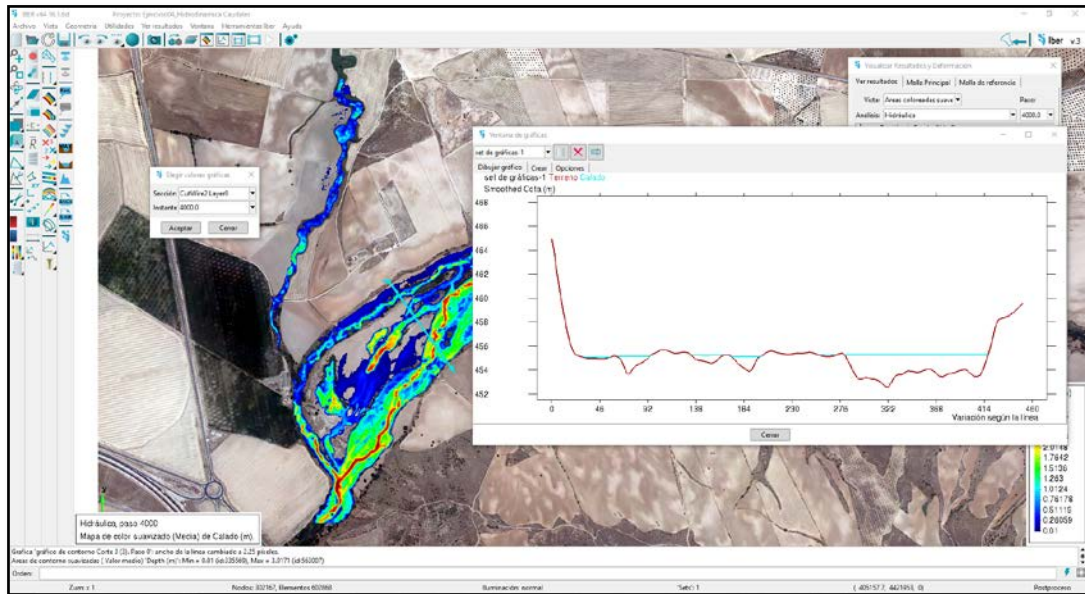
# Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos



- También podemos exportar los datos de ese hidrograma de salida, y compararlos con los hidrogramas de entra del modelo (R. Guadarrama y A. Renales). Discutiendo el efecto que se ha producido en la forma de esos hidrogramas.



- 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”.
  - Botón “Crear Perfiles”
    - Dibujamos la sección transversal (en azul claro en la imagen inferior). También dibujada de margen izquierda a margen derecha del canal.
  - 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.

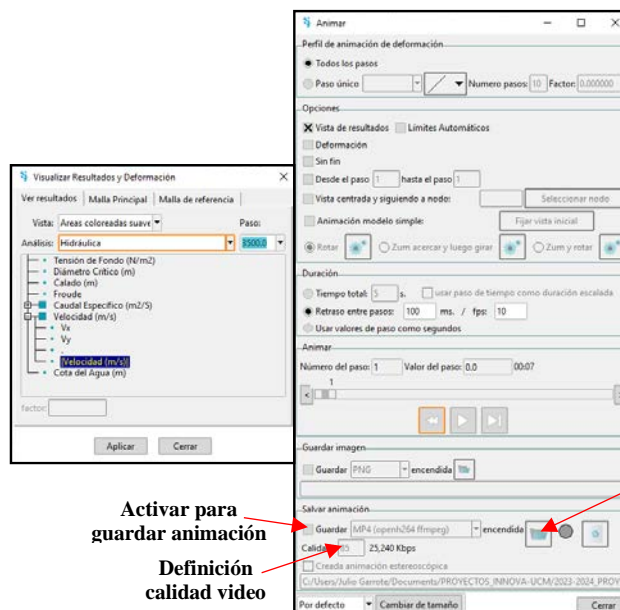
- Es evidente que no solo podemos consultar y visualizar resultados ligados a la “Hidráulica”, sino que podremos consultar sobre todas aquellas variables seleccionadas al construir el modelo. En la siguiente consulta, le pedimos al modelo que nos muestre las zonas en las que a lo largo de toda la simulación 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. Generación de animaciones con los resultados de Iber.

