



GOBIERNO DE ESPAÑA

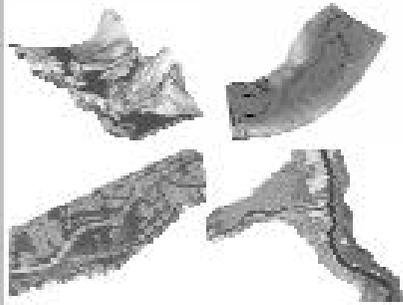
MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO



JORNADA

PRESENTACIÓN DE
IBER:
MODELO DE CÁLCULO 2D
EN RÍOS Y ESTUARIOS



Madrid / 10 JUNIO / 2010
Centro de Estudios Hidrográficos
info@iberaula.es

Presidencia Española *eu* 2010-11



<http://www.iberaula.es>

Luis Balairón Pérez
CEDEX - CEH

Madrid, 10 de junio de 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

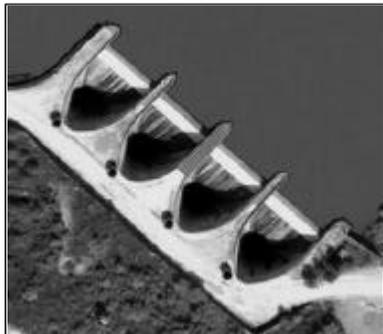
CEDEX

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

eu 2010.E5

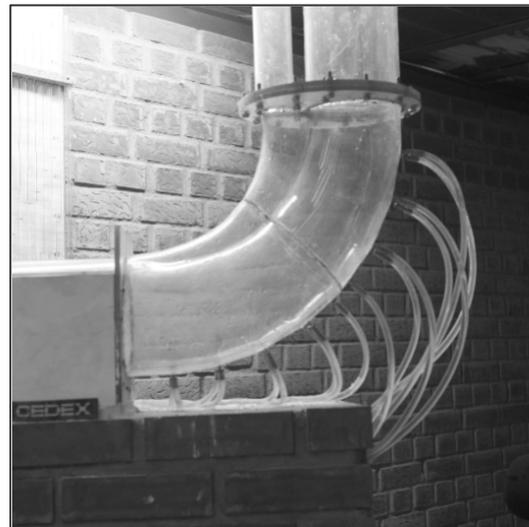
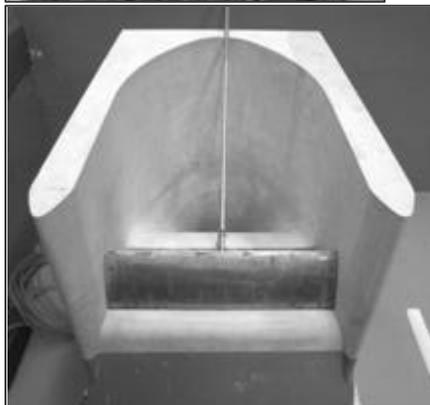


Modelación física en el Laboratorio de Hidráulica



Aliviadero presa de Calanda (CH Ebro, 2009)

Estudio aliviaderos en laberinto



Aliviadero presa de Yesa (CH Ebro, 2010)



Encauzamiento río Andarax (Agencia Andaluza del Agua, 2008)

Modelación numérica en el Laboratorio de Hidráulica

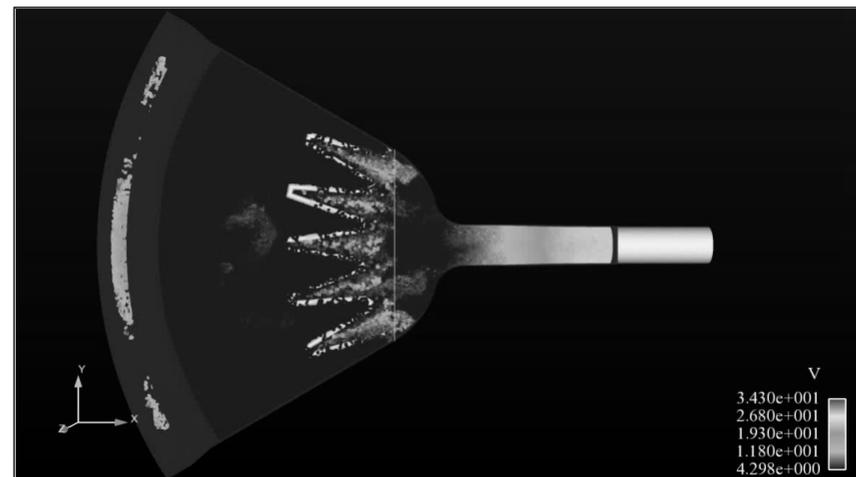
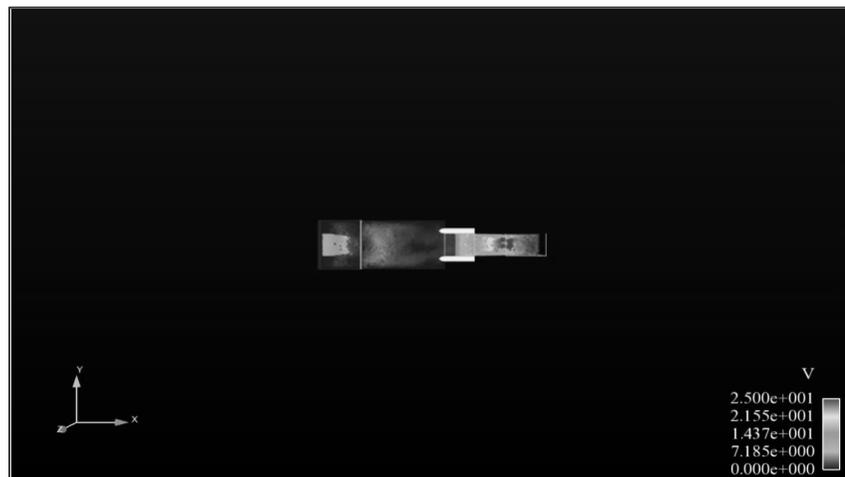


2009



Sala de Realidad Virtual
CEH 2010

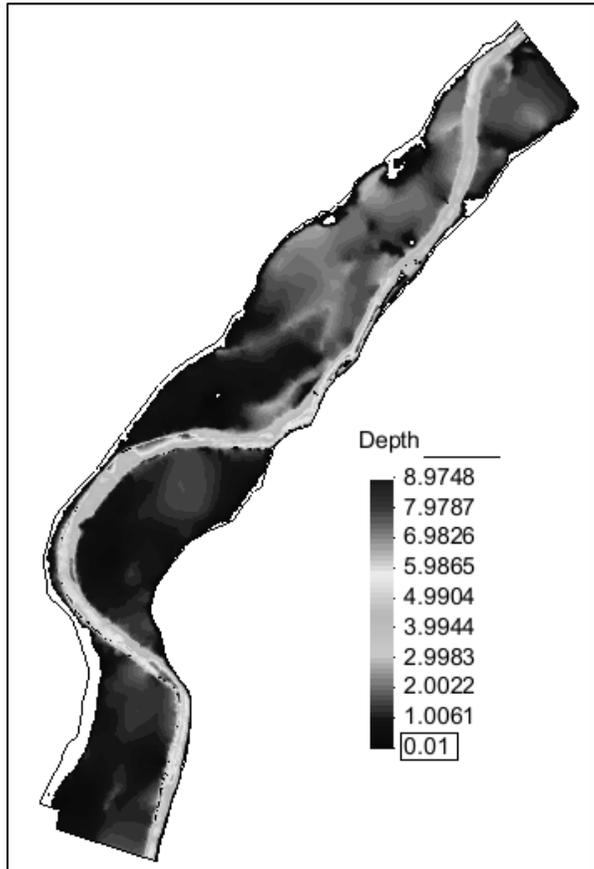
Modelo lagrangiano de partículas SPH (MDS 3D versión paralela)
- Colaboración CEH - CEPYC



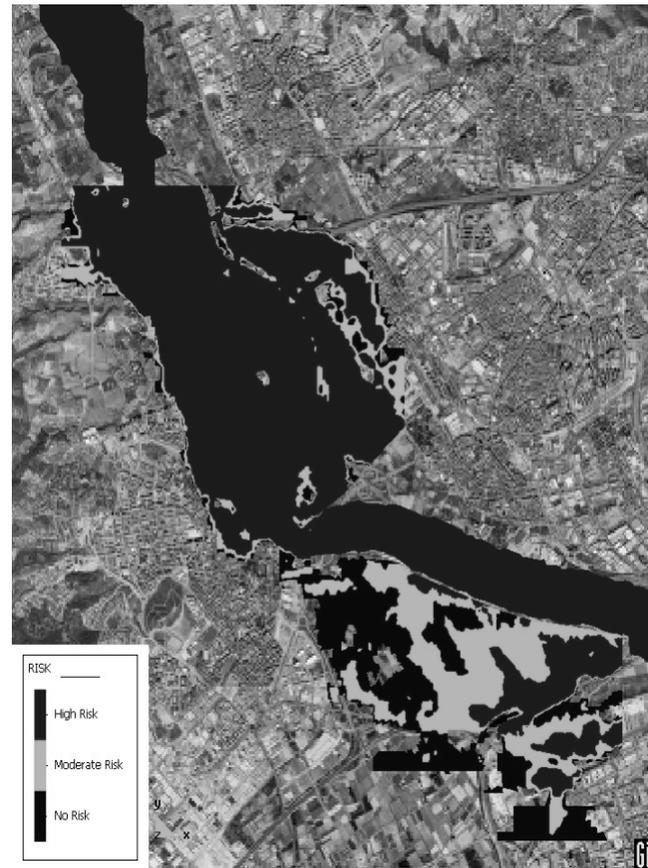
Prestaciones básicas de IBER v1.0

- Simulación de flujo en lámina libre en ríos y estuarios
- Modelo de ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediados en profundidad (**ecuaciones de St. Venant 2D**)
- Cálculo en volúmenes finitos
- Estructura en módulos:
 - Módulo **Hidrodinámico**
 - Módulo de **Turbulencia**
 - Módulo de **Transporte de Sedimentos**
- Herramienta de pre y post proceso basado en GiD
- Posibilidad de cálculo en paralelo





Calados en río Narcea



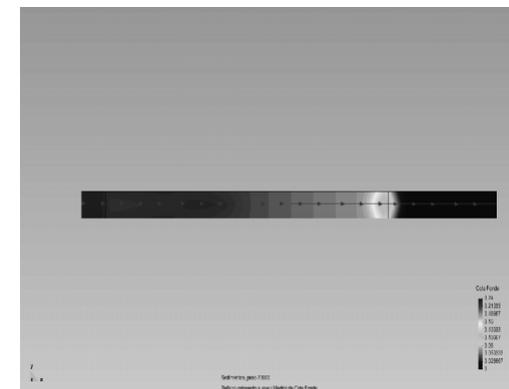
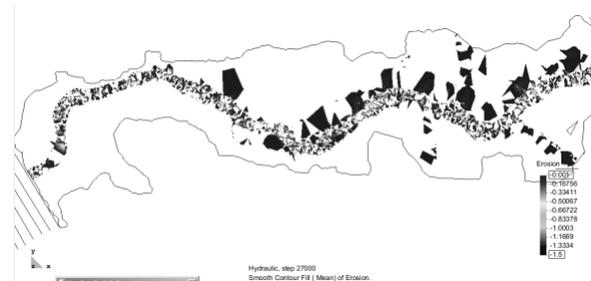
Criterios de riesgo en el río Llobregat



Análisis de inundación en el río Valira



Transporte por arrastre de fondo en río Tiétar



Calibración en canal basculante



modelo iber
El modelo Iber es un sistema de modelación de flujo de agua en lamina libre basado en modelos bidimensionales promediados en profundidad
ahora consigue tu version de evaluación
DESCARGAR IBER V1.0

formación
ahora consigue tu version

novedades
23 de marzo de 2010.
Primer curso de formación del Aula Iber en el CEH del CEDEX, Madrid. La duración del curso será de 2 jornadas.
[Más información](#)

23 de marzo de 2010.
Primer curso de formación del Aula Iber en el CEH del CEDEX, Madrid. La duración del curso será de 2 jornadas.
[Más información](#)

23 de marzo de 2010.
Primer curso de formación del Aula Iber en el CEH del CEDEX, Madrid. La duración del curso será de 2 jornadas.
[Más información](#)

Calendario Cursos Formación 2010

- Madrid (CEH) 12 y 13 de julio
- Valladolid Septiembre
- Coruña Octubre
- Zaragoza Noviembre
- Sevilla Diciembre

Curso Pre Congreso



Equipo IBER

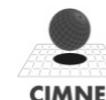
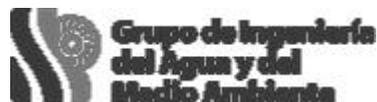
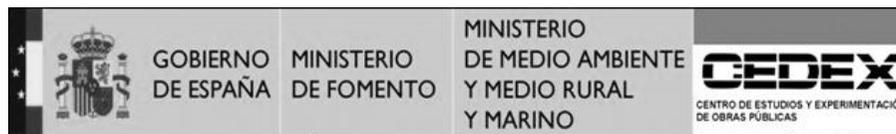
- CEDEX
Luis Balairón
Ángel Lara
David López
Juan José Rebollo
- FLUMEN (UPC)
Josep Dolz
Ernest Bladé
Georgina Corestein
- GEAMA (UDC)
Jerónimo Puertas
Luis Cea
María Bermúdez
Elena Vázquez
- CIMNE
Abel Coll
Enrique Escolano

Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX
10 Junio 2010

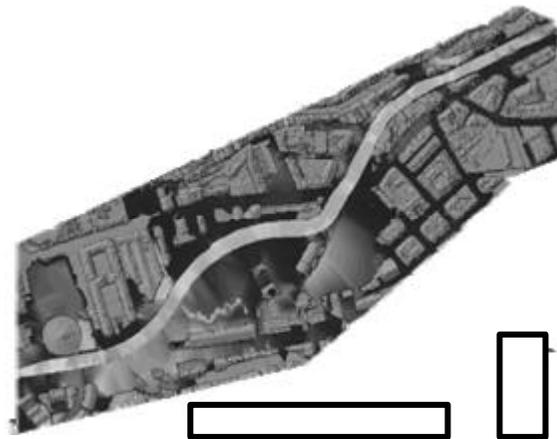
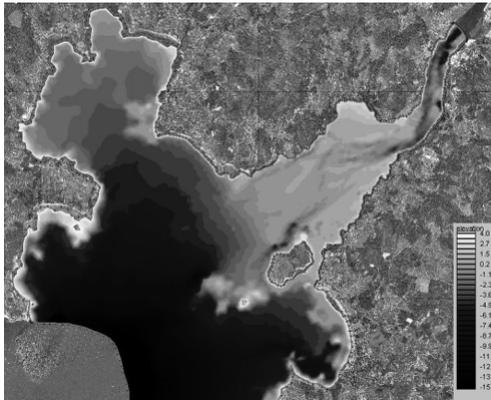
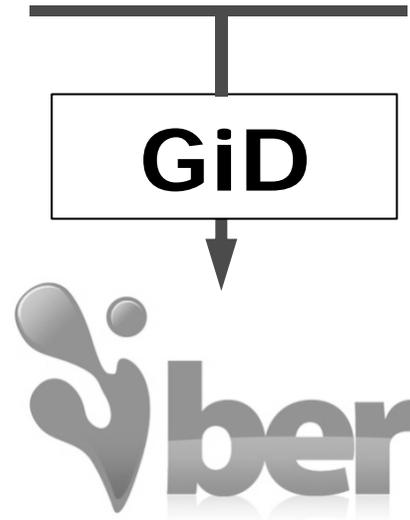


Modelo de flujo bidimensional en ríos y estuarios

www.iberaula.es

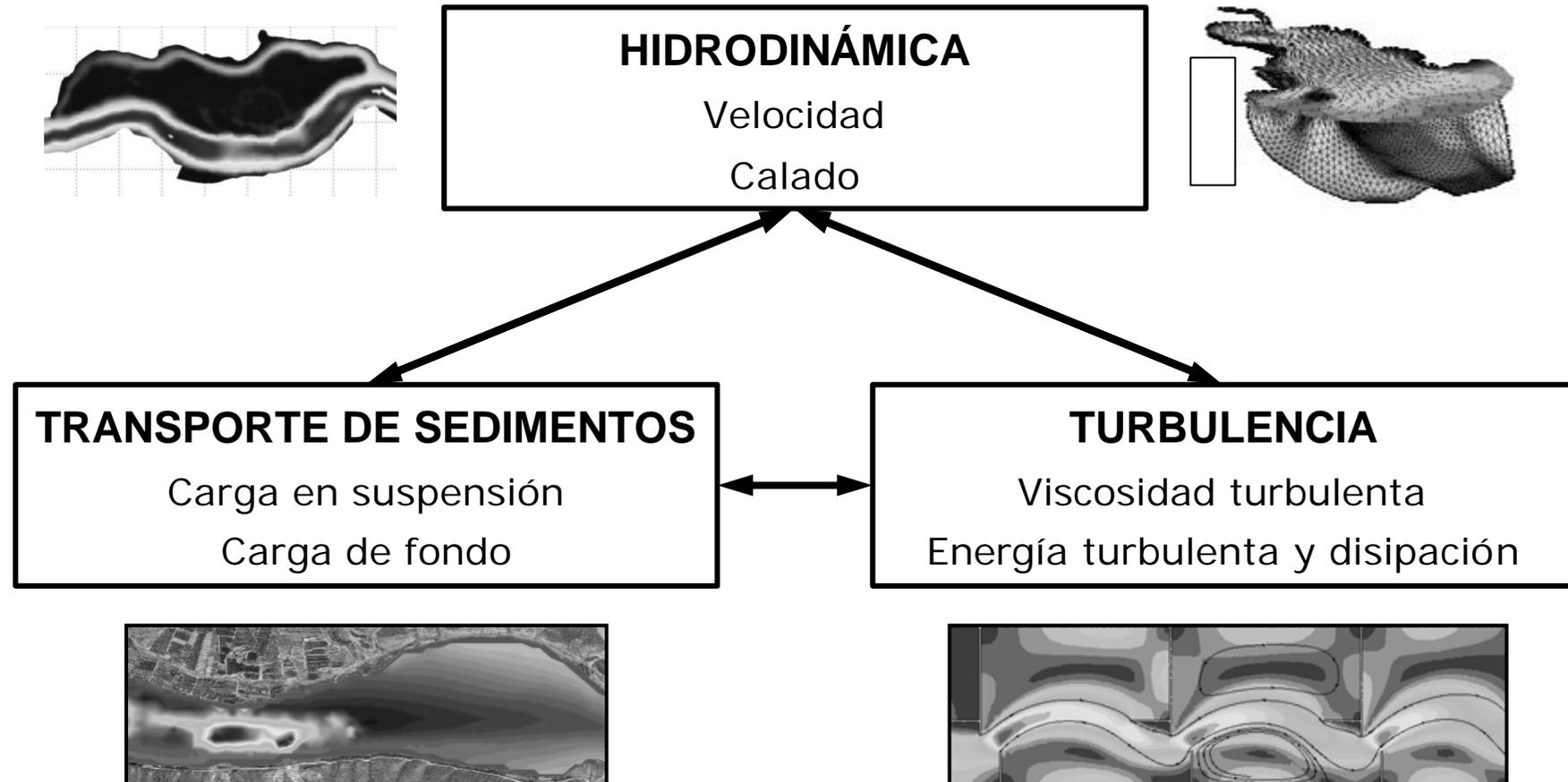


El modelo Iber Introducción



El modelo Iber Introducción

Módulos de cálculo



El modelo Iber Introducción

Módulos en desarrollo

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

- Mezclas de sedimento
- Acorazamiento
- Estabilidad de márgenes
- Erosión por flujos secundarios en meandros

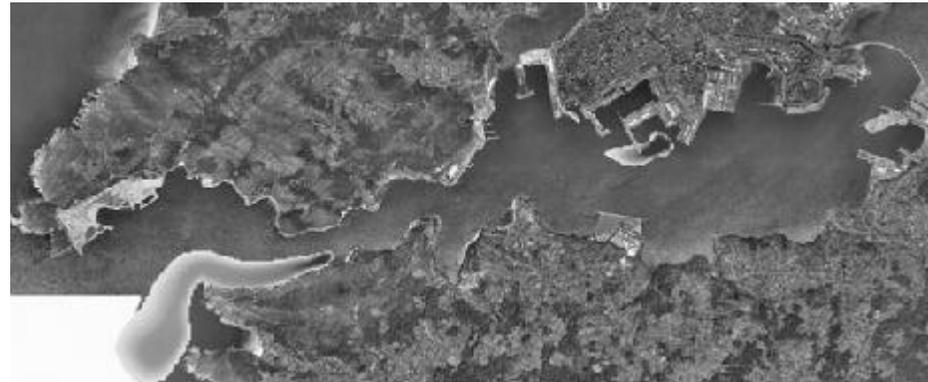


CALIDAD DE AGUAS

- OD, MO, Nitrógeno, CF

HÁBITAT FLUVIAL

- Caudales ecológicos
- Métodos hidrobiológicos



El modelo Iber Hidrodinámica

Ecuaciones de aguas someras 2D

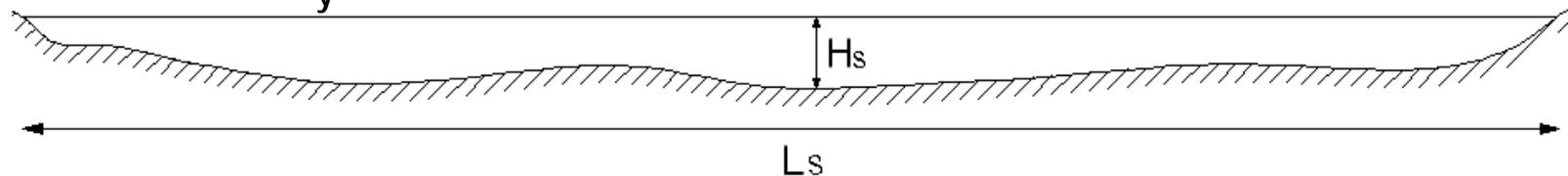
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{t_{b,x}}{?} + \frac{\partial}{\partial x} \left(?_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(?_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{t_{b,y}}{?} + \frac{\partial}{\partial x} \left(?_t h \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(?_t h \frac{\partial U_y}{\partial y} \right)$$

- Distribución de **presión hidrostática**
- Velocidad **uniforme en profundidad** $\rightarrow h, U_x,$

U_y



El modelo Iber Hidrodinámica

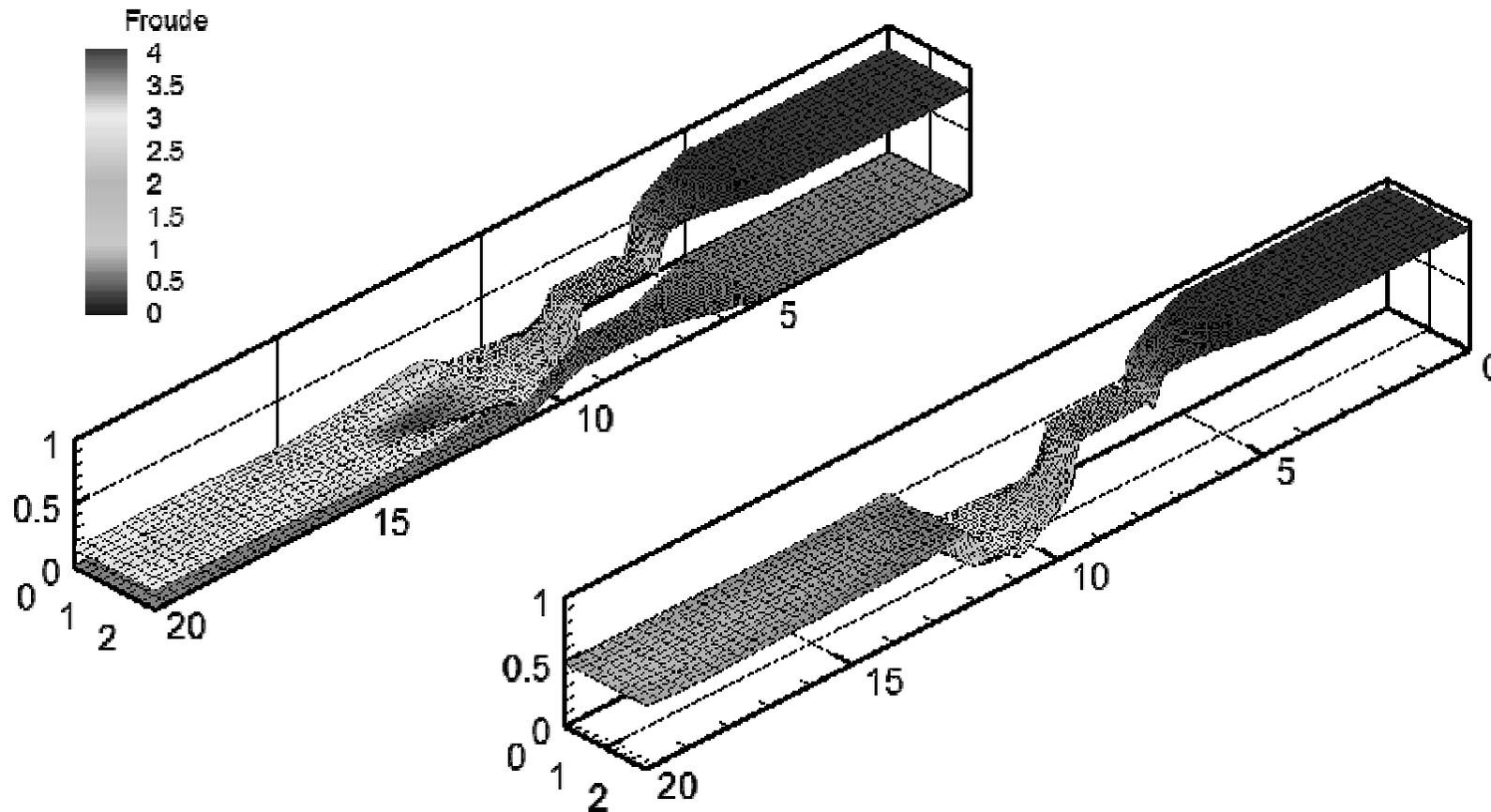
Ecuaciones de aguas someras 2D
Esquemas numéricos

- Esquemas en volúmenes finitos
- Discretización con mallas no-estructuradas
- Tratamiento de frentes de inundación

El modelo Iber Hidrodinámica

Ecuaciones de aguas someras 2D

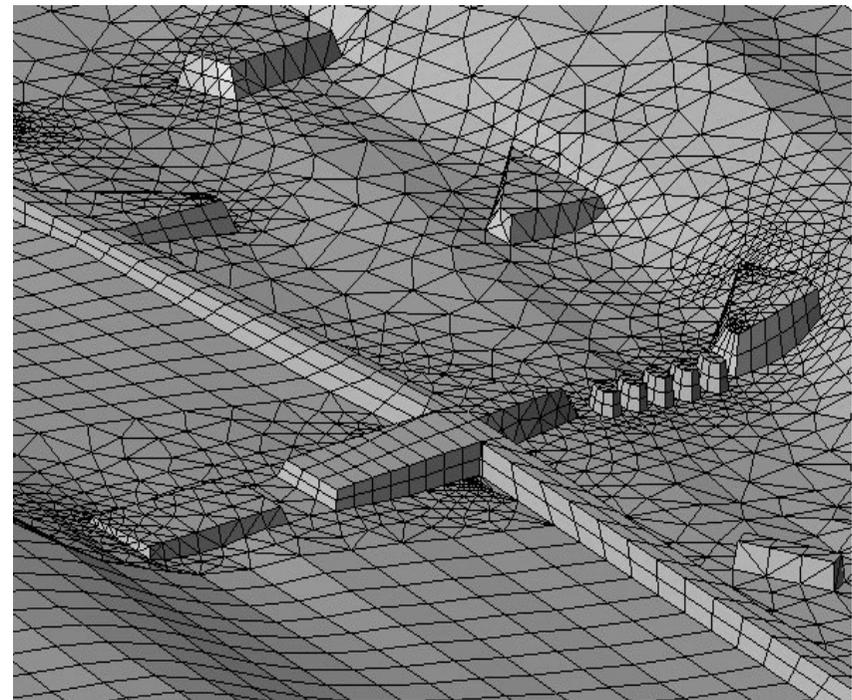
Esquemas en volúmenes finitos descentrados de alta resolución



El modelo Iber Hidrodinámica

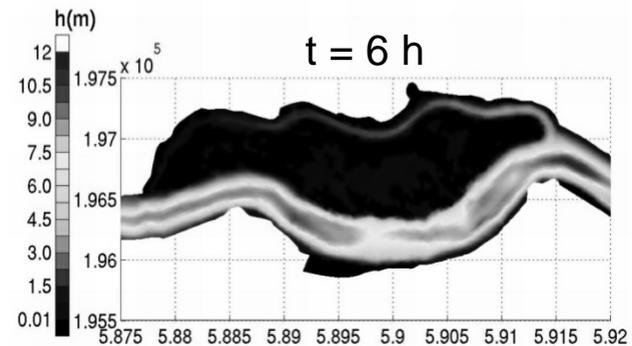
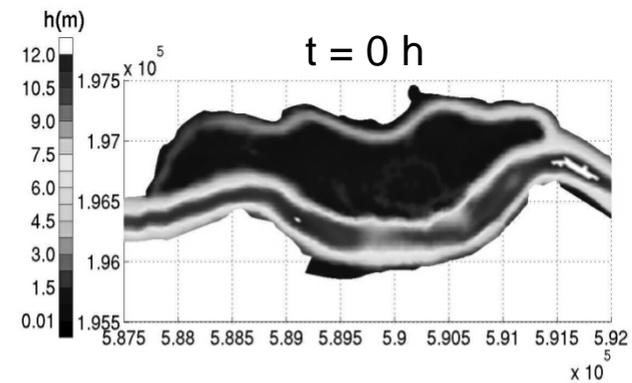
Ecuaciones de aguas someras 2D

Mallas no-estructuradas formadas
por elementos de 3 o 4 lados



El modelo Iber Hidrodinámica

Ecuaciones de aguas someras 2D Frentes de inundación

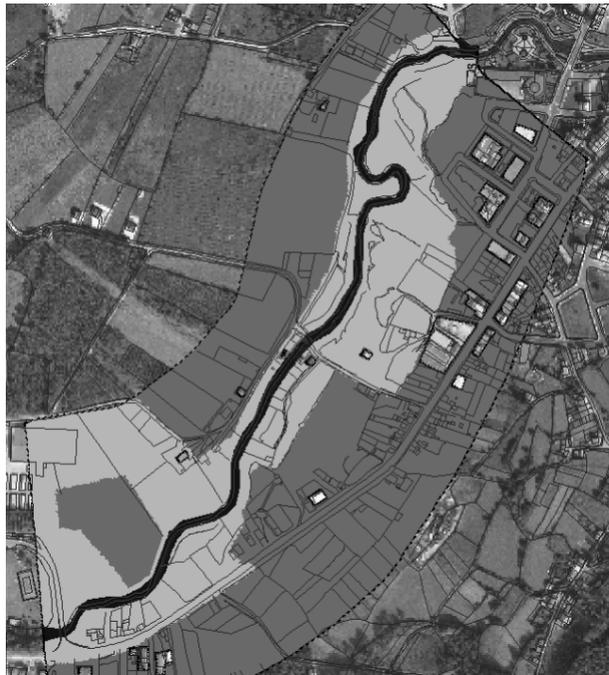


El modelo Iber Hidrodinámica

Fricción de fondo
Fórmula de Manning

$$t_{b,x} = ? g h \frac{n^2 |U| U_x}{h^{4/3}}$$

$$t_{b,y} = ? g h \frac{n^2 |U| U_y}{h^{4/3}}$$

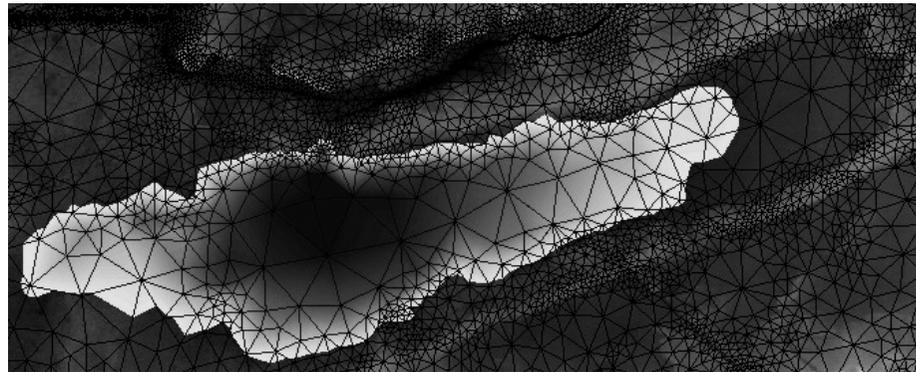


El modelo Iber Hidrodinámica

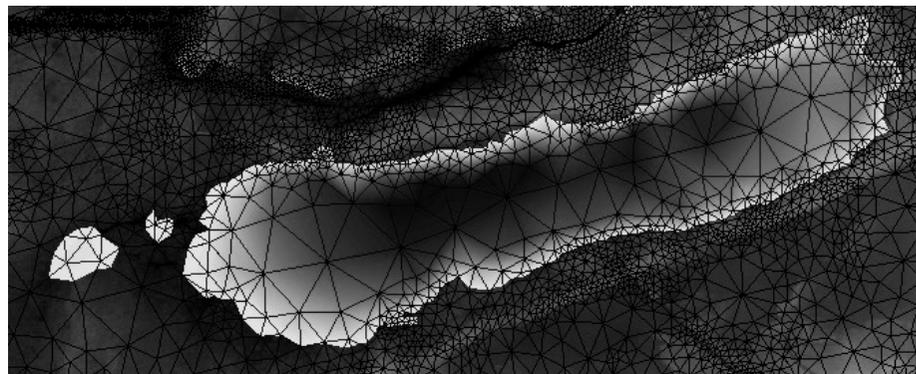
Rozamiento superficial por viento

Van Dorn (1953) $\frac{t_s}{\rho} = \frac{C_a}{C_v} C_{10} V_{10}^2$

V=0 m/s



V=3 m/s



El modelo Iber Hidrodinámica

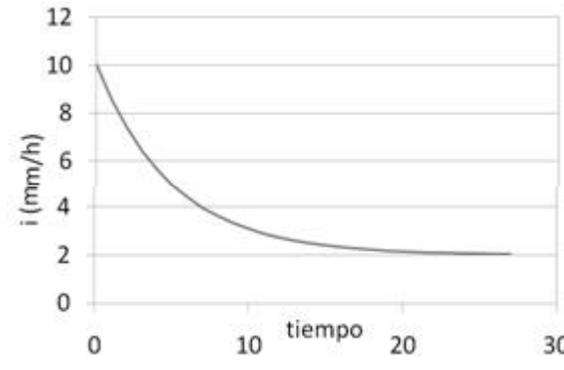
Infiltración y precipitación

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = R - i$$

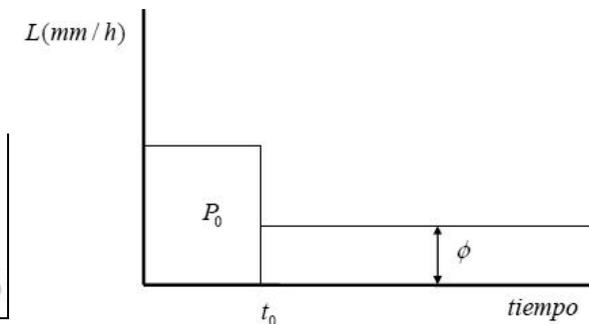
Green-Ampt

- Permeabilidad saturada
- Succión en la zona no-saturada
- Porosidad efectiva (drenable)
- Saturación efectiva inicial
- Pérdida inicial

Horton



Lineal



$$f = f_c + (f_0 - f_c) \cdot \exp(-k \cdot t)$$

El modelo Iber Hidrodinámica

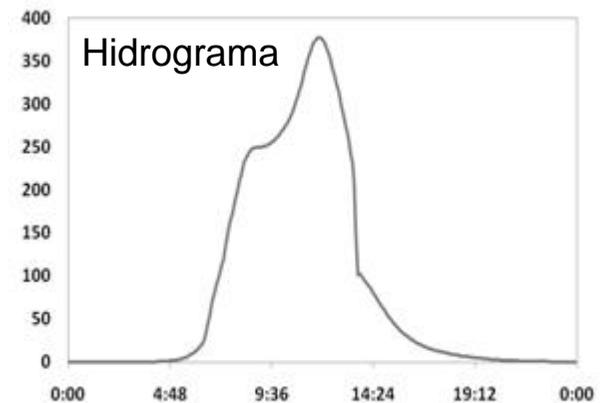
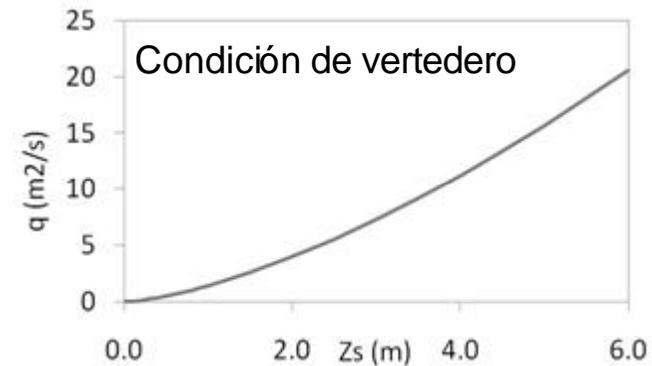
Condiciones de contorno Contornos abiertos

salida

- **Calado**
 - Salida en ríos, canales
- **Condición de vertedero**
 - Azudes
- **Curva de gasto**
 - Sección de control

entrada

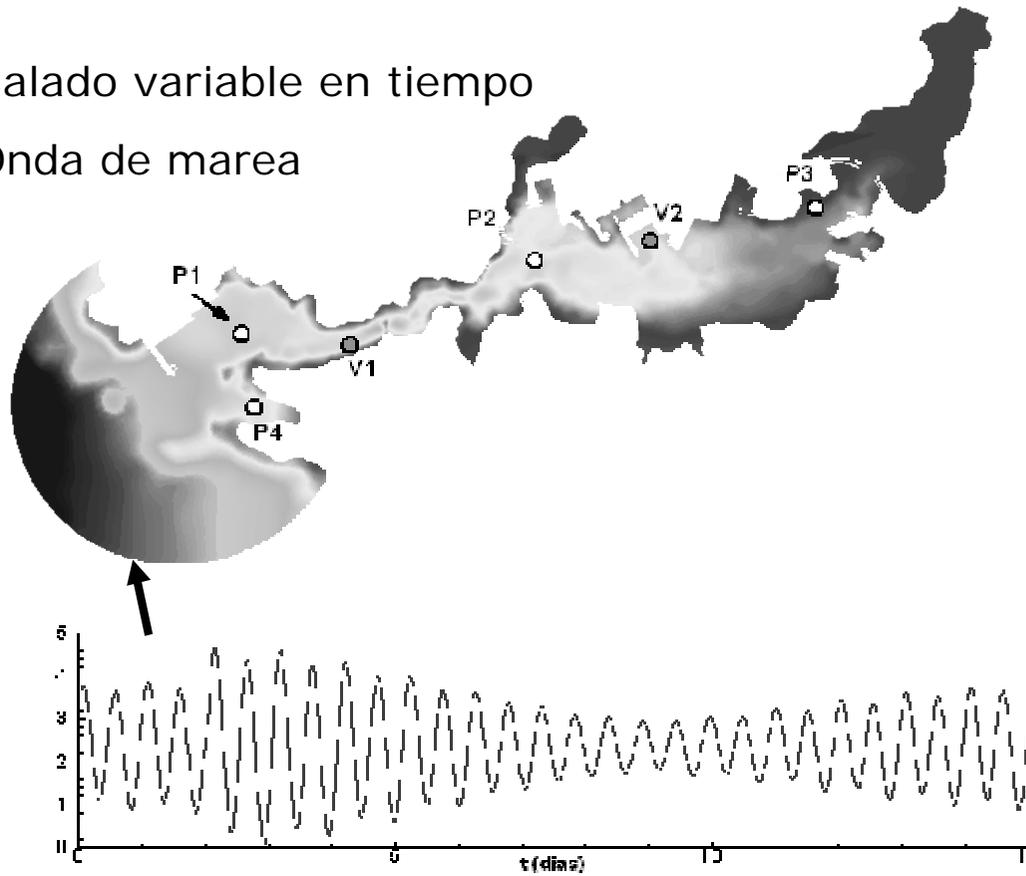
- **Caudal unitario**
 - Entrada en ríos, canales
- **Caudal total. Hidrograma**
 - Avenidas en ríos



El modelo Iber Hidrodinámica

Condiciones de contorno Contornos abiertos

Calado variable en tiempo
Onda de marea



El modelo Iber Hidrodinámica

Condiciones de contorno

Contornos cerrados / pared

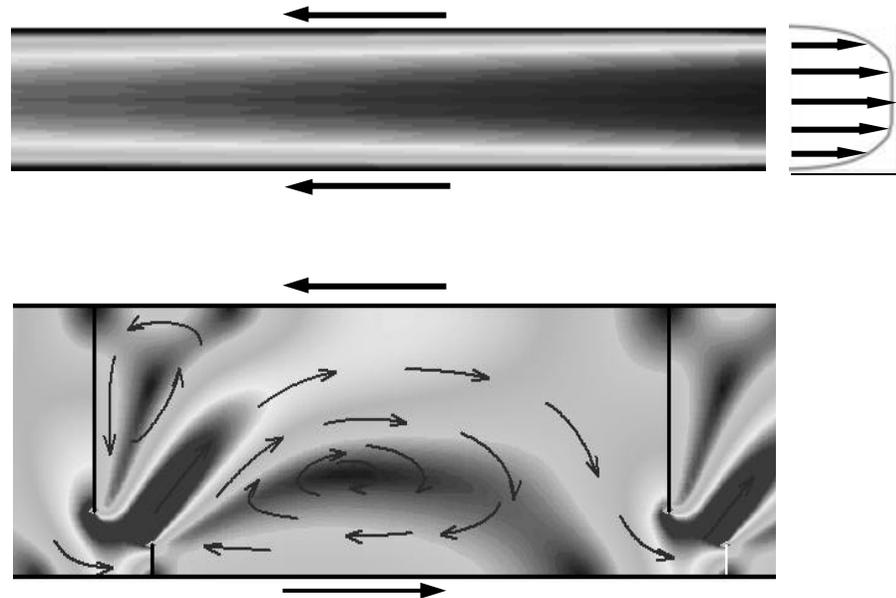
Deslizamiento libre

Ríos, zonas costeras



Fricción de pared

Canales, estructuras hidráulicas



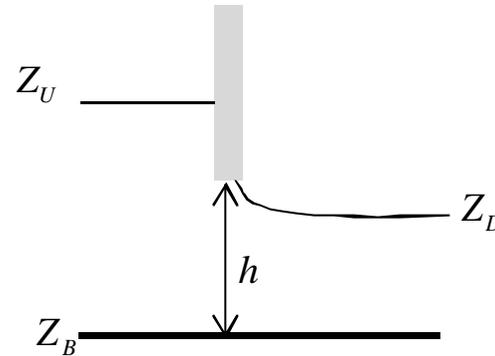
El modelo Iber Hidrodinámica

Condiciones internas

- Flujo bajo compuerta
- Flujo sobre vertedero en lámina libre
- Combinación de compuerta y vertedero
- Pérdida de carga localizada

El modelo Iber Hidrodinámica

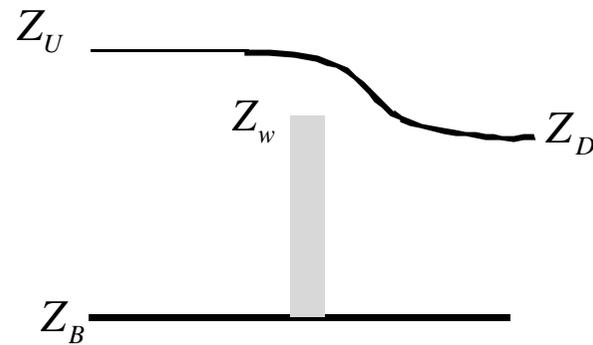
Condiciones internas Flujo bajo compuerta



	$(Z_D - Z_B) / (Z_U - Z_B)$	Ecuación de descarga
Compuerta Libre	0.00 – 0.67	$Q = C_d B h \sqrt{2g (Z_U - Z_B)}$
Transición	0.67 – 0.80	$Q = C_d B h \sqrt{6g (Z_U - Z_D)}$
Compuerta Anegada	0.80 – 1.00	$Q = C_d B h \sqrt{2g (Z_U - Z_D)}$

El modelo Iber Hidrodinámica

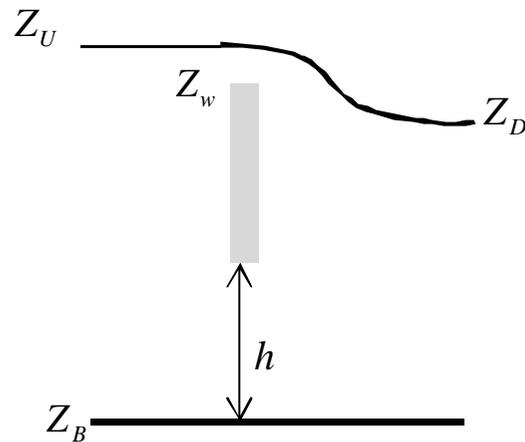
Condiciones internas
Flujo sobre vertedero



	$(Z_D - Z_W) / (Z_U - Z_W)$	Ecuación de descarga
Vertedero Libre	< 0.67	$Q = C_d B (Z_U - Z_W)^{1.5}$
Vertedero Anegado	> 0.67	$Q = 2.6 C_d B (Z_D - Z_W) (Z_U - Z_W)^{0.5}$

El modelo Iber Hidrodinámica

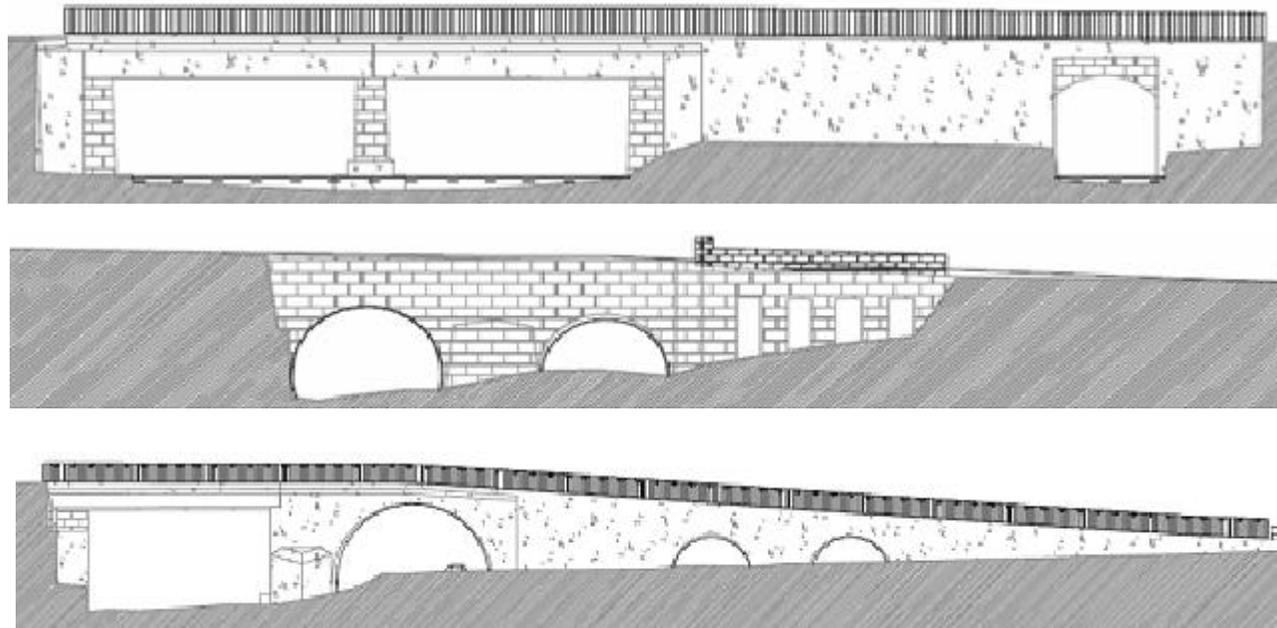
Condiciones internas Combinación compuerta - vertedero



$$Q = Q_{\text{compuerta}} + Q_{\text{vertedero}}$$

El modelo Iber Hidrodinámica

Condiciones internas Pérdida de carga localizada



$$? H = ? \frac{V^2}{2g}$$

El modelo Iber Hidrodinámica

RD 9/2008
Modificación RDPH

Zona de flujo preferente

T = 100 años

Vía de intenso desagüe

- ? $Z_s < 0.3$ m (0.1 - 0.5)

Riesgo de daños para personas y bienes

- $h > 1$ m
- $V > 1$ m/s
- $q > 0.5$ m²/s

Zonas inundables

T = 500 años

- $h > 0$ m

El modelo Iber Hidrodinámica

Zonas de riesgo



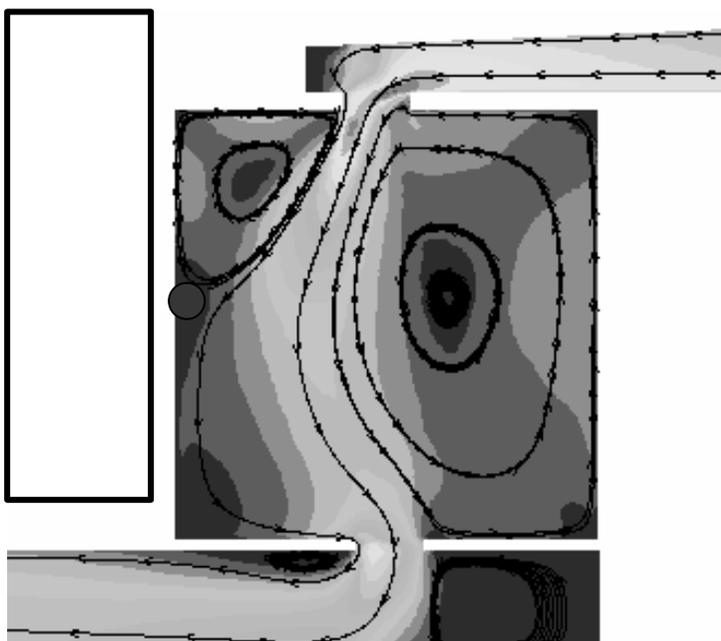
Zonas inundables



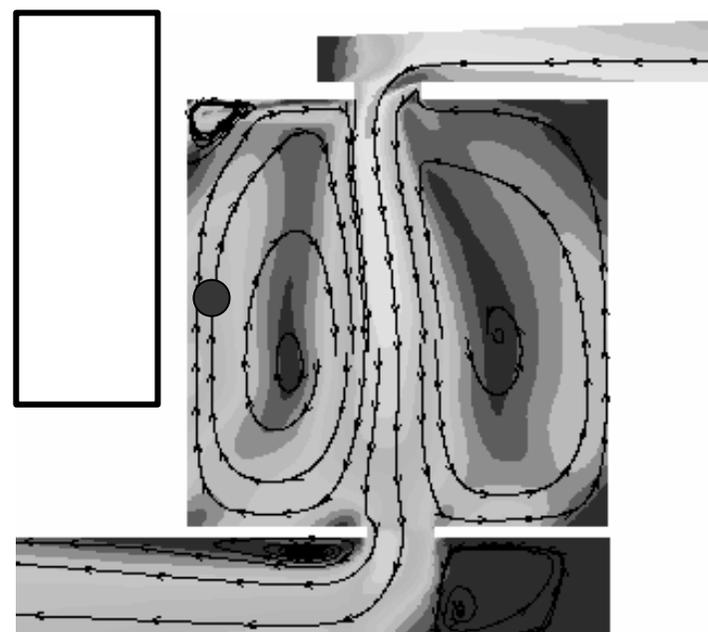
El modelo Iber Turbulencia

Módulo de turbulencia

Con turbulencia



Sin turbulencia



El modelo Iber Turbulencia

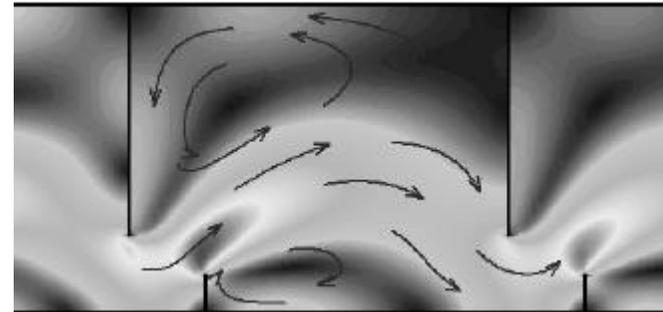
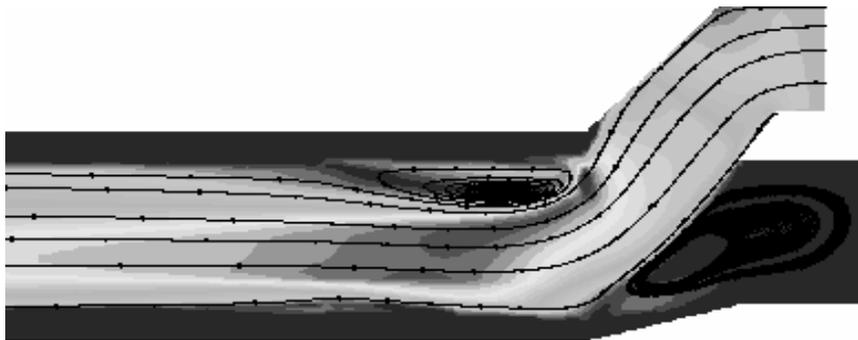
Modelización de la turbulencia

A. Modo no turbulento

$$\nu_t = 0$$

B. Modo turbulento

Modelos de viscosidad turbulenta para flujos poco profundos en lámina libre



El modelo Iber Turbulencia

➤ Viscosidad turbulenta constante

➤ Modelo parabólico

$$\nu_t = 0.07 u_f h$$

- Fricción de fondo

➤ Modelo de longitud de mezcla

$$\nu_s = l_s^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij} + \left(2.34 \frac{u_f}{\nu_s h}\right)^2}$$

- Fricción de fondo
- Cortante horizontal

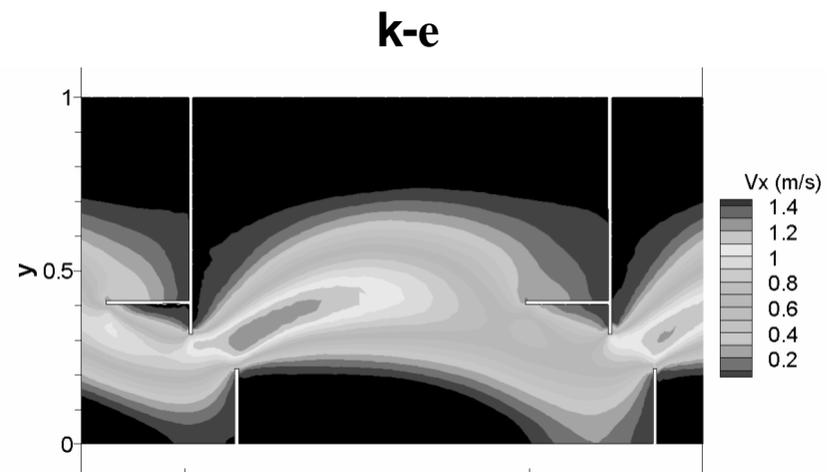
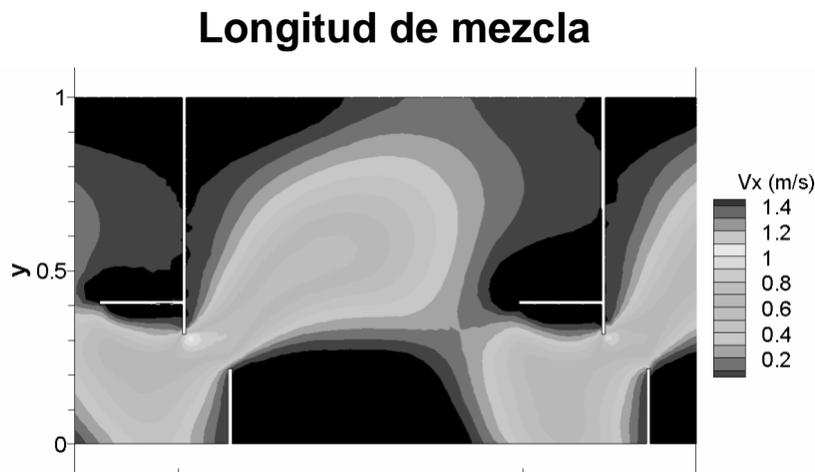
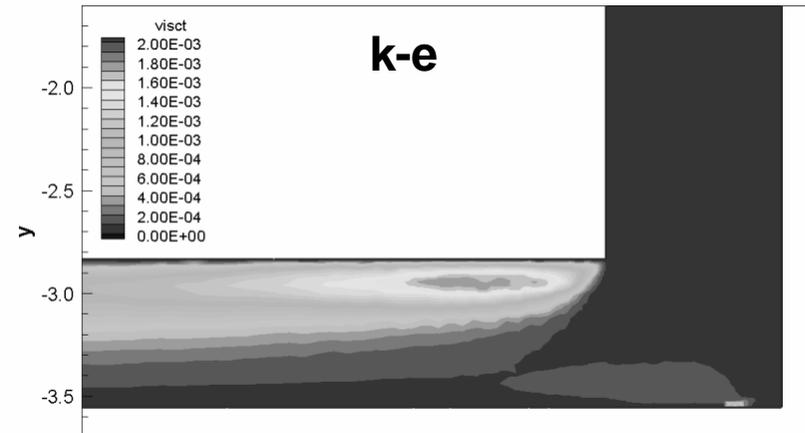
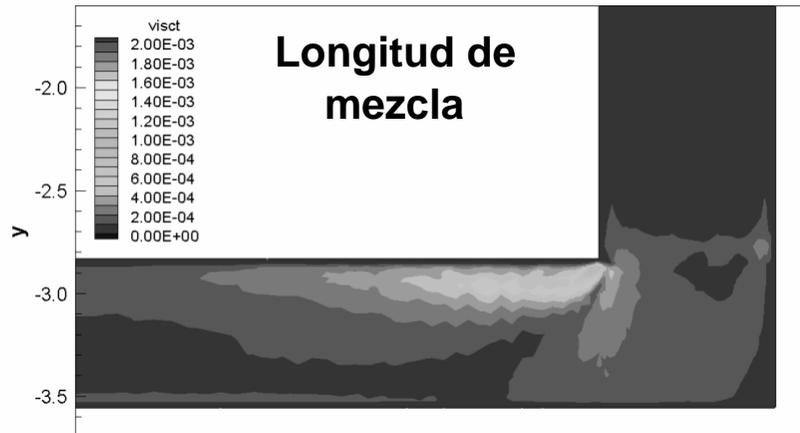
➤ Modelo k-e

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\nu + \frac{\nu_t}{s_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + 2\nu_t S_{ij}S_{ij} + c_k \frac{u_f^3}{h} - e$$

$$\frac{De}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\nu + \frac{\nu_t}{s_e} \right) \frac{\partial e}{\partial x_j} \right) + c_{1e} \frac{e}{k} 2\nu_t S_{ij}S_{ij} + c_e \frac{u_f^4}{h^2} - c_{2e} \frac{e^2}{k}$$

- Fricción de fondo
- Cortante horizontal
- Difusión
- Disipación
- Convección

El modelo Iber Turbulencia

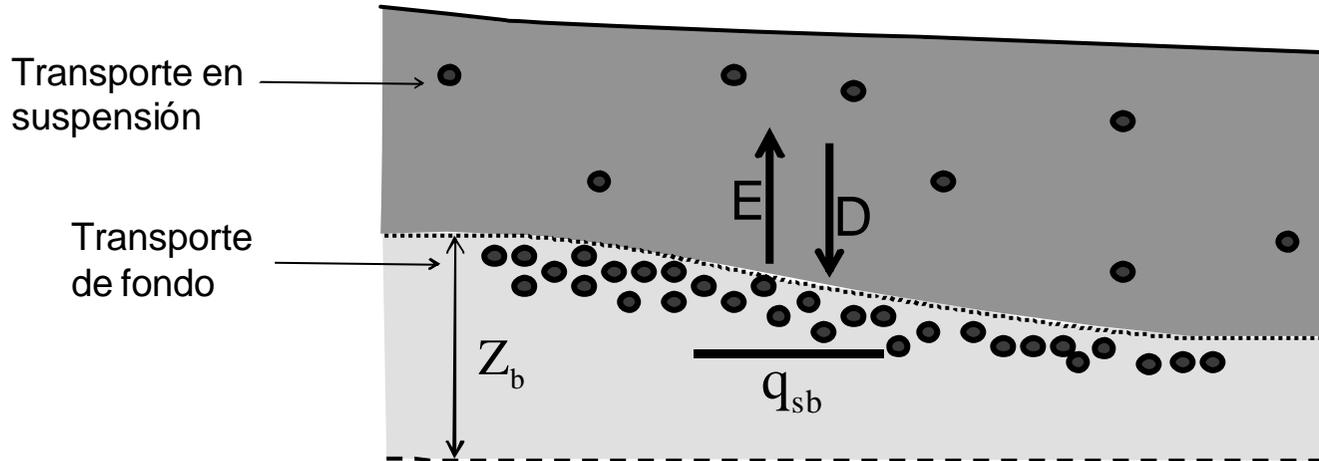


El modelo Iber

Transporte de sedimentos

Ecuación de conservación del sedimento

$$(1-p) \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{sb,x}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sb,y}}{\partial y} = D - E$$



V1.0: diámetro uniforme

El modelo Iber Transporte de sedimentos

Carga de fondo

**Meyer-Peter & Müller
(corrección Wong y
Parker)**

APLICACIÓN
Gravas hasta 30 mm

Formulación:

$$q_{sb}^* = 3.97 \cdot (t_{bs}^* - t_c^*)^{3/2}$$

Van Rijn

APLICACIÓN
Arenas y gravas

Formulación:

$$T < 0.3 \rightarrow q_{sb}^* = 0.053 \cdot \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}}$$
$$T > 0.3 \rightarrow q_{sb}^* = 0.100 \cdot \frac{T^{1.5}}{D_*^{0.3}}$$

$$T = \frac{t_{bs}^* - t_c^*}{t_c^*}$$

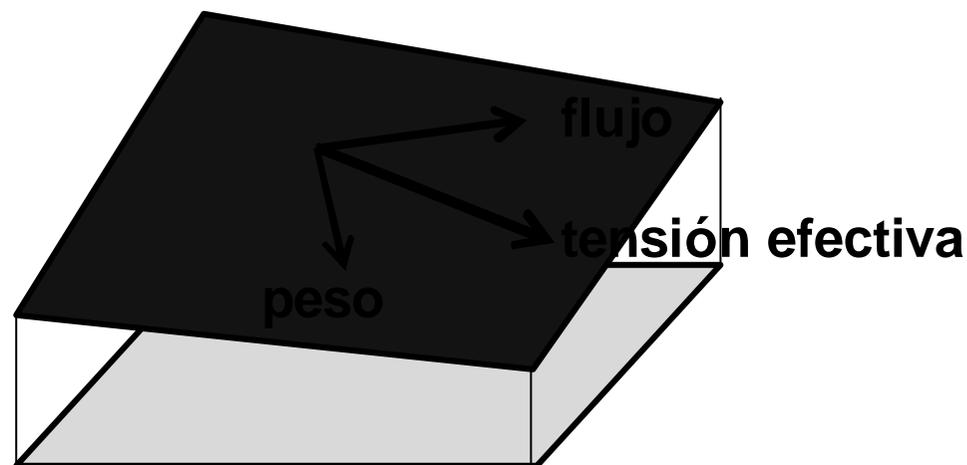
El modelo Iber

Transporte de sedimentos

Carga de fondo. Pendiente de fondo

Consideración tanto de la pendiente transversal como longitudinal

Tensión efectiva de fondo = Tensión ejercida por el flujo + componente del peso

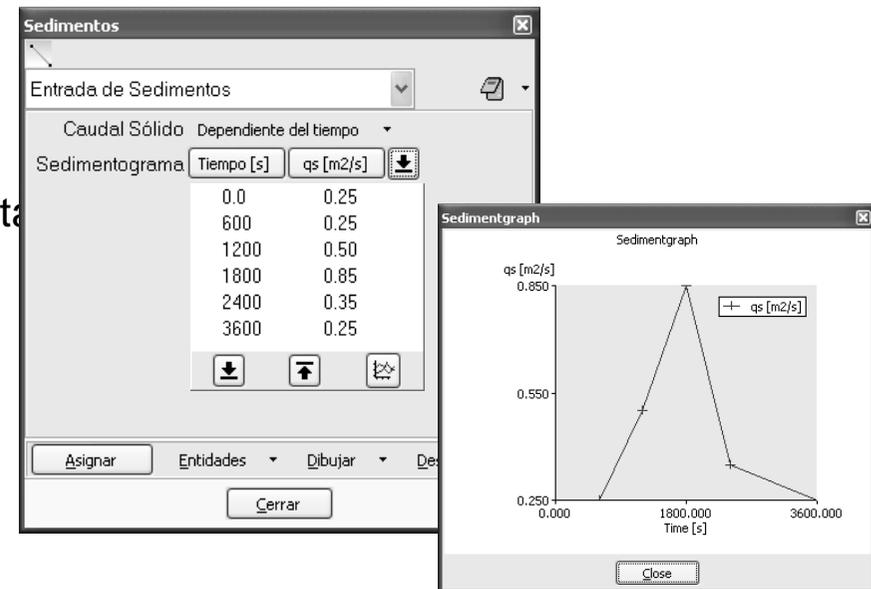


El modelo Iber Transporte de sedimentos

Carga de fondo. Condiciones de contorno

Entradas:

- **Capacidad de arrastre**
→ según la formulación propuesta
- **Sedimentograma**
→ Especificado por tabla
- **Aguas claras**
→ caudal sólido nulo

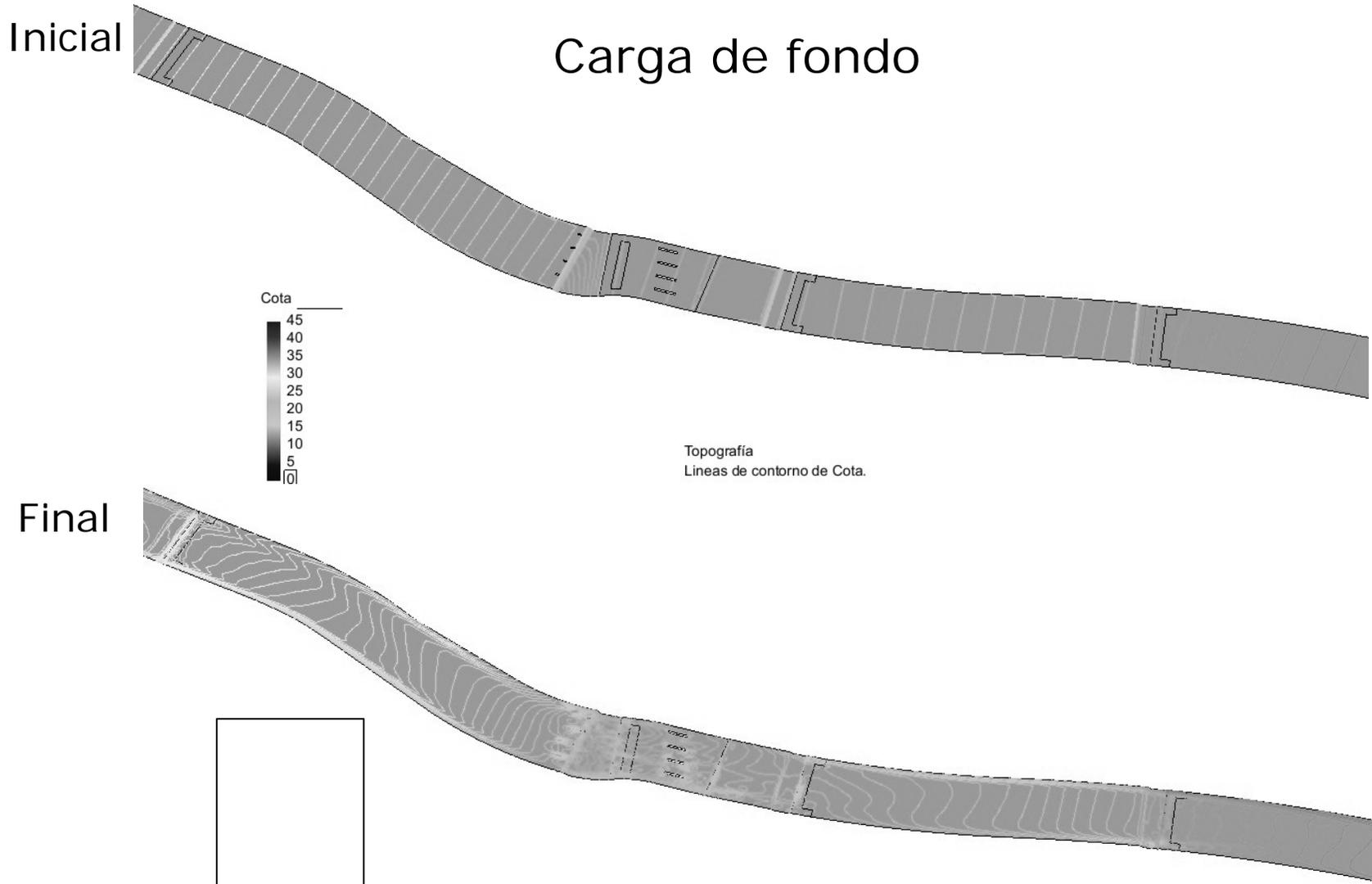


Salidas:

- **continuidad del sedimento**

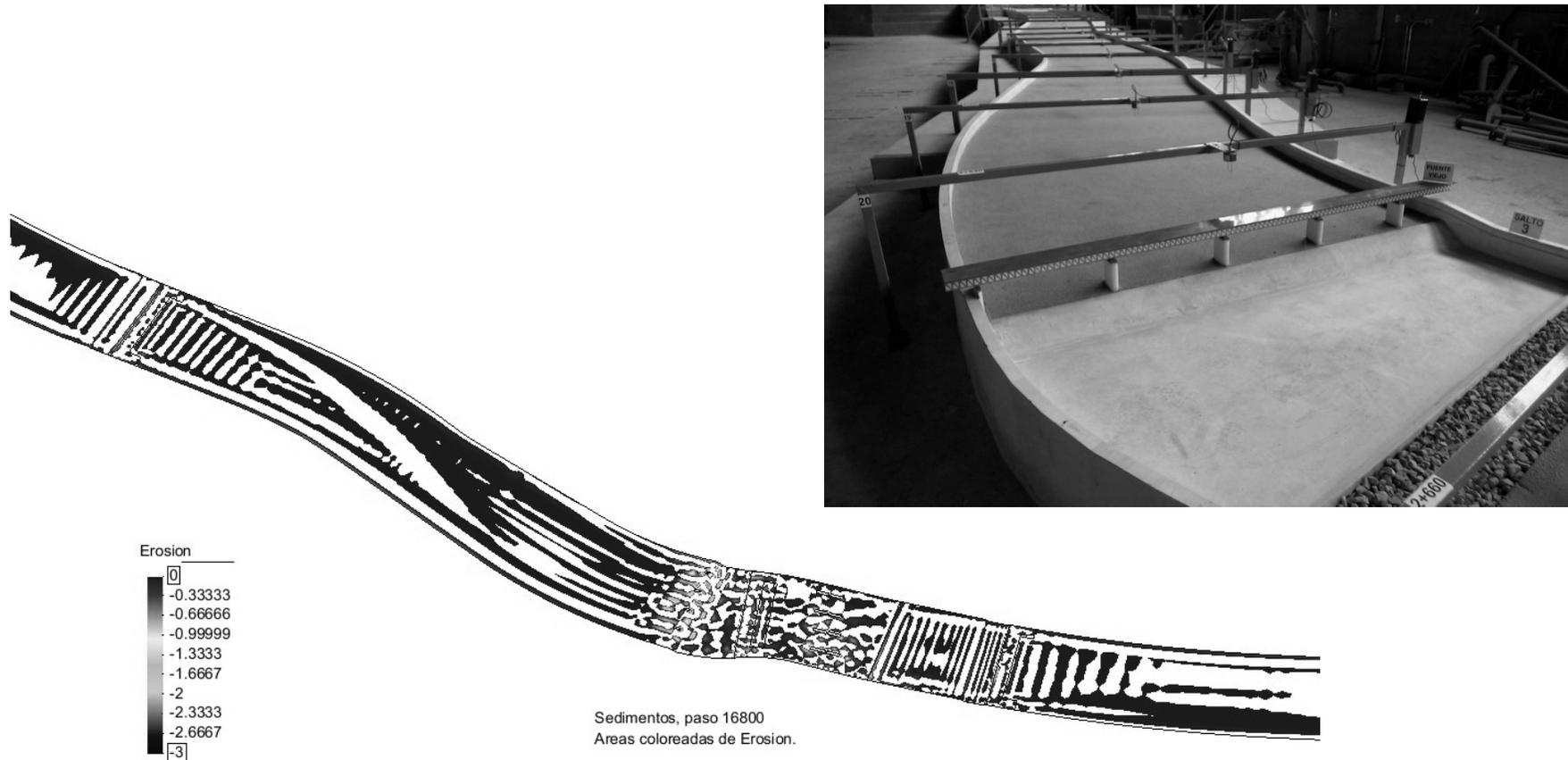
El modelo Iber

Transporte de sedimentos



El modelo Iber Transporte de sedimentos

Carga de fondo



El modelo Iber

Transporte de sedimentos

Transporte en suspensión

Ecuación de transporte turbulento en suspensión

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial hU_x C}{\partial x} + \frac{\partial hU_y C}{\partial y} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\Gamma + \frac{?_t}{S_{c,t}} \right) h \frac{\partial C}{\partial x_j} \right)}_{\text{Difusión turbulenta}} + \underbrace{(E - D)}_{\text{Resuspensión/ deposición}}$$

➤ **Resuspensión/deposición:**

→ Van Rijn

→ Smith

→ Ariathurai y Arulanandan

El modelo Iber

Transporte de sedimentos

Transporte en suspensión. Resuspensión deposición

Van Rijn:

$$E - D = W_s (c_a^* - c_a)$$

- Material granular

$$c_a^* = 0.015 \frac{D_{50} \cdot T^{1.5}}{a \cdot D_*^{0.3}}$$

Smith:

- Material granular

$$c_a^* = \frac{1.56 \cdot 10^{-3} \cdot T}{1 + 2.4 \cdot 10^{-3} \cdot T}$$

Ariathurai y Arulanandan:

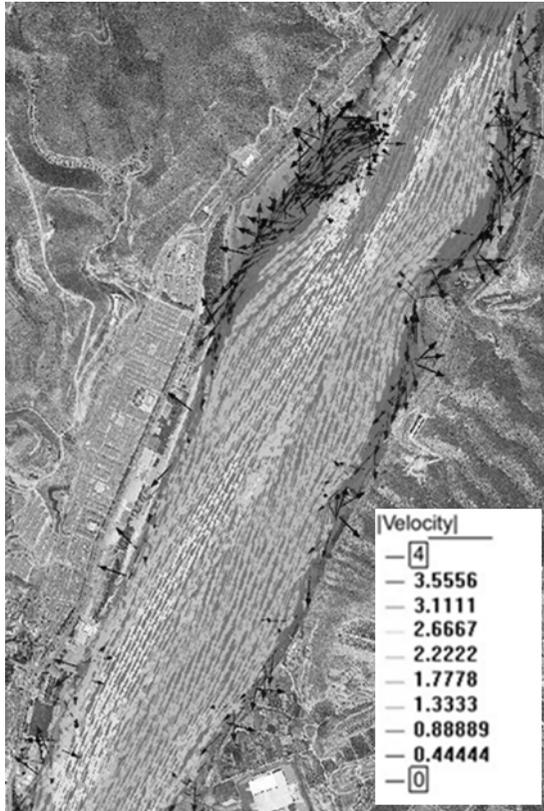
$$E = M \cdot \left(\frac{t_b}{t_{ce}} - 1 \right)$$

$$D = W_s \cdot c_a \left(1 - \frac{t_b}{t_{cd}} \right)$$

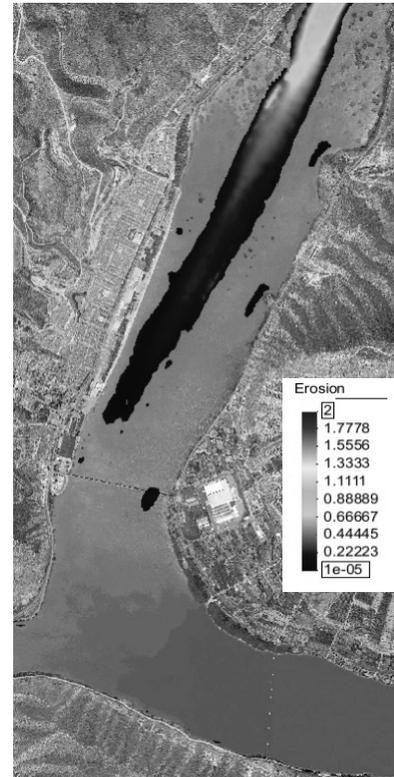
- Material cohesivo
- Tensiones totales
- Tensión crítica de deposición

El modelo Iber Transporte de sedimentos

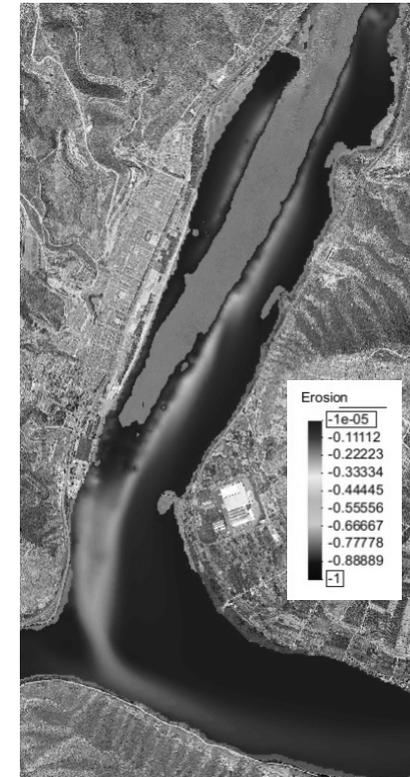
Transporte en suspensión



Hidrodinámica



Erosión



Sedimentación

El modelo Iber

Transporte de sedimentos

Transporte en suspensión. Condiciones de contorno

Entradas:

- **Contorno abierto**
→ concentración
- **Fuente**
→ Caudal y concentración
- **Aguas claras**
→ Caudal sólido nulo



Salidas:

- **continuidad del sedimento**

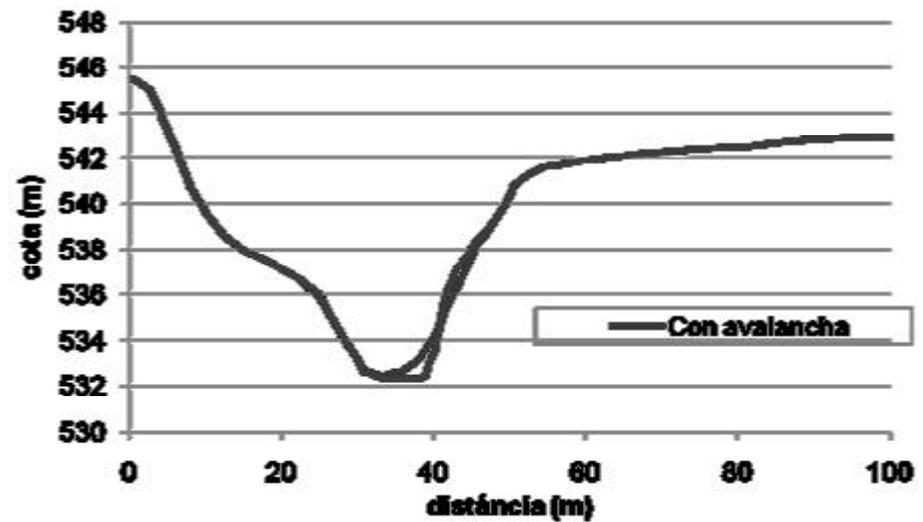
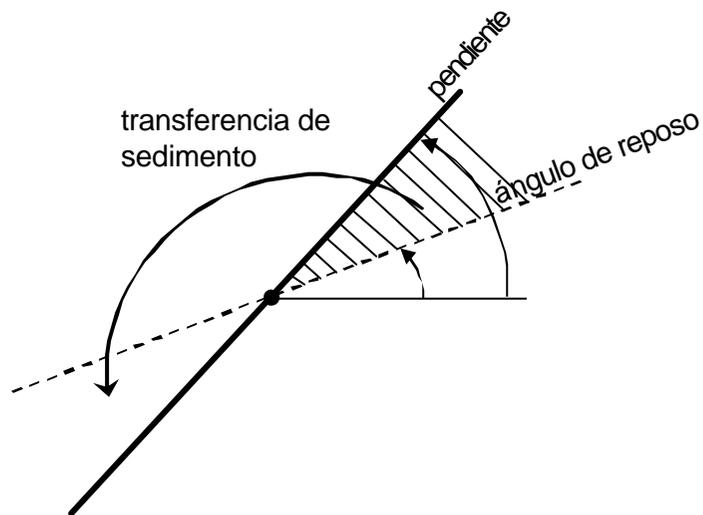


El modelo Iber

Transporte de sedimentos

Modelo de avalancha

- Deslizamiento instantáneo para ángulos superiores al de reposo



El modelo Iber

Transporte de sedimentos

Capa de roca o elemento no erosionable



El modelo Iber Interfaz gráfica

Iber está basado en GiD, un pre/postprocesador gráfico de propósito general para simulaciones numéricas.



Información y descargas de GiD: www.gidhome.com

Hay tres etapas diferenciadas:

- Preproceso: entrada gráfica de datos
- Proceso: simulación hidráulica
- Postproceso: visualización de resultados

La interfaz está preparada para ser multilingüe, actualmente Iber está en español e inglés.

GiD está disponible en Windows y Linux x32 y x64 y Mac OS X. aunque actualmente Iber sólo está disponible para Windows

El modelo Iber Interfaz gráfica

Preproceso

Maneja dos conceptos: Geometría y malla

La geometría (CAD) usualmente es la fuente a partir de la cual se genera la malla (modelo simplificado de cálculo)

- Importación estándar: IGES, DXF, Parasolid, ACIS, VDA, Rhinoceros, Shapefile, puntos xyz, etc.
- Colapsado de entidades, para fusionar partes, eliminar duplicados y detalles insignificantes.
- Creación y edición del modelo geométrico

El modelo Iber Interfaz gráfica

Preproceso

Fotografías geo-referenciadas: puede ponerse como fondo una imagen, la posición espacial puede venir dada por un fichero adicional.

Formatos bmp, jpg, png, tga, ppm.

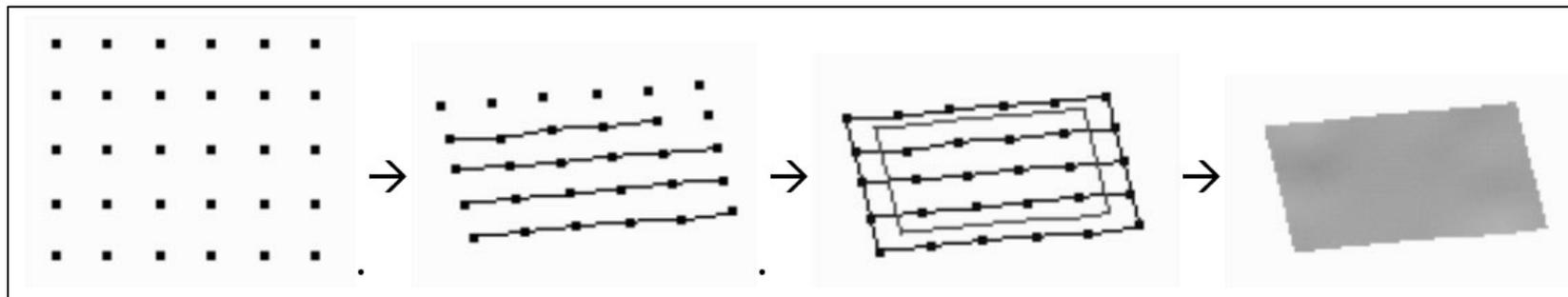
Util para determinar visualmente regiones: rios, zonas con similar coeficiente de Manning.

El modelo Iber Interfaz gráfica

- Importación especializada: MDT (modelo digital del terreno)

Fichero ASCII con una matriz 2D con cota(i,j)

Conversión en superficies NURBS suaves que pueden ser remalladas



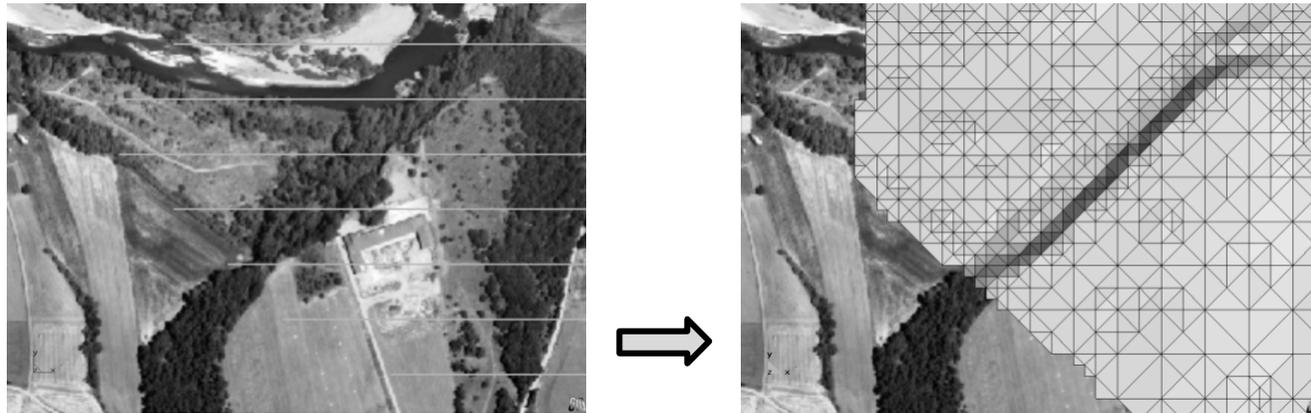
Opción de dividir los datos en sub-parches para crear múltiples superficies
(mejor aproximación local a trozos que global con un único parche)

Posible sub-muestreo de datos

El modelo Iber Interfaz gráfica

- Conversión de MDT a RTIN (rectangular triangulated irregular network)

Subdivisión recursiva de las celdas obteniendo una malla adaptativa de triángulos rectángulos (formato DXF)



MTD del rio Fluvià

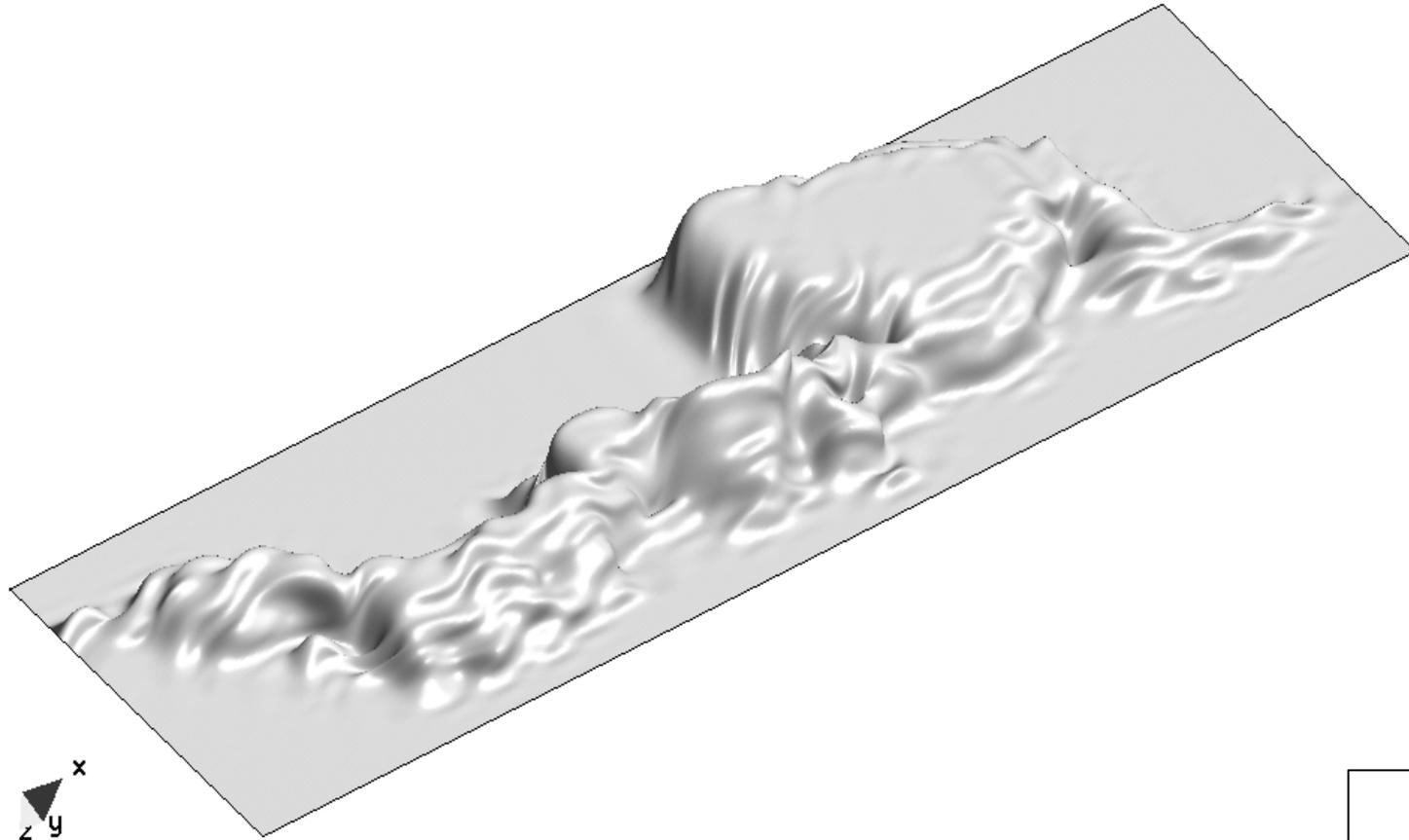
Conversión a RTIN

Algoritmo muy robusto. La propia geometría es como la malla. Inconveniente: crea direcciones predominantes.

- Conversión de MDT a superficies cuadradas (una por celda)

El modelo Iber Interfaz gráfica

Creación de superficie NURBS a partir de nubes de puntos



Puntos muestreados del fondo de un lago

El modelo Iber Interfaz gráfica

Preproceso

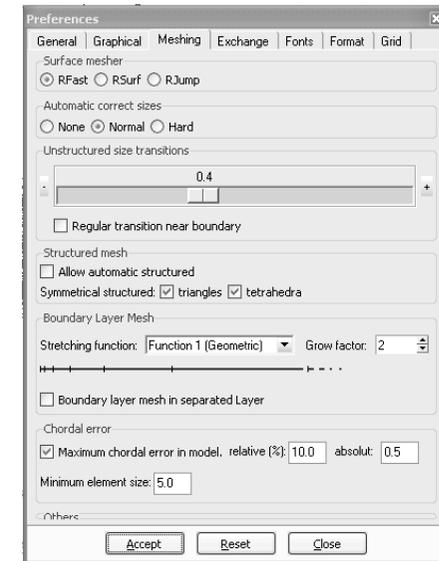
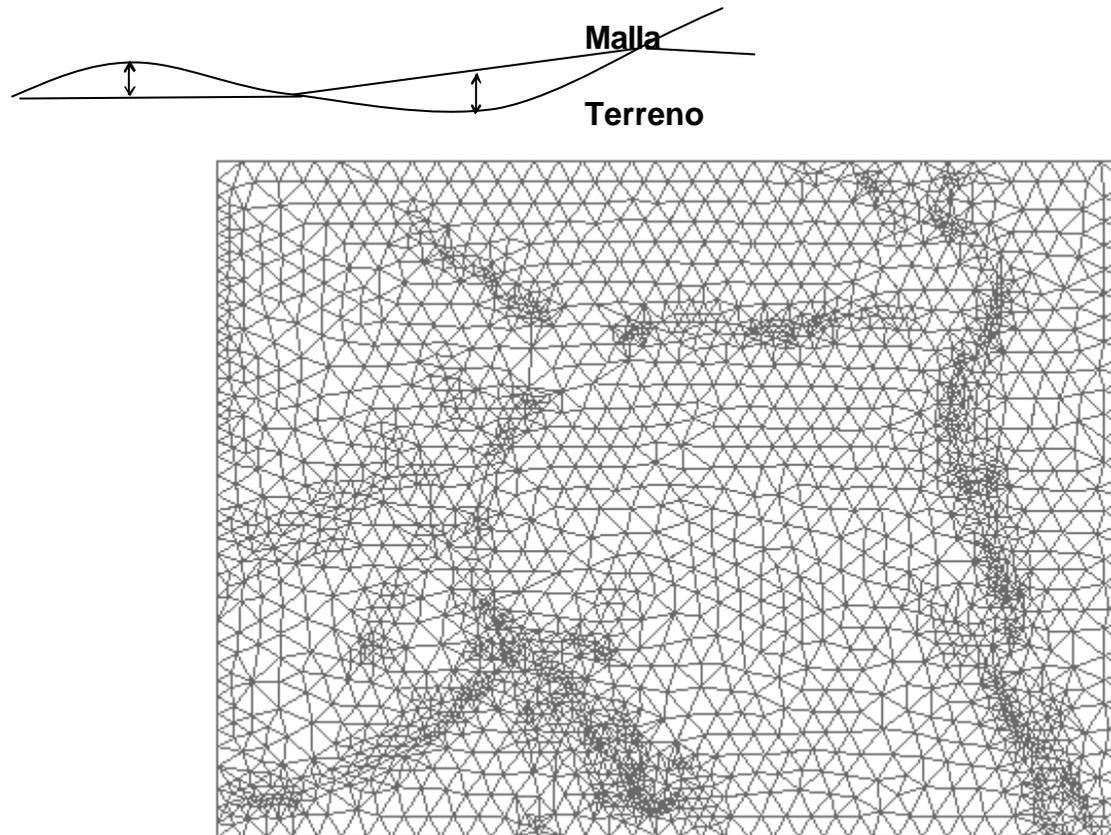
- Generación de malla
 - Malla no estructurada, triángulos y cuadriláteros.
 - Malla estructurada
 - Malla cartesiana

Control de tamaños:

- Asignación manual o por error cordal a entidades
- Control de la velocidad de transición de tamaño
- Subdivisión automática por error cordal
- Rjump para saltar entre superficies

El modelo Iber Interfaz gráfica

Mallado adaptativo por error cordal



Mallado por error cordal de la riera de Tossa

El modelo Iber Interfaz gráfica

Mallado

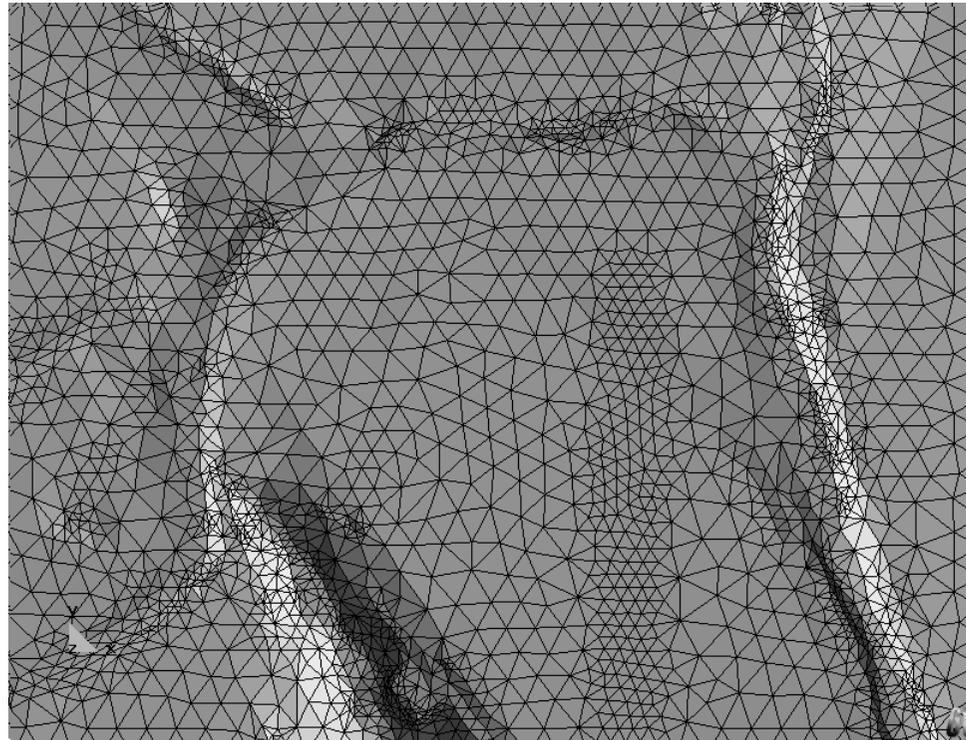
Importación de malla: STL, VRML, 3D Studio, ...

Edición de malla:

- Subdivisión de elementos
- Colapso de aristas
- Suavizado
- Conversión de cuadriláteros en triángulos

El modelo Iber Interfaz gráfica

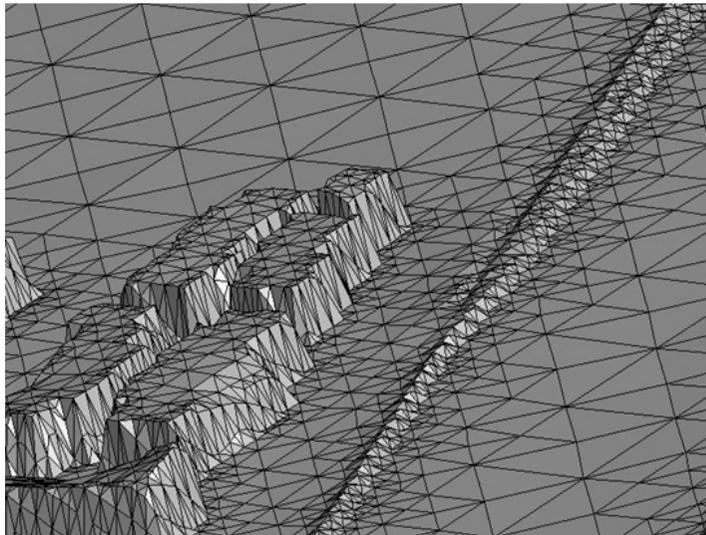
Subdivisión de elementos



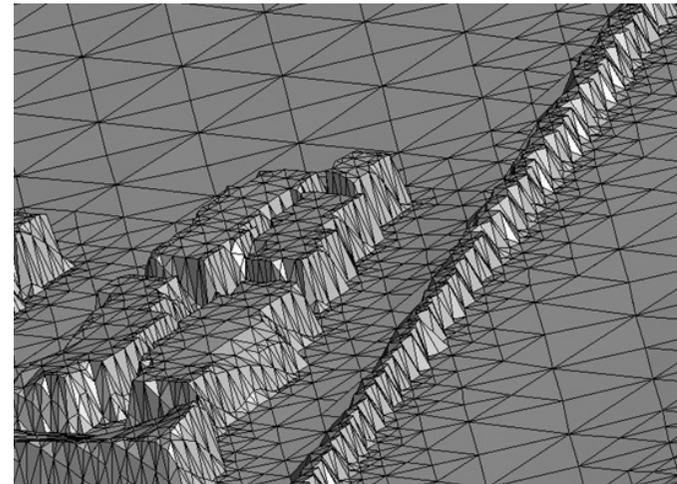
Interesante para refinar malla en zonas de interés, por ejemplo para insertar un muro junto al cauce de un río (refinando y modificando la cota de los nodos del muro)

El modelo Iber Interfaz gráfica

Edición de la malla (global o local)
Cruce con MDT para cambiar cotas de vértices



+
MDT



El modelo Iber Interfaz gráfica

Condiciones de contorno y cálculo

Condiciones iniciales, contorno de entrada salida, rugosidad.

- Asignación sobre geometría o malla
- Ventana de evolución de la simulación
- Es posible visualizar resultados a medida que se van calculando, sin esperar a que termine el cálculo.



El modelo Iber Interfaz gráfica

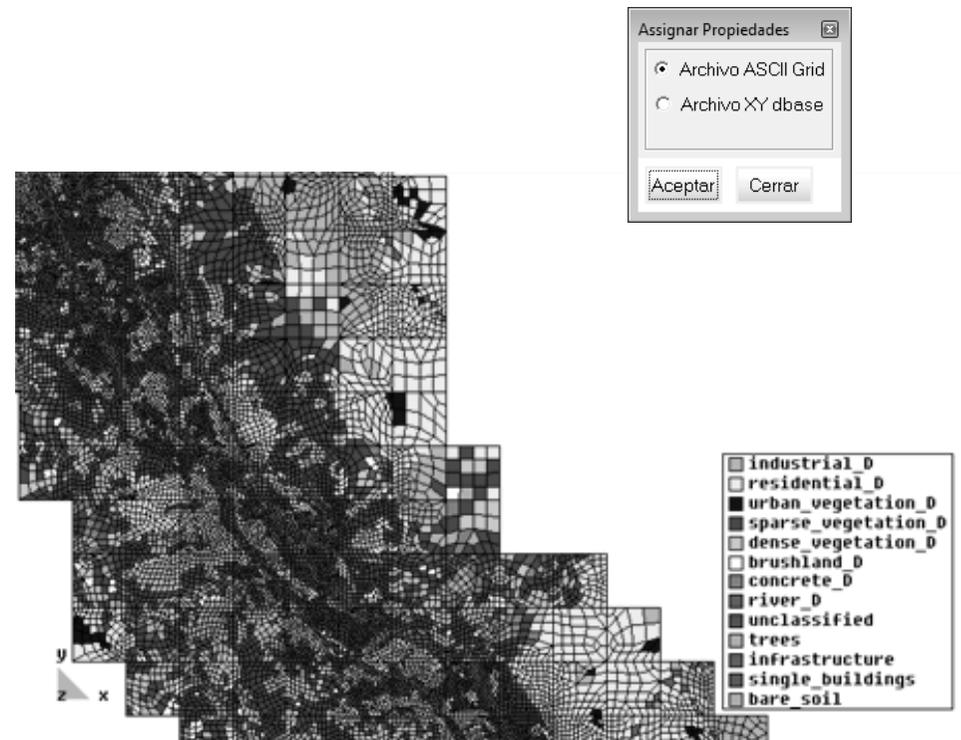
Asignación de la rugosidad

Manual

Selección de entidades

Automática:

- Usos del suelo en formato ASCII de Arc-Info
- Listado x-y-usos



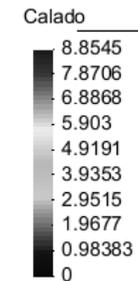
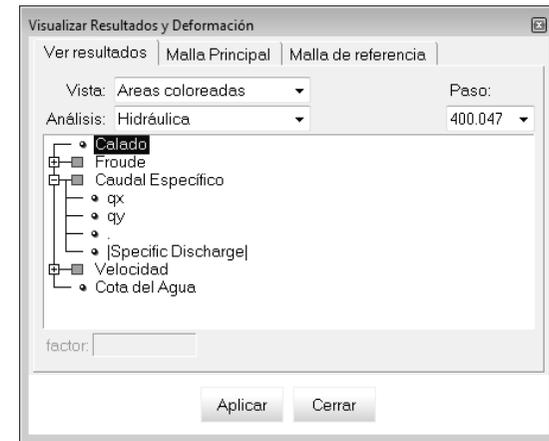
El modelo Iber Interfaz gráfica

Resultados básicos:

- Calado
- Velocidad
- Caudal específico
- Cota de agua
- Froude

Resultados adicionales:

- Máximos
- Riesgo
- Capacidad de arrastre
- Courant
- Lluvia, Caudal sólido, erosiones, concentración de contaminantes, etc.



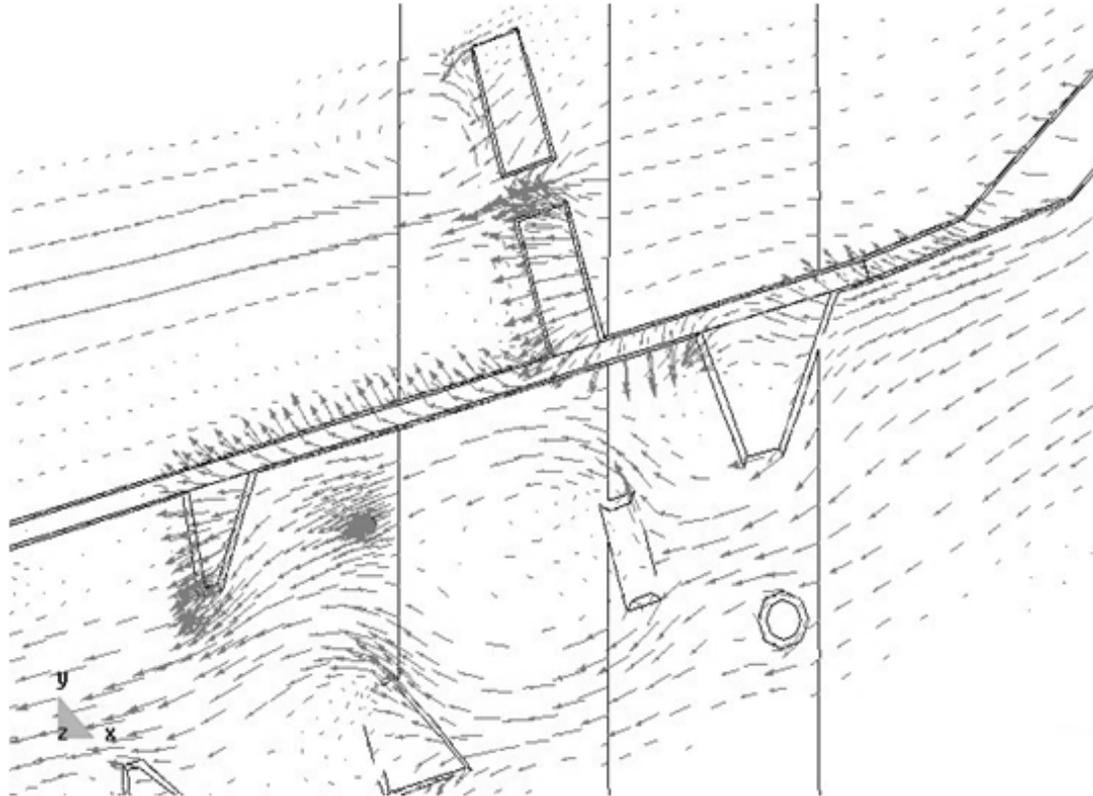
El modelo Iber Interfaz gráfica

Postproceso

- Resultados escalares: altura de agua, módulo de velocidad. Mapa de colores, isolíneas, suavizado de resultados no continuos.
- Resultados vectoriales, velocidad como vectores, por colores
- Gráficos: evolución espacial de una variable a lo largo de un corte, evolución temporal en un punto.
- Cortes, integración de valores (hidrogramas).

El modelo Iber Interfaz gráfica

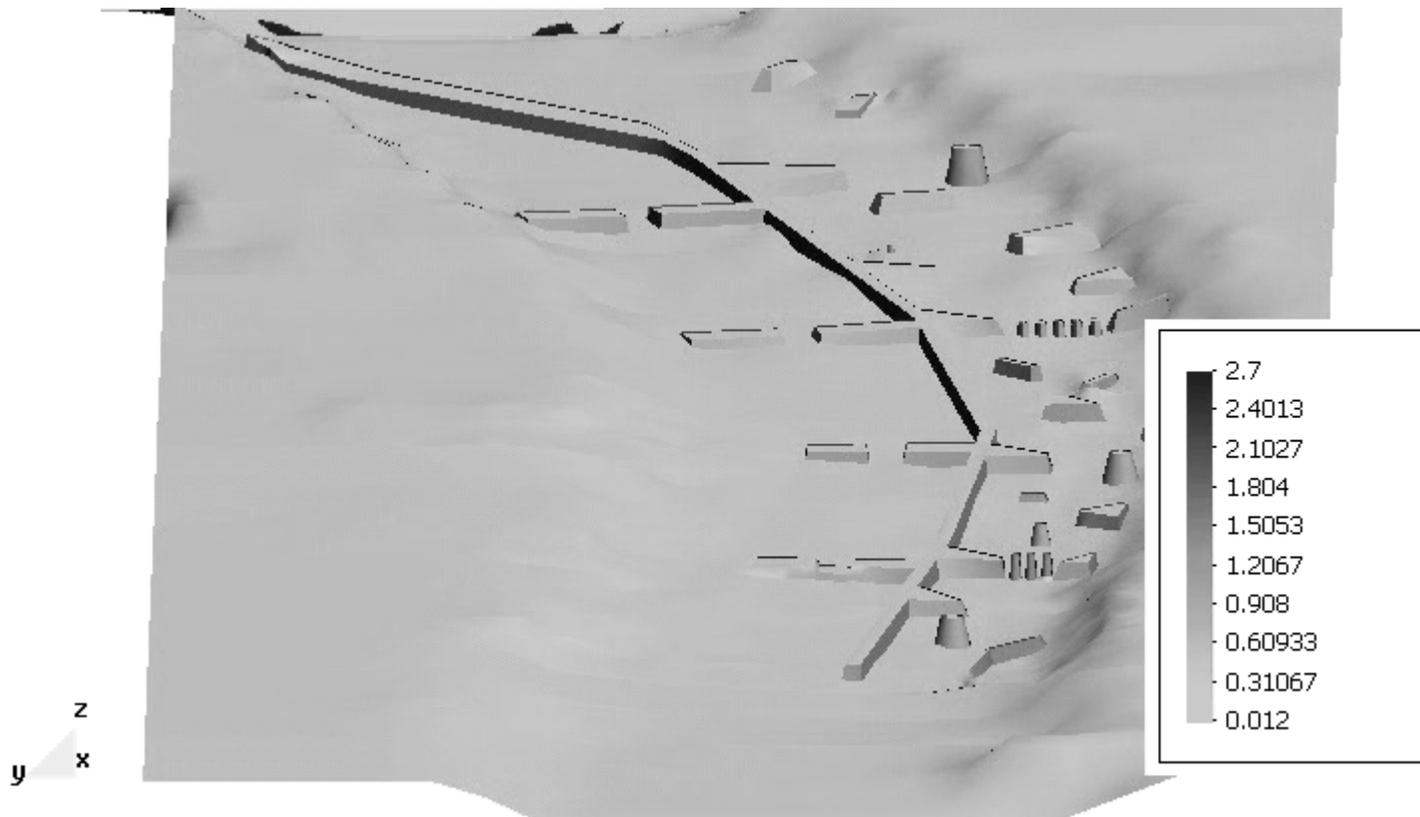
Resultados vectoriales



- Representación con color proporcional al módulo
- Tamaño escalable por el usuario
- Control de densidad de vectores

El modelo Iber Interfaz gráfica

Animaciones: visualización 'online' o grabación de avi, mpeg, gif.



Animación del perfil de agua, rio Segre

El modelo Iber Interfaz gráfica

Exportación de resultados a GIS

```

Calado0000001000.asc - Llibreta
-----
Eixer  Edita  Formatació  Visualització  Ajuda
-----
NCOLS      73
NROWS     56
XLLCENTER  93552.957600
YLLCENTER  19923.246700
CELLSIZE   5.000000
NODATA_VALUE -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00  0.13
 0.36   0.46   0.39   0.46   1.29
1.44   1.81   1.98   1.83   1.73
1.64   1.62   1.58   1.55   1.44
1.17   0.60   0.35   0.42   0.32
0.14   0.19   0.32   0.60   0.87
1.33   1.66   1.70   1.58   1.34
0.53 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
-9999.00 -9999.00 -9999.00 -9999.00
  
```



Diferencia de velocidad (m/s)

- -1.050 - -0.800
- -0.799 - -0.600
- -0.599 - -0.400
- -0.399 - -0.200
- -0.199 - 0.000
- +0.001 - +0.200
- +0.201 - +0.400
- +0.401 - +0.600
- +0.601 - +0.800