

**Tesis doctoral:**

***Metodología para el análisis y la reducción del riesgo de inundaciones: aplicación en la Rambla del Poyo (Valencia) usando medidas de “retención de agua en el territorio”***

**Autor: Sergio Salazar**

**Director: Prof. Dr. Félix Francés**

**Acto de defensa pública**

**Valencia, 24/05/2013**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**



**Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente**

**Programa de Doctorado de  
Ingeniería Hidráulica y  
Medio Ambiente**



**Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental**

- ❑ Introducción
  - Revisión del estado del Arte
- ❑ Metodología aplicada
  - Caso de estudio
  - Análisis del riesgo en situación actual
  - Análisis de la reducción del riesgo futuro
- ❑ Discusión de resultados
  - Análisis del riesgo en situación actual
  - Análisis de la reducción del riesgo futuro
- ❑ Conclusiones



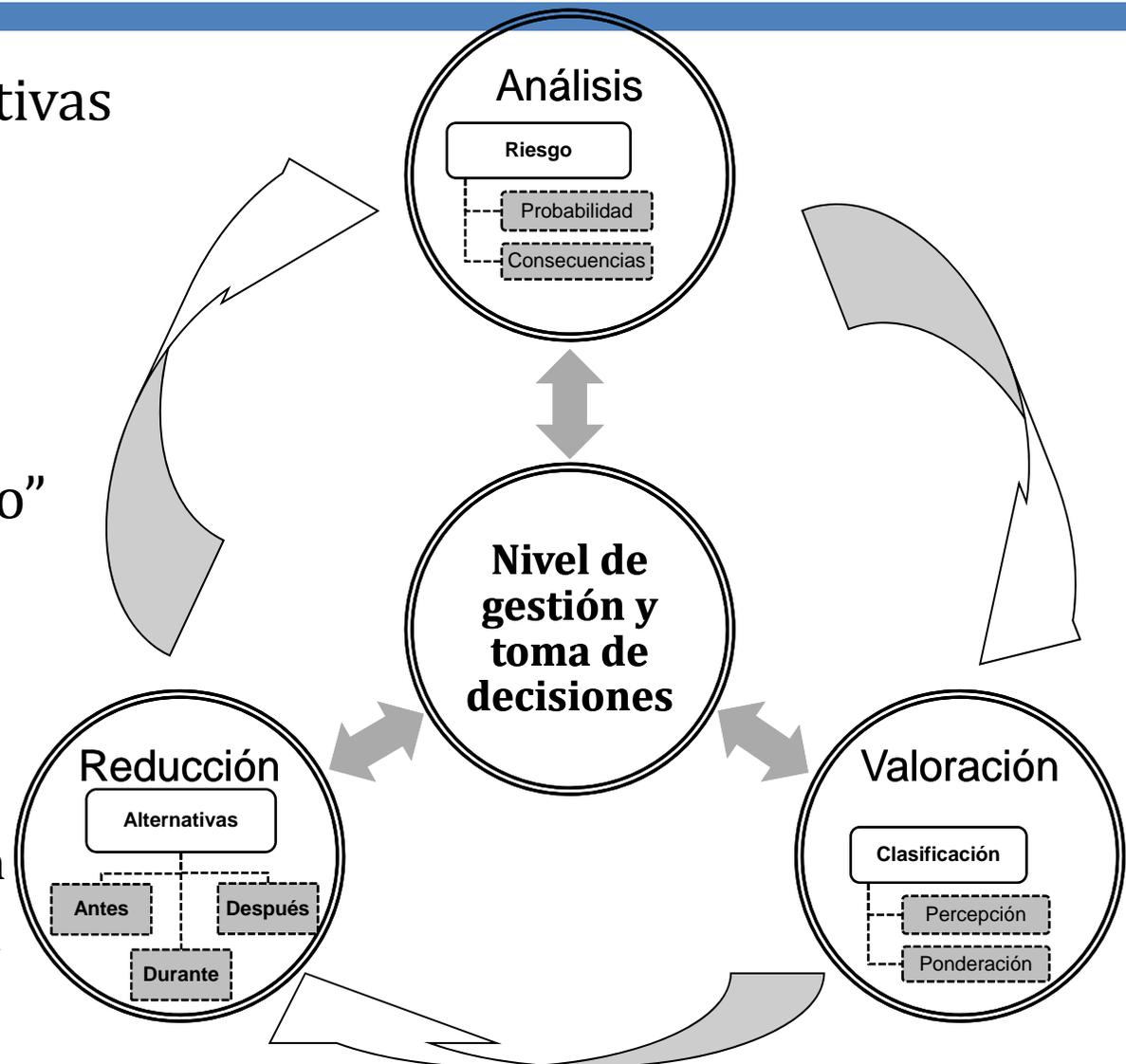
## ❑ Consecuencias negativas

### ➤ “Lucha contra”

- Enfoque reactivo
- Protección “total”

### ➤ “Gestión del riesgo”

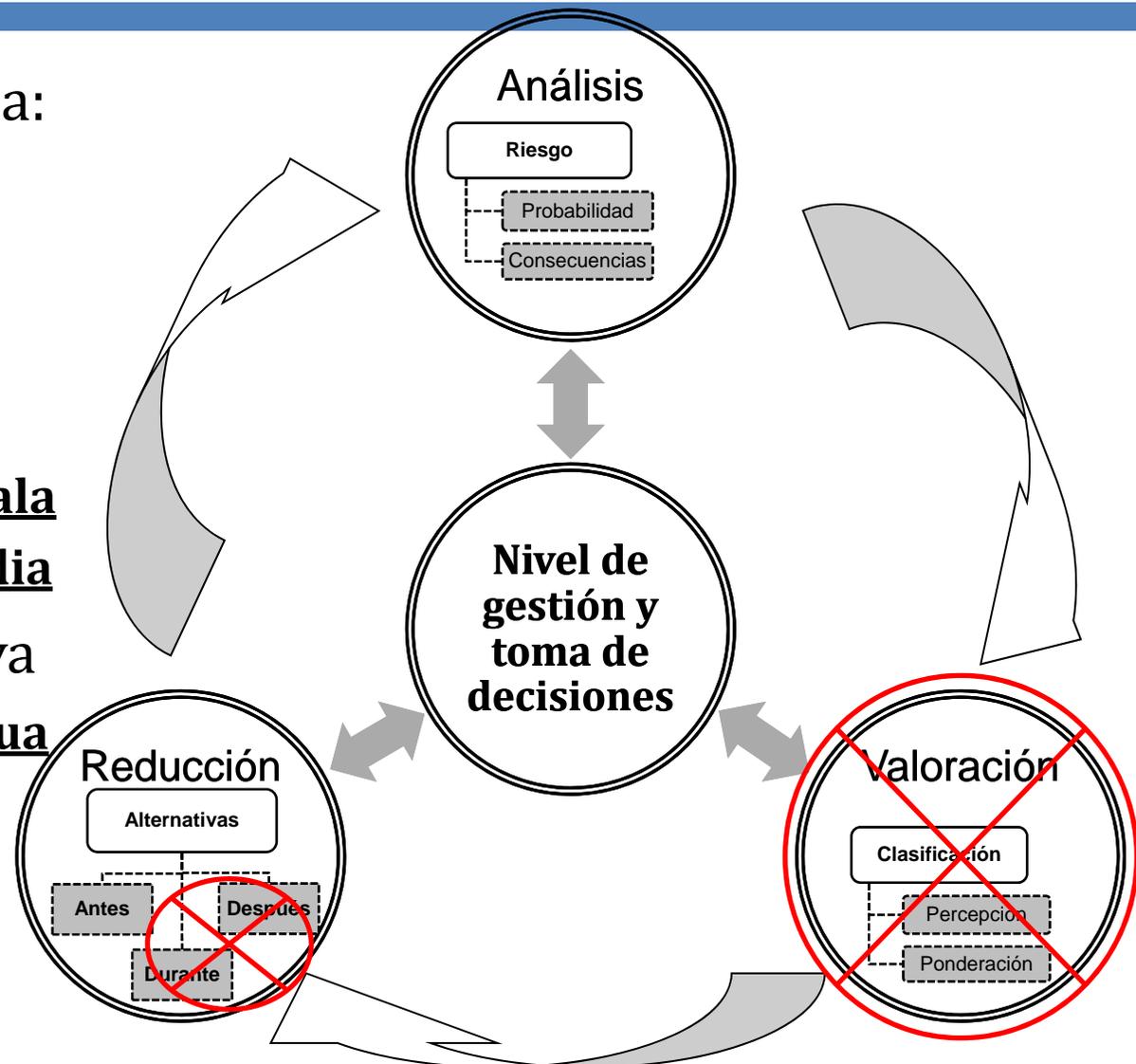
- Proceso
  - Continuo
  - Holístico
    - Análisis
    - Valoración
    - Reducción



- ❑ ¿Cómo **integrar** los recientes avances científicos en el análisis de las variables que **componen** el riesgo?
- ❑ ¿Qué tipo de **alternativas** implementar?
- ❑ ¿Cómo **vincular** estas alternativas al análisis de riesgo?



- ❑ Metodología práctica:
- ❑ **Soporte** científico
  - Ing. Agua y del Medioambiente
- ❑ Escala de trabajo
  - Cuenca **meso-escala**
  - Precisión **media**
- ❑ Estrategia preventiva
  - **“Retención de agua en el territorio”**



- Posibilidad de diseño metodológico
  - **Análisis y reducción** del riesgo de inundaciones
  - **Aplicación** caso estudio: Rambla del Poyo (Valencia)
  - **Integrar** avances de líneas investigación del IIAMA
  - Aprovechamiento de **herramientas** científicas robustas
    - **Modelo hidrológico distribuido:**
      - TETIS (Francés et al., 2007)
    - **Modelo estocástico de generación tormentas:**
      - RAINGEN (Salsón y Garcia-Bartual, 2003)



- ❑ General
  - Plantear una **metodología aplicada** de análisis y reducción del riesgo de inundaciones.
  
- ❑ Específicos
  - Analizar el riesgo en **situación actual**
  - Analizar el riesgo para **potenciales escenarios** de medidas preventivas de “**retención de agua en el territorio**”
  - Comparar la **eficacia** de las medidas propuestas en términos de la **reducción**, tanto de la **peligrosidad**, como del **riesgo**.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

---

# Revisión del estado del arte



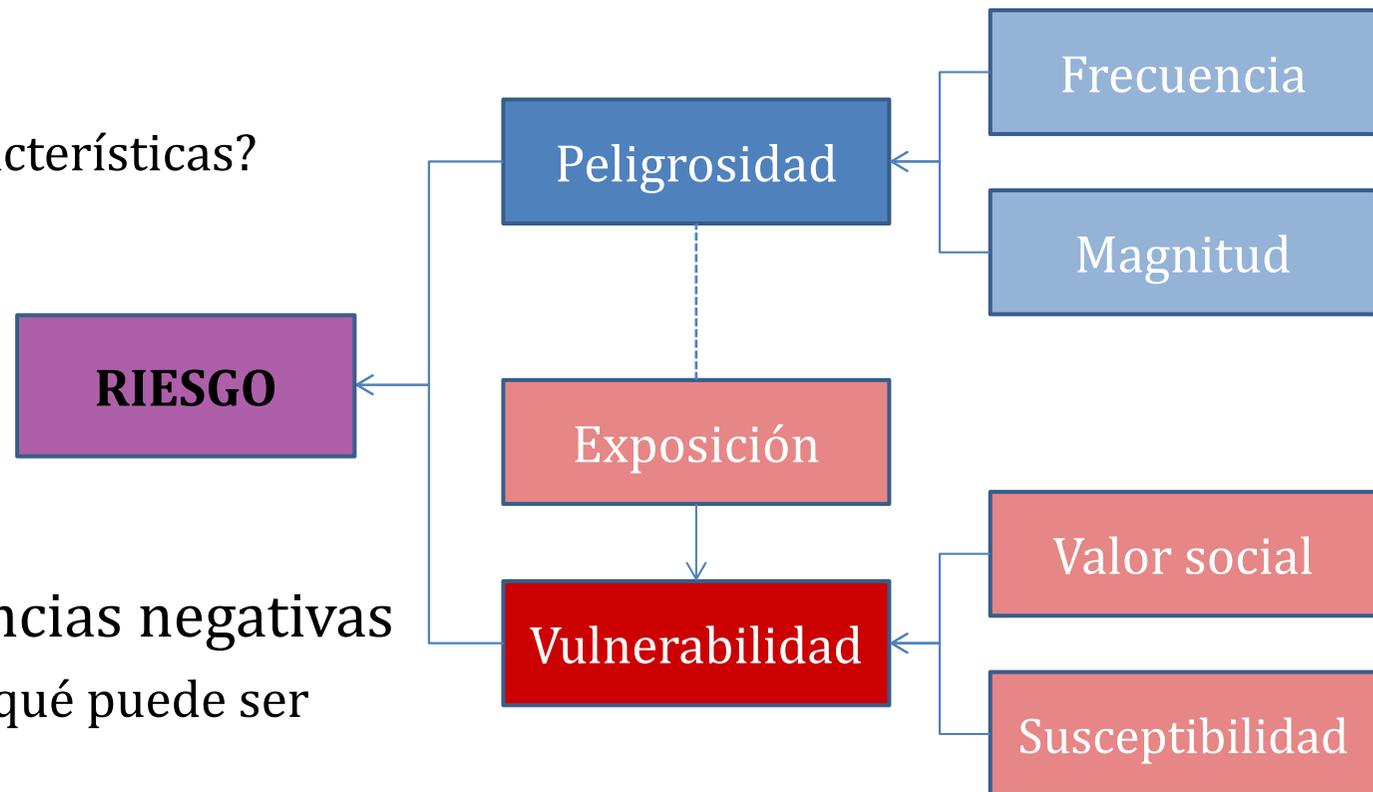
Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental

---

*Acto de defensa pública de la tesis doctoral de Sergio Andrés Salazar Galán  
Valencia, 24/05/2013*

## ➤ Probabilidad de ocurrencia

- ¿Cuándo?
- ¿Dónde?
- ¿Qué características?



