

## Caracterización cuantitativa del transporte de sedimento, a escala de tramo, en el entorno “BedloadWeb”



Los procesos de transporte de sedimento juegan un papel clave en el funcionamiento hidráulico, geomorfológico y ecológico de los cauces fluviales. Por un lado, el material más grueso transportado por “arrastre tractivo” sobre el fondo del lecho fluvial (la llamada “carga de fondo”) es el “ladrillo” con el que se construye la arquitectura del cauce y se define la geometría del mismo. De este modo, los procesos de transporte de fondo participan a la generación y mantenimiento de meso y macroformas, condicionando las características del hábitat físico de numerosos organismos acuáticos. Por otro lado, el depósito sobre las orillas y llanura de inundación del material más fino, transportado “en suspensión” por la acción de la turbulencia del agua, contribuye al crecimiento vertical (acreción) de la llanura aluvial.

A la vista de todo lo anterior, es fácil entender que la cuantificación de estos procesos de transporte de sedimento es fundamental para todas aquellas ciencias y disciplinas que tratan sobre el medio fluvial, siendo la geomorfología un ejemplo de las mismas. El **objetivo** general de esta práctica es ayudar al

# Estimación del transporte de sedimento

---

alumnado a familiarizarse con el flujo de trabajo que es necesario seguir para una caracterización completa del **transporte de sedimento como carga de fondo**. ¿A qué nos referimos cuando hablamos de caracterizar cuantitativamente el transporte de sedimento? Básicamente, a intentar determinar dos variables sedimentológicas distintas:

- Las tasas de transporte: esto es, el volumen de sedimento que un cauce desplaza para un valor de caudal dado. Estos volúmenes de sedimento fluctúan mucho para un mismo valor de caudal, y la mayoría de ecuaciones y modelos actualmente existentes solo son capaces de estimar la llamada capacidad de transporte o carga límite: la máxima tasa de transporte esperable para un caudal dado.
- La competencia de la corriente: es decir, el tamaño o tamaños de las partículas de sedimento que el cauce es capaz de desplazar.

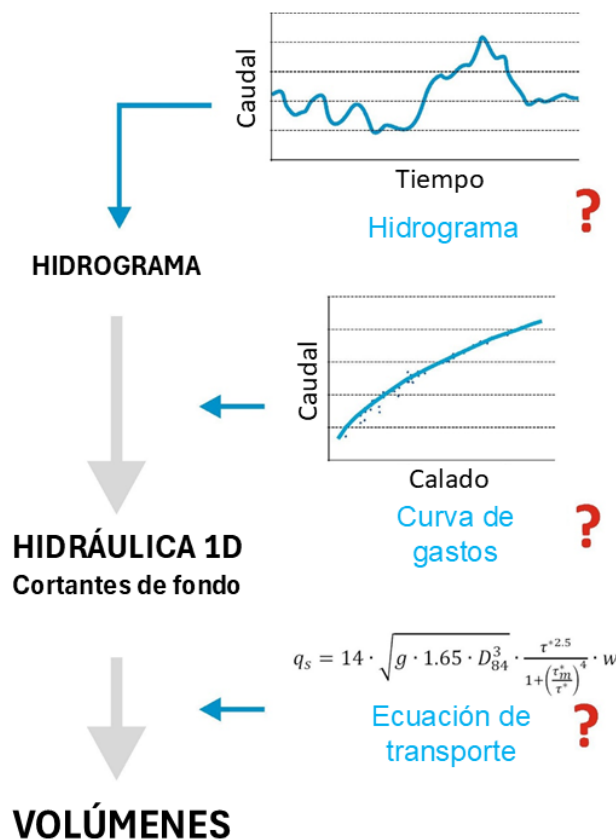
Diversas estrategias han sido propuestas a lo largo del tiempo para intentar determinar o medir en campo estos parámetros. Entre ellas, se puede mencionar el uso de distintos tipos de muestreadores o trampas para determinar los volúmenes que el cauce moviliza durante crecidas. También, el uso de clastos marcados (p.ej., pintados, con etiquetas de radiofrecuencia) para medir sus desplazamientos a lo largo del tiempo. Asimismo, la determinación de cambios volumétricos utilizando medidas topográficas diacrónicas aporta información indirecta sobre el transporte de sedimento. Más recientemente, se ha planteado el uso de diversas técnicas geofísicas (sísmica, acústica) como estrategia prometedora para caracterizar el “ruido” asociado al movimiento de sedimento y, de este modo, estimar tasas de transporte.

La realidad es que muchas de estas técnicas son complejas, difíciles de poner en marcha, plantean riesgos para el operador y/o tienen un carácter aún experimental. Por ello, han sido prácticamente utilizados solamente en trabajos de carácter científico. Son pocos los proyectos de carácter aplicado donde se haya invertido tiempo y dinero en la medida en campo del transporte de sedimento. Así, los estudios típicos de transporte de sedimento que se realizan en el marco de proyectos de tipo ingenieril o aplicado se basan en el uso de distintas **ecuaciones empíricas** o **semiempíricas**, las cuales se han ido proponiendo a lo largo del tiempo como alternativa a la medida en campo. Los pasos generales que suelen seguir cuando se aplican estas ecuaciones son los siguientes:

- 1) Recuperar la mejor crónica de caudales disponible para el tramo de estudio en cuestión.
- 2) Medir en campo la geometría del cauce (anchura, pendiente, profundida) en el tramo de estudio.
- 3) Aplicar una “ecuación de fricción” (p.ej., Manning, Ferguson, Rickenmann-Recking) que permita “traducir” los valores de caudal en valores de las “cortantes de fondo”.

# Estimación del transporte de sedimento

- 4) Finalmente, aplicar una ecuación de transporte de sedimento que permita estimar las tasas de transporte (o la competencia) a partir de los valores de las cortantes de fondo.



Esquema del flujo de trabajo seguido con las ecuaciones de transporte de sedimento. Modificado de “Vázquez-Tarrío D. y Menéndez-Duarte R. (2021). The estimation of bedload in poorly-gauged mountain rivers. *Catena*, 204, 105425”.

En esta práctica, se pretende introducir al alumnado en la aplicación de este flujo de trabajo. Para ello, nos vamos apoyar en una plataforma online llamada “*The Bedload web Project*” (<https://en.bedloadweb.com/>). Esta es una aplicación web desarrollada por el investigador Alain Recking, del INRAE-Grenoble (Francia), la cual ofrece una serie de herramientas gratuitas que permiten resolver el cálculo del transporte de sedimento. Esta web almacena, además, una extensa base de datos de transporte de sedimento, obtenidos de la práctica totalidad de estudios científicos sobre el tema (hasta la fecha). Por todo ello, esta plataforma ofrece una serie de posibilidades con gran potencial pedagógico y didáctico.

Para la realización de la práctica se hará entrega de una serie de ficheros de texto, con la información necesaria para estimar el transporte de sedimento en un caso de estudio; en concreto:

- “*Datos\_seccion.txt*”: En este fichero se encontrará información sobre la geometría, pendiente del lecho y morfología del cauce objeto de estudio en esta práctica.
- “*Granulometria.txt*”: Este fichero recoge la información granulométrica disponible para el cauce de estudio.

## Estimación del transporte de sedimento

---

- “*Hidrograma.txt*”: En este fichero se entrega el hidrograma de una crecida ocurrida en el río de interés, para que se estime la evolución de los flujos de sedimento a lo largo de la crecida.
- “*Validacion\_calados.txt*”: En este fichero se entregan una serie de valores de caudal y calado medidos en campo, que se usarán para ajustar el valor de la rugosidad y refinar nuestros cálculos.

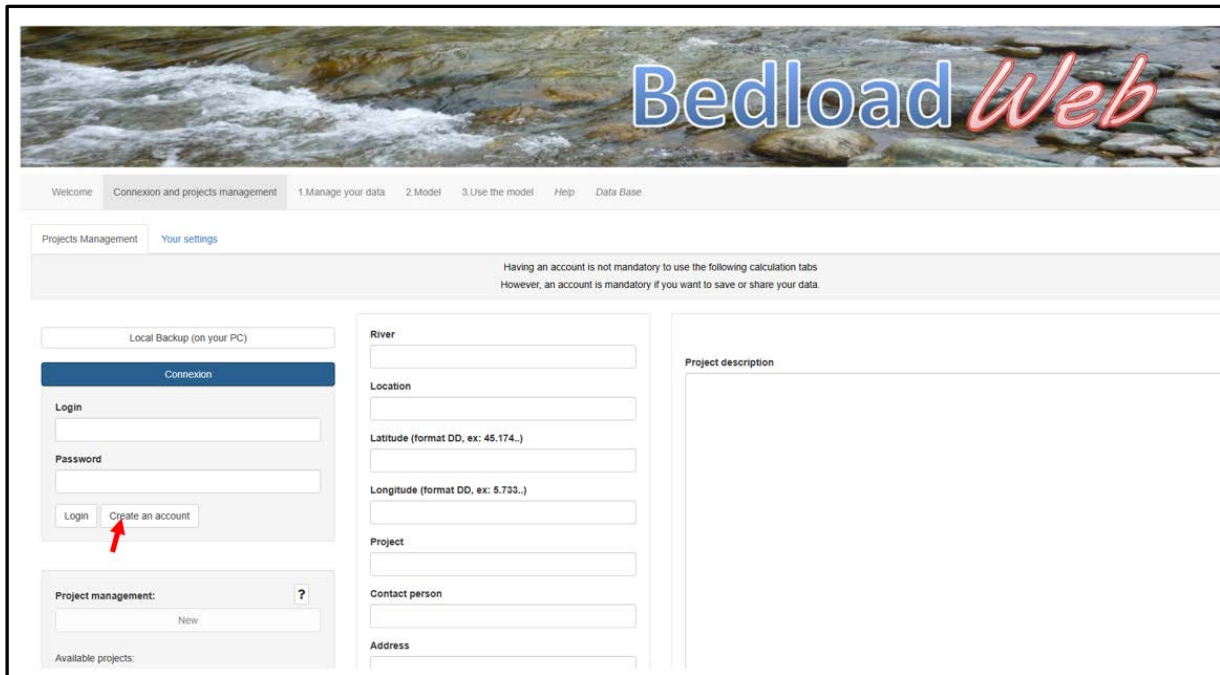
La información de estos ficheros se puede extraer de cualquiera de los casos de estudio recogidos en la base de datos de “Bedload Web”. Procedemos, a continuación, a detallar el flujo de trabajo y los pasos básicos necesarios para la resolución del ejercicio.

En cualquier caso, todos los datos necesarios para la realización del ejercicio pueden obtenerse del siguiente enlace web: “<https://www.ucm.es/geomorfologia-riesgos/>”.

# Estimación del transporte de sedimento

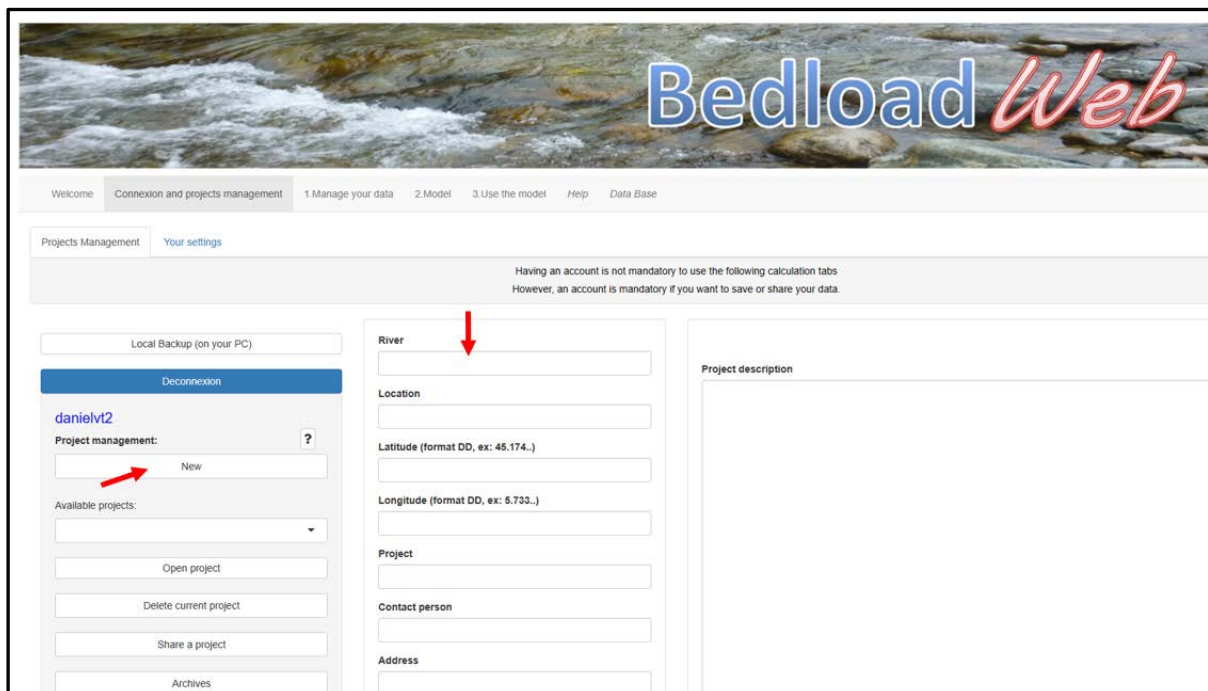
## Paso 1: Conectarse a la página “The bedload web” (<https://en.bedloadweb.com/>)

Una vez conectamos, se procede a crear un usuario y un proyecto. Para ello, se pinchará en la pestaña “Connexion and projects management”. Con ello, se abrirá una nueva ventana, en la que crearemos nuestro usuario.



The screenshot shows the 'Bedload Web' interface. At the top, there is a navigation menu with 'Connexion and projects management' selected. Below the menu, there is a message: 'Having an account is not mandatory to use the following calculation tabs. However, an account is mandatory if you want to save or share your data.' The main form is divided into several sections: 'Local Backup (on your PC)', 'Connexion' (with 'Login' and 'Create an account' buttons), 'Project management' (with a 'New' button), 'River' (with a text input field), 'Location' (with 'Latitude (format DD, ex: 45.174...)' and 'Longitude (format DD, ex: 5.733...)' inputs), 'Project' (with a text input field), 'Contact person' (with a text input field), and 'Address' (with a text input field). A red arrow points to the 'Create an account' button.

Una vez creado el usuario, nos conectaremos y crearemos el proyecto correspondiente al río con el que vamos a trabajar.

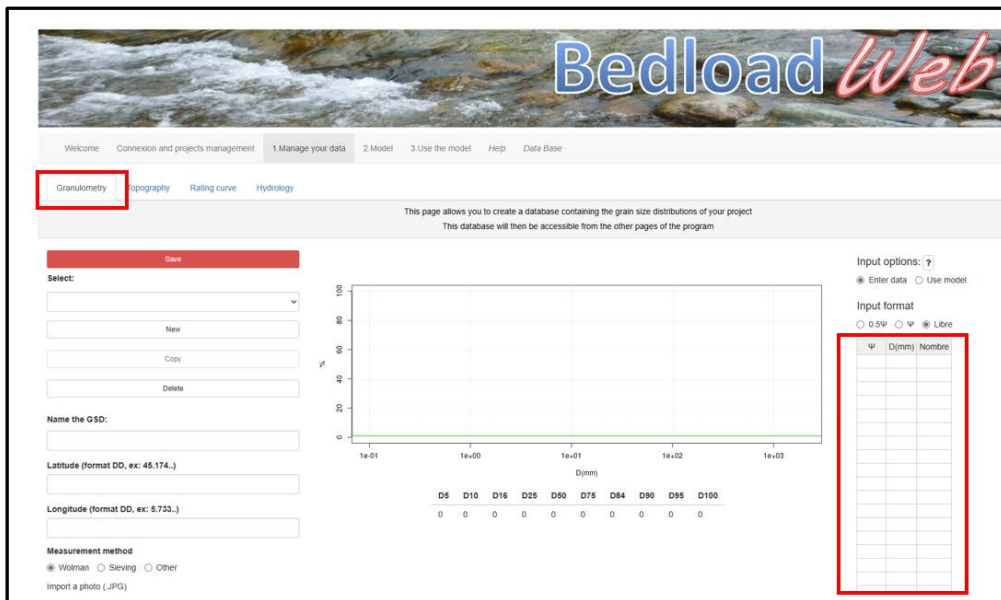


The screenshot shows the 'Bedload Web' interface after logging in. The 'Connexion' button is now 'Deconnexion'. The user is logged in as 'danielv12'. The 'Project management' section shows a 'New' button with a red arrow pointing to it. The 'River' field has a red arrow pointing to it. The 'Available projects' section shows a dropdown menu and buttons for 'Open project', 'Delete current project', 'Share a project', and 'Archives'. The 'Project description' section is empty.

## Paso 2: Introduciremos la información granulométrica disponible.

Para ello, se hará “click” con el ratón en la pestaña “1. *Manage your data*” y, a continuación, en la pestaña “*Granulometry*”. De repente, se abrirá una ventana con una serie de opciones necesarias para la representación de la **curva granulométrica**. La distribución granulométrica se caracteriza o describe en términos de N+1 tamaños  $D_b$ , de tal manera que la curva recoge en el eje de ordenadas la fracción de masa de la muestra que tiene un tamaño de partícula más fino que  $D_b$ .

Para esta representación, “Bedload Web” necesita que se le indique la fracción que representa una serie de tamaños. Esta información se puede introducir manualmente:

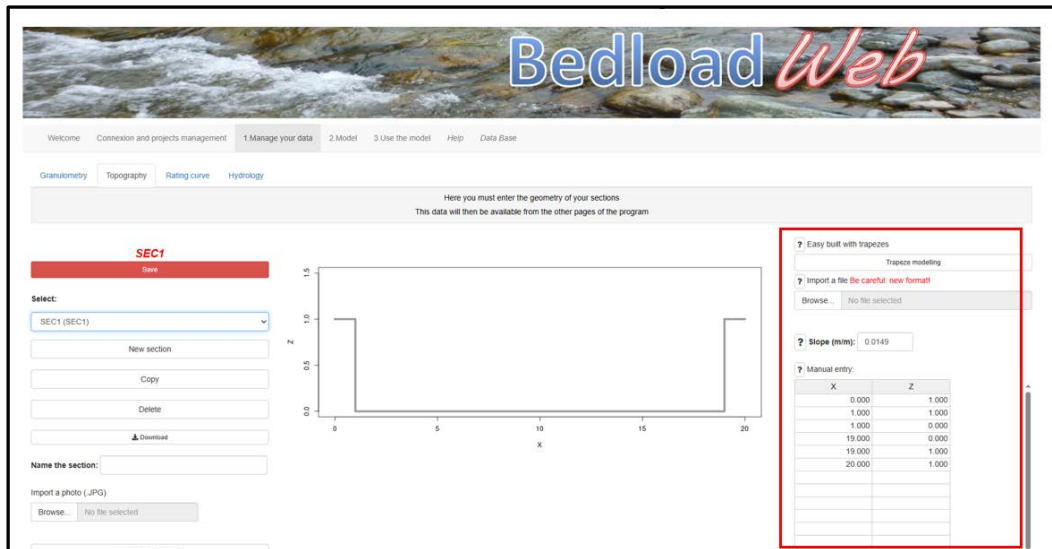


También existe la posibilidad de leer directamente el fichero de texto.

## Paso 3: Definiremos la geometría de la sección.

Para ello, pinchamos en “1. *Manage your data*” y, a continuación, en la pestaña “*Topography*”. De este modo, se abre una ventana donde debemos introducir manualmente la geometría de la sección:

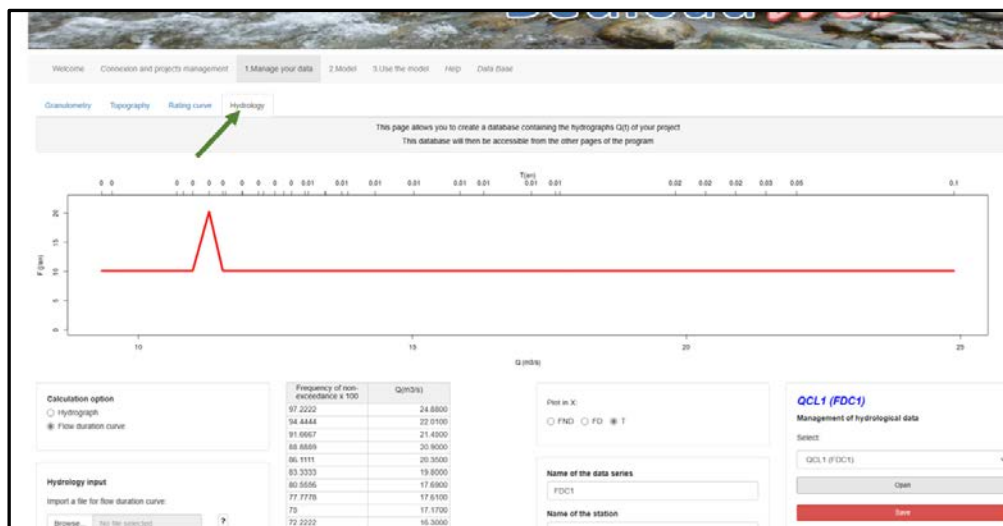
# Estimación del transporte de sedimento



Para los fines del ejercicio, se asumirá el caso sencillo de un canal *bankfull* rectangular, con los valores de anchura y profundidad que vienen recogidos en el fichero “*Datos\_seccion.txt*”. A la sección le añadiremos 1 m de orilla a cada lado. Importante, no olvidar introducir la información de la pendiente del lecho.

## Paso 4: Introduciremos el hidrograma de crecida con que vamos a trabajar.

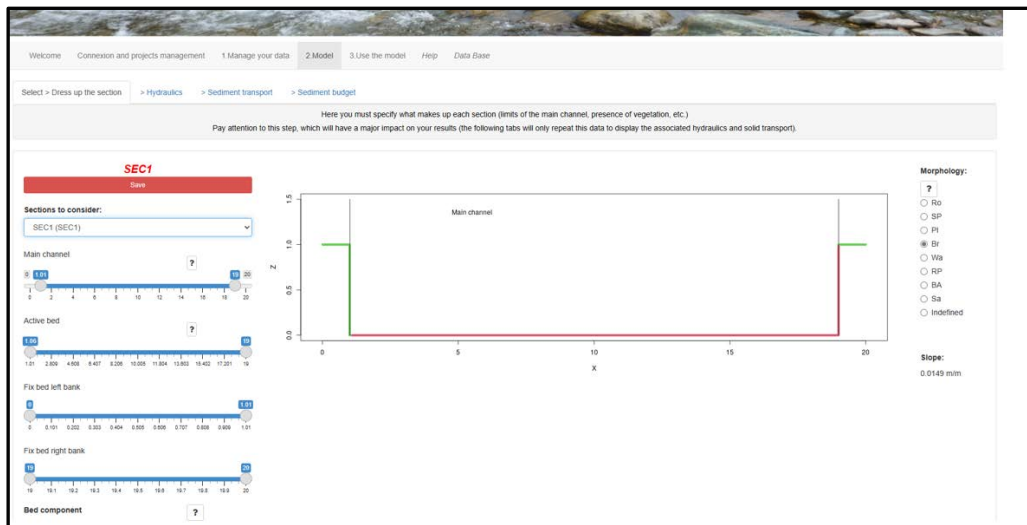
De nuevo, pinchamos en “1. Manage your data” y, a continuación, en la pestaña “Hydrology”. De este modo, se abre una nueva ventana. Seleccionamos la opción “Hydrograph” y cargamos el fichero con el hidrograma de crecida (*Hidrograma.txt*).



## Paso 6: Completamos la definición de la geometría indicando las orillas y el cauce activo.

Con el paso anterior, hemos terminado de introducir toda la información de partida necesaria. En los siguientes pasos, procederemos a definir una serie de parámetros de modelización. Para ello, pinchamos en la pestaña “2. Model”. A continuación, pinchamos en la opción “Select > Dress up the section”.

# Estimación del transporte de sedimento



En la ventana que se abre tendremos que decirle de forma explícita al programa qué parte de la sección consideramos como orilla derecha e izquierda (el tramo de 1 m, a cada lado, en nuestro ejercicio) y qué parte consideramos como canal activo y como canal principal (en nuestro caso, tendrán la misma extensión; todo aquello que no sea orilla). También, hay que indicar cuál es la morfología dominante de la sección.

## Paso 7: Refinaremos el valor de la rugosidad.

Dentro la pestaña “2. Model”, pinchamos en la opción “Hydraulics”. Aquí, cargaremos los datos del fichero “Validacion\_calado.txt”. A continuación, seleccionamos como opción “Manning-Strickler” para el canal principal y se nos abre una opción donde podemos jugar con el valor del coeficiente de Strickler hasta que visualmente se ajuste a los datos de campo.

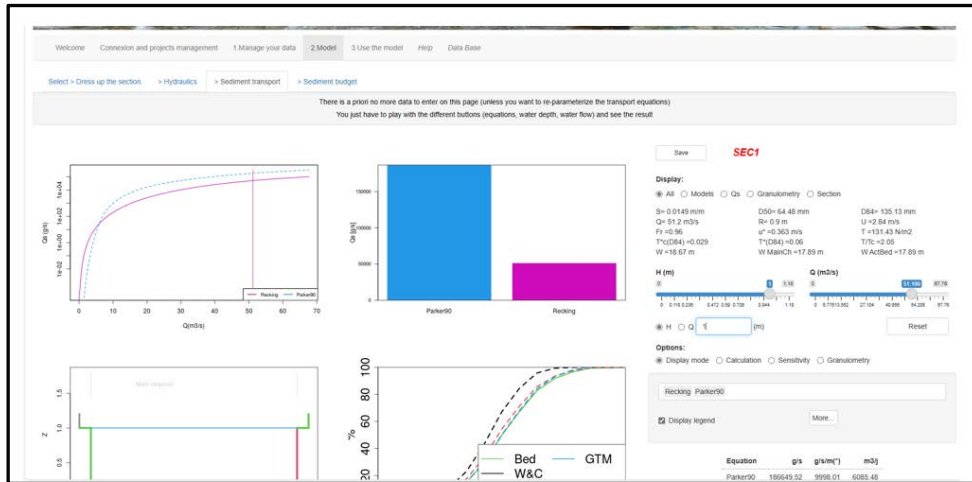


## Paso 8: Análisis de resultados.

Con todos los pasos anteriores, ya tenemos todos los elementos para lanzar los modelos de transporte de sedimento. Así, si damos a la opción “2. Model” y, a continuación, pinchamos en la pestaña “Sediment transport”, se abre una ventana donde podemos jugar con el valor del caudal y escoger

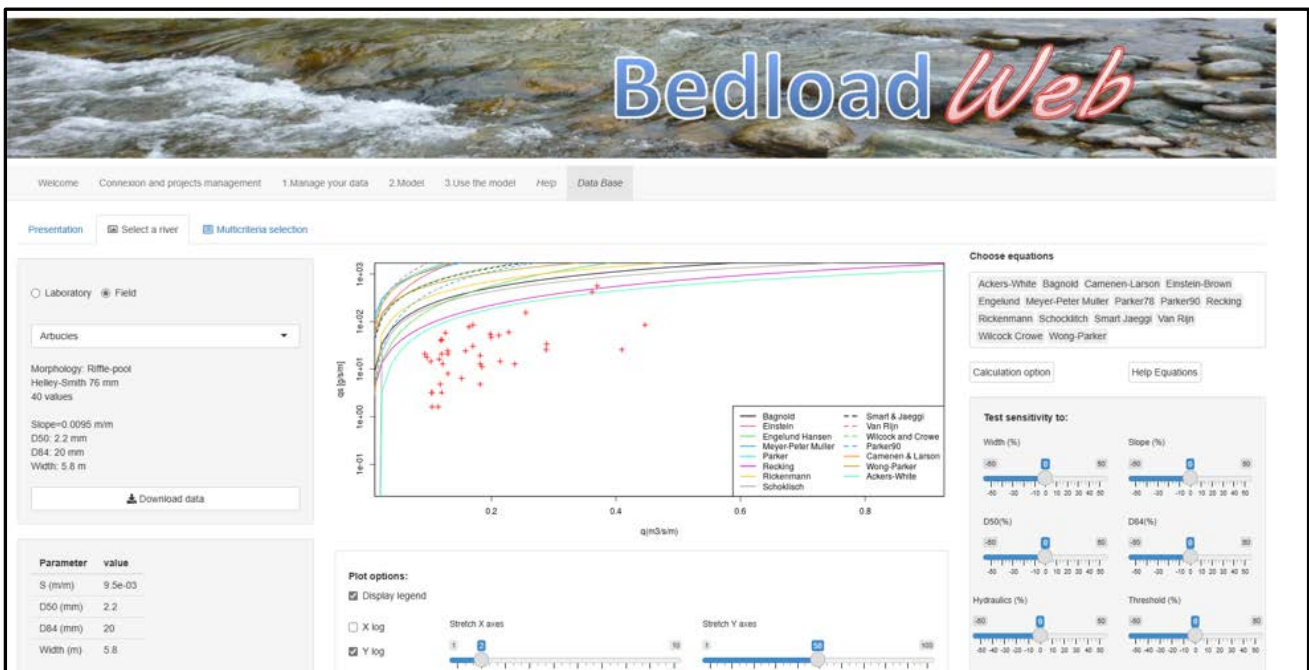
# Estimación del transporte de sedimento

distintas ecuaciones. Gráficamente, se nos van mostrando los valores de tasas de transporte de sedimento estimadas, así como la curva granulométrica modelizada para la carga móvil.



## Paso 9: Consultar la base de datos de “Bedload Web”.

En la pestaña “Data base” podemos jugar con una base de datos de campo de distintos ríos, para ver qué ecuación funciona mejor en ríos similares al que estudiamos. Como el caso de estudio que hemos seleccionado figura en dicha base de datos (río Severaisse), podemos acudir a los datos almacenados en la base de datos para comparar con las estimaciones de las distintas ecuaciones.



Asimismo, se recomienda acudir a la sección de ayuda (Help) de “Bedload Web”, donde se pueden encontrar una serie de documentos complementarios que expanden la información aportada en esta práctica y que permiten ampliar la información.

# Estimación del transporte de sedimento

---

## Anexo 1: Plantilla para la resolución del ejercicio

### 1. Características generales del cauce de estudio

Nombre del cauce:

Pendiente (m/m):

Anchura del bankfull (m):

Profundidad del bankfull (m):

Morfología del cauce:

(Pegar una captura de pantalla de la geometría de la sección dibujada en "Bedloadweb")

### 2. Granulometría del tramo de estudio:

(Pegar una captura de pantalla de la curva granulométrica dibujada en el "Bedloadweb")

Valor del D16 (mm):

D50 (mm):

D84 (mm):

### 3. Hidrología del tramo de estudio:

(Pegar una captura de pantalla de la curva de caudales clasificados)

Valor de rugosidad de Manning óptimo:

(Pegar una captura de pantalla de la curva que ajusta los caudales y calados medidos)

Valor estimado para el caudal *bankfull* (m<sup>3</sup>/s):

### 4. Estimaciones de transporte de sedimento:

(Pegar una captura de pantalla de la curva que relaciona las tasas de transporte con el valor del caudal)

Tasas de transporte en masa (g/s) obtenidas para el caudal *bankfull*:

Ecuación 1:

Ecuación 2:

Ecuación 3:

Tasas de transporte en volumen (m<sup>3</sup>/día) obtenidas para el caudal *bankfull*:

Ecuación 1:

Ecuación 2:

Ecuación 3:

Granulometría de la carga sedimentaria transportada (modelo GTM):

D16 (mm):

D50 (mm)

D84 (mm):

(Pegar una captura de pantalla de la curva granulométrica estimada para el caudal *bankfull*)

### 5. Comparación de las estimaciones con valores medidos en campo:

Consultar la base de datos de medidas de campo, disponible en *Bedloadweb*, y comparar las medidas reales en campo con las estimaciones que ofrecen las 3 ecuaciones que hemos seleccionado. Pegar una captura de pantalla de la gráfica obtenida y responder (de manera razonada) a las siguientes preguntas:

¿Consideras que las 3 ecuaciones seleccionadas aportan resultados realistas?

¿Cuál de las 3 ecuaciones aporta, en tu opinión, resultados más cercanos a los valores medidos en campo? ¿Por qué?

¿Hay alguna otra ecuación disponible en el programa que aporte, en tu opinión, mejores resultados?

¿Cuál sería?