En el ejercicio anterior comentamos como exportar los resultados georreferenciados que nos proporciona Iber para su inclusión y uso dentro de un software de Sistema de Información Geográfica (como ArcMap, Qgis,...). A continuación, vamos a ver como generar animaciones con los resultados, tanto una animación simple desde una vista cenital de los resultados obtenidos, como una animación que nos proporciona una visión 3D de los resultados de nuestros modelos hidrodinámicos.

- En el primer ejemplo vamos a generar una animación con la variable “*Velocidad*”, y en concreto con la subvariable “*|Velocidad (m/s)|*” adoptando una visión cenital de los resultados, aprovechando la imagen de fondo (ortofoto PNOA) que hemos utilizado.
  - o Primero, y desde la ventana de “*Visualización Resultados y Deformación*” procedemos a configurar la pestaña “*Ver resultados*” tal y como muestra la imagen inferior (izquierda), dejando las otras dos pestañas sin tocar. Por otro lado, la ventana “*Animar*” la configuramos según la imagen inferior (derecha):

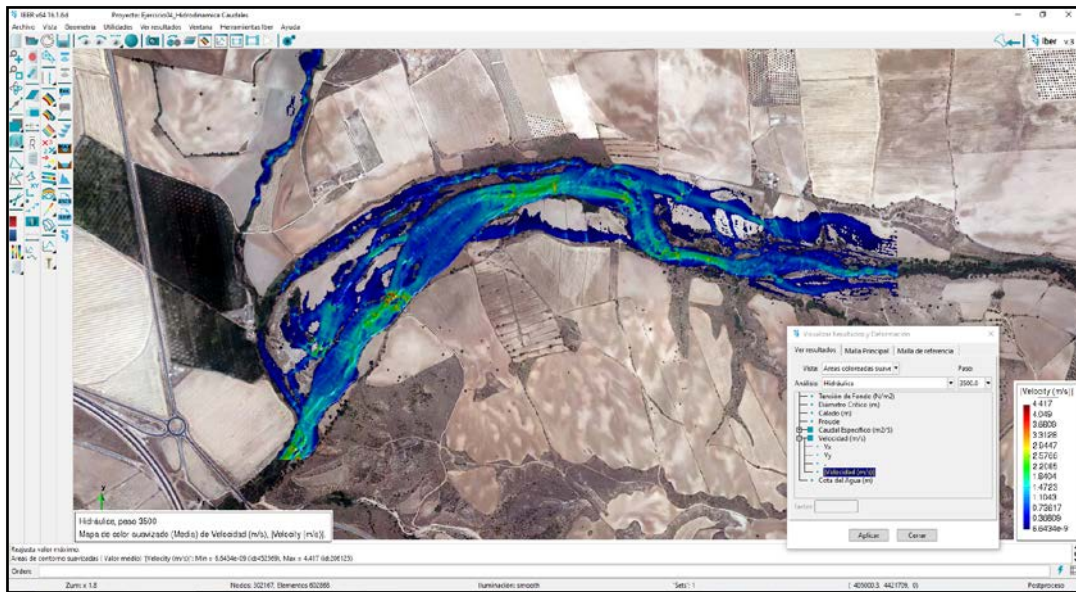


Activar para guardar animación  
Definición calidad video

Carpeta y nombre animación video generada

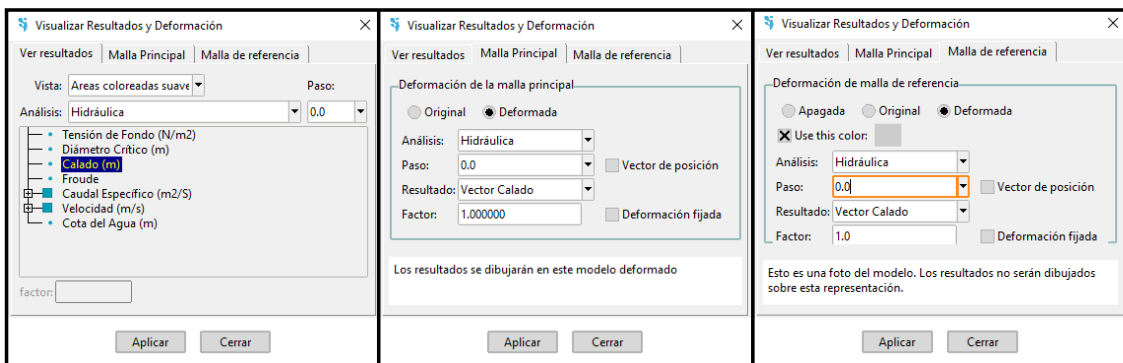
# Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos

A continuación, vemos una captura de la animación generada con la configuración anterior:



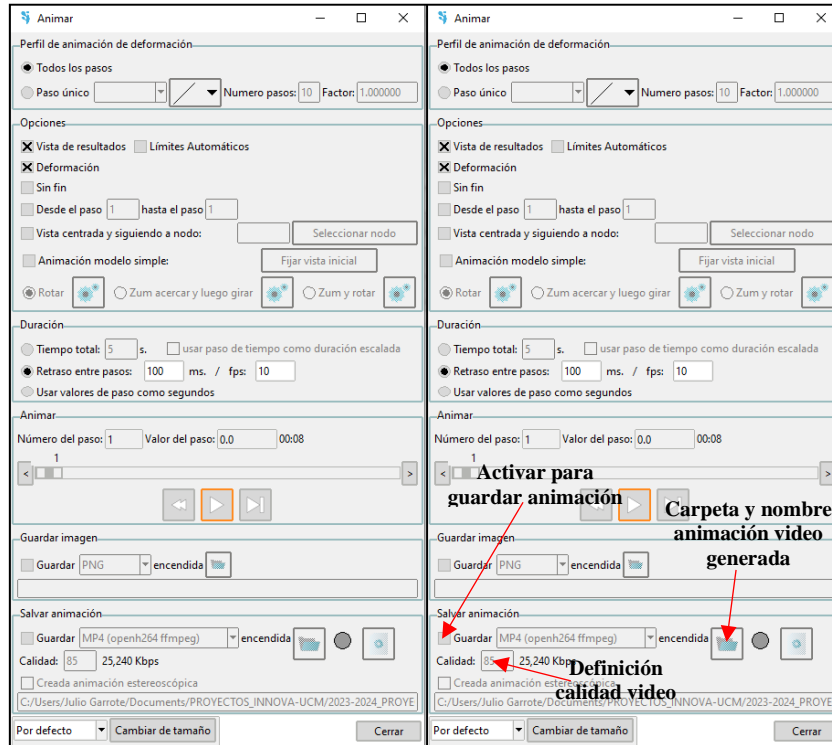
- En segundo lugar, vamos a generar una animación de la variable “Calado / Flow Depth” desde un punto de vista oblicuo a los resultados, y utilizando una malla de referencia para proporcionar una visión 3D de los resultados (en este caso, debido al limitado calado, el efecto 3D de la animación no es muy evidente). Para ello seguimos dos pasos:

- o Primero, y desde la ventana de “Visualización Resultados y Deformación” procedemos a configurar sus tres pestañas tal y como muestra la imagen inferior:



- o A continuación, y desde la ventana “Animar” procedemos a configurar la misma tal y como se observa en la siguiente imagen:

# Modelos en Geomorfología ambiental y de Riegos



La zona donde se configura la grabación de la animación se encuentra en la parte inferior de la ventana de *Animación*, y ahí debemos configurar tanto el formato del video que generamos, como su calidad y el nombre y carpeta con el que lo vamos a guardar. Esto se indica más detalladamente en la imagen superior (derecha).

A continuación, vemos una imagen de la vista oblicua generada:

