ibercursos

iber

Modelo de flujo bidimensional en ríos y estuarios

BASES CONCEPTUALES HIDRÁULICAS EJEMPLOS

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

flumen Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica

CIMNE

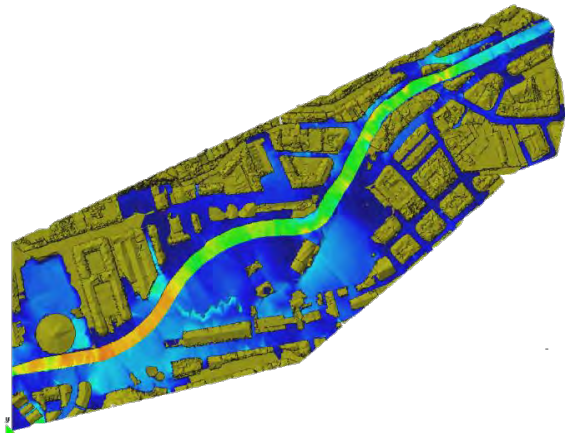
El modelo Iber
Introducción

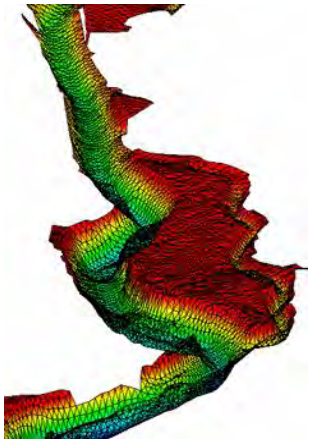
Turbillon — **CARPA**

GiD

↓

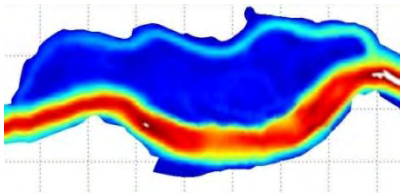
Iber





Introducción

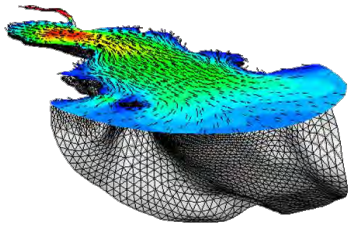
Módulos de cálculo



HIDRODINÁMICA

Velocidad

Calado



TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

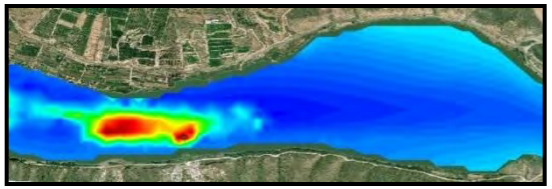
Carga en suspensión

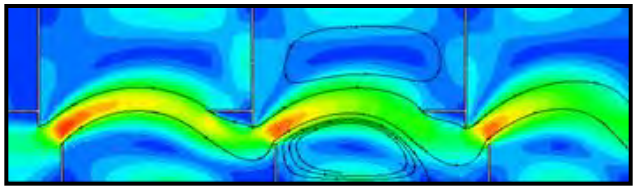
Carga de fondo

TURBULENCIA

Viscosidad turbulenta

Energía turbulenta y disipación





Introducción

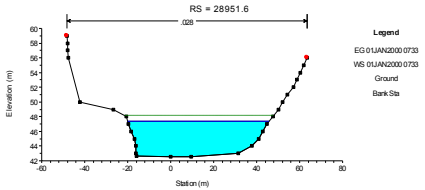
- Modelación numérica en ríos: herramienta para el estudio de calados y velocidades para la resolución de problemas de ingeniería y dinámica fluvial (ríos y estuarios):
  - Delimitación de zonas inundables
  - Diseño de encauzamientos y obras de protección
  - Restauración de ríos
  - Planes de emergencia en roturas de presa
  - Optimización del funcionamiento de obras hidráulicas

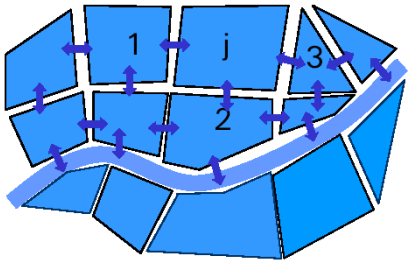
El modelo Iber
Introducción

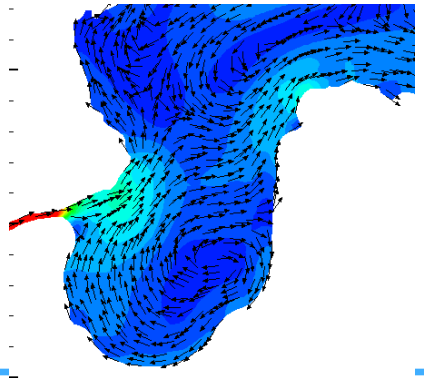
1D	Cuasi-2D	2D	3D
Tramos largos de ríos	Ríos con desbordamientos localizados	Estuarios	Flujo local
Canales		Tramos cortos de ríos	Vertederos
		Llanuras de inundación	Pilas de puentes
		Flujo fuera de cauces	
		Obras hidráulicas	

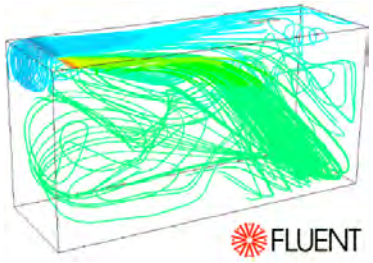
+ ECONÓMICO ⟷ **+ COSTE**

+ SIMLIFICADO ⟷ **+ PRECISIÓN (en general)**









flumen Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica

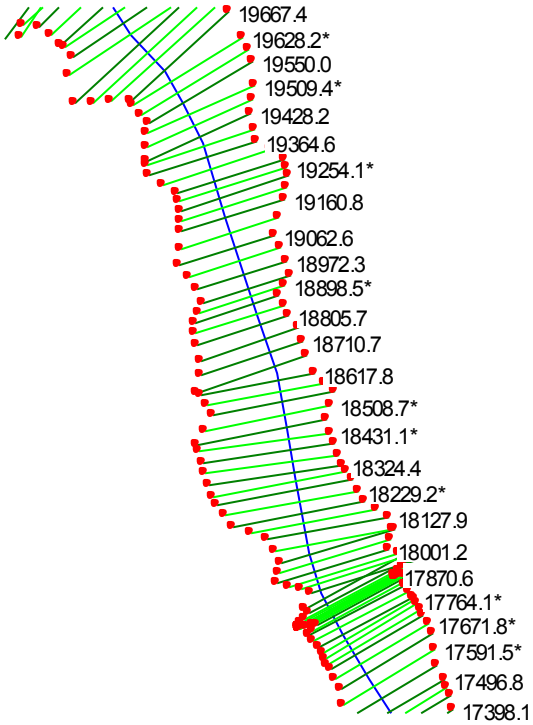
Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

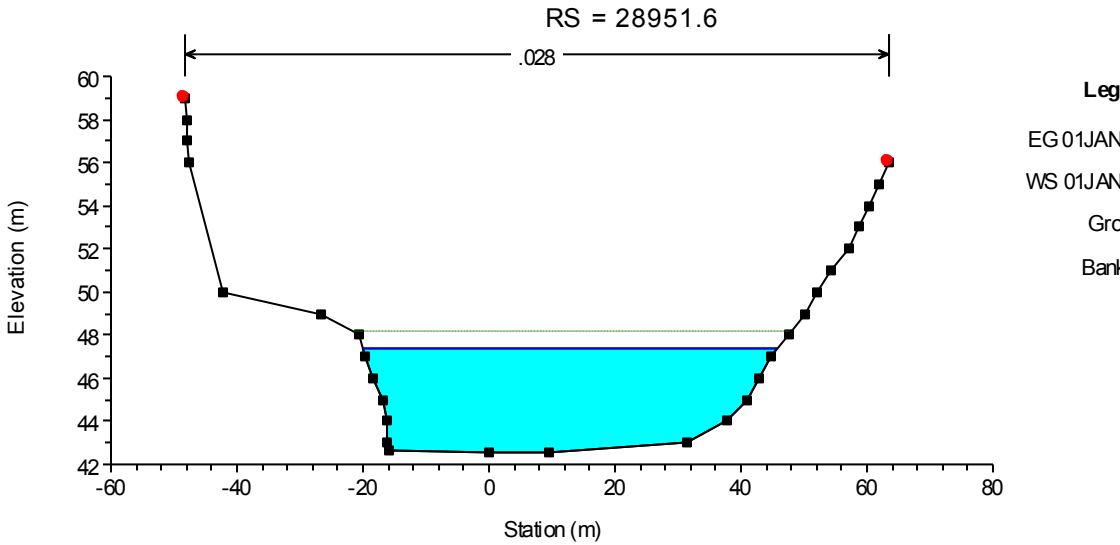
Iber

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CIMNE

1D

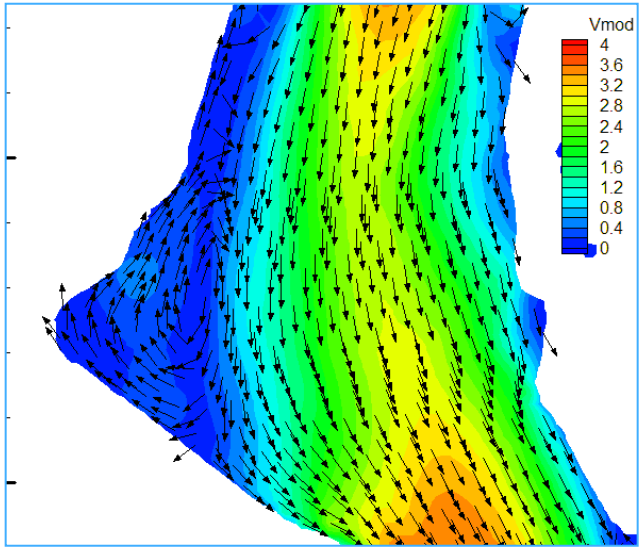


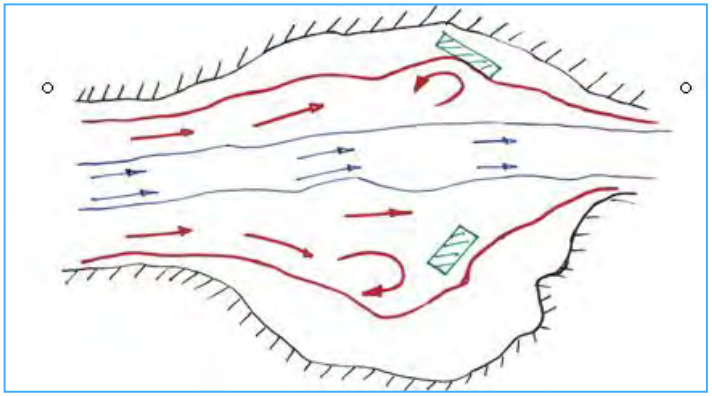


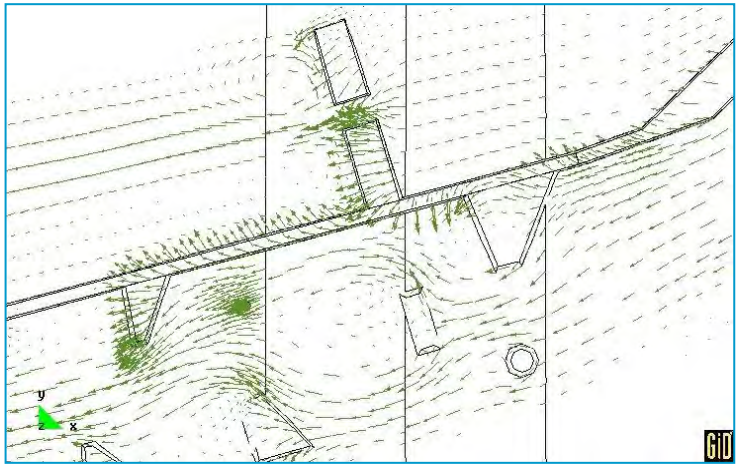
- **Movimiento en la dirección del eje**
- **Nivel constante en una sección**
- **Velocidad uniforme**

Introducción

2D







- En cada punto: calado, V_x, V_y

- Salto cualitativo en: información geométrica
  tiempo de cálculo

El modelo Iber
Introducción

2D

Riera de Les Arenes
1962

Terrassa 1971

Río Júcar 1982

Llobregat 1982

Ecuaciones Hidrodinámicas

Ecuaciones del flujo en lámina libre:

- Conservación de la masa

- Conservación de la cantidad de movimiento

  (2ª ley de Newton)

  (alternativamente: conservación de la energía)

Ecuaciones Hidrodinámicas

A partir de las ecuaciones de Navier-Stokes (fluido newtoniano e isotropo en 3D):

Navier-Stokes (conservación masa + 2ª ley de Newton) $\xrightarrow{\text{Promedio temporal}}$ Reynolds $\xrightarrow{\text{Integración en la vertical}}$ Saint Venant 2D (aguas someras)

$$u = \bar{u} + u'$$

$$\bar{u} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u\,dt$$

$$u = \frac{1}{h} \int_{z_0}^{z_0+h} \bar{u}\,dz$$

u: valor instantaneo

u' : fluctuaciones turbulentas

$\bar{u}$: promedio temporal

u : promedio en la vertical

Las variables en un modelo 2D son promediadas en la profundidad

Ecuaciones Hidrodinámicas

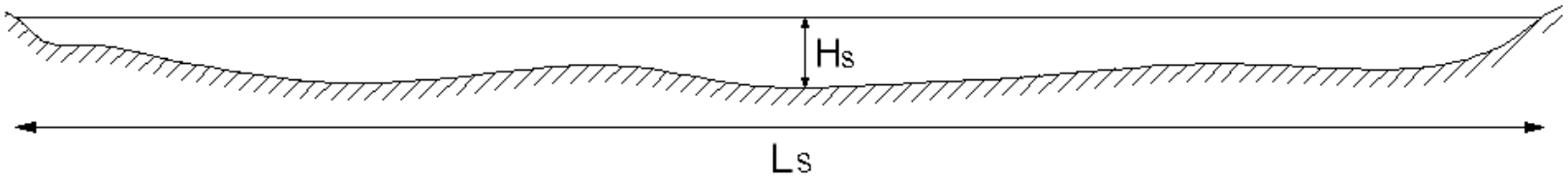
Ecuaciones de aguas someras 2D

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

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

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

- Distribución de **presión hidrostática**
- Velocidad **uniforme en profundidad → h, U_x, U_y**



Ecuaciones Hidrodinámicas

Forma vectorial:

$$\frac{\partial}{\partial t}\mathbf{U} + \nabla\mathbf{F} = \mathbf{H}$$

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} h \\ q_x \\ q_y \end{pmatrix} ; \mathbf{F} = \begin{pmatrix} q_x & q_y \\ \frac{q_x^{\,2}}{h} + g\frac{h^2}{2} & \frac{q_x q_y}{h} \\ \frac{q_x q_y}{h} & \frac{q_y^{\,2}}{h} + g\frac{h^2}{2} \end{pmatrix} ; \mathbf{H} = \begin{pmatrix} 0 \\ gh(S_{ox} - S_{fx}) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_t\, h \frac{\partial U_x}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_t\, h \frac{\partial U_x}{\partial y}\right) \\ gh(S_{oy} - S_{fy}) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_t\, h \frac{\partial U_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_t\, h \frac{\partial U_y}{\partial y}\right) \end{pmatrix}$$

Pendiente motriz:

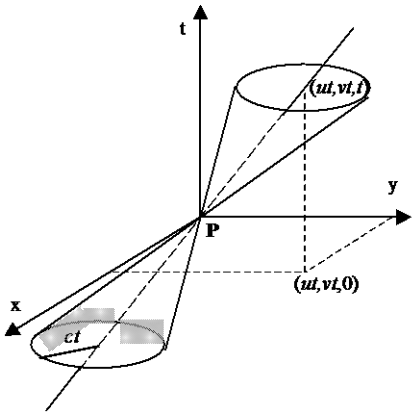
$$S_{fx} = \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}\, n^2}{h^{4/3}} \quad ; \quad S_{fy} = \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}\, n^2}{h^{4/3}}$$

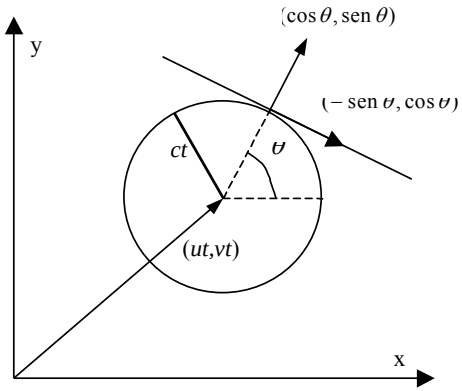
q: caudal específico

(Ec. en forma conservativa)

Ecuaciones Hidrodinámicas

- Sistemas de ecuaciones hiperbólicos: teoría de las características (bicaracterísticas)



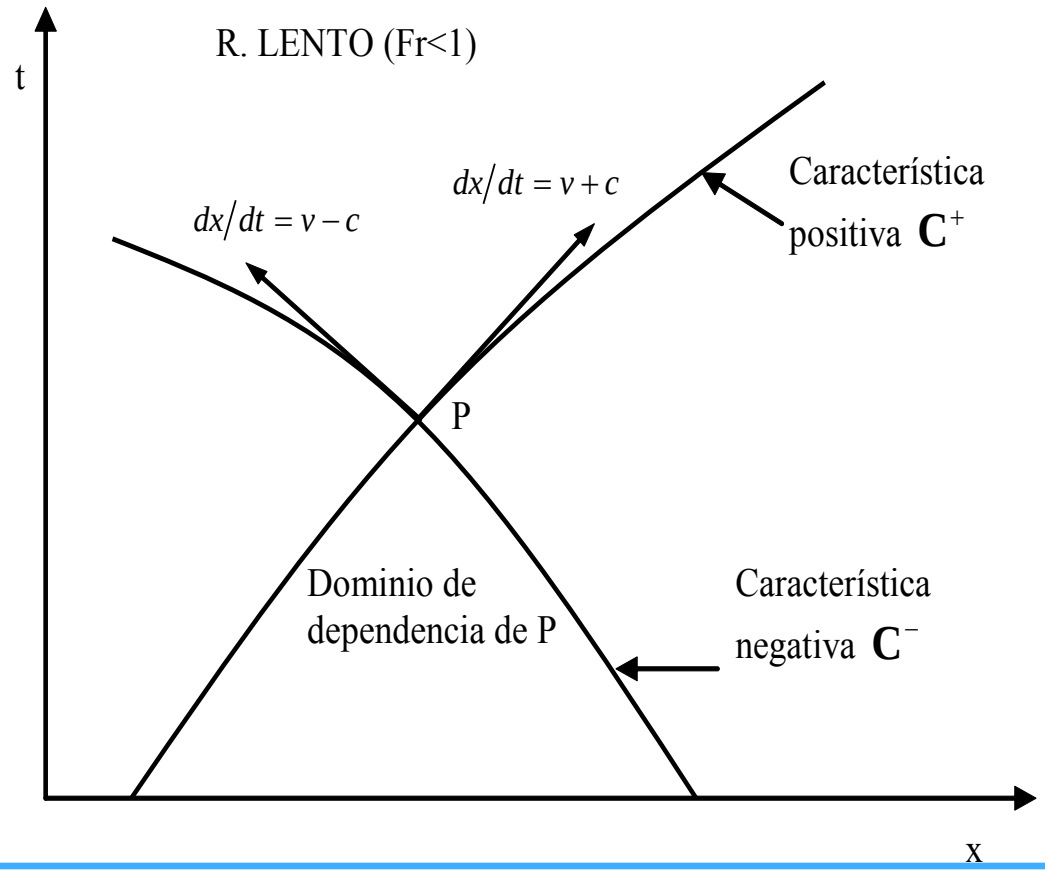


$$\frac{d(u_n \pm 2c)}{dt} \pm \frac{\partial u_t}{\partial \theta} = \pm g(S_{0x} - S_{fx})\cos\theta + g(S_{0y} - S_{fy})\operatorname{sen}\theta$$

(Ecuación válida sobre el cono característico)

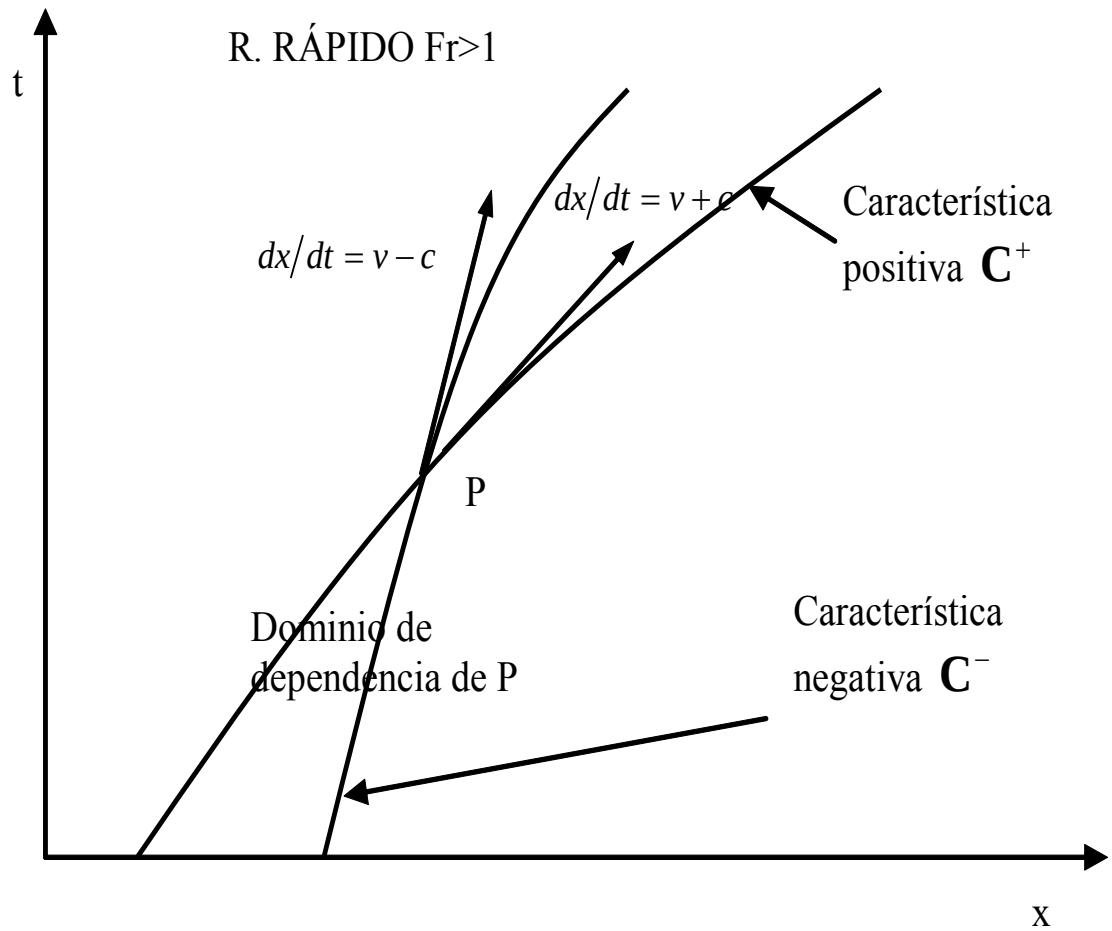
Ecuaciones Hidrodinámicas

Las características Proporcionan información importante del comportamiento de la solución.



$$c = celeridad = \sqrt{gh}$$

Ecuaciones Hidrodinámicas

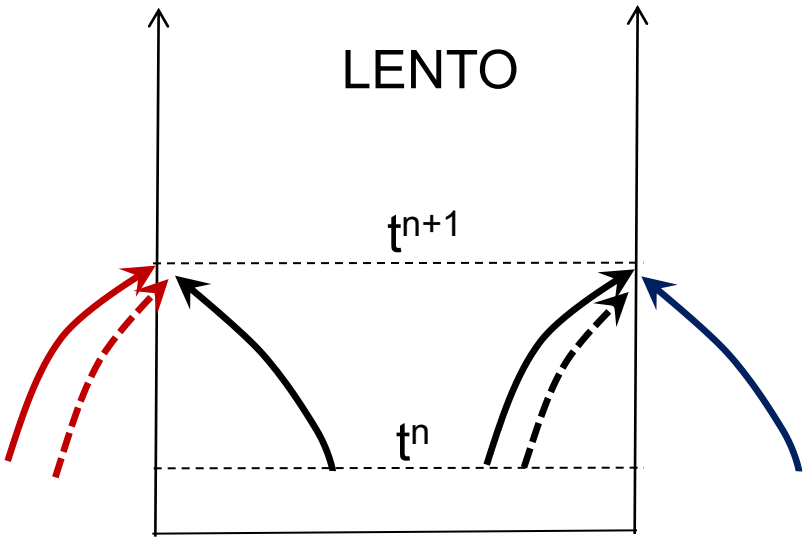


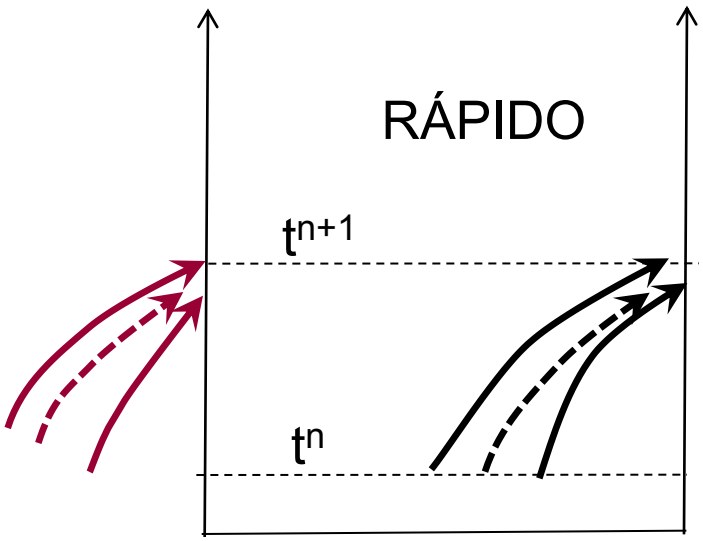
$$c = celeridad = \sqrt{gh}$$

Condiciones de contorno

- Nº condiciones según teoría de las características

	Entrada	Salida
R. Lento	**2**	**1**
R. rápido	**3**	**0**

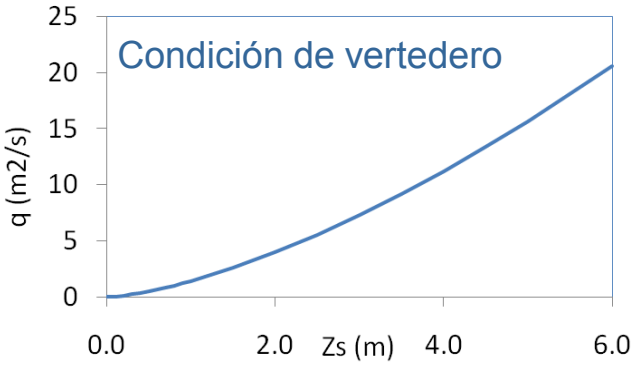


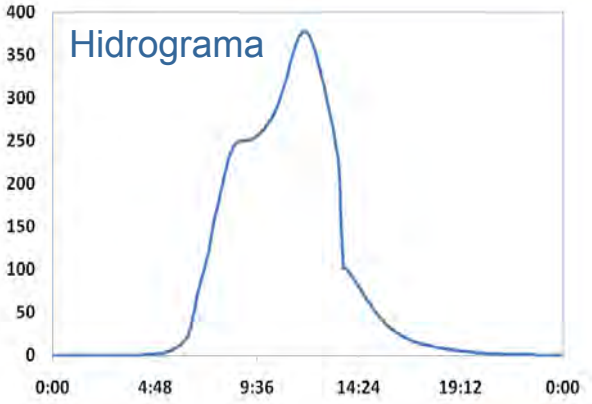


Condiciones de contorno

Contornos abiertos

- **Calado constante**
  - → Salida en ríos, canales
- **Calado variable en tiempo**
  - → Marea
- **Condición de vertedero**
  - → Sección de control
  - → curva de gasto
- **Caudal total constante**
  - → Entrada en ríos, canales
- **Hidrograma**
  - → Avenidas en ríos

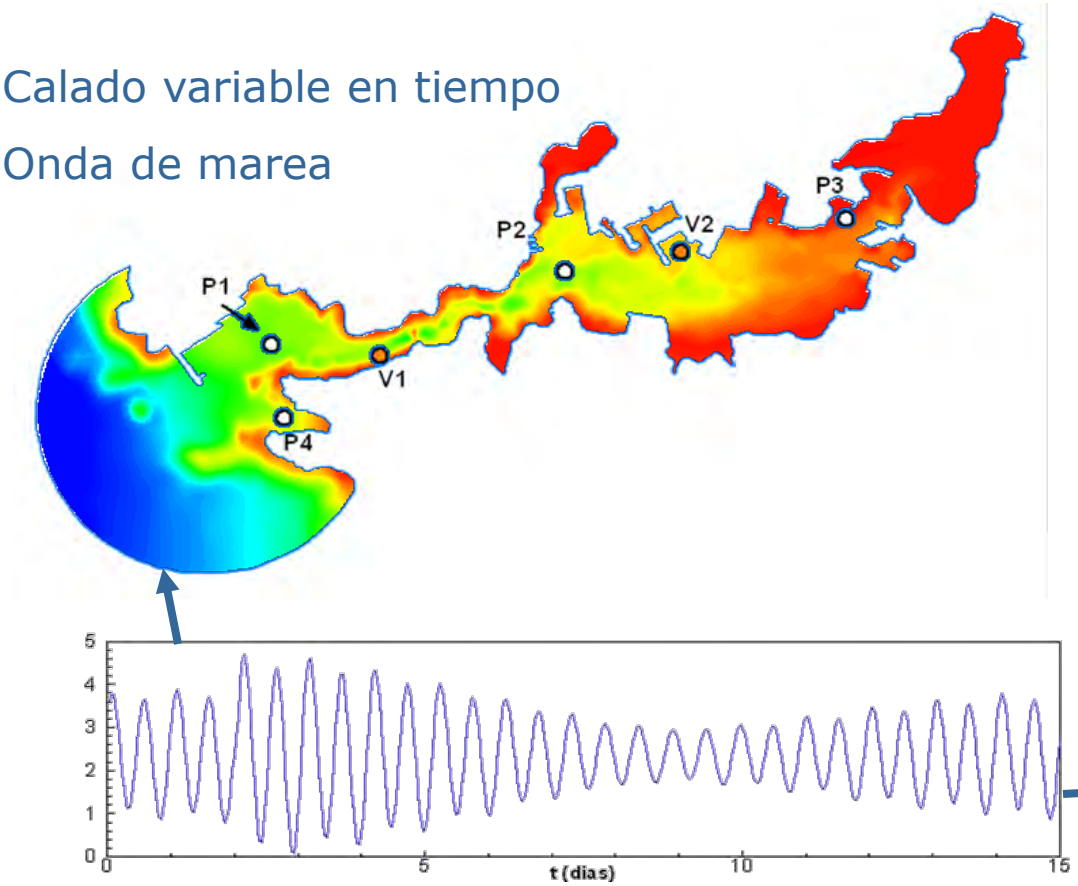


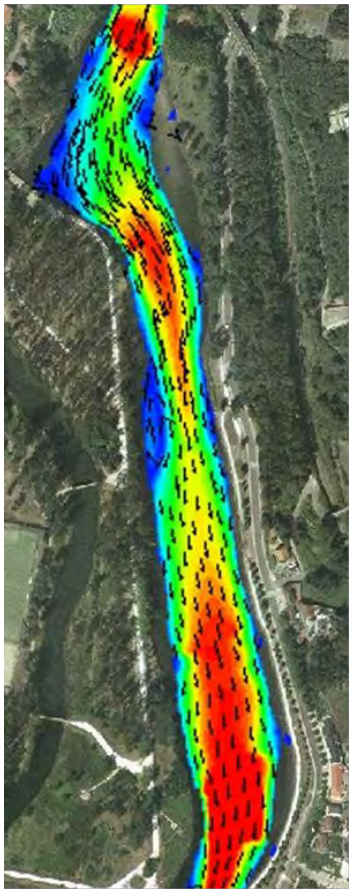


Contornos abiertos

Calado variable en tiempo

Onda de marea

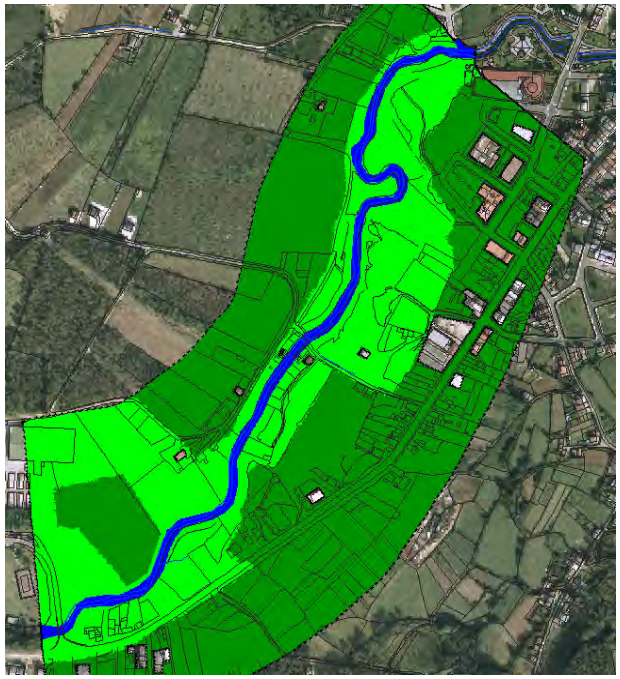




Fricción de fondo

Fórmula de Manning

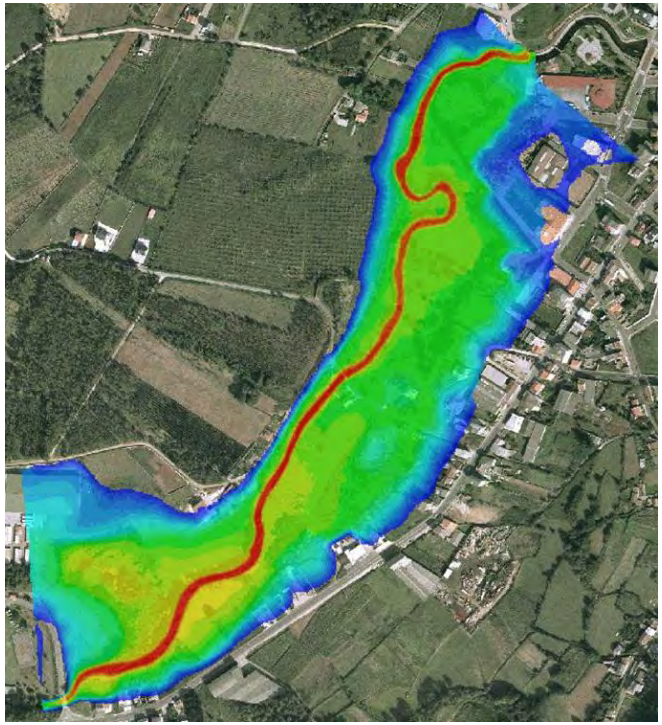
$$\tau_{b,x} = \rho\, g\, h\, \frac{n^2 |U| U_x}{h^{4/3}} \qquad \tau_{b,y} = \rho\, g\, h\, \frac{n^2 |U| U_y}{h^{4/3}}$$



El modelo Iber
Fricción de pared

Deslizamiento libre

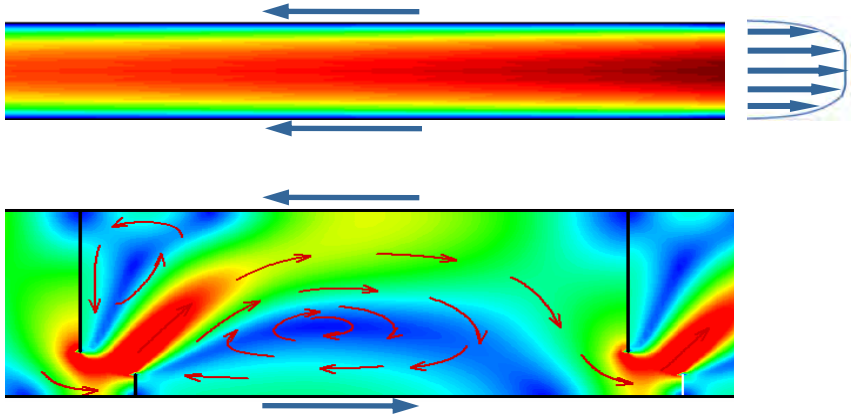
Ríos, zonas costeras



Rozamiento

Canales, estructuras hidráulicas

$$|u| = \frac{u_*}{\kappa} \mathrm{Ln}\left(30 \frac{y}{K_s}\right)$$



Dominio Público Hidráulico

Zona de flujo preferente

T=100 años

RD 9/2008
Modificación RDPH

Vía de intenso desagüe

- $\Delta Z_s < 0.3$ m (0.1 - 0.5)

Daños graves para personas y bienes

- $h > 1$ m
- $V > 1$ m/s
- $q > 0.5$ m^2/s

Zonas inundables

T = 500 años

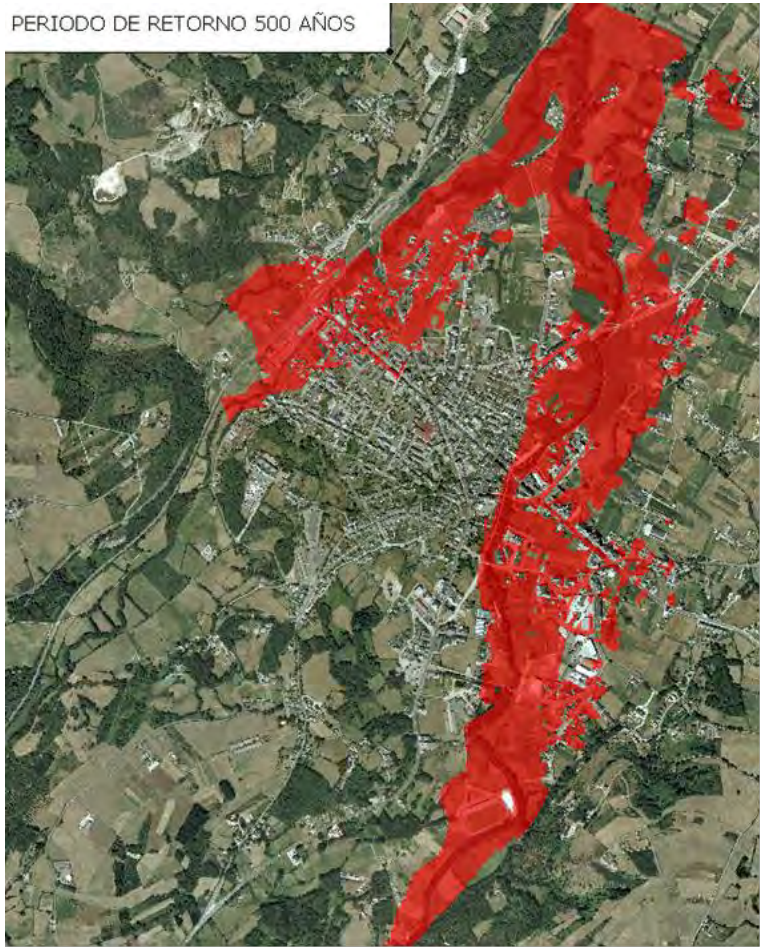
- **$h > 0$ m**

Herramientas de soporte para determinación vía intenso desagüe

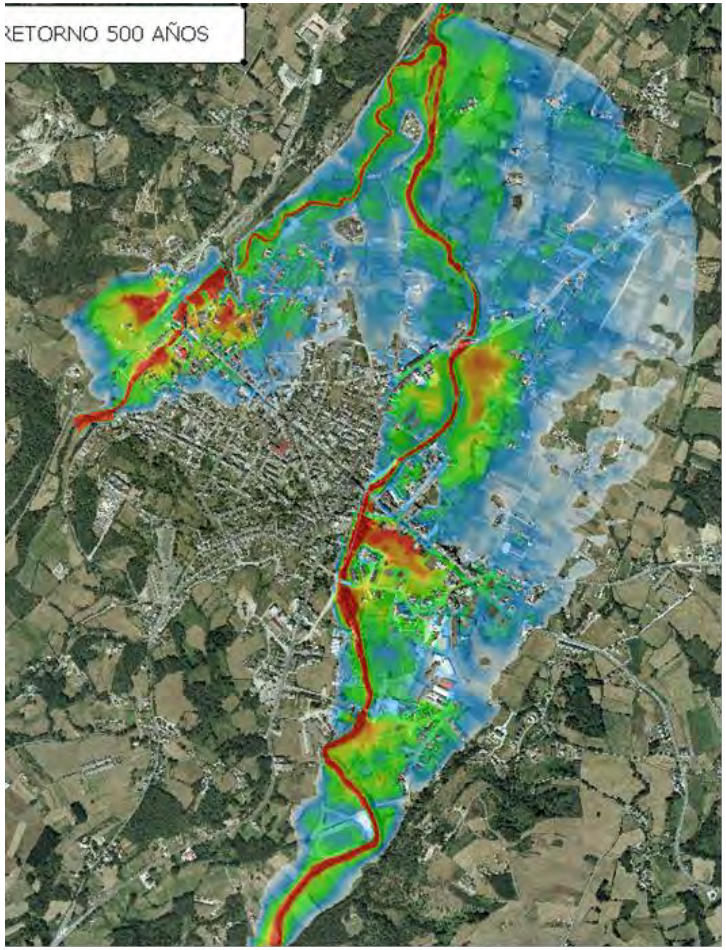
- Línea y distancia
- Polígono

El modelo Iber
Hidrodinámica

Zonas de riesgo



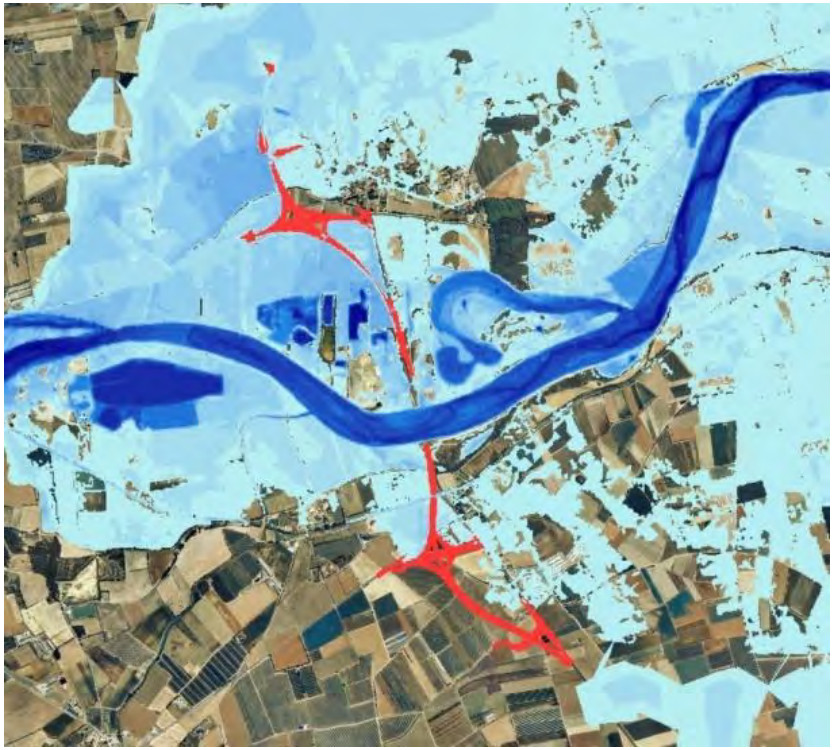
Zonas inundables

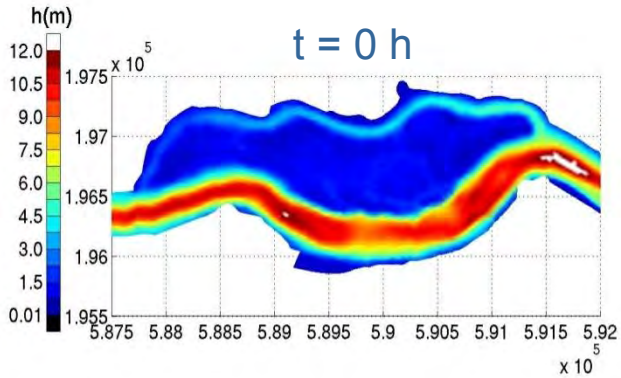


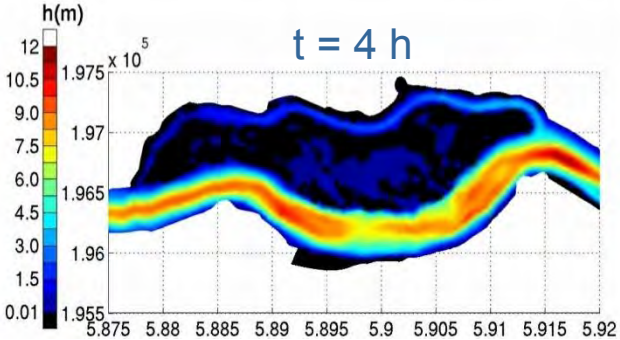
El modelo Iber
Frentes Seco-Mojado

Mojado si h > tolerancia (ε_{wd})

Método estable, conservativo, no difusivo



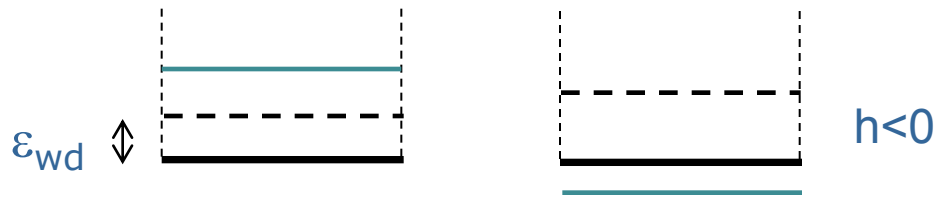




El modelo Iber
Frentes Seco-Mojado

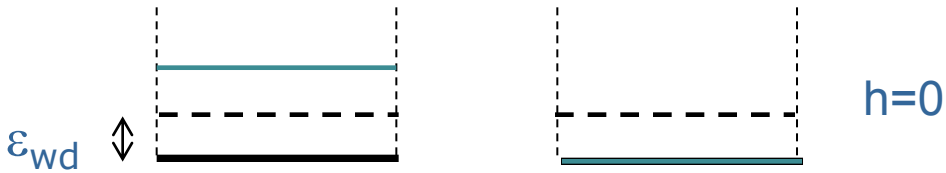
3 Métodos distintos para el secado cuando $V_{elemento} < \Delta t \cdot \Sigma Q_{salida}$

- Secado normal: calado negativo (inestabilidades si h pequeño)

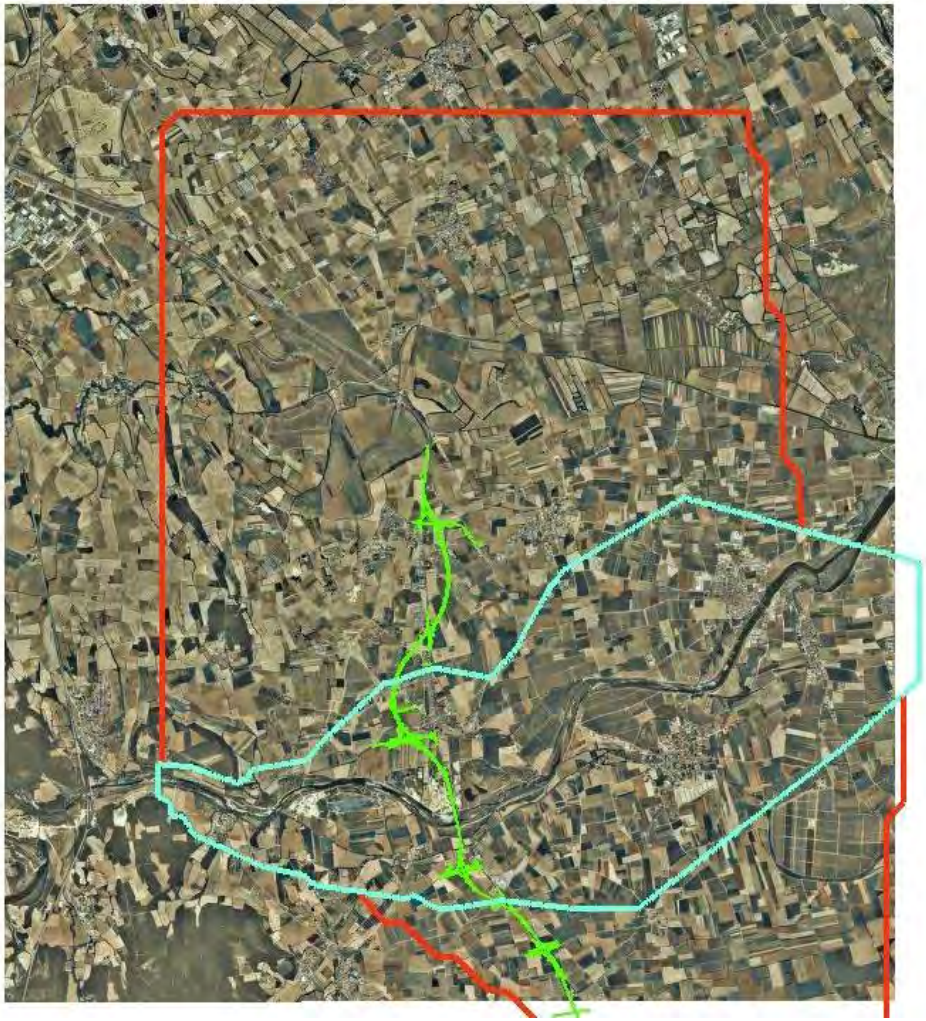


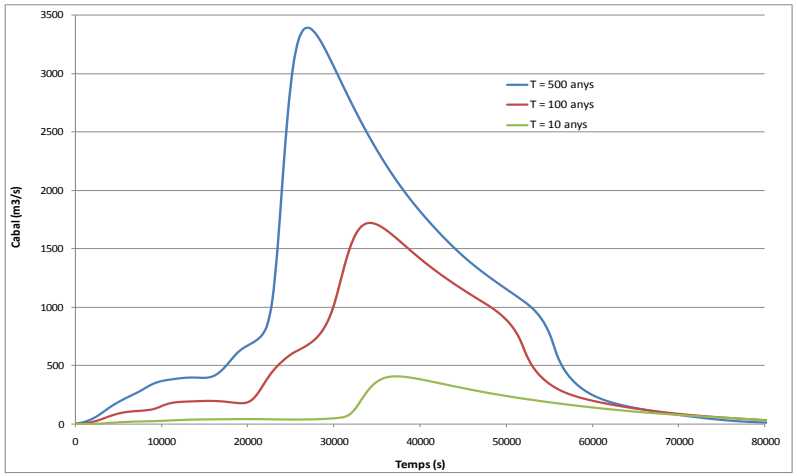
- Secado estricto: reducción Δt (aumento tiempo de cálculo)

- Secado hidrológico: reducción caudal de salida (disminuye precisión con v alta y h pequeño)



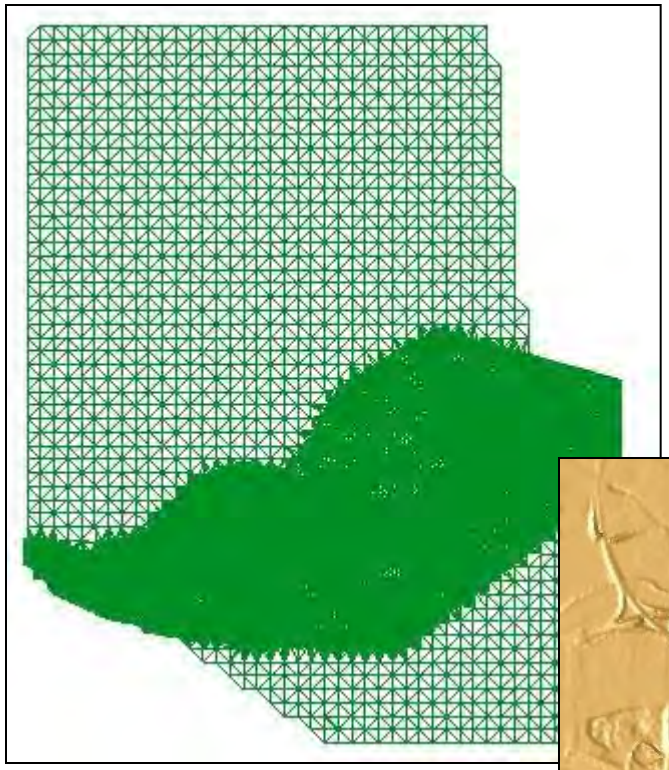
El modelo Iber
Ejemplo 1: Influencia acondicionamiento carretera

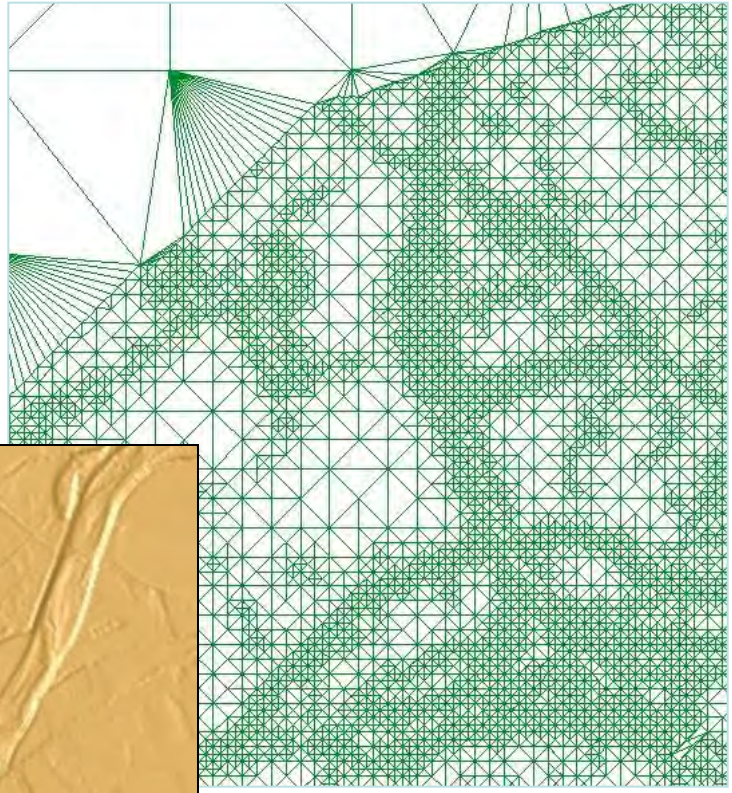


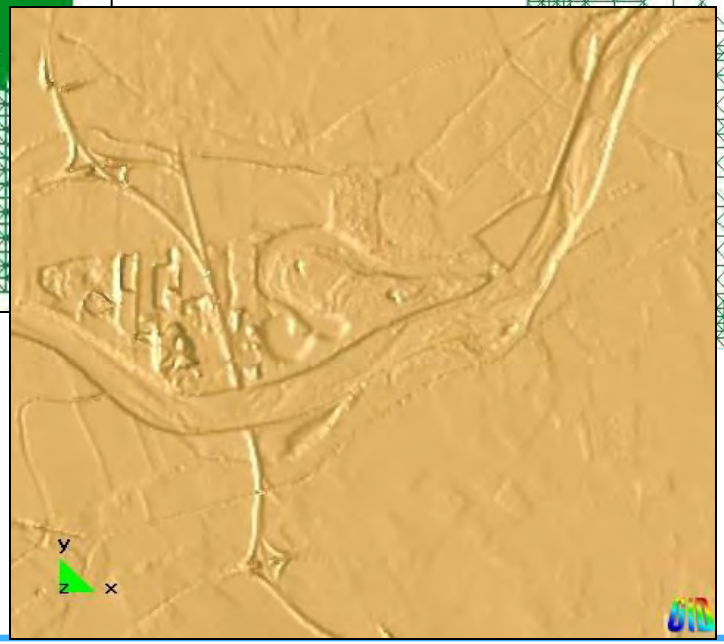


El modelo Iber

Ejemplo 1: Influencia acondicionamiento carretera







El modelo Iber
Ejemplo 1: Influencia acondicionamiento carretera

flumen
Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica

Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

Iber

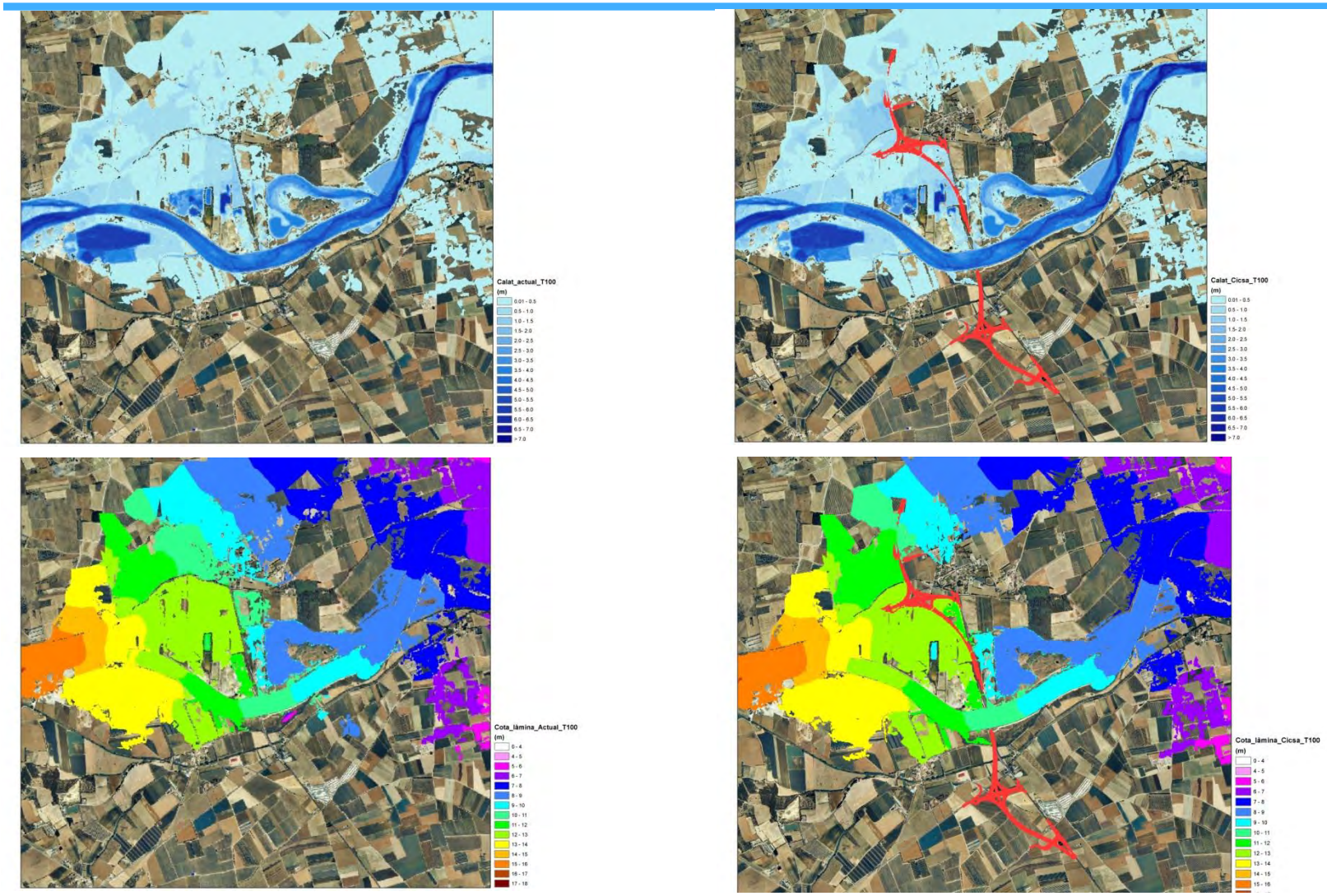
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CIMNE

El modelo Iber

Ejemplo 1: Influencia acondicionamiento carretera



flumen
Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica

Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

Iber

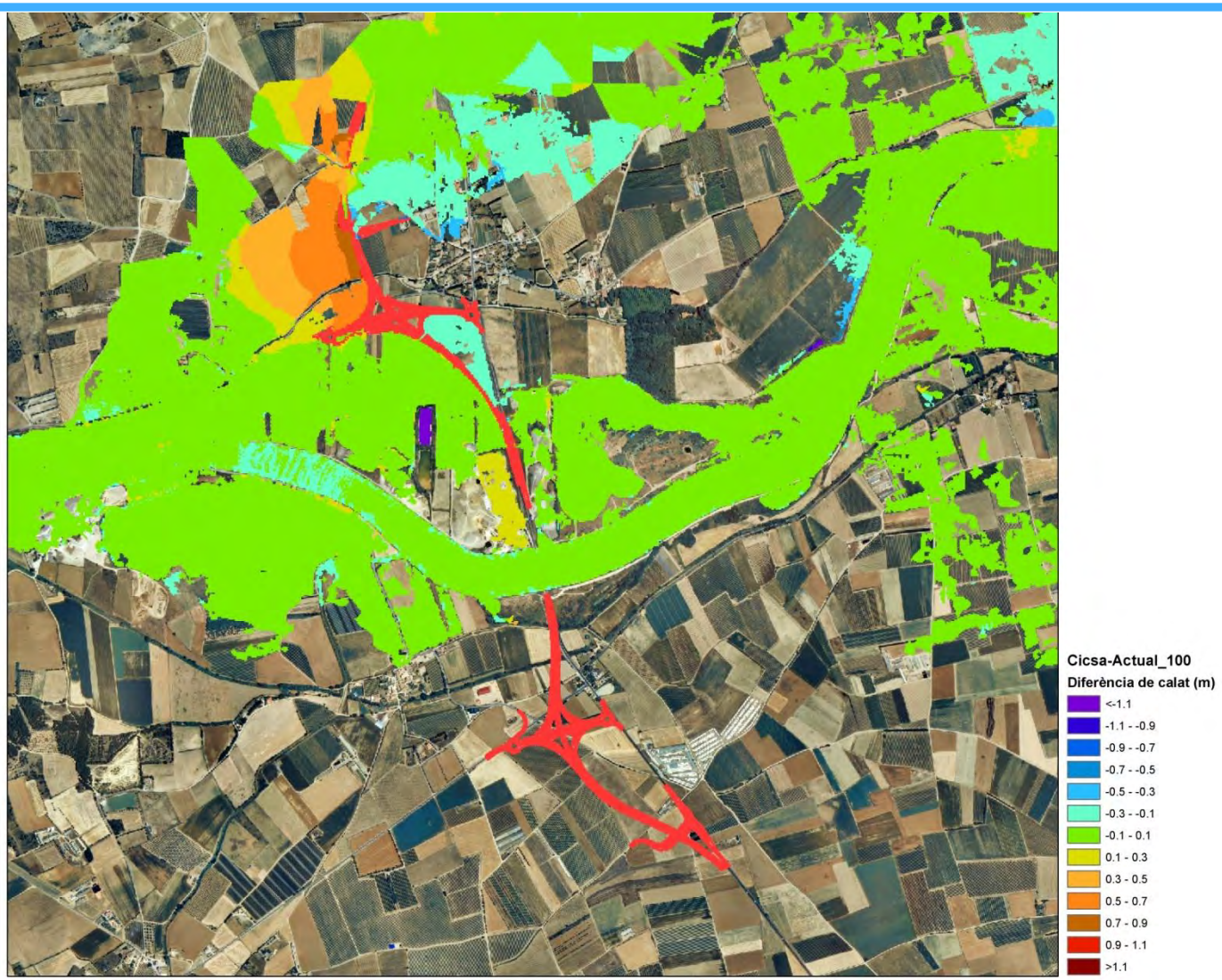
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CIMNE

El modelo Iber

Ejemplo 1: Influencia acondicionamiento carretera



El modelo Iber
Ejemplo 1: Influencia acondicionamiento carretera

CICSA - Actual T100

Zona que deixa de ser inundable

Nova zona inundable

flumen
Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica

Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

Iber

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CIMNE

El modelo Iber
Ejemplo 1: Influencia acondicionamiento carretera

flumen
Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica

Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

Iber

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CIMNE

Ejemplo 2: Actuaciones en el Puerto de Tarragona

Escenario 1

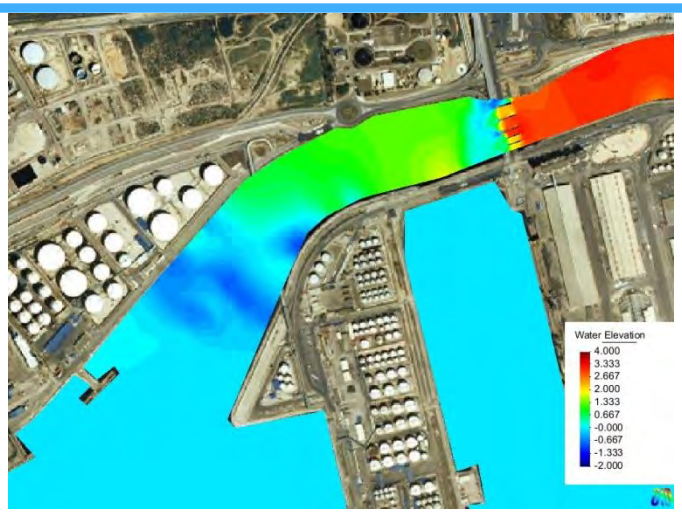
Escenario 2

- Evaluación del efecto del río en el puerto de Tarragona

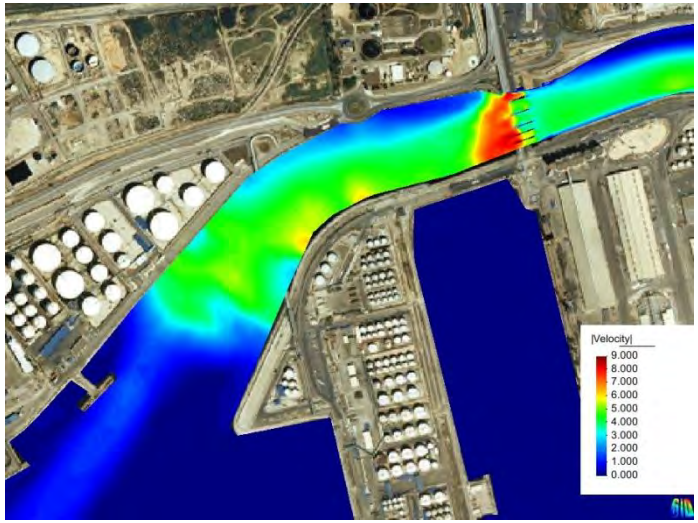
- Evaluación de variables como velocidad, caudal, acción hidrodinámica, etc.

-Propuesta de dos escenarios de cálculo de acuerdo a las nuevas infraestructuras diseñadas en el puerto

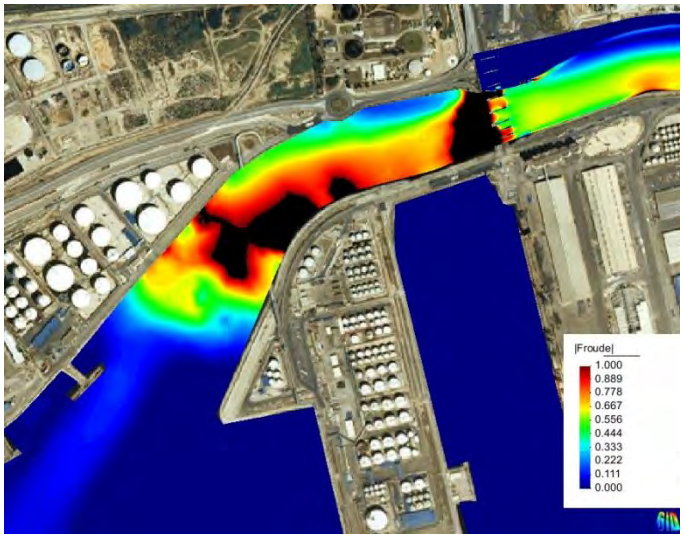
El modelo Iber
Ejemplo 2: Actuaciones en el Puerto de Tarragona



Cota de agua



Velocidad



Número de Froude

El modelo Iber

Ejemplo 2: Actuaciones en el Puerto de Tarragona

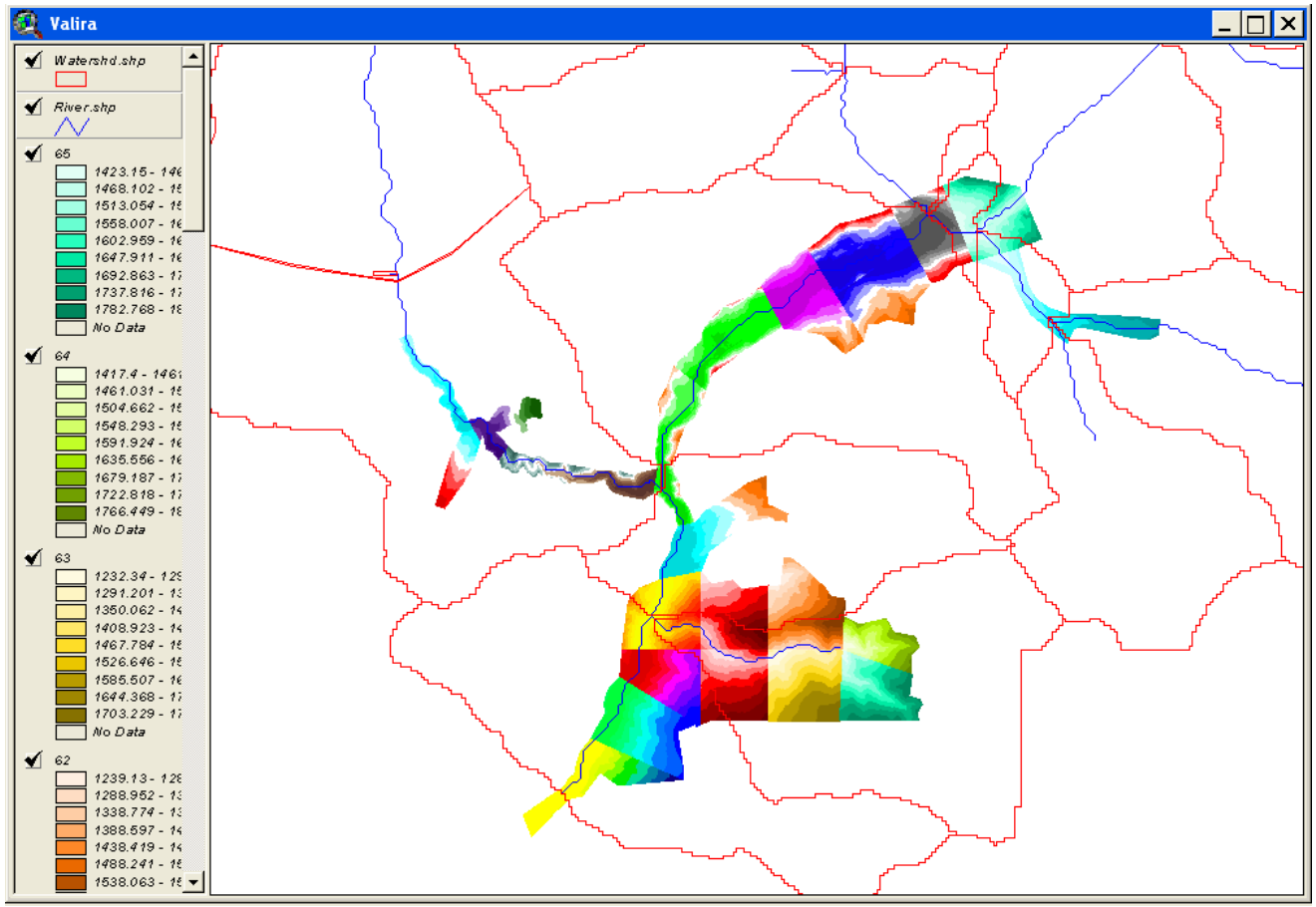
- Representación vectorial de la velocidad (magnitud)

El modelo Iber
Ejemplo 2: Actuaciones en el Puerto de Tarragona

Capacidad de erosión

El modelo Iber
Ejemplo 3: Riesgo inundación en Andorra

- Base topográfica obtenida a partir de vuelos LIDAR. (puntos cada 0.5 m)



El modelo Iber
Ejemplo 3: Riesgo inundación en Andorra

flumen
Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica

Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

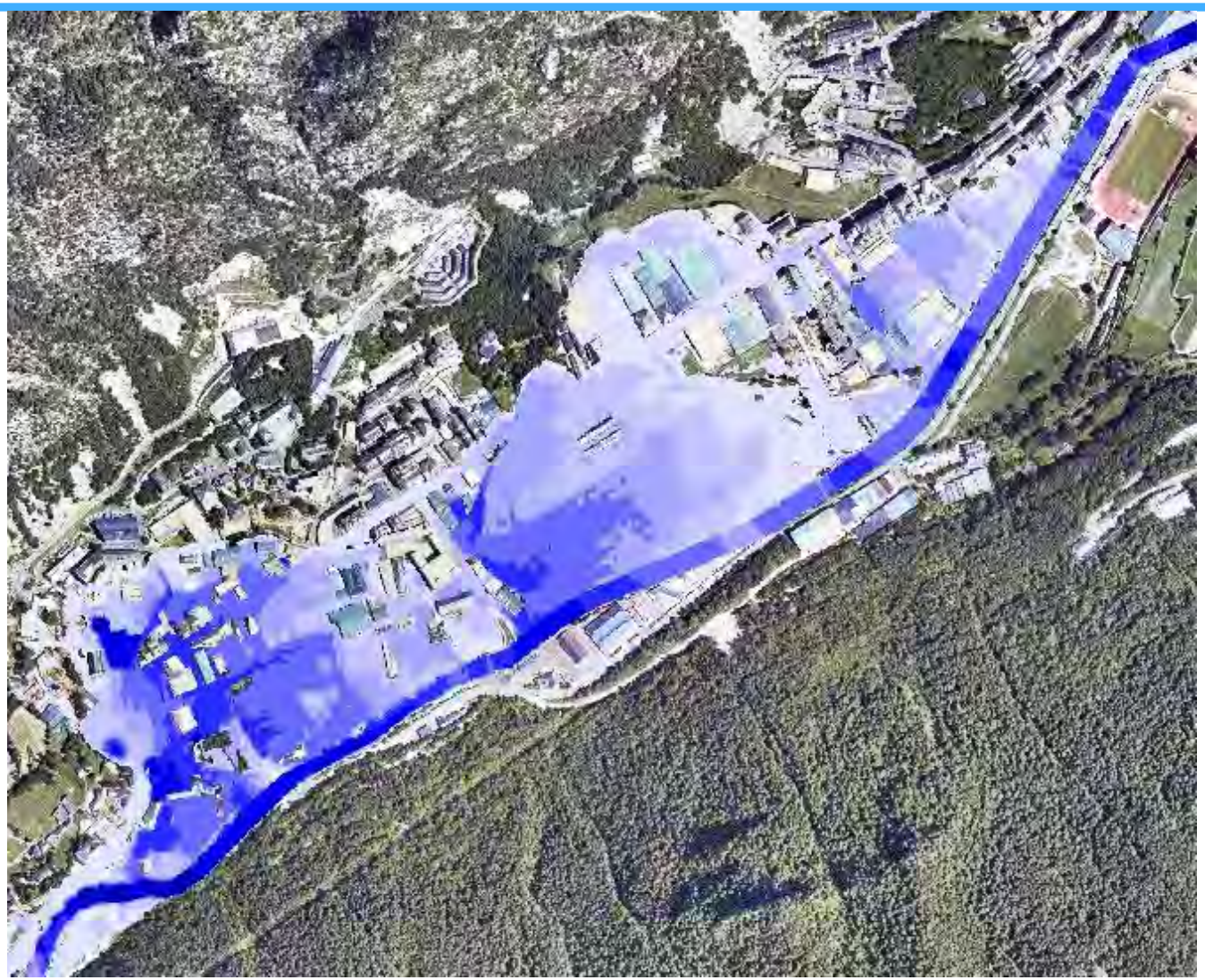
Iber

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CIMNE

El modelo Iber
Ejemplo 3: Riesgo inundación en Andorra



flumen
Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica

Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

Iber

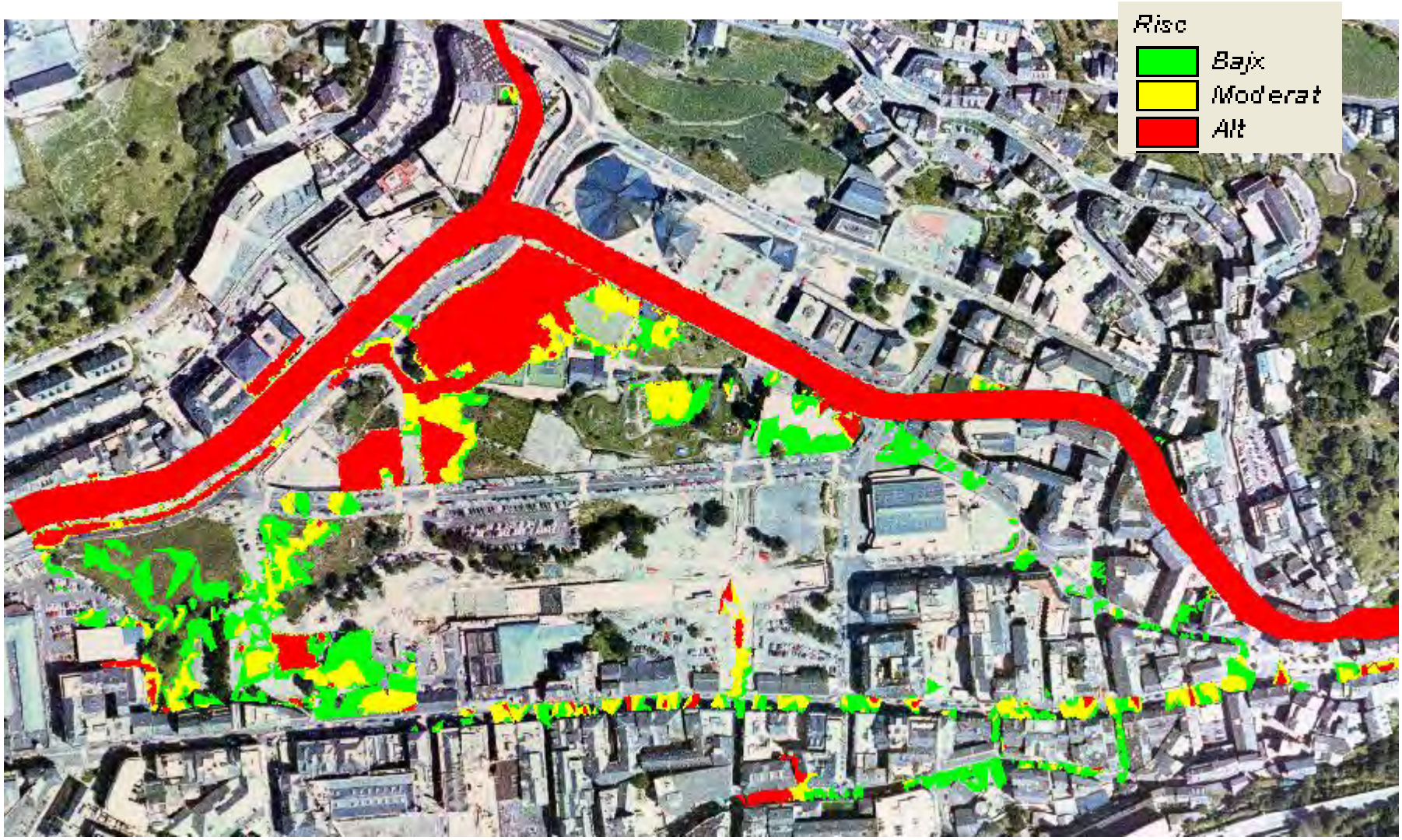
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CIMNE

El modelo Iber

Ejemplo 3: Riesgo inundación en Andorra



flumen
Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica

Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente

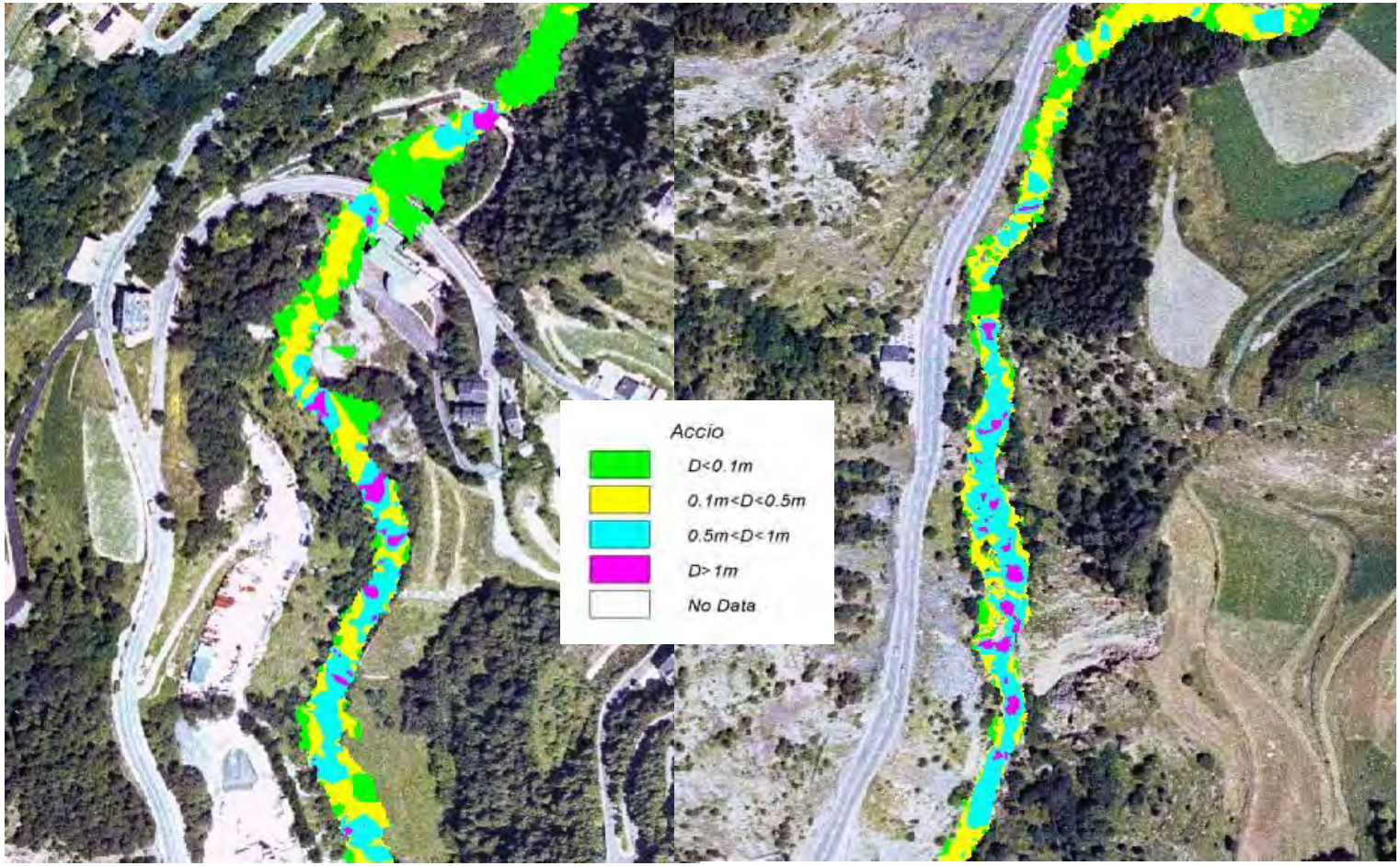
Iber

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CIMNE

Ejemplo 3: Riesgo inundación en Andorra

Capacidad de arrastre



Ejemplo 4: Rotura instantánea balsa

V = 278000m^3

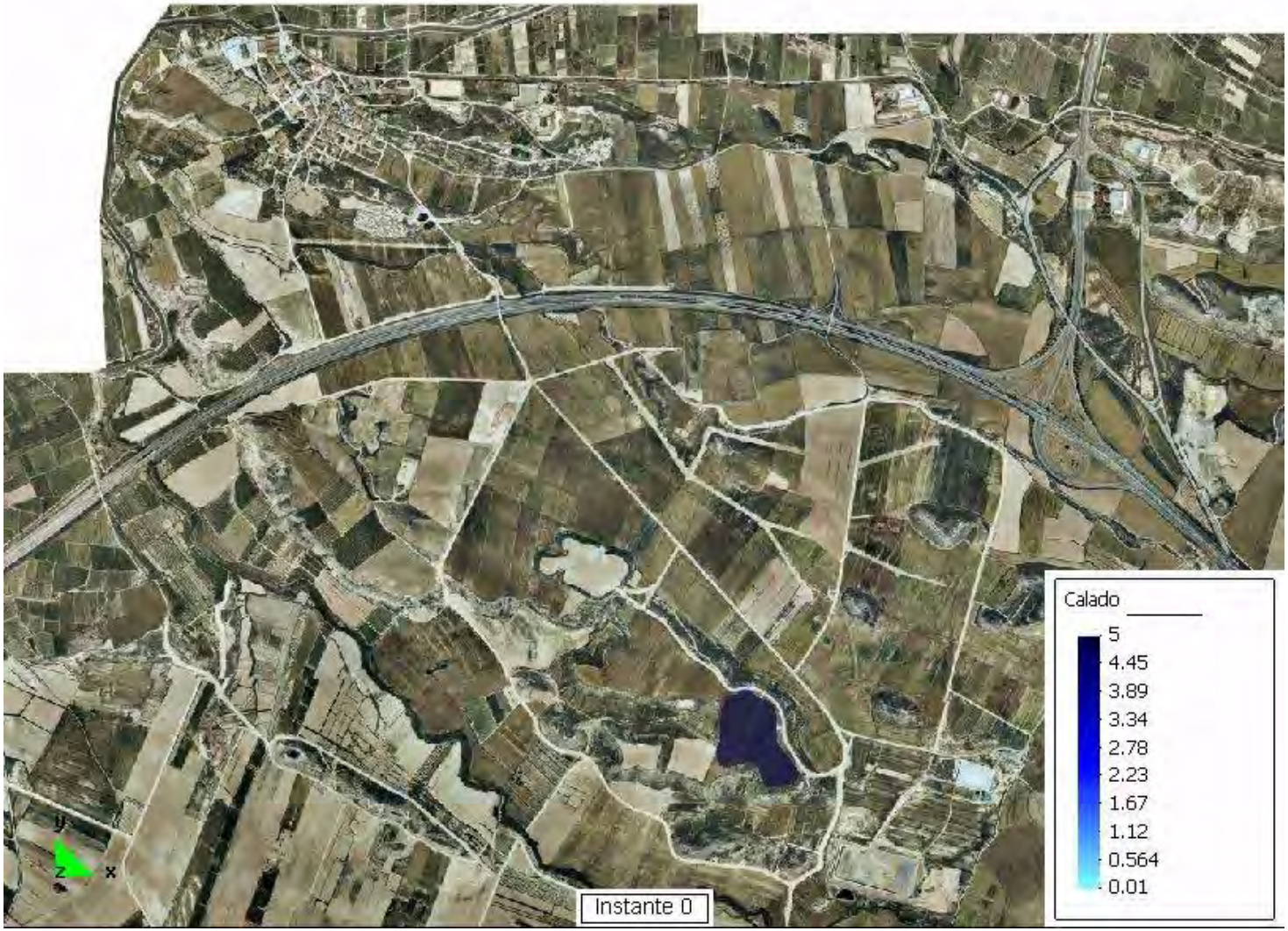
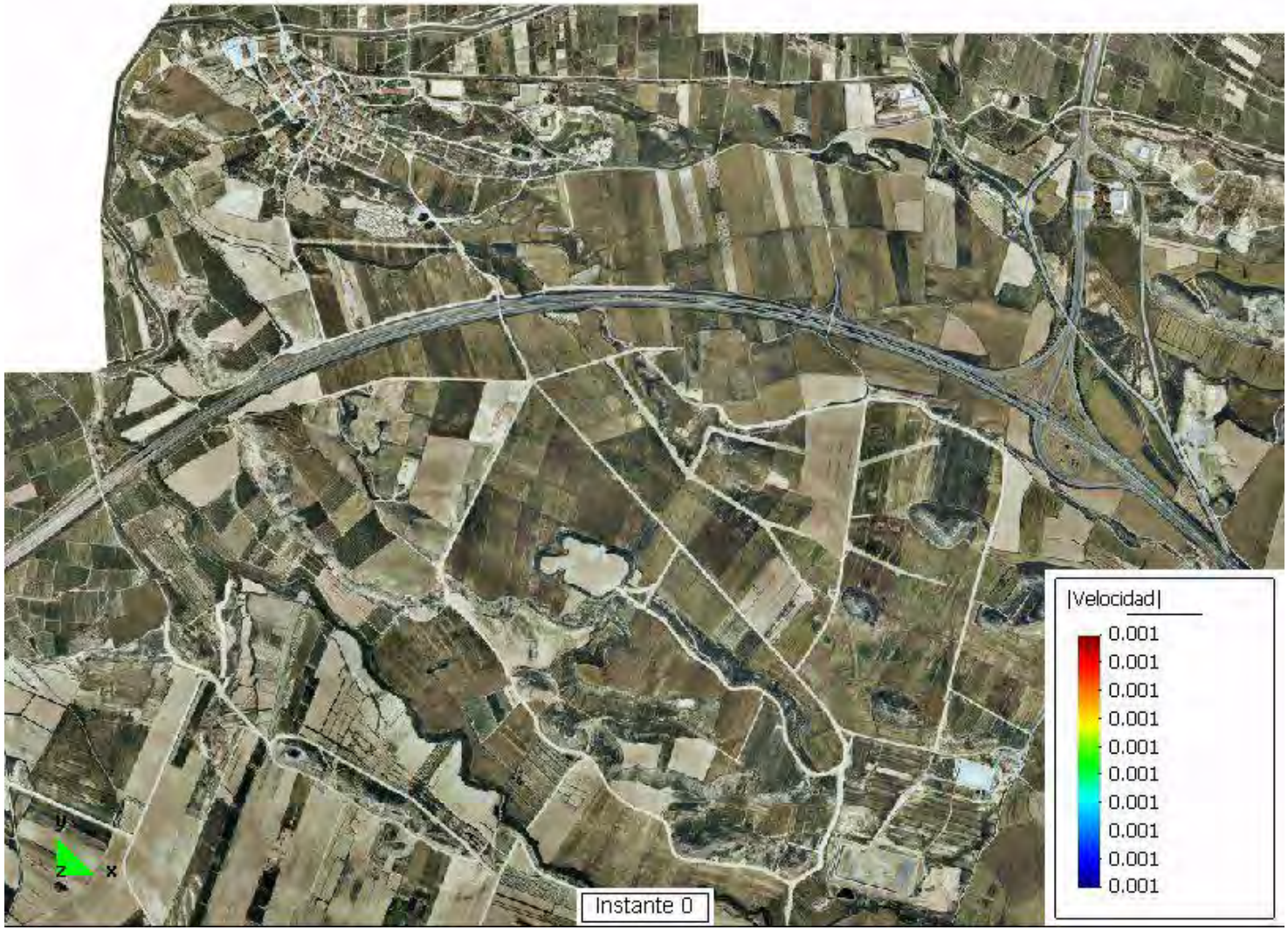
Calado = 5m

Ejemplo 4: Rotura instantánea balsa

Malla de 30104 elementos

Condiciones inicial y=5m en la balsa

El modelo Iber
Ejemplo 4: Rotura instantánea balsa



El modelo Iber
Ejemplo 4: Rotura instantánea balsa