## ➤ Consecuencias negativas

- ¿Quién o qué puede ser afectado?
- ¿Cómo receptores pueden ser afectados?



# Determinación del riesgo de inundaciones

## □ Combinación de Peligrosidad y Vulnerabilidad

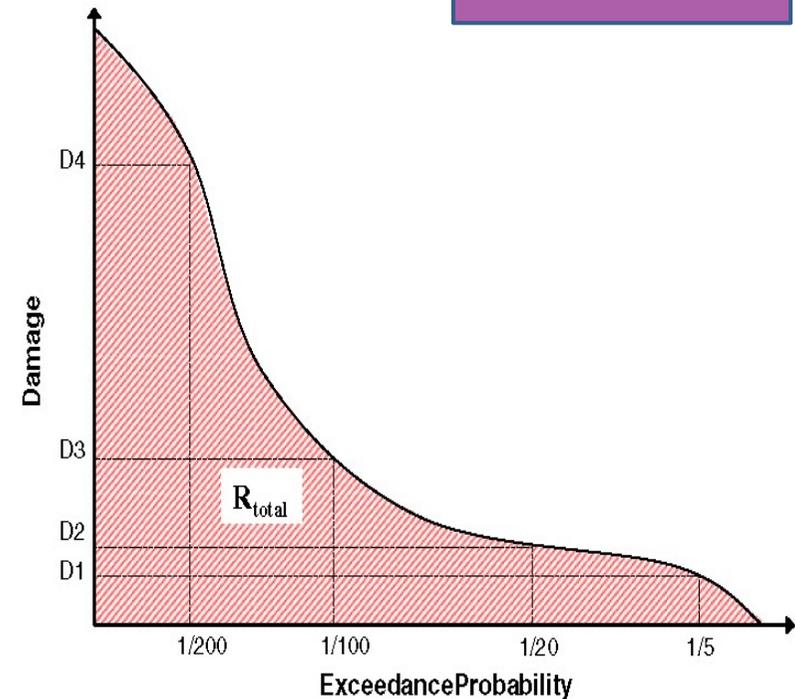
**RIESGO**

### ➤ Integral

- $R = \int_{h_D}^{\infty} D(h) f_H(h) dh$ 
  - D = daño económico
  - h = calado máximo
  - $f_H(h)$  FDP
  - $h_D$  = umbral de daño

### ➤ Solución discreta

- $\bar{R} = \sum_{i=1}^k D[h_i] * \Delta P_i$ 
  - $D[h_i]$  daño medio
  - $\Delta P_i$  probabilidad del intervalo

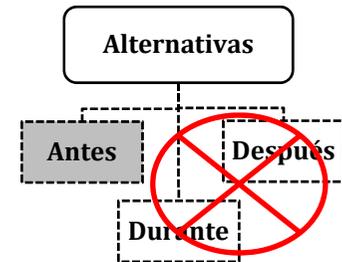


Curva Daño-Probabilidad de excedencia  
(tomada de Meyer et al., 2009).



# Estrategias para la reducción del riesgo de inundaciones

- Retención de agua en el territorio
  - Controlar en **origen** las avenidas
    - Control de procesos hidrológicos:
      - i) controlar la **generación** de escorrentía
        - reforestación
      - ii) controlar la **propagación** de escorrentía
        - embalses



# Indicadores de la reducción del riesgo de inundaciones

- Efectividad:
  - **Grado de logro** del objetivo de reducción del riesgo
    - **Resultados esperados**
      - % reducción:  $Q_{\max}$  ; €/año
  
- Eficiencia:
  - Introduce **variable de entrada requerida** para lograr unos efectos deseados
    - **Resultados esperados/recursos utilizados**
      - rentabilidad; costo-beneficio





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

---

# Metodología aplicada



Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental

---

*Acto de defensa pública de la tesis doctoral de Sergio Andrés Salazar Galán  
Valencia, 24/05/2013*

## □ Rambla del Poyo

- 43.5km / NO-SE
- 429.55km<sup>2</sup>

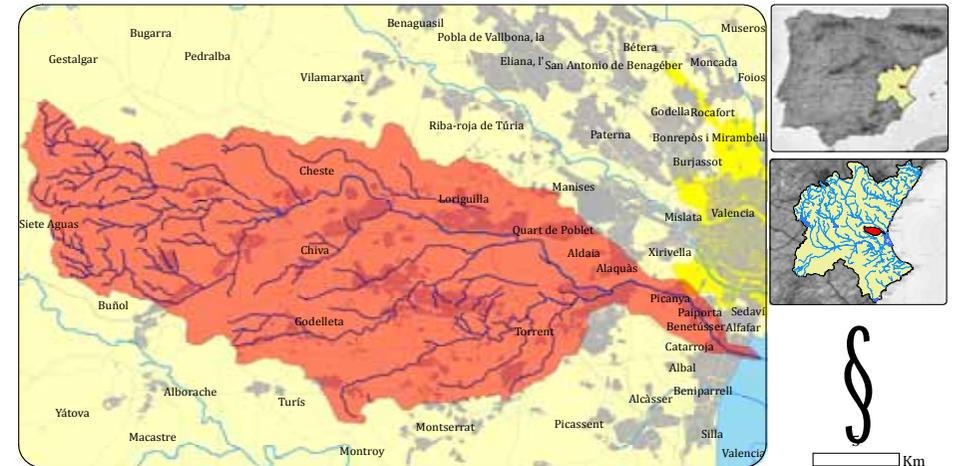
### ➤ Eventos históricos

- 28/09/1949
- 14/10/1957
- 9-10/11/1983
- **22-24/10/2000**

### ➤ Hitos de gestión

- CNPC-MOPU (1988)
- PATRICOVA (2002)
- SNCZI (2011)

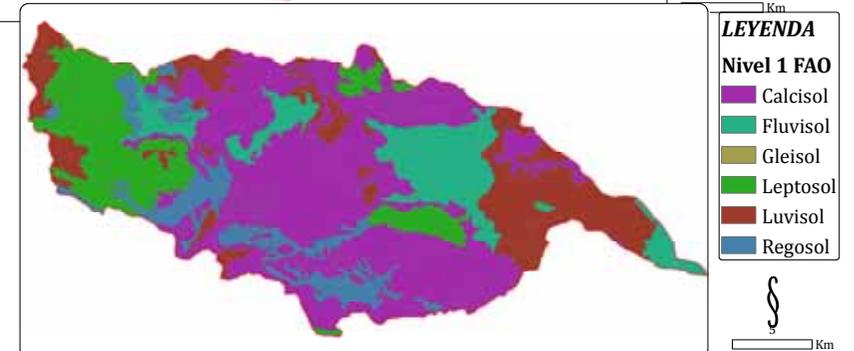
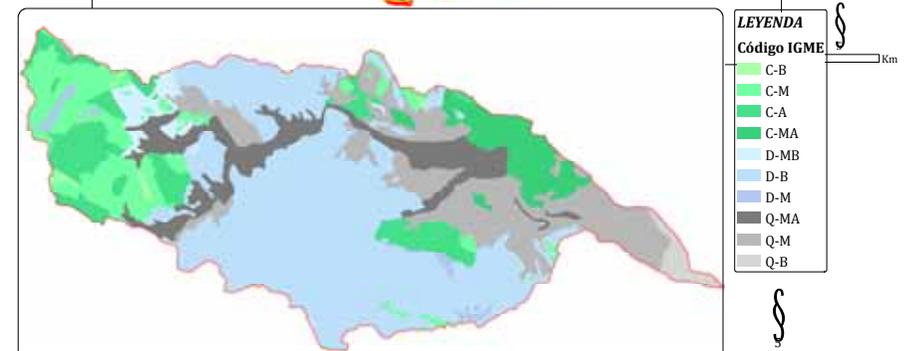
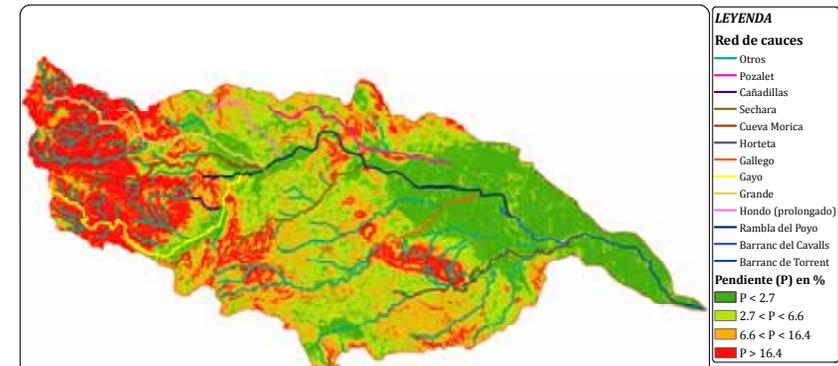
■ **ARPSI s** ➔ **EPRI**



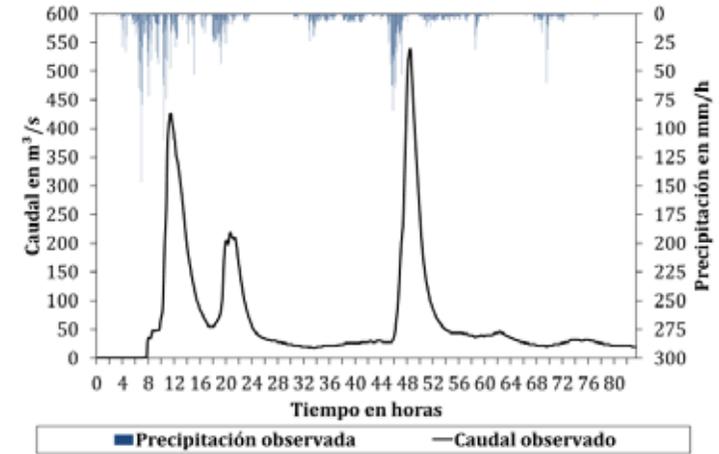
ARPSIs de la CHJ – Detalle de Rambla del Poyo  
(descargado del SNCZI, 2012)



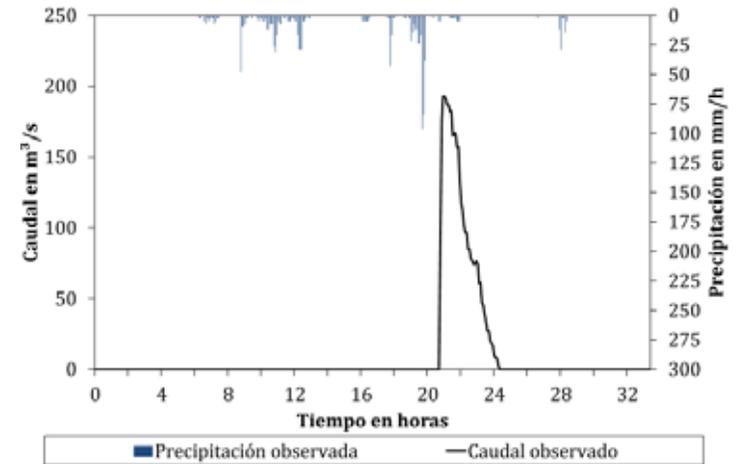
- ❑ Pendientes (MDT)
  - Cuartiles: 16-2.7%
- ❑ Permeabilidad substrato (IGME)
  - Cabecera: M-A
  - Media: B
  - Llanura: MB / MA
  - Cauce: MA
- ❑ Suelos (FAO)
  - Cabecera: 28%; 22%
  - Media: 20%
  - Llanura: 26-6%



- ❑ Clima semiárido mediterráneo
  - Precipitación escasa: 397-591mm
  - Tº alta: 11º-22º
  - ET0 alta: ~1,100mm
  
- ❑ Patrones de lluvia estacionales
  - Otoño: sistemas convectivos
  - Primavera: sistemas frontales
  - Verano: tormentas convectivas
  
- ❑ Sistema fluvial efímero
  - Respuesta rápida
  - Exceso de infiltración



Hidrograma observado en estación aforo: Oct-2000



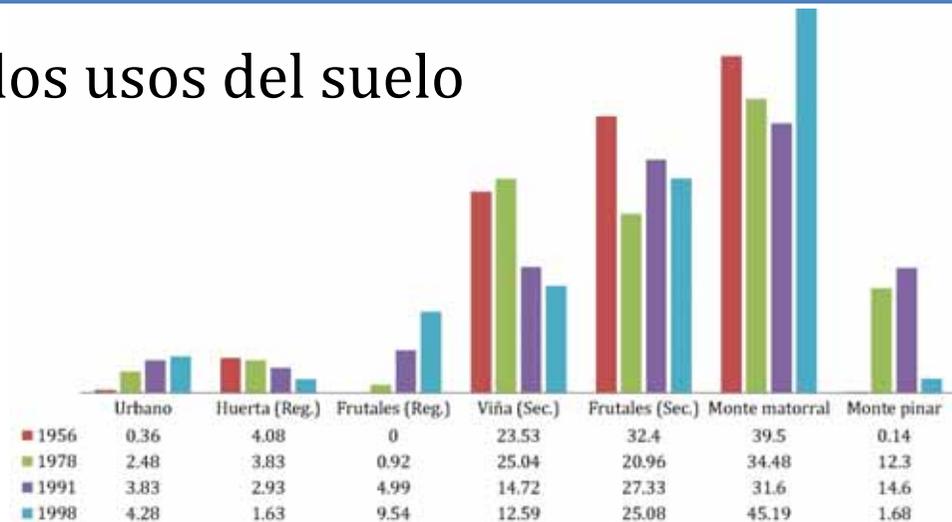
Hidrograma observado en estación aforo: Nov-1988



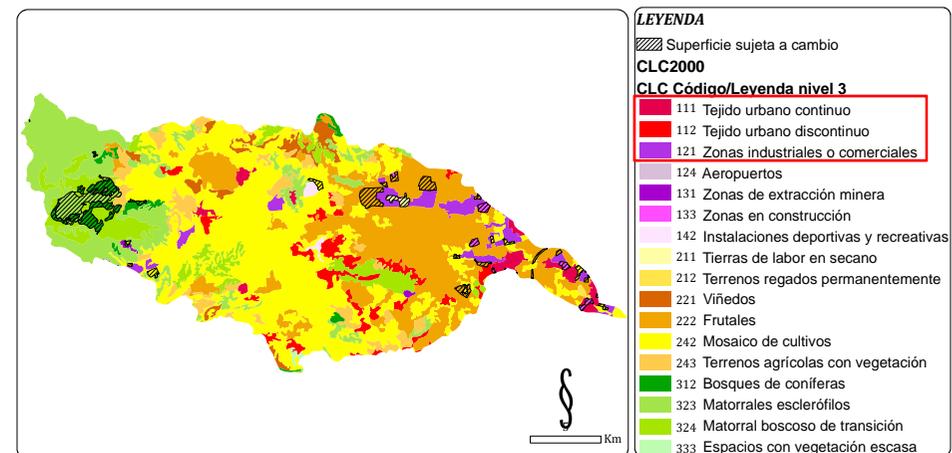
# Caracterización del medio socioeconómico

## □ Tendencias de cambios en los usos del suelo

- ↑ Impermeabilización
- ↑ Monte matorral
- ↓ Secano



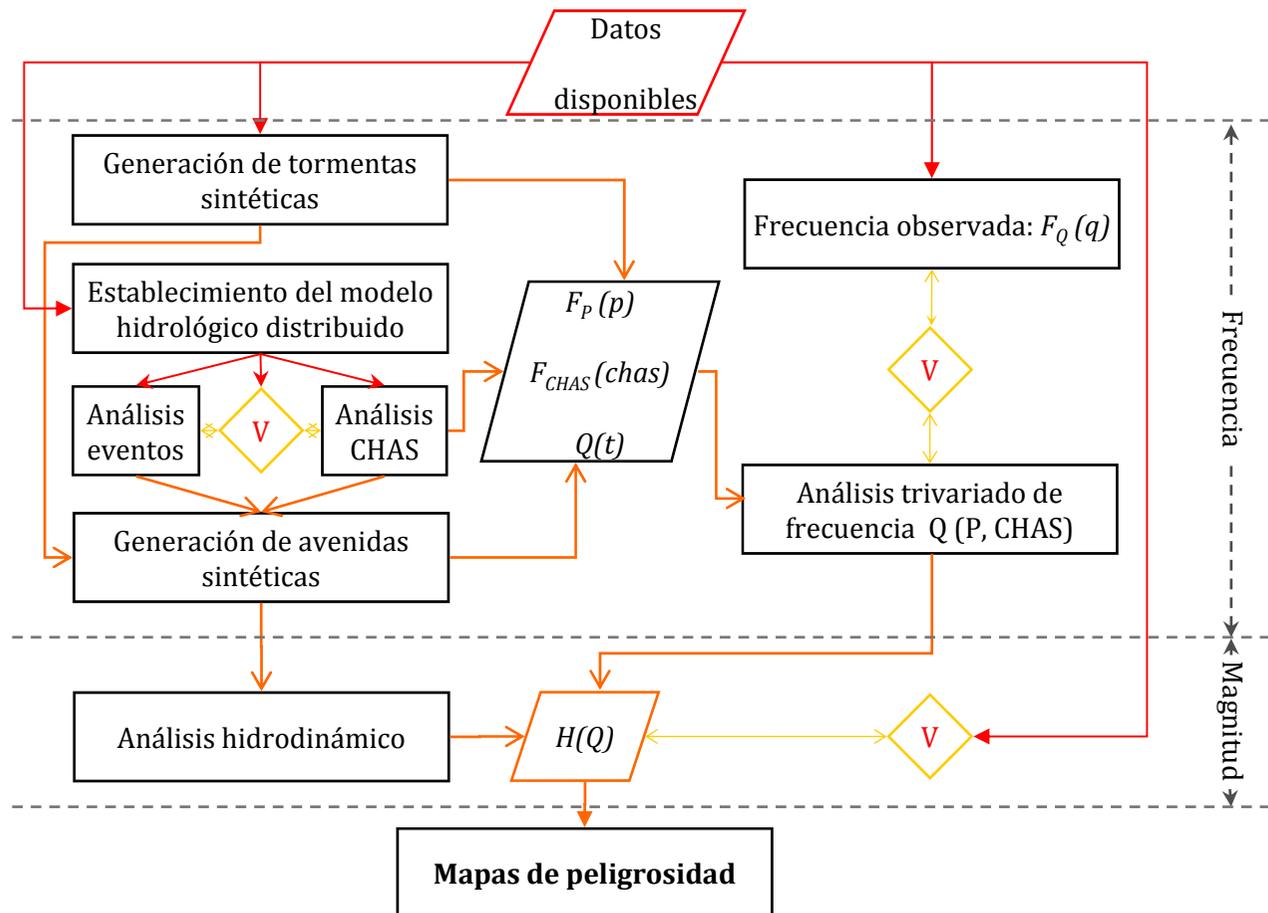
Usos del suelo en la Rambla del Poyo en los años 1956, 1978, 1991 y 1998 (porcentajes calculados desde datos de Pascual, 2002)



CLC (2000-2006/ Leyenda nivel 3). (EEA, 2012)



## ❑ Inundaciones con un amplio espectro probabilístico



□ Herramienta: RAINGEN (Salson y Garcia-Bartual, 2003)

➤ Estocástico multidimensional

➤ Parámetros

■ Comportamiento regional (SAIH)

■ Tormenta Oct-2000

➤ Discretización

■ Espacial: 1/Km<sup>2</sup> (Guichard, 2005)

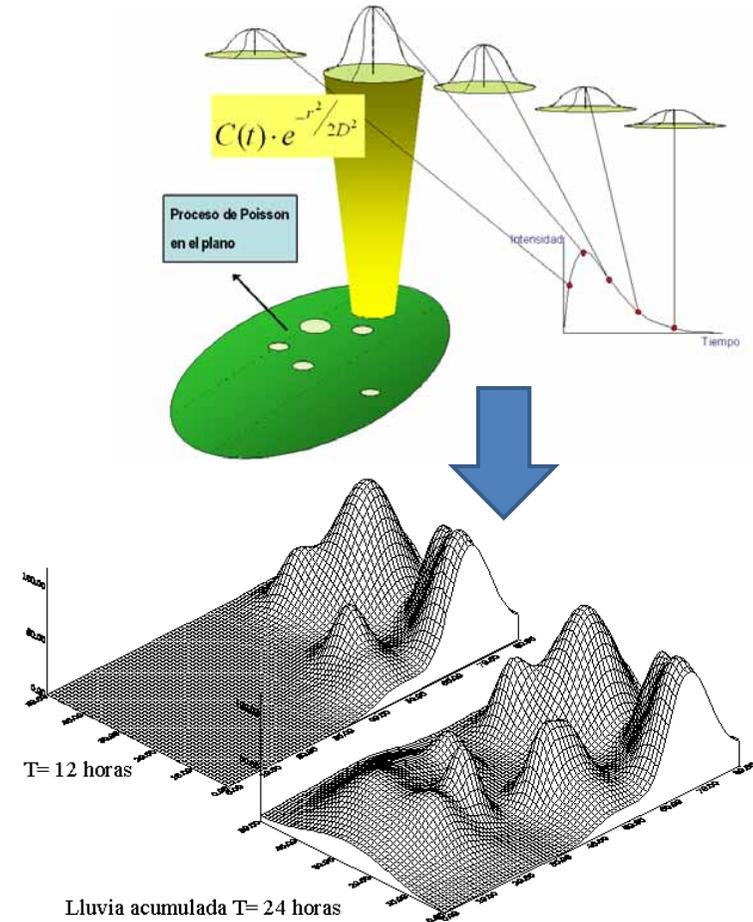
■ Temporal: 10min (DIHMA, 2006)



➤ Resultado:

■ **100 tormentas sintéticas**

■ **Atemporales (CHAS)**



Campo de precipitación (Garcia-Bartual y Salinas, 2008)





# Establecimiento del modelo hidrológico distribuido

- ❑ Herramienta: modelo TETIS (Francés et al., 2007)
  - Distribuido en el espacio:
    - Reproducción variabilidad espacial del Ciclo Hidrológico
    - Permite establecer modelos a diferentes escalas temporales
- ❑ Escalas de trabajo
  - Espacial: ortofotos
    - Tamaño medio de ladera (100m)
  - Temporal: registros hidrometeorológicos
    - **Diario**: Precipitación y Temperatura (AEMET) (5 estaciones)
    - **Evento** -5min-: Precipitación y caudal (SAIH) (1 estación)



- ❑ Parámetros distribuidos
  - MDT y derivados
    - P(%)/Dirección/C. Acumuladas
  - Geología
    - Percolación
  - Suelos
    - Infiltración / Capacidad de almacenamiento capilar
  - Usos del suelo
    - Pérdidas iniciales (intercepción, encharcamiento)
    - ETO
  - Geomorfológicos
    - Características hidráulicas cauces



## □ Calibración-Validación

### ➤ Métodos estándar (Klemeš, 1986; Moriasi et al., 2007)

#### ■ Evento

	Intervalo temporal	
	cincominutal	diezminutal
RSR (RMSE/Desv. Estándar)	0.43	0.38
Índice de Nash&Sutcliffe (NSE)	<b>0.82</b>	<b>0.85</b>
Error en Qpico (PBIAS %)	<b>0.8</b>	<b>-21.0</b>
Error en Tpico (PBIAS %)	1.7	2.0

#### ■ Diario

	Valor
RSR (RMSE/Desv. Estándar)	0.14
Índice de Nash&Sutcliffe (NSE)	<b>0.85</b>
Error en Qp (PBIAS %)	<b>-0.33</b>
Error en Tp (PBIAS %)	<b>0.00</b>
Error en Volumen (PBIAS %)	<b>4.50</b>

Criterios de Evaluación	Eventos máximos registrados		
	Nov-1988	Nov-1989	Ene-1998
$\Delta t = 5$ minutos			
NSE	<b>0.68</b>	<b>0.44</b>	<b>0.55</b>
RSR	0.57	0.75	0.68
Error en Qpico (%)	<b>-28</b>	<b>-13</b>	<b>-18</b>
Error en Tpico (%)	-3	-2	-7
$\Delta t = 10$ minutos			
NSE	<b>0.69</b>	<b>0.54</b>	<b>0.60</b>
RSR	0.56	0.68	0.63
Error en Qpico (%)	<b>-58</b>	<b>-19</b>	<b>-20</b>
Error en Tpico (%)	-3	-2	-6

Indicador	Valor
RSR (RMSE/Desv. Estándar)	0.75
Índice de Nash&Sutcliffe (NSE)	<b>0.64</b>
Error en Qp (PBIAS %)	27
Error en Tp (PBIAS %)	0
Error en Volumen (PBIAS %)	19



## □ Modelo estadístico trivariado

### ➤ Probabilidad de $Q_{\max}$

$$F_X(a) \approx \sum_{j=1}^n \omega_j \sum_{i=0}^{\infty} \frac{n_{ij}(a)}{N_{ij}} [F(R_{i+1}) - F(R_i)]$$

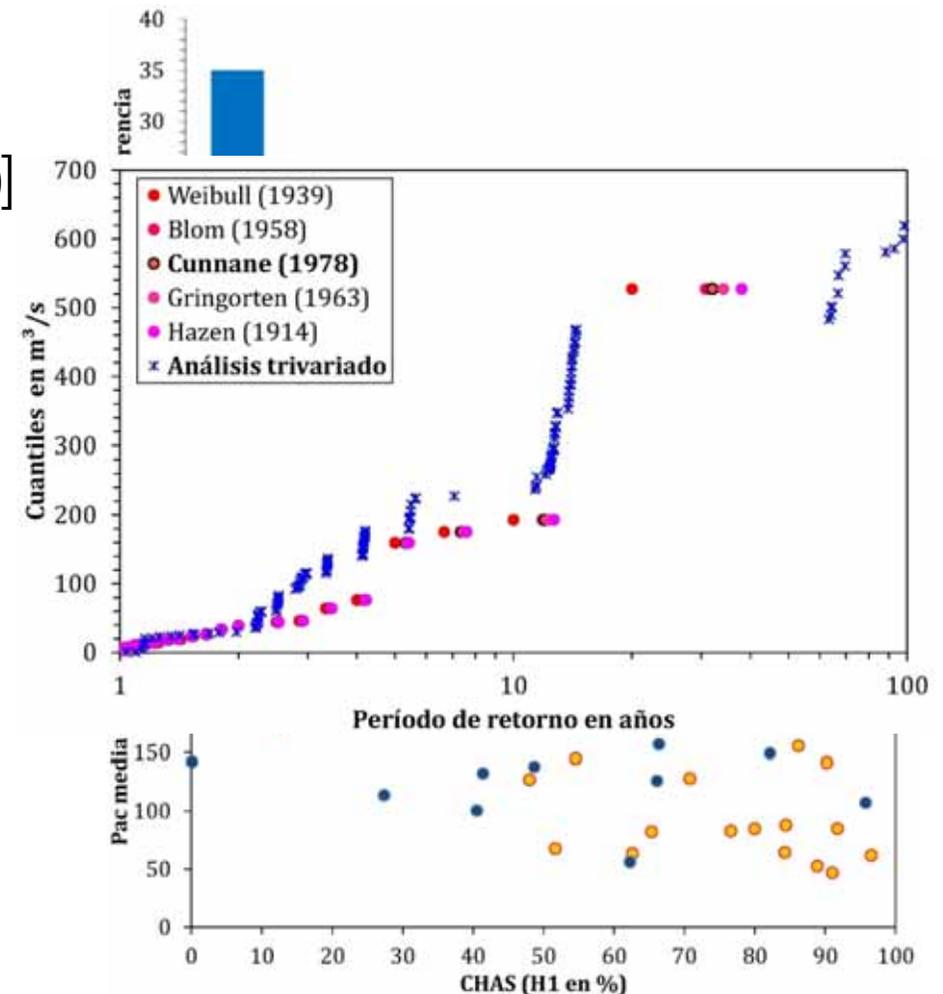
- Sí  $w$  independiente de  $R$

### ➤ Probabilidad de $R$ (Ppt.)

- Pd. Eq. Puntual (Témez, 1978)
- SQRT- $E_{t_{\max}}$  (Etoh et al., 1987)

### ➤ Probabilidad de $w$ (CHAS)

- Variable estado: H1
- Discreta
  - Húmedo (0.6)
  - Seco (0.4)



# Establecimiento del modelo hidrodinámico

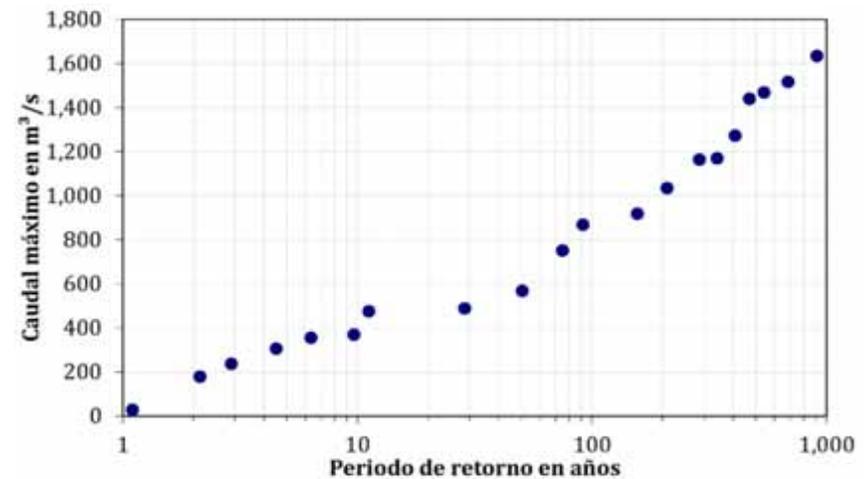
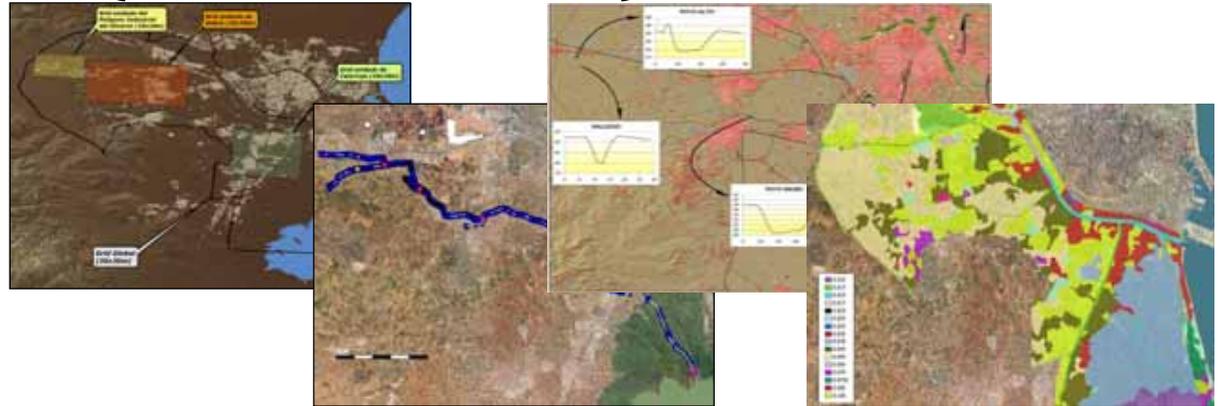
## □ Modelo hidrodinámico (HIDROGAIA, 2008)

### ➤ Caracterización

- 1D / 2D
- Secciones
- Rugosidad

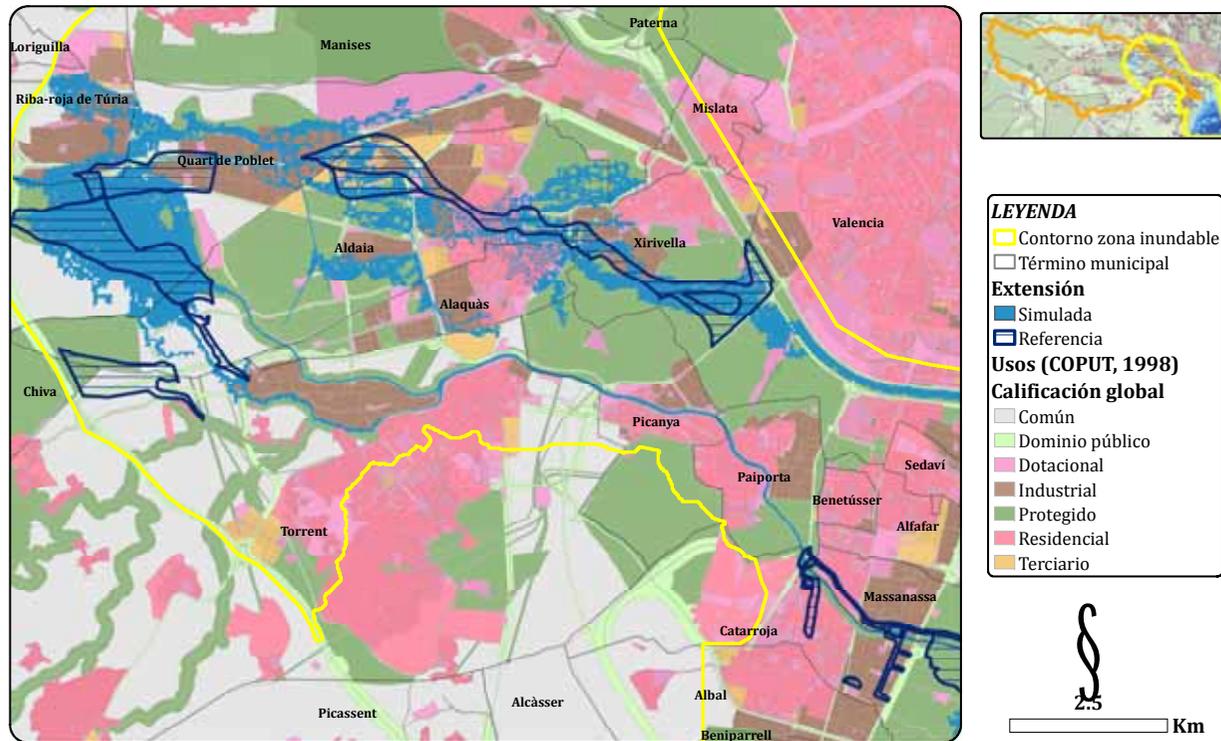
### ➤ Modelación

- Condiciones contorno
  - Hidrogramas (TETIS)
  - Nivel L'Albufera (0.5m)
- Área: 188km<sup>2</sup>
  - Representatividad
  - Rango Tr (2-1,000 años)

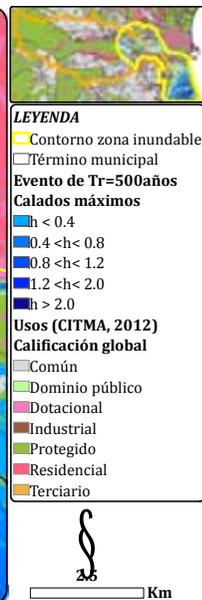
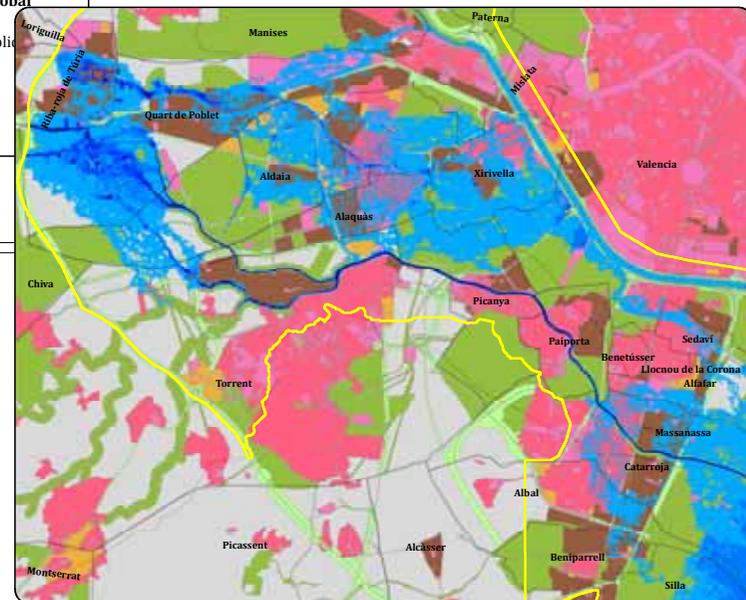
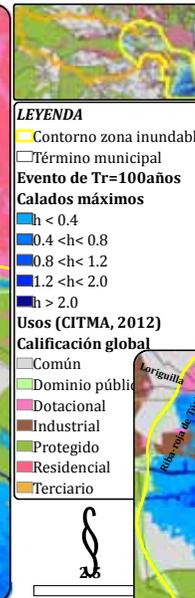
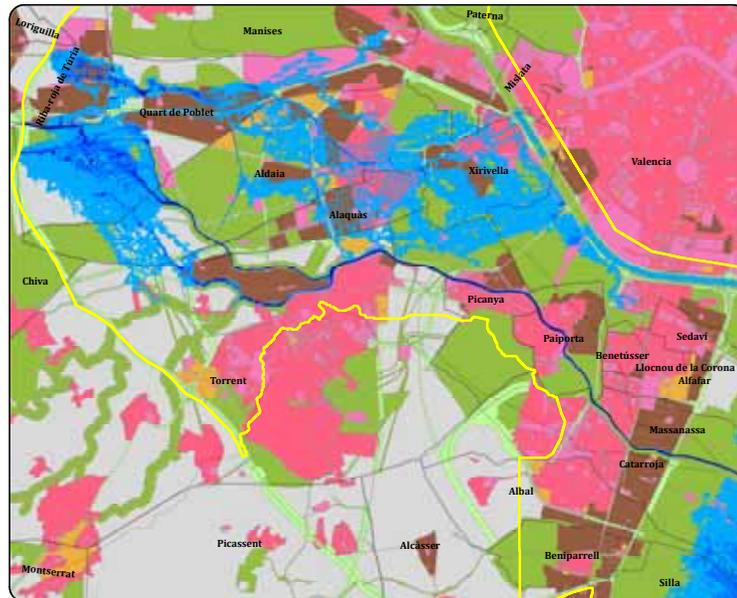


# Validación cualitativa de la modelación hidrodinámica

- Mapa histórico de Octubre 2000
  - Modelación 1D/2D: HIDROGAIA (2008)
  - Referencia: TYPESA (2003)



## Mapas de peligrosidad



## □ Funciones de daños potenciales

### ➤ Método “ex-ante”

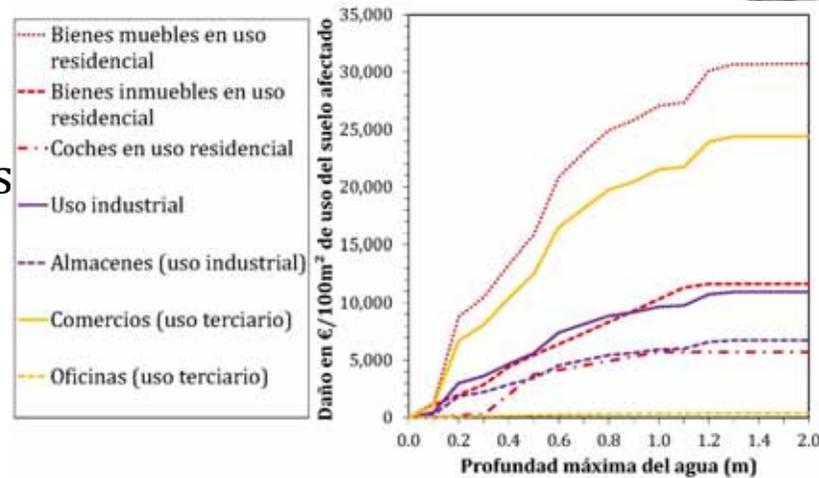
#### ■ Detalle (EIXIMENIS, 2008)

##### ■ Uso residencial

- Edificaciones
- Contenidos

##### ■ Vía pública

- Coches
- Limpieza



#### ■ Aproximado (EIXIMENIS, 2008)

- Uso industrial y terciario (CCS, 2008)

#### ■ Aproximado (Camarasa et al., 2011)

- Uso agrícola (95.91 €/100m<sup>2</sup> regadío-cítricos)



## □ Solución integral probabilística

### ➤ Tr de interés ( $h_D$ -500años)

$$\bar{D} = D[5] \cdot \Delta P_5 + D[10] \cdot \Delta P_{10} + \dots + D[300] \cdot \Delta P_{300} + D[500] \cdot \Delta P_{500}$$

### ➤ Definir resolución ( $h/D$ )

$$E = R_h(m) \cdot 2 \cdot 1,000 \text{ (Tobler, 1988)}$$

### ➤ Mapas planeamiento

#### ■ COPUT (1999)

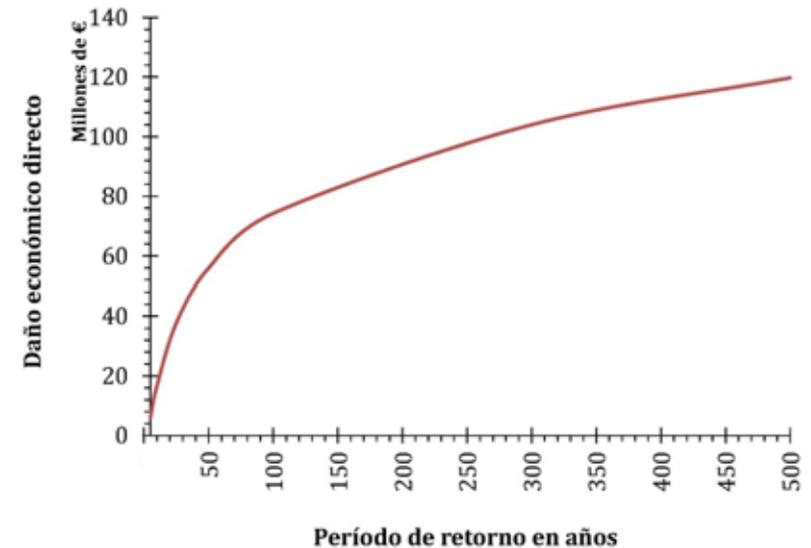
#### ■ Validación (Oct-2000)

#### ■ CCS (2008)

#### ■ CIEMAT (2012)

#### ■ Análisis

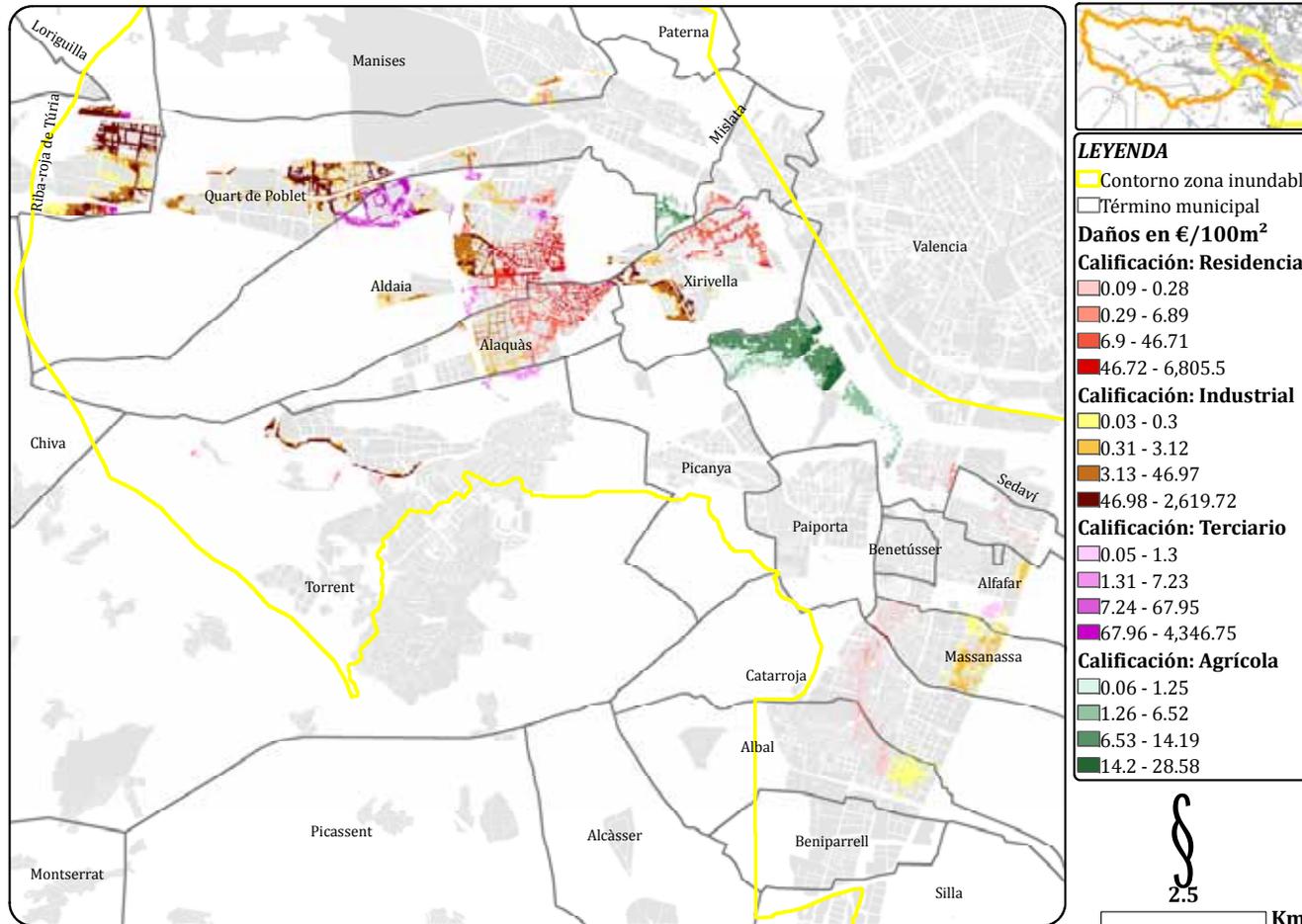
#### ■ Inundaciones sintéticas



Curva Daño-Frecuencia de la zona inundable de la Rambla del Poyo en la condición actual del sistema



## □ Estándar (EXCIMAP, 2007)

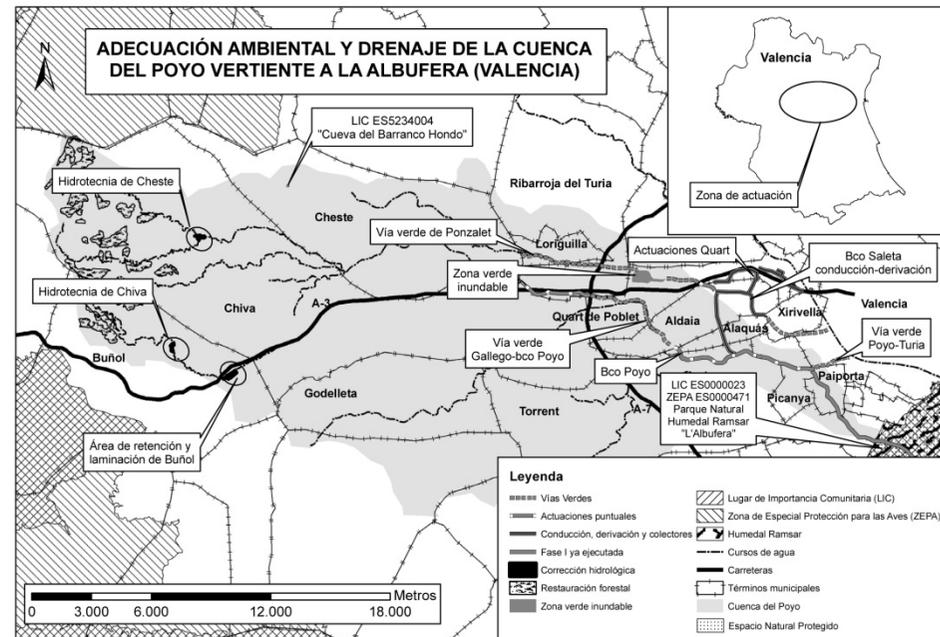


**Daño anual  
esperado** en la  
zona inundable  
de la Rambla del  
Poyo



# Análisis de la reducción del riesgo ( $C_f$ )

- ❑ Enfoque de “escenarios”
  - Flexibilidad
  - Relación causa-efecto
  - Comparación efectos
  
- ❑ Escenarios realistas
  - Reforestación
    - Tendencia histórica
  - Embalses:
    - Distribuidos
    - Equivalente en Cheste



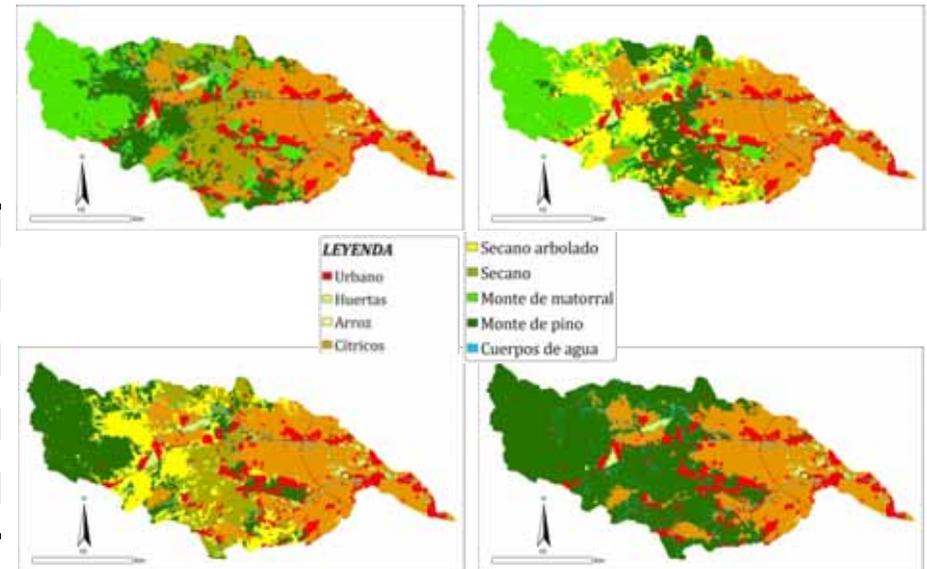
Actuaciones previstas en el Proyecto de “Adecuación ambiental y drenaje de la cuenca del Poyo vertiente a la Albufera, Valencia” (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, 2012)



## □ Reforestación

### ➤ Escenarios

Usos del suelo 1998	Actual	Refor. 1	Refor. 2	Refor. 3	Refor. 4
Urbano	10.35%	10.35%	10.35%	10.35%	10.35%
Huertas	1.51%	1.51%	1.51%	1.51%	1.51%
Arroz	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
Cítricos	30.03%	30.03%	30.03%	30.03%	30.03%
Secano arbolado	17.41%	---	17.41%	17.41%	---
Secano	13.96%	13.96%	---	13.96%	---
Monte de matorral	23.32%	23.32%	23.32%	---	---
Monte de pino	0.59%	17.99%	14.54%	23.91%	55.27%
Cuerpos de agua	2.84%	2.84%	2.84%	2.84%	2.84%

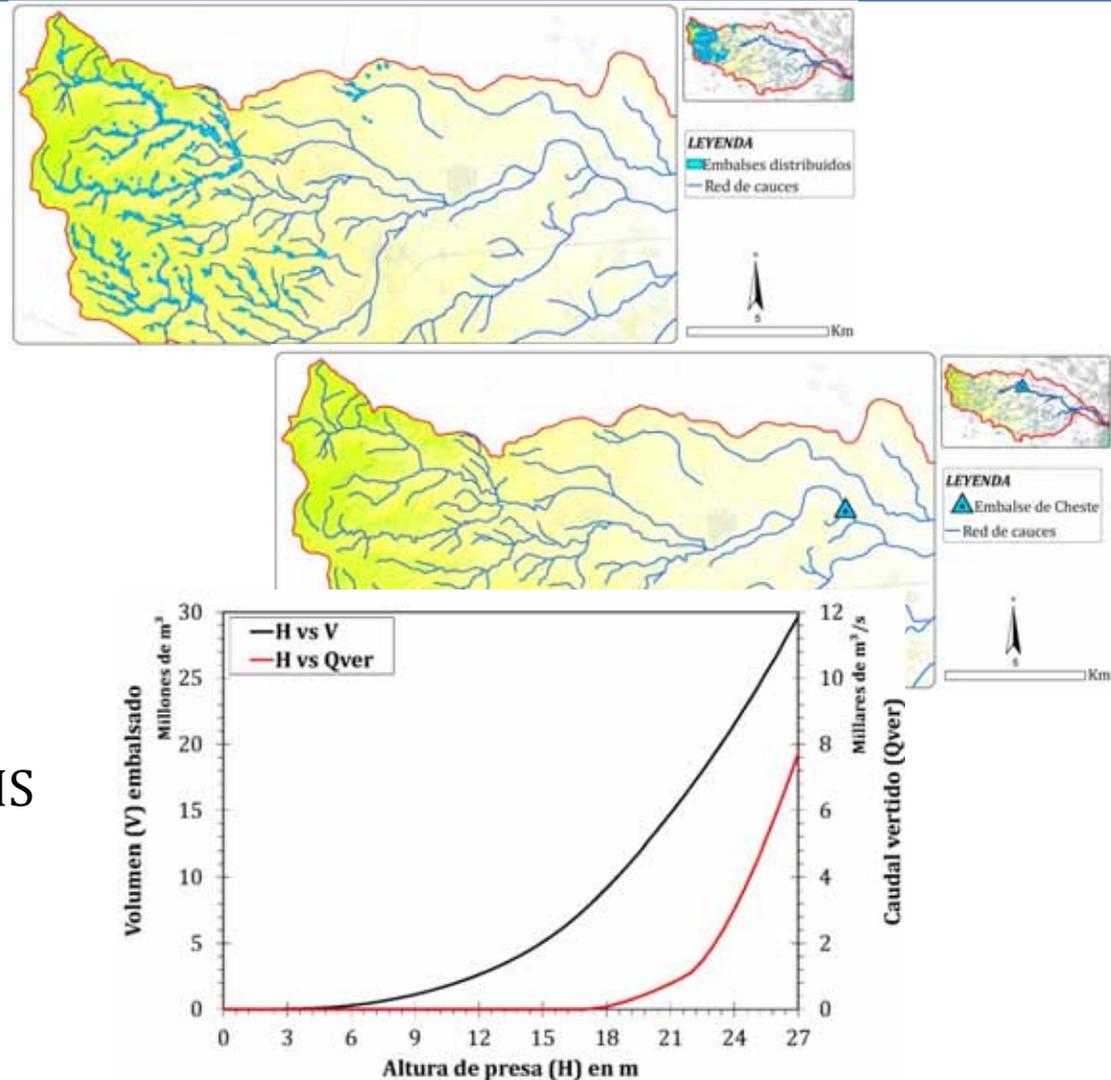


### ➤ Parametrización

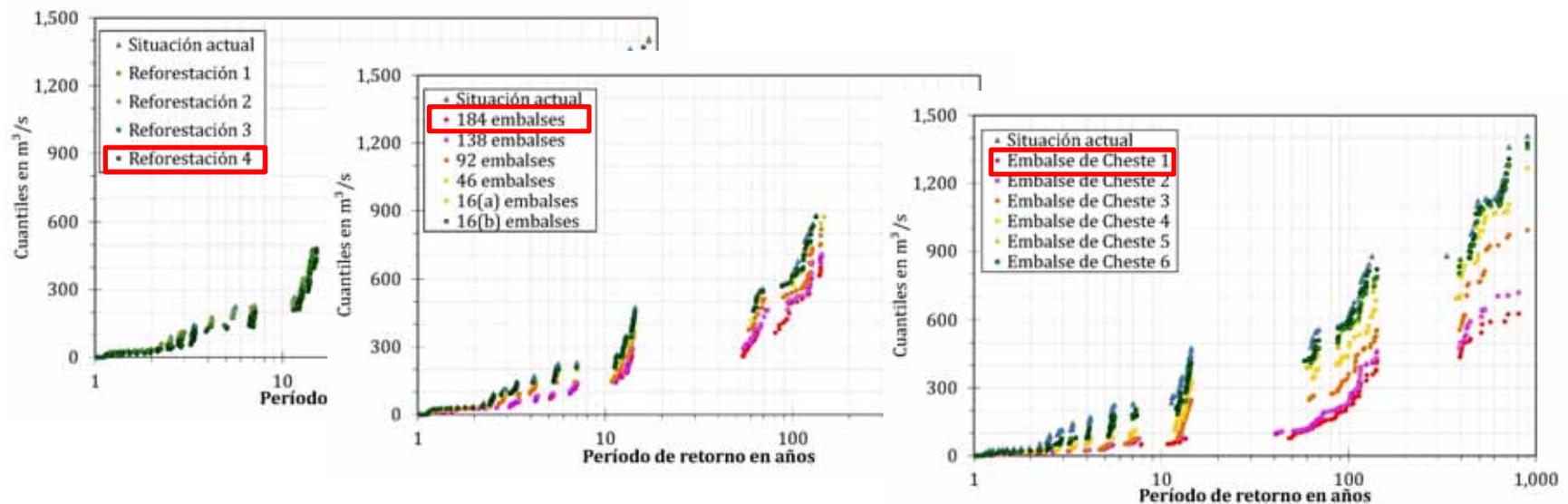
- Cambio parámetros desde el modelo evaluado
  - Intercepción
  - Encharcamiento
  - Almacenamiento capilar
- Aumento capacidad almacenamiento: capa superior del suelo



- Distribuidos
  - Cantidad
    - 184-11
- Único equivalente
  - Volumen:
    - $\sim 16-1(Hm^3)$
- Parametrización
  - Herramienta de TETIS



- Resultados desde la estimación de **frecuencia**
  - 200 hidrogramas /escenario

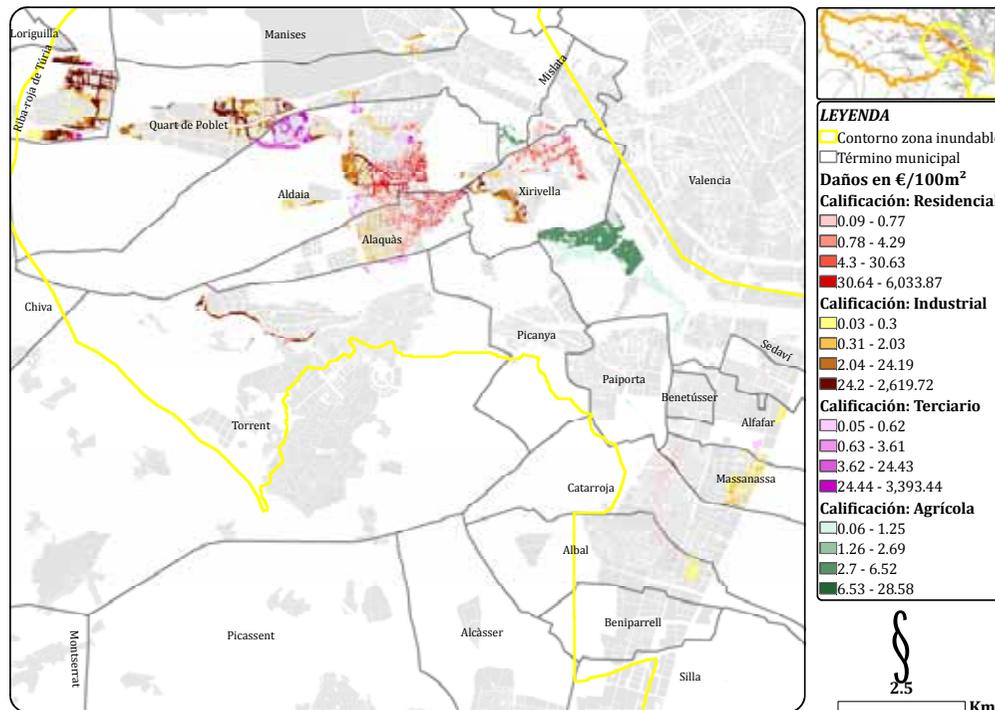


- **Calados** máximos: Escenarios **máximos**
- Estimación de **mapas** de peligrosidad

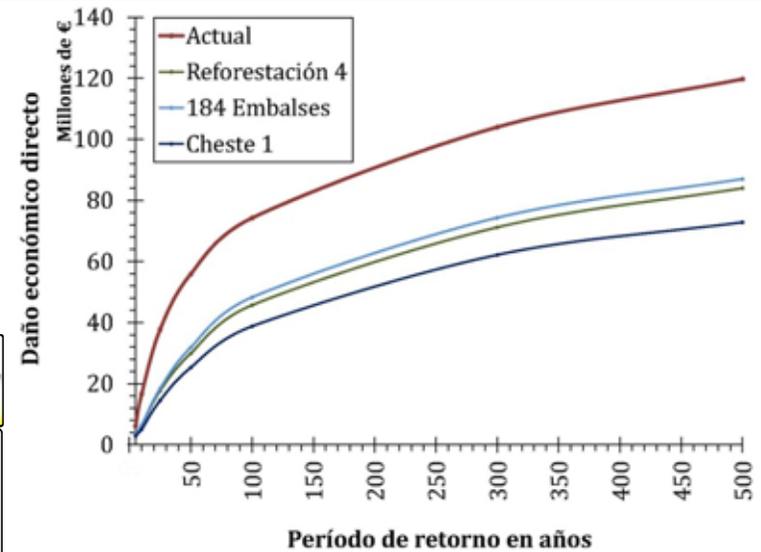


# Determinación de la vulnerabilidad económica y el riesgo

- ❑ Curvas daño (no cambian)
- ❑ Solución integral
- ❑ Mapas



DAE en el escenario: Reforestación 4.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

---

# Discusión de resultados



Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental

---

*Acto de defensa pública de la tesis doctoral de Sergio Andrés Salazar Galán  
Valencia, 24/05/2013*

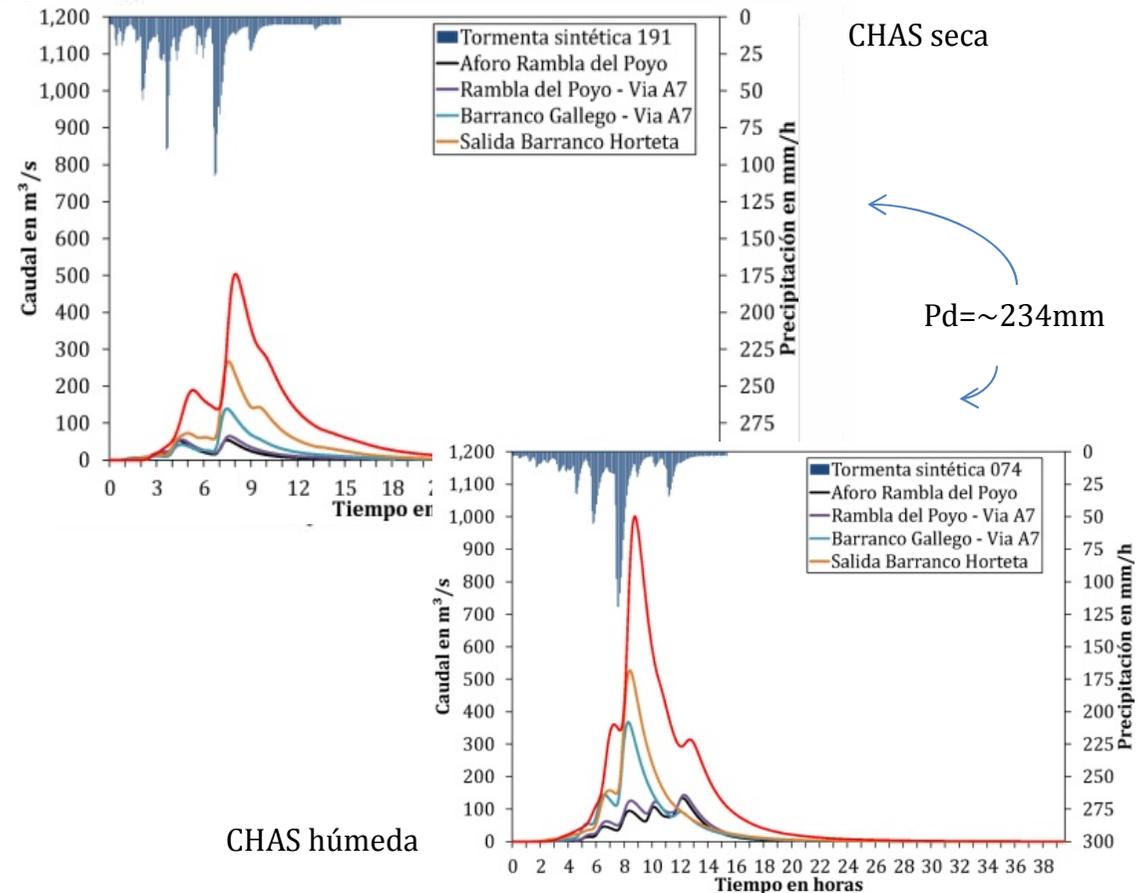


# Factores influenciando la estimación de la frecuencia de avenidas

## □ Consideración procesos físicos relevantes

### ➤ Elección del método

- ¿Estadístico?
  - ¿Longitud?
- ¿Estándar?
  - ¿CHAS?
  
- ¿ $P=Cte(X,T)$ ?



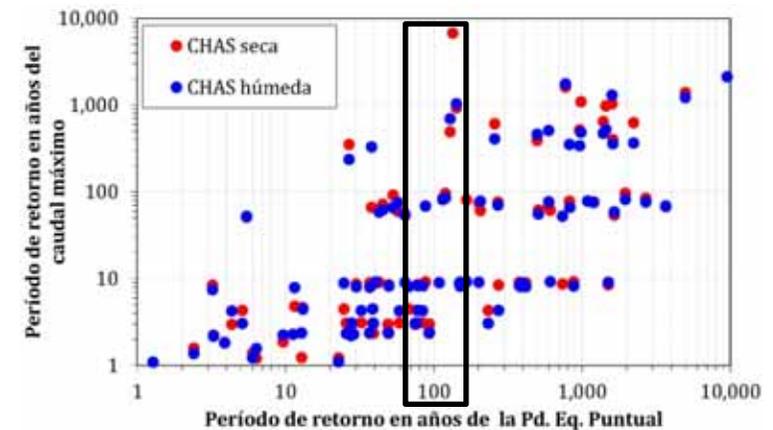
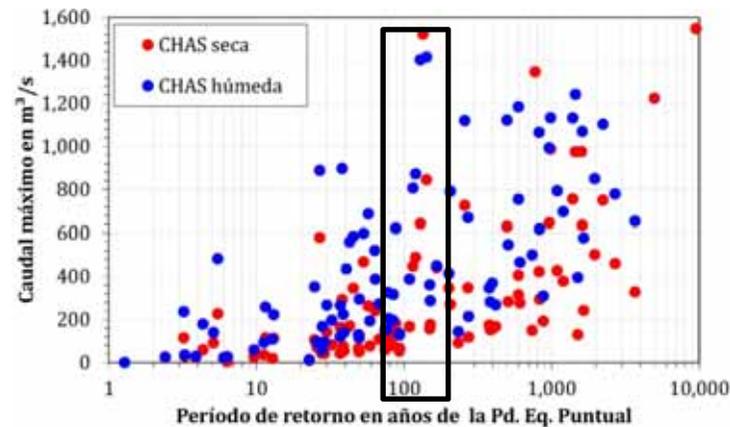


# Factores influenciando la estimación de la frecuencia de avenidas

## □ Consideración procesos físicos relevantes

### ➤ Elección del método

- ¿Estadístico?
  - ¿Longitud?
- ¿Estándar?
  - ¿CHAS?
  
- ¿ $P=Cte(X,T)$ ?
  
- ¿ $T(P)=T(Q)$ ?



## ❑ Funciones de daño

### ➤ Uso residencial

- Subjetividad
- Heterogeneidad (6/24)
- Valoración cap. respuesta

### ➤ Vía pública

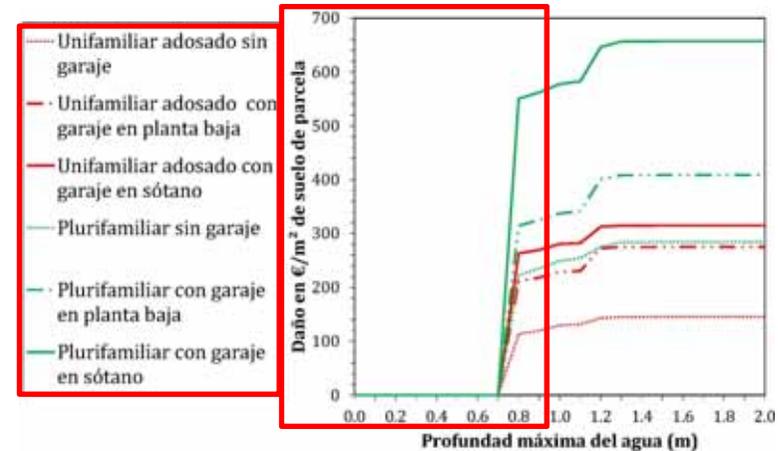
- Coches: realidad socioeconómica
- Infraestructura vital

### ➤ Usos industrial, comercial, almacenes

- Detalle (actividades, sectores)

### ➤ Agrícola

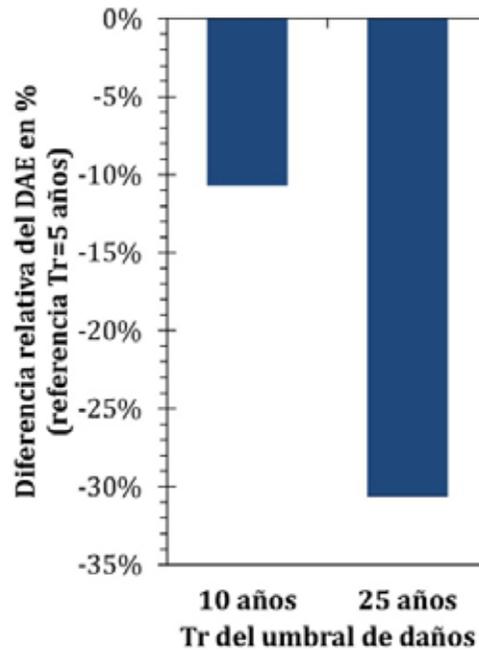
- Anoxia (t) ➔  $D = f(\text{duración})$



# Análisis de sensibilidad en las estimaciones del riesgo

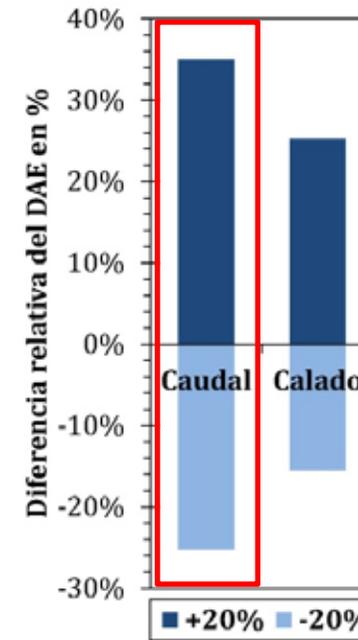
## □ Riesgo

### ➤ Umbral daño (Tr)



## □ Peligrosidad

### ➤ Frecuencia / Magnitud



## □ Comparación

	<b>PATRICOVA (COPUT, 2002)</b>	<b>Tesis (Salazar, 2013)</b>	<b>Diferencia</b>
Municipios afectados	Alaquás, Aldaia, Picanya, Quart de Poblet, Riba-roja de Túria, Valencia, Xirivella, Albal, Alfafar, Catarroja, Chiva, Massanassa, Paiporta y Silla (13)	Alaquás, Aldaia, Picanya, Quart de Poblet, Riba-roja de Túria, Valencia, Xirivella, Albal, Alfafar, Catarroja, Chiva, Massanassa, Paiporta, Silla, <u>Torrent</u> , <u>Manises</u> , Mislata y Sedaví (17)	<b>4 municipios</b>
Área afectada	22.9 Km <sup>2</sup>	6.8 Km <sup>2</sup>	<b>-70%</b>
DAE	<b>1.6 M€/año</b>	<b>5.7 M€/año</b>	<b>78%</b>
DAE	<b>Siniestralidades (CCS, 2008)</b> <b>6.2 M€/año</b>	<b>5.7 M€/año</b>	<b>-9%</b>
Evento oct-2000	<b>59.1 M€</b>	<b>64.7M€</b>	<b>7%</b>
<b>Evento oct-2000 (FDP/D-Frecuencia)</b>	<b>59.1 M€</b>	<b>69.8 M€</b>	<b>18%</b>



- ❑ Enfoque escenarios: Flexibilidad
  - Reforestación
    - Validez de los parámetros
      - Proyección basada en modelo evaluado
      - Características prevalentes
      - Valoración cualitativa
        - Comparando regiones hidroclimáticas (Salazar et al., 2012)
  - Embalses
    - Teoría hidráulica ampliamente probada



## □ Efectividad

$$\text{MAISC} = \left( \frac{S_i - S_0}{A} \right) \cdot 1,000$$

- $S_0$  en  $\text{m}^3$ , es la capacidad de almacenamiento en Co;  $S_i$  en  $\text{m}^3$ , la introducida por un escenario; A, es la superficie de la cuenca en  $\text{m}^2$ .

### ➤ Retención en ladera

Escenario	Aforo	$S_i$ ( $\text{m}^3$ )			MAISC (mm)		
		A-7	V-31		Aforo	A-7	V-31
<b>Refor. 1</b>	683,919	685,369	1,010,459		4	4	<b>3</b>
Refor. 2	457,695	464,273	1,716,596		2	2	4
<b>Refor. 3</b>	1,466,733	1,468,348	1,856,772		8	8	<b>5</b>
Refor. 4	2,608,347	2,617,991	4,583,827		14	14	12

### ➤ Retención en cauces

Escenario	$S_i$ ( $\text{m}^3$ )	MAISC (mm)		
		Aforo	A-7	V-31
184 embalses	15,870,783	86	83	41
138 embalses	12,945,351	70	68	33
92 embalses	7,267,197	39	38	19
46 embalses	4,326,074	23	23	11
16(a) embalses	2,334,000	13	12	6
<b>16(b) embalses</b>	1,945,000	11	10	<b>5</b>
<b>11 embalses</b>	1,167,000	6	6	<b>3</b>

Escenario	$S_i$ ( $\text{m}^3$ )	MAISC (mm)		
		Aforo	A-7	V-31
Cheste 1	15,770,579	86	83	41
Cheste 2	12,748,698	69	67	33
Cheste 3	7,594,991	41	40	20
Cheste 4	4,120,021	22	22	11
Cheste 5	2,343,693	13	12	6
<b>Cheste 6</b>	2,030,357	11	11	<b>5</b>
<b>Cheste 7</b>	1,107,213	6	6	<b>3</b>



# Efectividad sobre el caudal máximo de la avenida

## □ Cuantificación

➤  $Q_r = \frac{Q_0 - Q_i}{Q_0} \cdot 100\%$

## □ Medidas

### ➤ CHAS

■ ↑“seca” / ↓“húmeda”

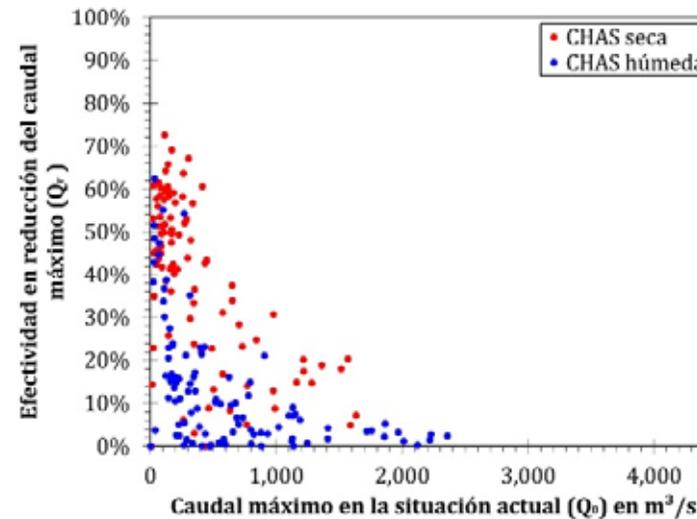
### ➤ Inc. Volumen / Área

■  $A > \text{MAISC} > Q_r$

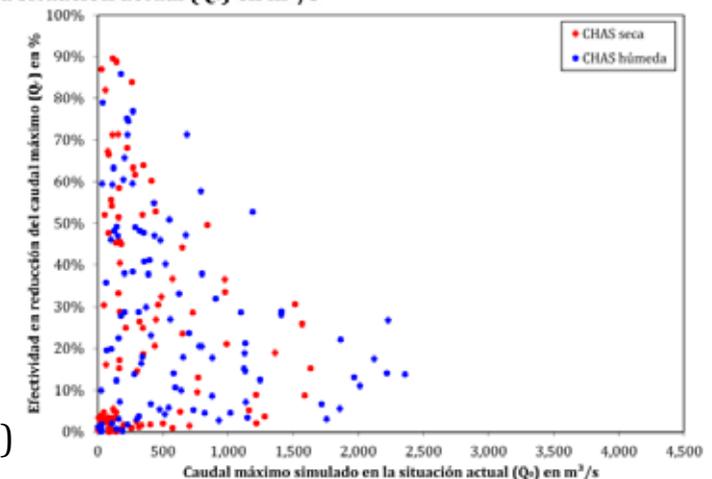
### ➤ Magnitud avenida

■ Disminuye  $f(\uparrow Q)$

$Q_r$  en la Autovía A-7 (Refor. 4= MAISC 4 mm)



$Q_r$  en la Autovía A-7 (184 emb= MAISC 83 mm)

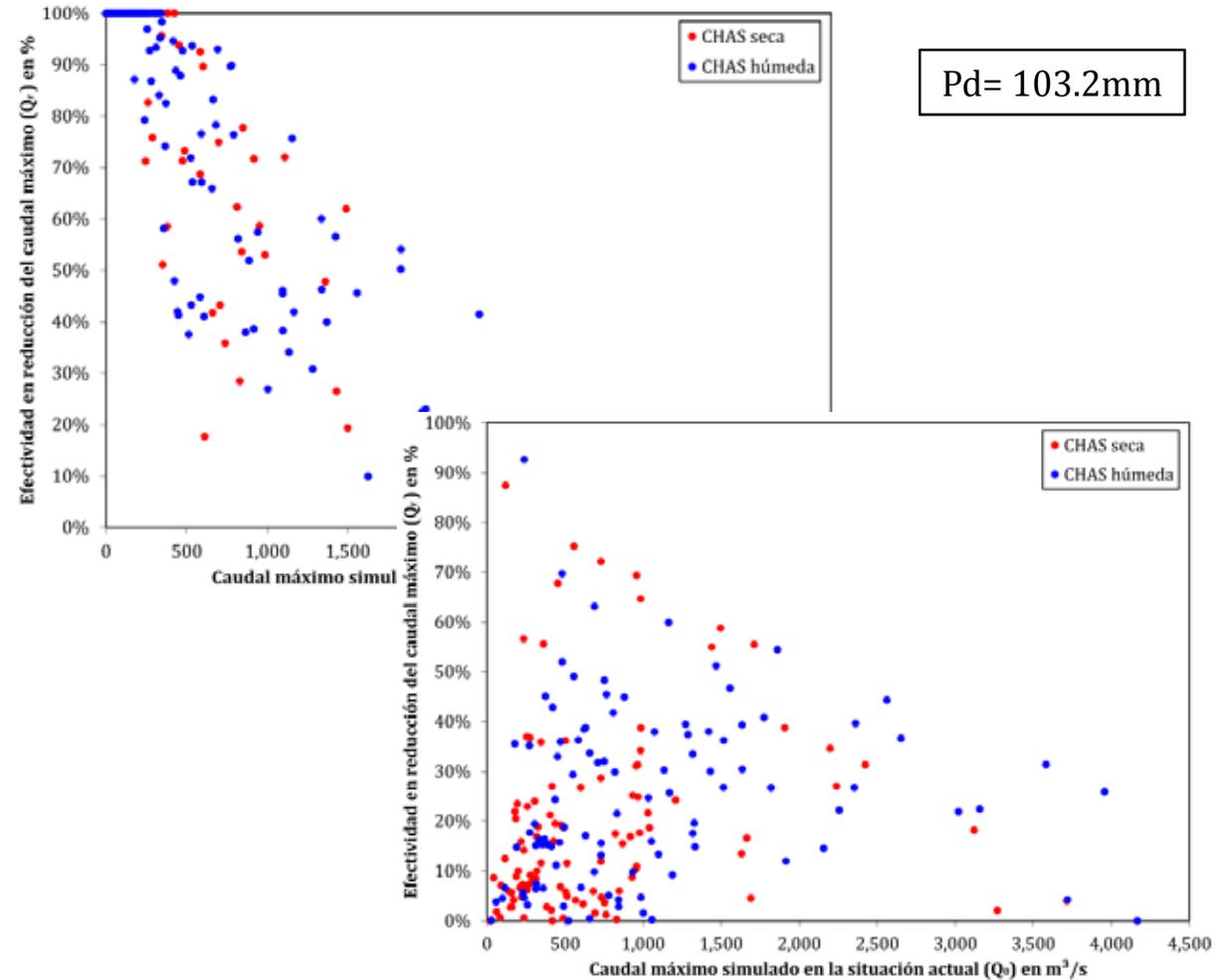


# Efectividad sobre el caudal máximo de la avenida

## □ Embalse único equivalente

### ➤ Respuesta

- Aguas abajo
- Forma



# Comparación entre escenarios con similar MAISC

## □ Distribución de las medidas

### ➤ Embalse único / Distribuidos

#### ■ Qr prom:

■ 3mm = 6:1

■ 5mm = 8:1

Qr en la Autovía V-31 – MAISC=3mm

Valor de Q <sub>r</sub>	Refor. 1		11 emb.		Ceste 7	
	S	H	S	H	S	H
Mínimo	2	0	0	0	0	0
1er cuartil	6	1	0	0	2	1
2do cuartil	9	3	0	0	4	4
3er cuartil	16	6	1	1	8	8
Máximo	25	17	19	16	26	27
<b>Promedio</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Desv. Estándar</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

### ➤ Reforestación / Embalse Único

■ 3mm = 11-4:6

■ 5mm = 10-4/1

### ➤ Distribuidos = MAISC

#### ■ Más aguas arriba

■ Efectividad↓

■ Salazar et al. (2012)

Qr en la Autovía V-31 – MAISC=5mm

Valor de Q <sub>r</sub>	Refor. 3		16(b) emb.		Ceste 6	
	S	H	S	H	S	H
Mínimo	1	0	0	0	0	0
1er cuartil	5	1	0	0	3	2
2do cuartil	8	3	0	0	6	5
3er cuartil	12	6	1	1	11	12
Máximo	49	22	19	16	49	36
<b>Promedio</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
<b>Desv. Estándar</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>7</b>



# Comparación entre escenarios con máximo MAISC

## □ Distribución

### ➤ Afectación de los procesos

#### ■ Autovía A-7

##### ■ Cauce ↑↑

■ Cheste 1 (56/59)

■ Refor. 4 (39/13)

#### ■ Autovía V-31

##### ■ Ladera ↑↑

■ Refor. 4 (38/15)

■ Cheste 1 (20/15)

Q<sub>r</sub> en la Autovía A-7 (MAISC=14,83,83)

Valor de Q <sub>r</sub>	Refor. 4		184 emb.		Cheste 1	
	S	H	S	H	S	H
Mínimo	0	0	0	0	13	13
1er cuartil	23	3	3	8	41	44
2do cuartil	43	8	18	22	54	60
3er cuartil	53	17	45	46	74	75
Máximo	73	62	90	86	99	99
<b>Promedio</b>	<b>39</b>	<b>13</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>56</b>	<b>59</b>
<b>Desv. Estándar</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>26</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>21</b>

Q<sub>r</sub> en la Autovía V-31 (MAISC=12,41,41)

Valor de Q <sub>r</sub>	Refor. 4		184 emb.		Cheste 1	
	S	H	S	H	S	H
Mínimo	4	0	0	0	0	0
1er cuartil	27	5	0	1	6	11
2do cuartil	40	12	1	7	15	22
3er cuartil	50	23	9	14	27	37
Máximo	63	52	81	72	87	93
<b>Promedio</b>	<b>38</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>25</b>
<b>Desv. Estándar</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	<b>18</b>



# Efectividad sobre el riesgo de inundación

## □ Cuantificación

$$\text{➤ } R_r = \frac{R_0 - R_i}{R_0} \cdot 100\%$$

$R_0/R_i$  (DAE €/año) estimado en  $C_0/C_f$

## □ Comparación

➤  $R_r$

M  
A  
g  
n  
i  
t  
u  
d

■ T 1-100

■ Tasa -20%

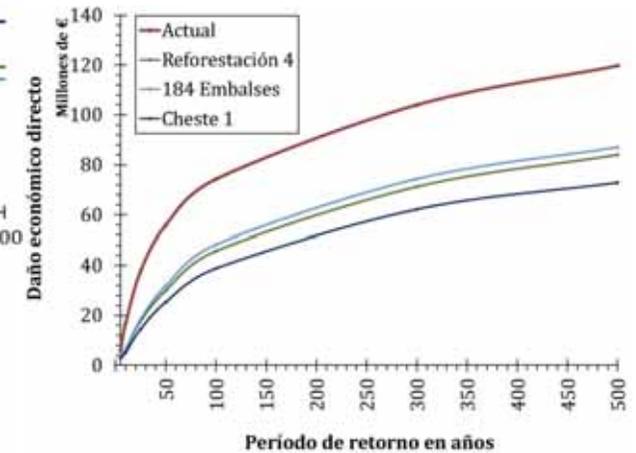
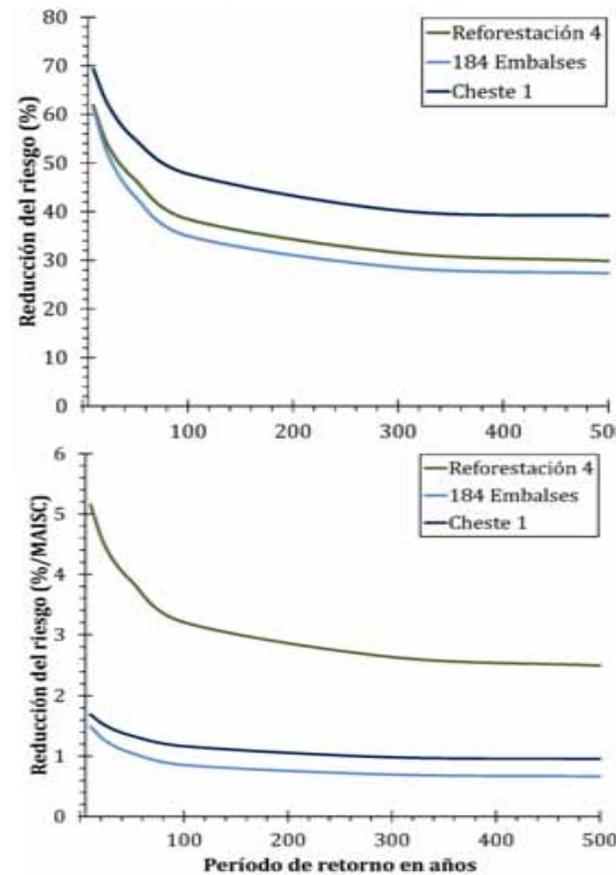
■ T 100-500

■ Tasa -10%

➤  $R_r / MAISC$

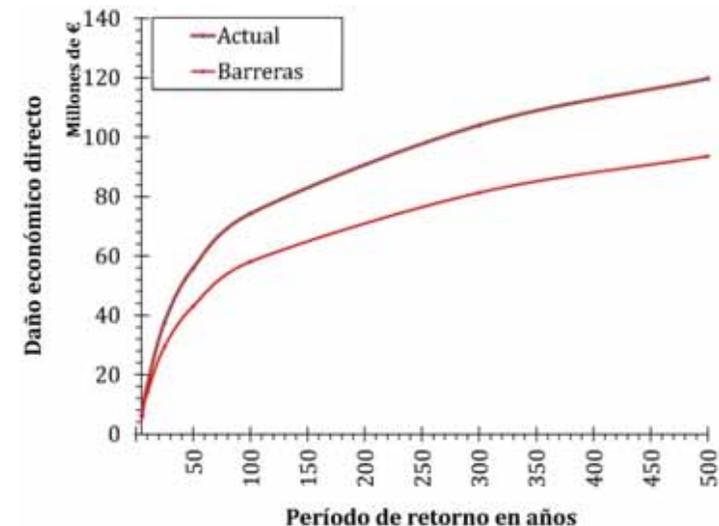
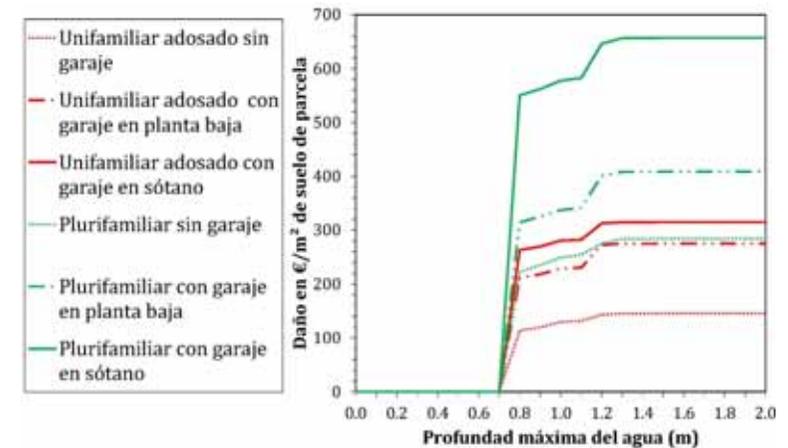
■ Afectación

■ Magnitud



# Modificación de la susceptibilidad

- Uso de curvas daño-frecuencia
  - Uso de barreras desmontables
    - DAE = 4.7 M€/año
    - Rr = 18%
      - Condicionado altura
      - Alta probabilidad
  - Hipótesis críticas
    - Reacción población
    - Total impermeabilización
    - Capacidad material





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

---

# Conclusiones



Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental

---

*Acto de defensa pública de la tesis doctoral de Sergio Andrés Salazar Galán  
Valencia, 24/05/2013*

- ❑ Ha sido posible **comprobar** la hipótesis de partida
  - Grado de **fiabilidad aceptable**
  - **Contrastable** con diferentes fuentes de información
  
- ❑ Peligrosidad: Considerando los comportamientos físicos preponderantes, involucra **rigurosidad** y **versatilidad**:
  - Modelación sintética:  $P_{pt.}(x, t) \Rightarrow \uparrow Tr$
  - Modelación hidrológica distribuida:  $Q_{(x,t)} \Rightarrow f(P_{pt.}, CHAS)$
  - Modelación acoplada 1D/2D:  $H \Rightarrow F_Q(q)$
  
- ❑ Vulnerabilidad: **consideración de la realidad económica.**



- ❑ La efectividad sobre la **reducción del caudal máximo** se ha visto condicionada por diversos factores:
  - Variabilidad espacio-temporal de las tormentas
  - Condición de Humedad Antecedente del Suelo (CHAS)
  - Magnitud de la avenida
  - Afectación espacial de los procesos hidrológicos.



- La efectividad sobre la **reducción del riesgo** se ha visto condicionada por la **componente** afectada:
  - **Reducciones en la magnitud para frecuencias altas e inefectividad en las bajas, puede traducirse en reducciones significativas del riesgo.**
    - Medidas de retención de agua en el territorio
    - Uso de barreras desmontables
  - La **intervención exclusiva** de alguna componente del riesgo no ha mostrado ser “totalmente eficaz”.
    - Analizar otras estrategias



# Recomendaciones y líneas futuras de investigación

- ❑ Introducir la fase de “valoración” del riesgo
  - Análisis de **eficiencia**: Percepción y Ponderación
  
- ❑ Realizar **análisis de incertidumbre**
  
- ❑ Introducir otras dimensiones de la vulnerabilidad
  - Estimación de **daños intangibles e indirectos**
  
- ❑ Consideración de otros indicadores cuando proceda
  - **Ciclo erosivo** y de cargas contaminantes
  - Uso de curvas **Duración-Daño**



- ❑ **Expandir otra información** para el análisis de frecuencia
  - Temporal: No sistemática
  - Espacial: Análisis regional
  
- ❑ **Apoyar** el enfoque de “**escenarios**”
  - Datos experimentales
  - Análisis de sensibilidad cuantitativos



## ❑ Artículos en revistas indexadas

### ➤ Publicado (1)

- S. Salazar, F. Francés, J. Komma, T. Blume, T. Francke, A. Bronstert and G. Blöschl: A comparative analysis of the effectiveness of flood management measures based on the concept of “retaining water in the landscape” in different European hydro-climatic regions, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 3287–3306, doi:10.5194/nhess-12-3287-2012, (2012).

### ➤ En preparación (2)

- Metodología para el análisis de frecuencia
- Revisión del estado del Arte sobre la efectividad de la reforestación en el control de avenidas y los métodos para su análisis.

## ❑ Capítulo de libro (1)

- Salazar, S., Francés, F., Komma, J., Blöschl, G., Blume, T., Francke, T., Bronstert, A: Efficiency of non-structural flood mitigation measures: "room for the river" and "retaining water in the landscape" en P. Samuels, S. Huntington, W. Allsop and J. Harrop Editors, *Flood Risk Management Research into Practice*, CRC Press/Balkema. ISBN:978-0-415-48507-4, (2009).



## □ Congresos

### ➤ Presentaciones orales (2)

- Sergio Salazar y Félix Francés: Comparación de la eficiencia de mitigación de inundaciones mediante medidas de retención en el territorio, XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia. 2-6 September, (2008).
- Salazar, S., Francés, F., Komma, J., Blöschl, G., Blume, T., Francke, T., Bronstert, A: Efficiency of non-structural flood mitigation measures: "room for the river" and "retaining water in the landscape", European conference on flood risk management research into practice (FLOODRisk 2008), Oxford, UK, 30 September–2 October, (2008).

### ➤ Póster (1)

- S. Salazar, F. Francés, R. García-Bartual, E. Ortiz, J.C. Múnera, and J.J. Vélez: Flood risk assessment in a Spanish Mediterranean catchment, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-5815, 2009, EGU General Assembly, (2009).

## □ Reporte científico (1)

- Félix Francés, Rafael García-Bartual, Enrique Ortiz, Sergio Salazar, Günter Blöschl, Jürgen Komma, Christine Haberer, Axel Bronstert, Theresa Blume: CRUE Research Report No I-6: "Room for the river" project, Eranet CRUE Funding Initiative on Flood Risk Management Research, (2008).



# Agradecimientos

- **Proyecto de la red europea “ERANET-CRUE”:** “Efficiency of non-structural flood mitigation measures: "room for the river" and "retaining water in the landscape" (ref: CGL2006-27077-E/HID ). Resultados de equipos de trabajo :
  - Rafael Garcia-Bartual y José Luis Salinas: Modelación tormentas
  - HIDROGAIA: Modelación hidrodinámica
  - EIXIMENIS: Funciones calado-daño
- **Ayuda de movilidad para estancia doctoral:** Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management”, Vienna University of Technology, Coordinada por Prof. Dr. Günter Blöschl, (2011).



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente**

**Programa de Doctorado de  
Ingeniería Hidráulica y  
Medio Ambiente**



Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental

**¡Gracias por su atención!**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**



**Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente**

**Programa de Doctorado de  
Ingeniería Hidráulica y  
Medio Ambiente**



Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental