



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

GIMHA
Grupo de Investigación de Modelación
Hidrológica y Ambiental



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente

Avances en la modelización hidrológica de la peligrosidad de inundación

Prof. F. Francés

*Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
Universitat Politècnica de València*



2013

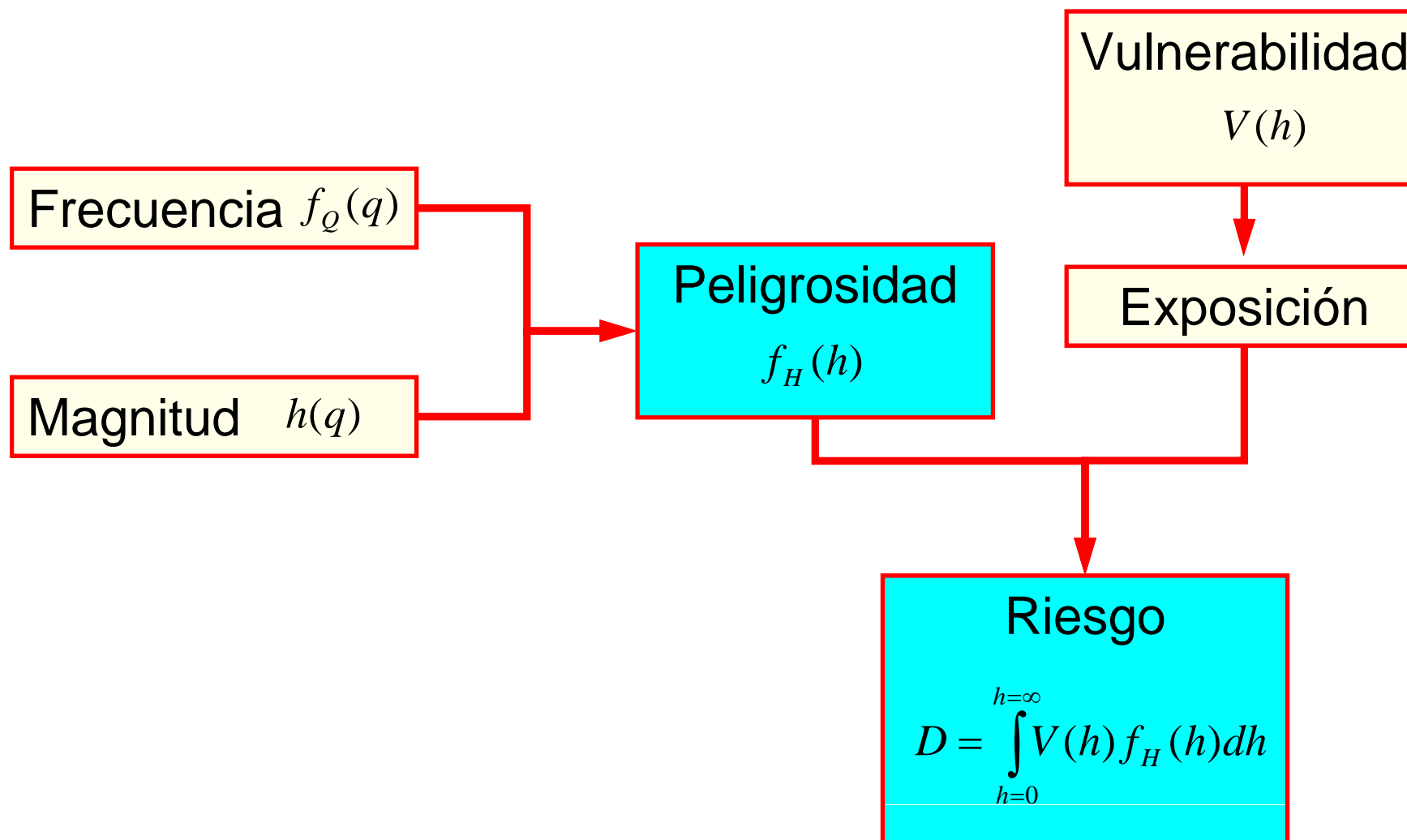
III JORNADAS DE INGENIERÍA DEL AGUA

Valencia, 23 y 24 de octubre de 2013

La protección contra los riesgos hídricos



Peligrosidad y riesgo



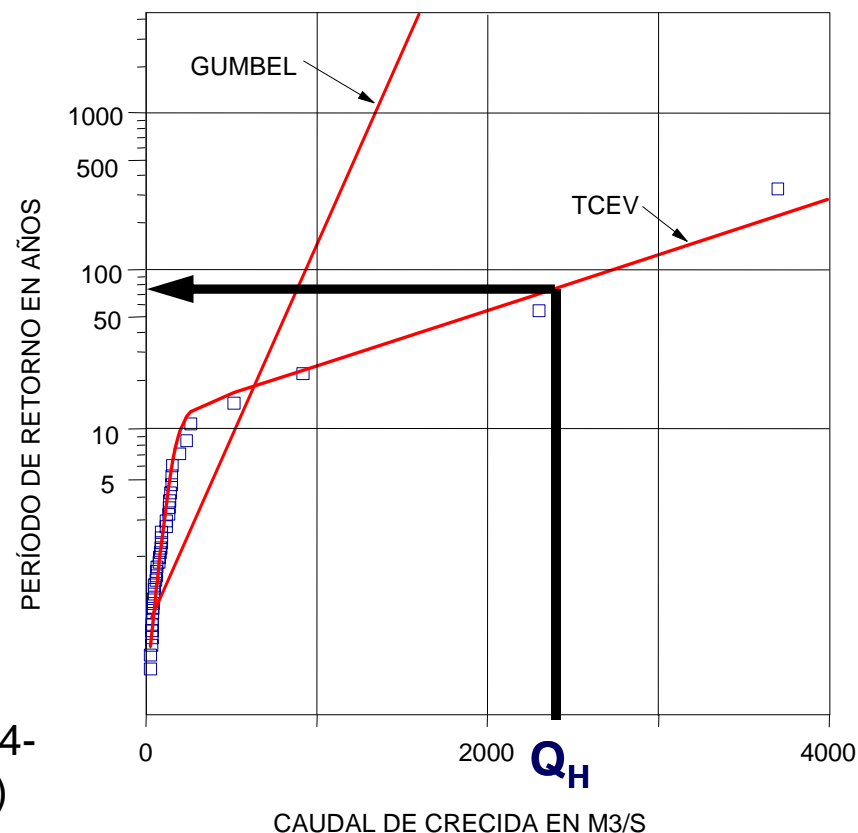


Frecuencia de las inundaciones

- ❑ Objeto del Estudio Hidrológico
- ❑ Inundación si $q > Q_H \Rightarrow$ Frecuencia de inundaciones:

$$p = P [Q > Q_H] = 1 - F_Q(Q_H)$$

- ❑ Con estación de aforos:



Río Turia en Manises (1944-
45 a 1988-89 con 41 años)



Magnitud de las inundaciones

- ❑ Magnitud en un punto = conjunto de factores que afectan al daño producido:
 - Calado del agua
 - Duración
 - Velocidad
 - Cantidad de sedimentos



Magnitud de las inundaciones

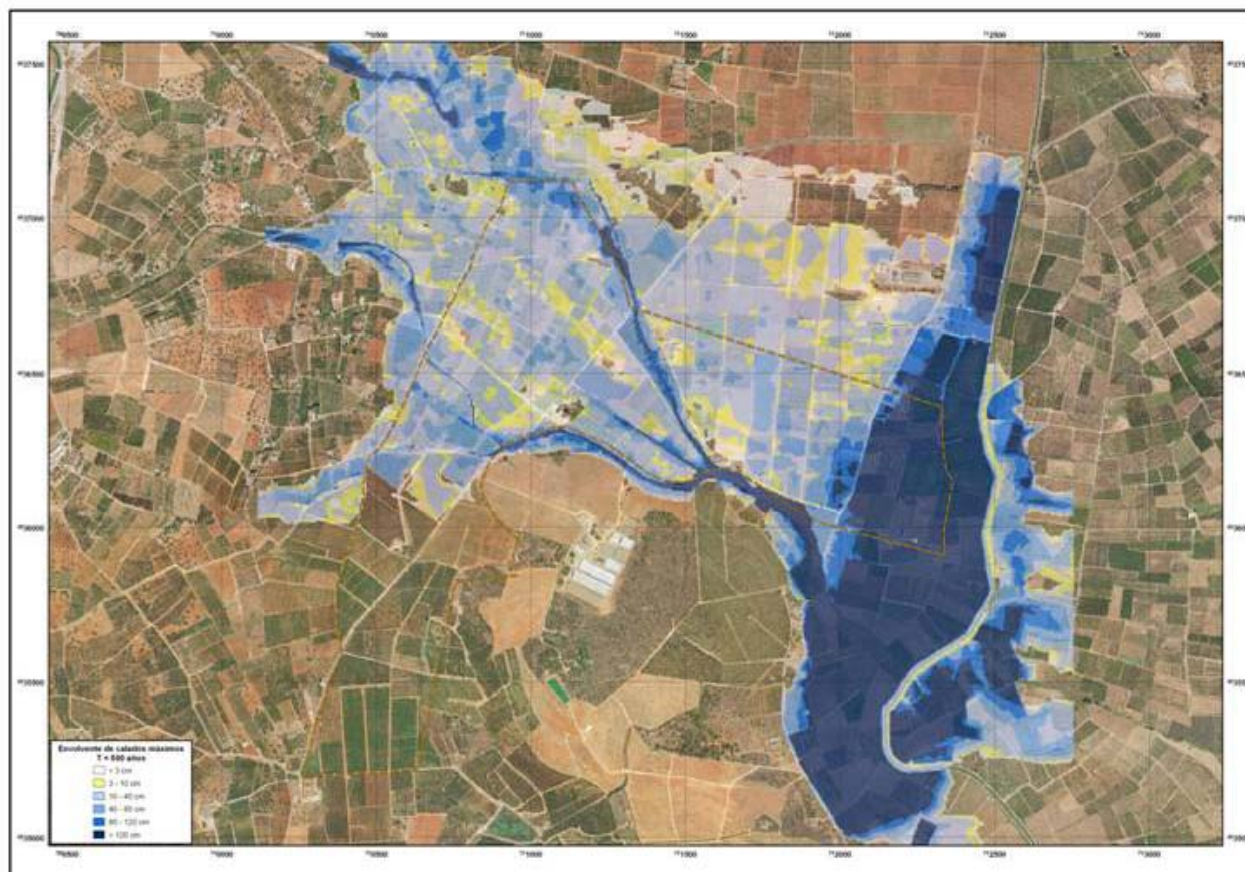
- ❑ Magnitud en un punto = conjunto de factores que afectan al daño producido:
 - Calado del agua
 - Duración
 - Velocidad
 - Cantidad de sedimentos

- ❑ Estudio Hidráulico: conversión de caudal en magnitud:
 - Modelos hidráulicos flujo transitorio 2D
 - Topografía de detalle: Lidar



Mapa de peligrosidad

- Escala zona inundación: Un mapa de magnitudes para cada T



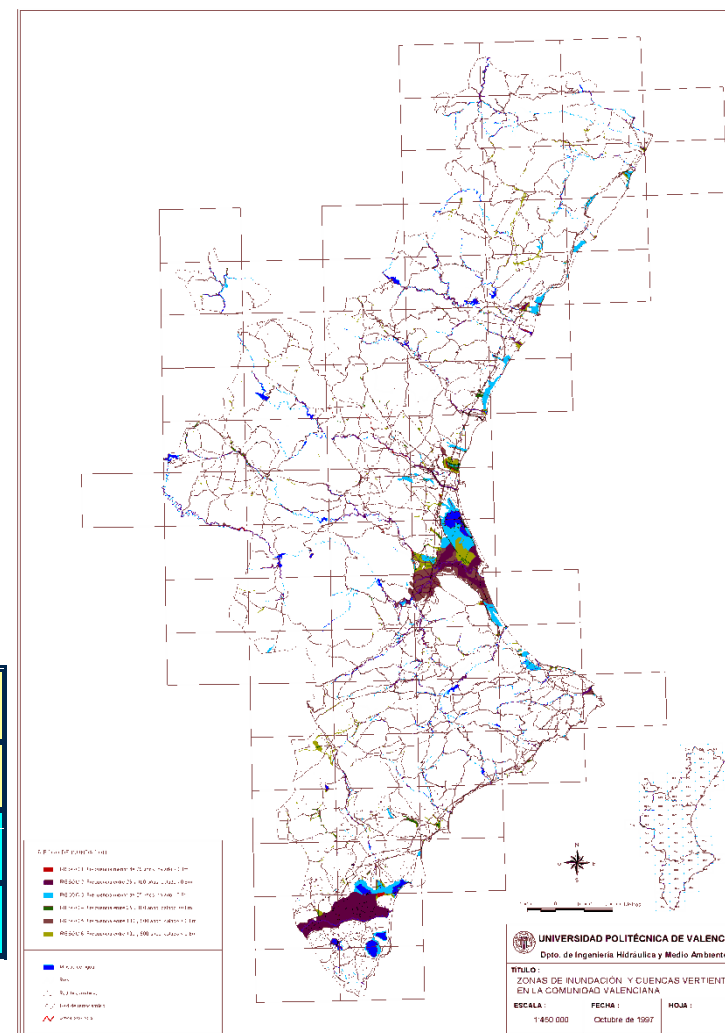
Calados para T=500 años
en la Garrofera (IIAMA-
Hidrogaia, 2008)



Mapa de peligrosidad

- ❑ Escala regional: Mapa de peligrosidad de la C. Valenciana (1:50.000)
 - Finalizado en 1996, asumido por el PATRICOVA de 2003
 - Simplificación de las combinaciones posibles:

Magnitud (calado máx)	Frecuencia (período de retorno en años)		
]100, 500]]25, 100]]0, 25]
Baja (<80 cm)	6	4	3
Alta (>80 cm)	5	2	1





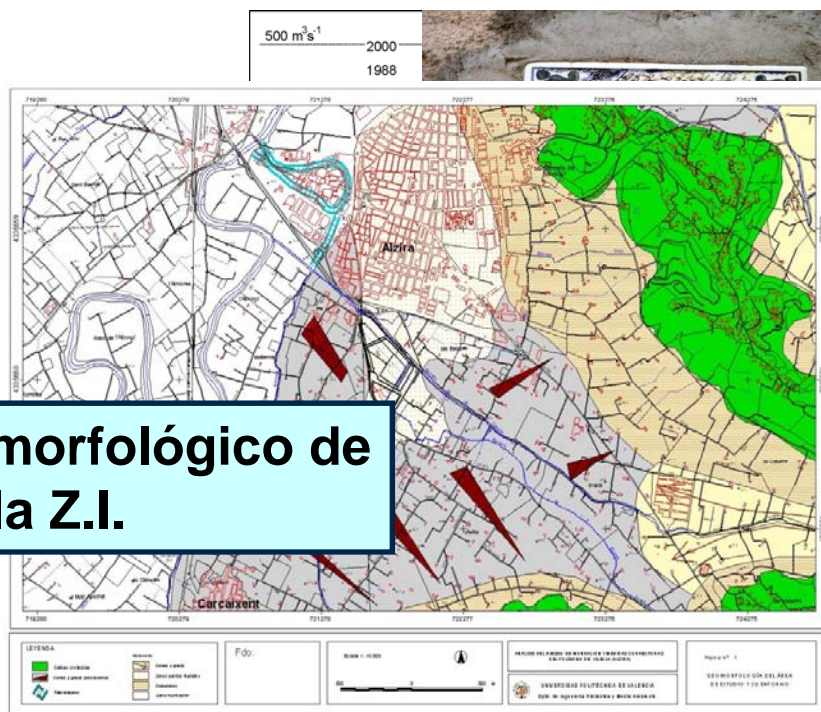
Reducir la incertidumbre

Más información y mejores modelos

Estudio de paleocrecidas

Estudio de
his

Estudio Geomorfológico de
la Z.I.



Frecuencia

Información No
Sistemática

Mapas de
inundación

Magnitud



- ❑ Análisis de frecuencia de crecidas con información adicional y PMF
- ❑ Modelos estadísticos no-estacionarios
- ❑ Estudio de las comarcas de las Marinas
 - Estimación cuantiles mediante generación de tormentas sintéticas
 - Modelación hidrológica distribuida
- ❑ Inundaciones costeras: modelo mixto estadístico
- ❑ Incertidumbre de los resultados
- ❑ Conclusión



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Análisis estadístico de crecidas con información adicional



2013

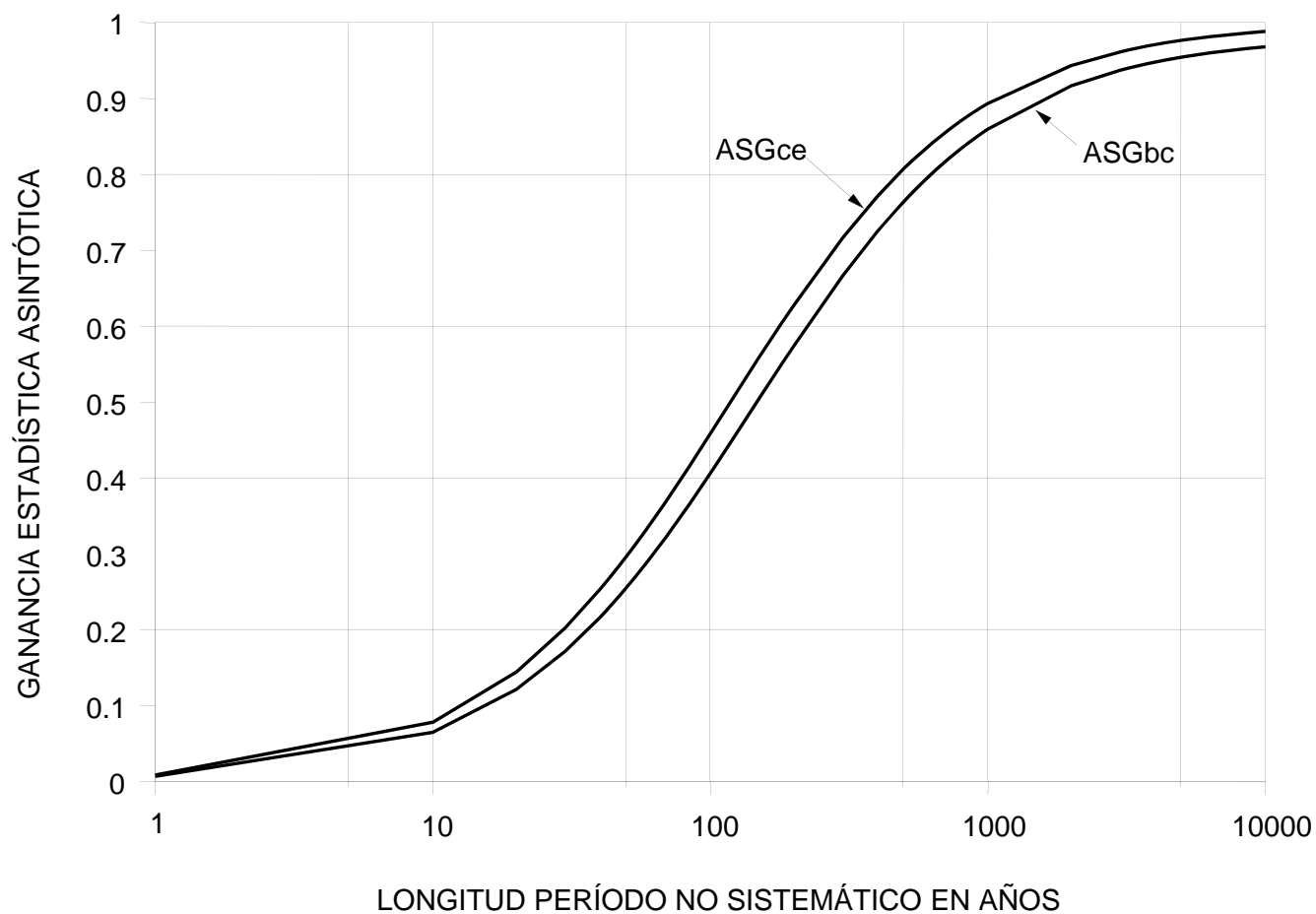
Valencia, 23 y 24 de octubre de 2013

III JORNADAS DE INGENIERÍA DEL AGUA

La protección contra los riesgos hídricos



Info. no sistemática



TCEV

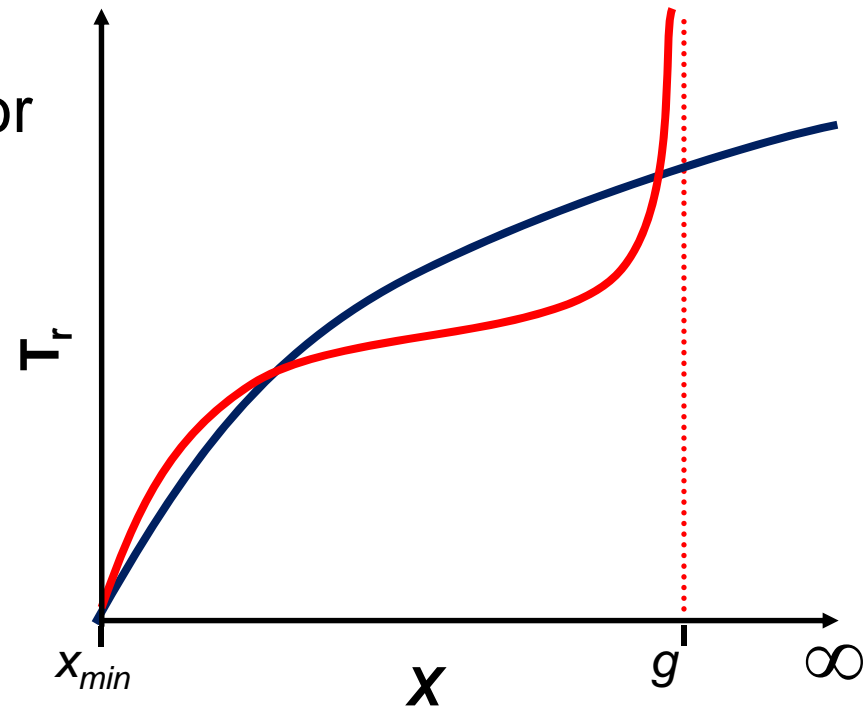
N= 100

H= 50

T= 100



- ❑ La PMF es la mayor crecida físicamente posible en una cuenca específica (Smith and Ward, 1998)
 - Tiene un significado físico basado en la PMP, y proporciona un límite superior
 - Su existencia cambia el comportamiento de la cdf para T medios y altos:



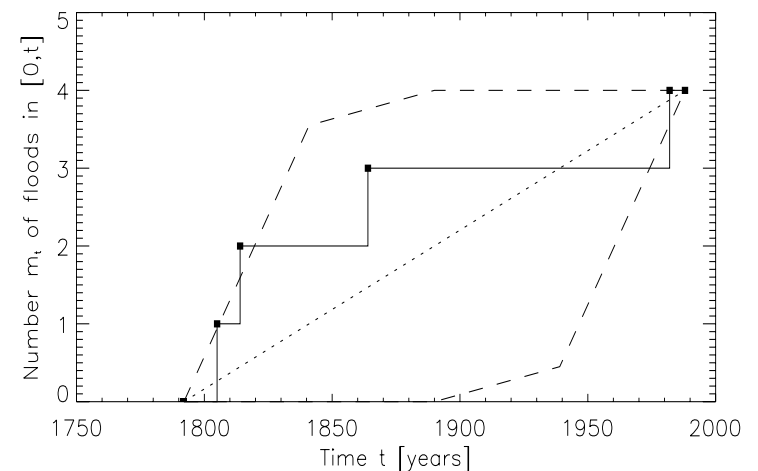


Río Xúquer en la Ribera

- ❑ Estudio CEDEX (1983) con reconstrucción **inundaciones históricas** en Carcaixent
 - Límite de inundación $X_H = 6,200$ m³/s
 - Período histórico: 1792 a 1945

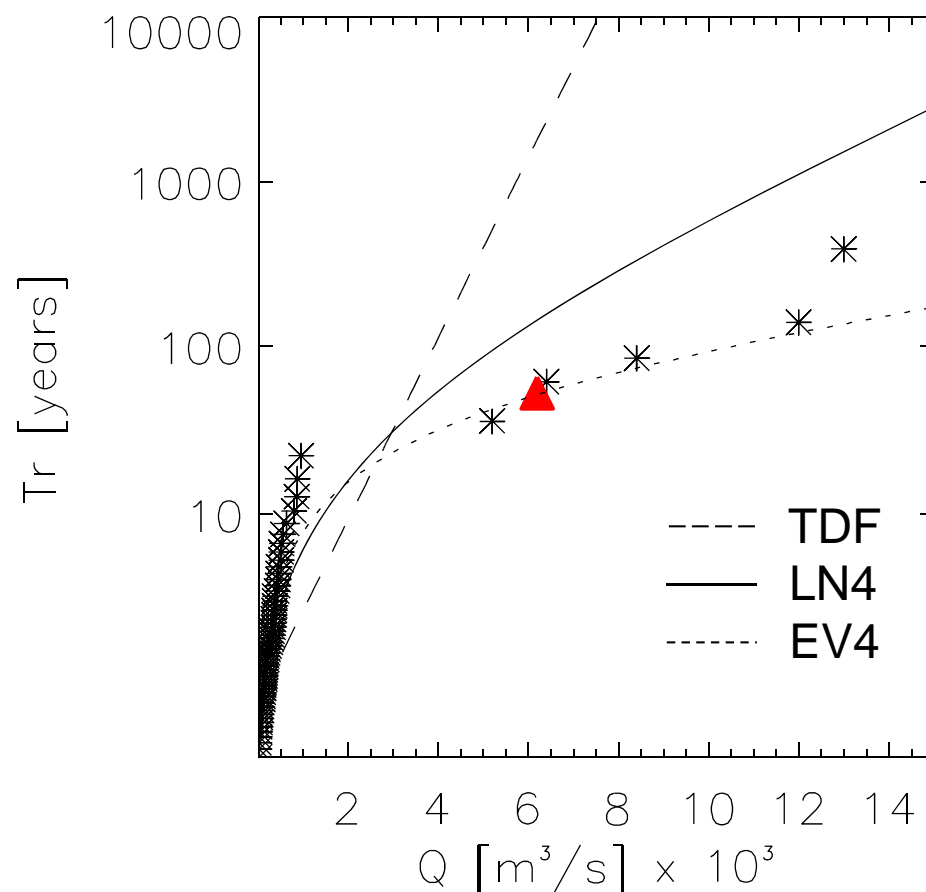
- ❑ Comprobación de la estacionaridad mediante el test de Lang (Lang et al., 1999)

Año	Caudal Punta (m ³ /s)
1632	Superior a 6.200
1778	6.200
1805	8.400
1814	6.400
1864	13.000
1923	4.800





Estimación prefijando q



- PMF (utilizando caudal específico en Tous) ~ 33,900 m³/s
- Efecto “pata de perro” por dos poblaciones
- Diferente aproximación al límite:
 - Más lenta TDF
 - Más rápida EV4

AFINS 2.0 en la web



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Modelos no estacionarios



2013

Valencia, 23 y 24 de octubre de 2013

III JORNADAS DE INGENIERÍA DEL AGUA

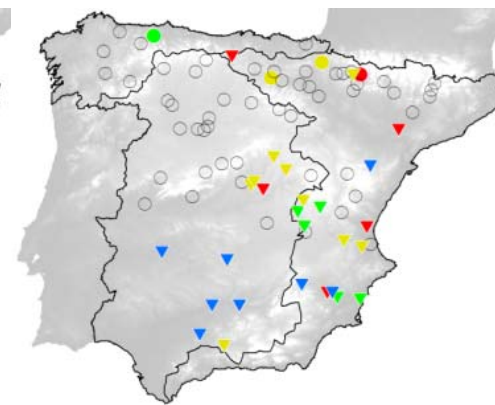
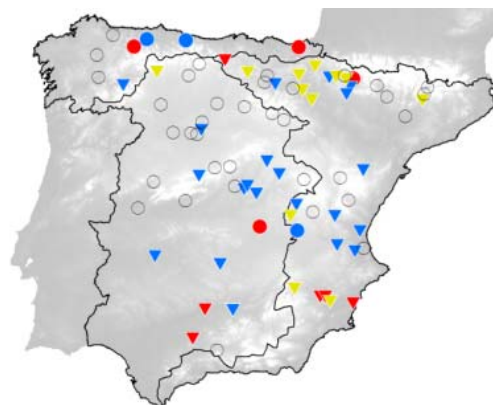
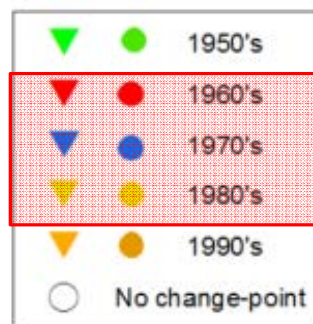
La protección contra los riesgos hídricos



Evidencia de no estacionaridad

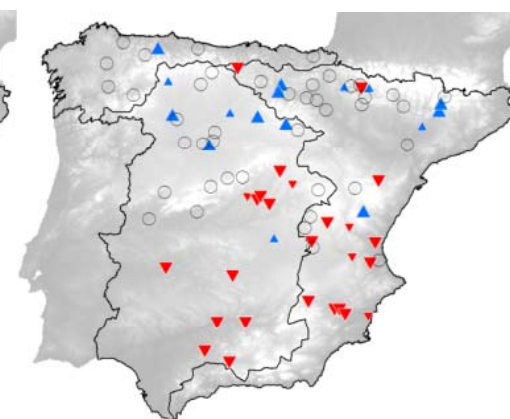
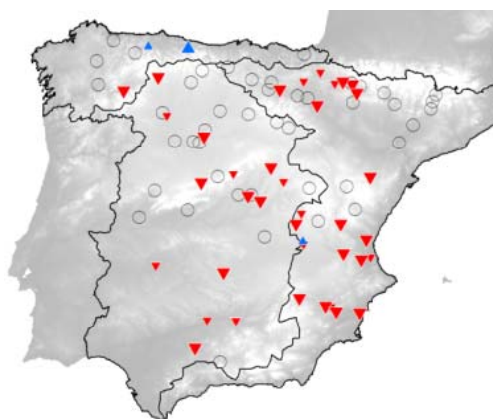
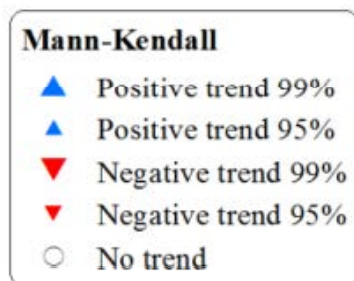
□ Puntos de ruptura

(Test de Pettitt)



□ Tendencias temporales

(Tests de Mann-Kendall,
Pearson y Spearman)



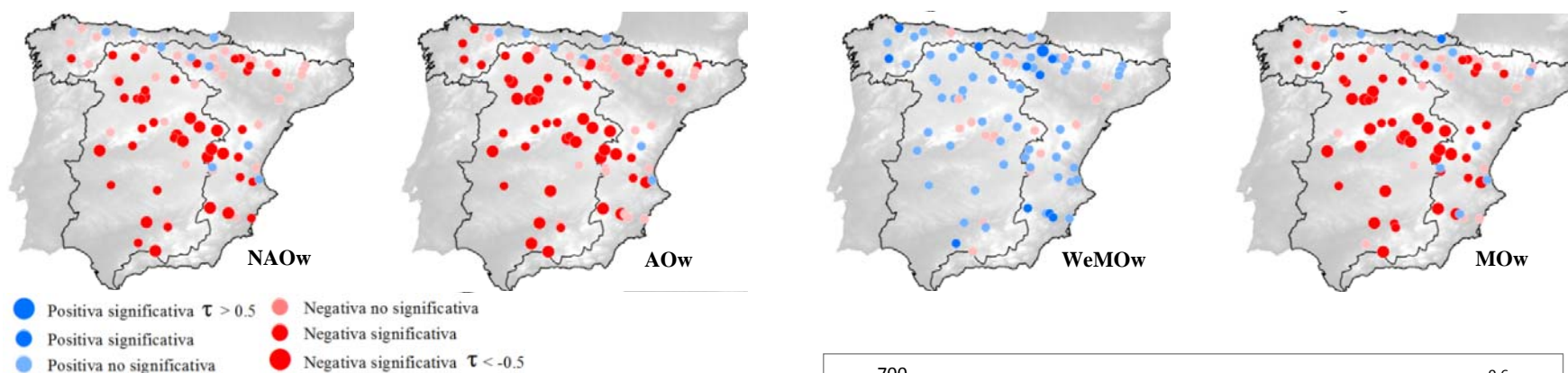
En la media

En la varianza

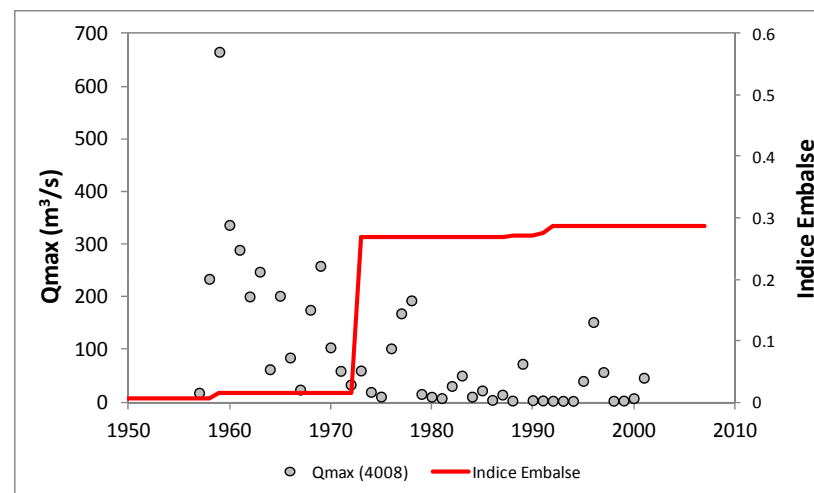


Evidencias de dependencia

- Dependencia entre índice climático invernal (NAOw, AOw, MOw y WeMOw) y caudales diarios máximos anuales

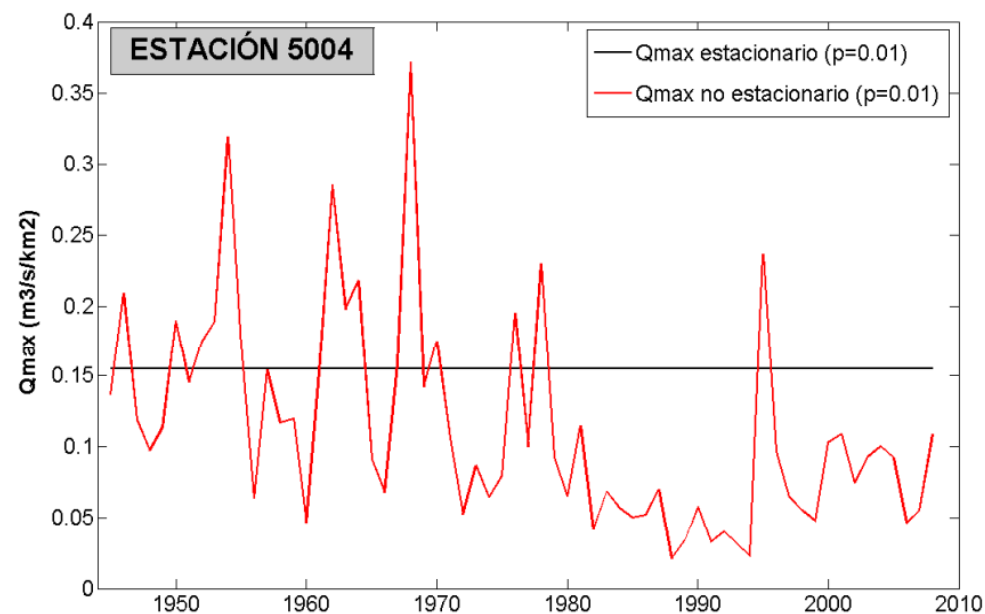
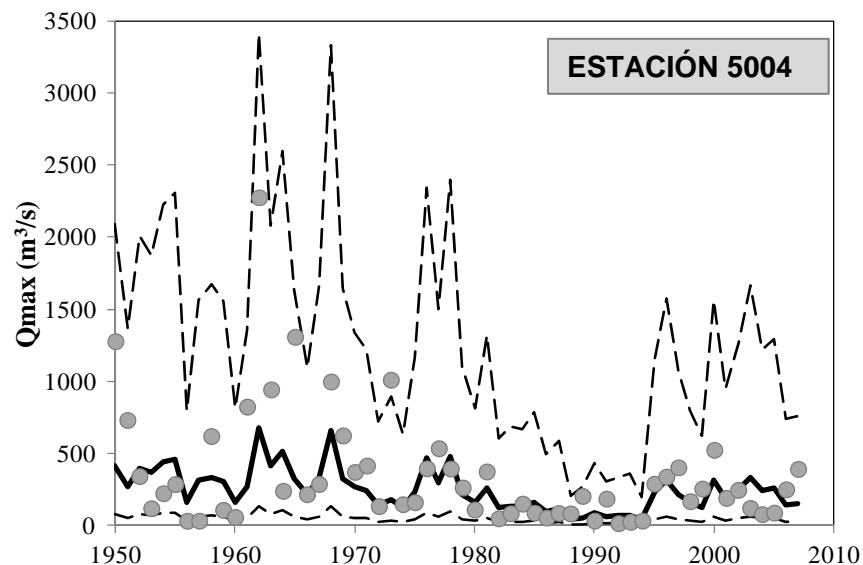


- Construcción de embalses





● Observaciones — Modelo 3 (Mediana) - - 2.5% - - 97.5%





Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de las comarcas de las Marinas



2013

Valencia, 23 y 24 de octubre de 2013

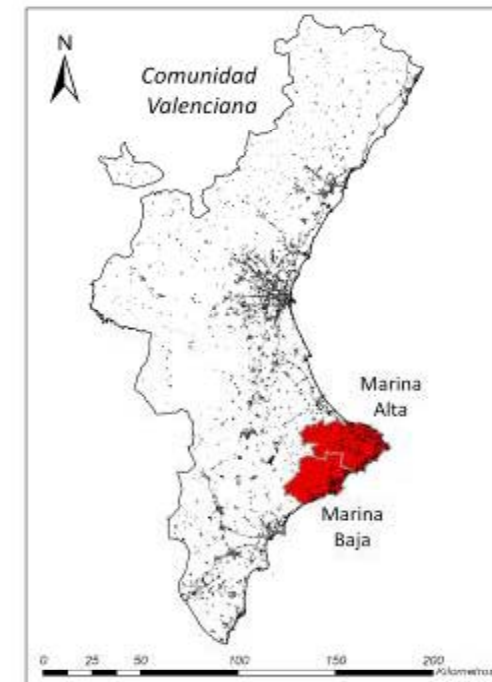
III JORNADAS DE INGENIERÍA DEL AGUA

La protección contra los riesgos hídricos



Propuesta metodológica

- ❑ Dentro del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación de las comarcas de la Marina Alta y de la Marina Baja:
 - Estimación frecuencia de las Pd máximas anuales
 - Construcción de un modelo estocástico de tormentas y generación sintética de un número elevado
 - Implementación de un modelo hidrológico
 - Análisis del estado de humedad inicial diaria
 - Asignación de probabilidad final mediante estadístico multivariado **en más de 200**





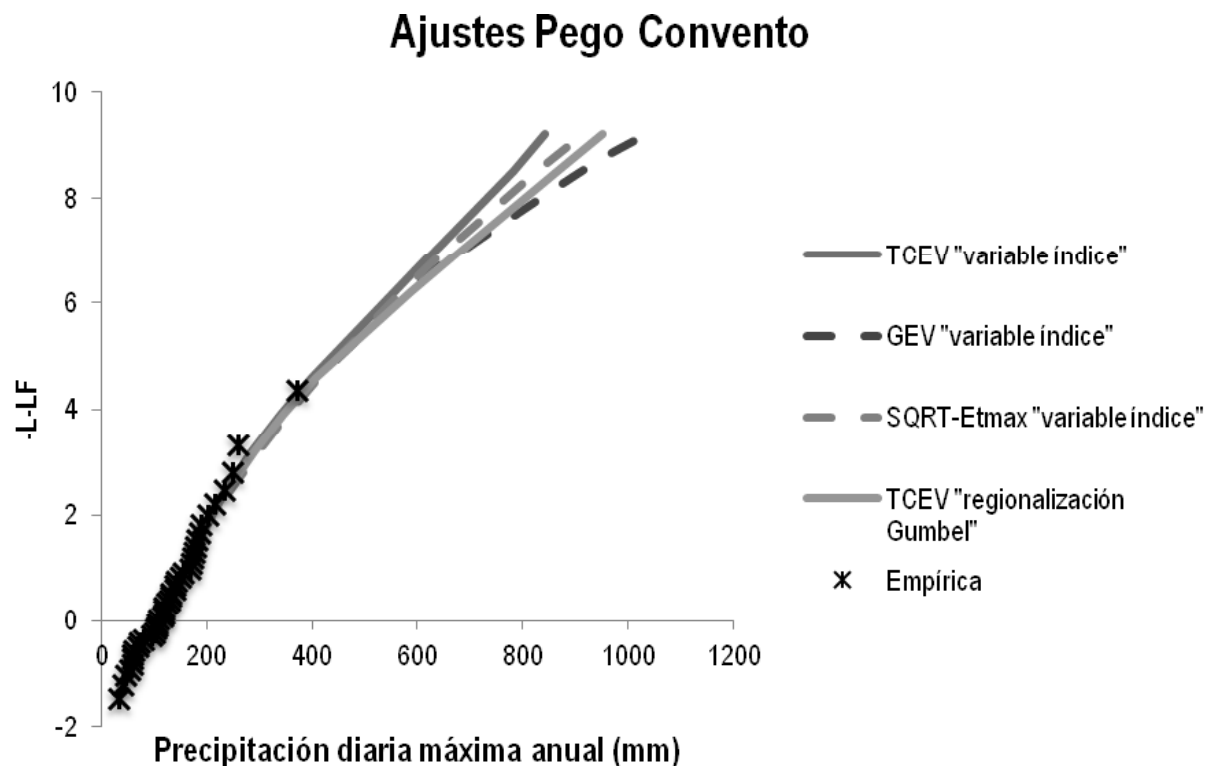
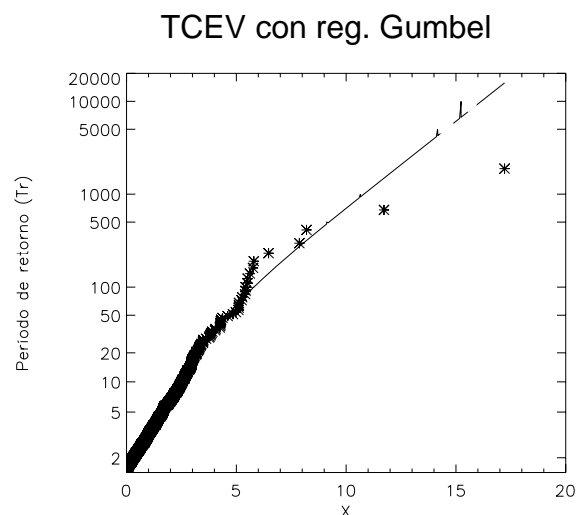
Estudio de la Pd máxima anual

- ❑ Análisis regional con 45 estaciones AEMET y SAIH => 1054 años equivalentes
- ❑ Comprobación homogeneidad mediante test de Fisher sobre el coeficiente de variación
- ❑ Modelos:
 - Regionalización por variable índice + diversas cdfs (incluyendo con límite superior)
 - Regionalización Gumbel y ajuste TCEV



Estudio de la Pd máxima anual

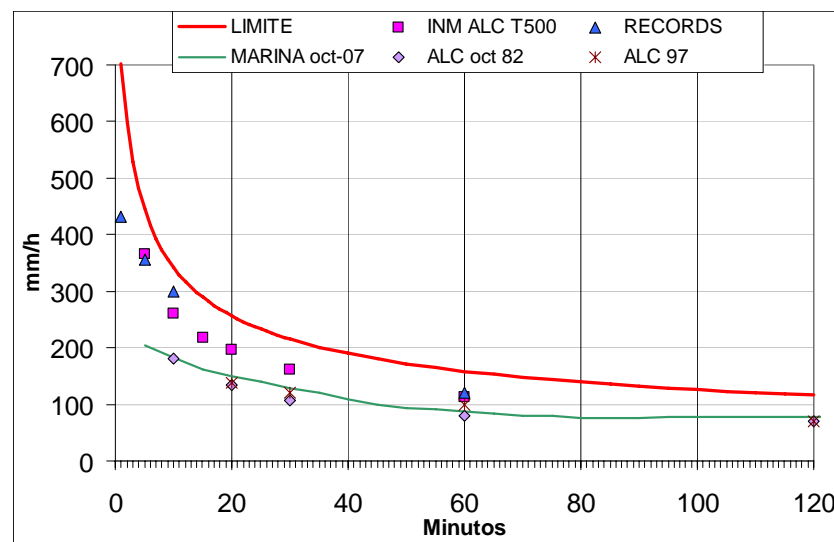
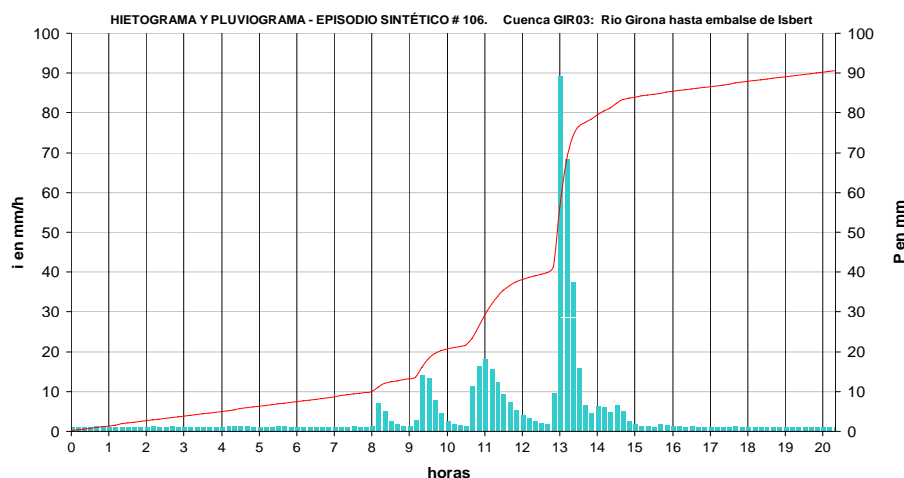
□ Resultados:





Generación de tormentas sintéticas

- Con el modelo estocástico **RAINGEN** se generaron unas 500 tormentas sintéticas en una cuadrícula de 60x65 km con discretización de 1km y 10 min

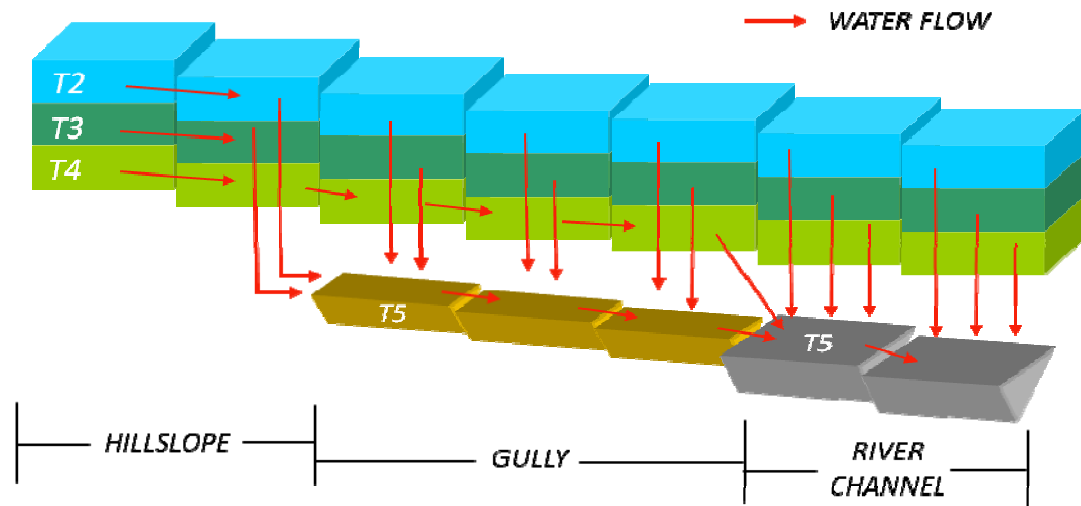


... y se seleccionaron 368



Modelo hidrológico: TETIS v8

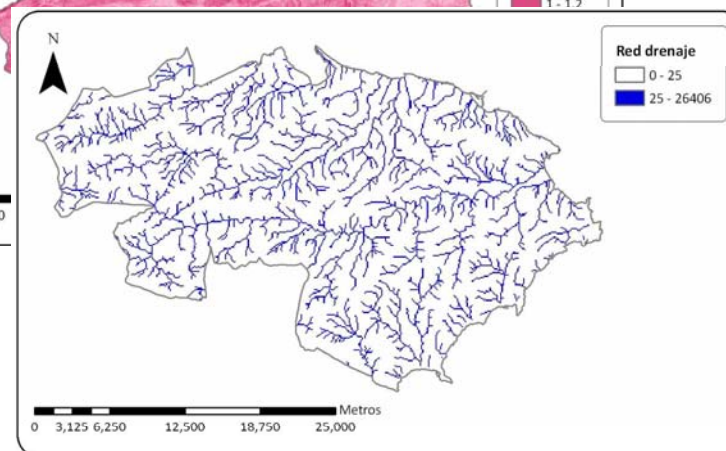
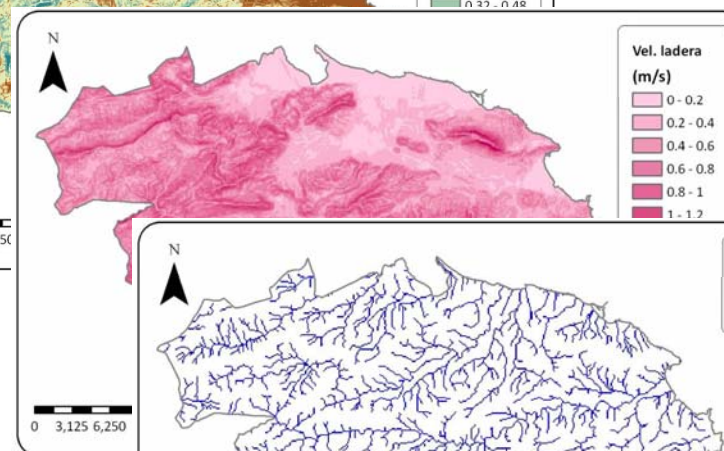
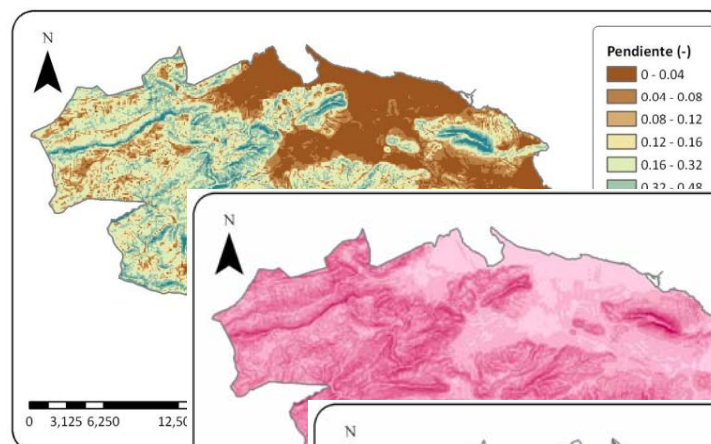
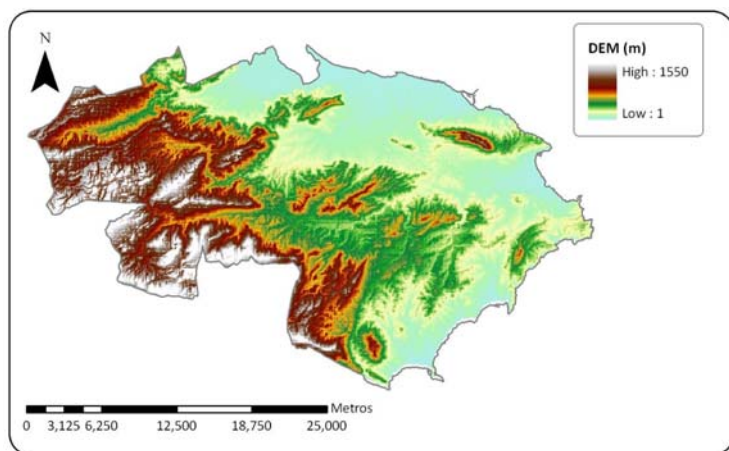
- ❑ Desarrollado por la UPV desde 1994 (v 8.2.7 en la web)
- ❑ Distribuido en el espacio:
 - => Reproducción variab. espacial del Ciclo Hidrológico
 - => Reducción del efecto de escala espacial
 - => Explotación de toda la información existente





Modelo hidrológico: TETIS v8

- ❑ Estimación de parámetros espaciales
 - Derivados del MED:

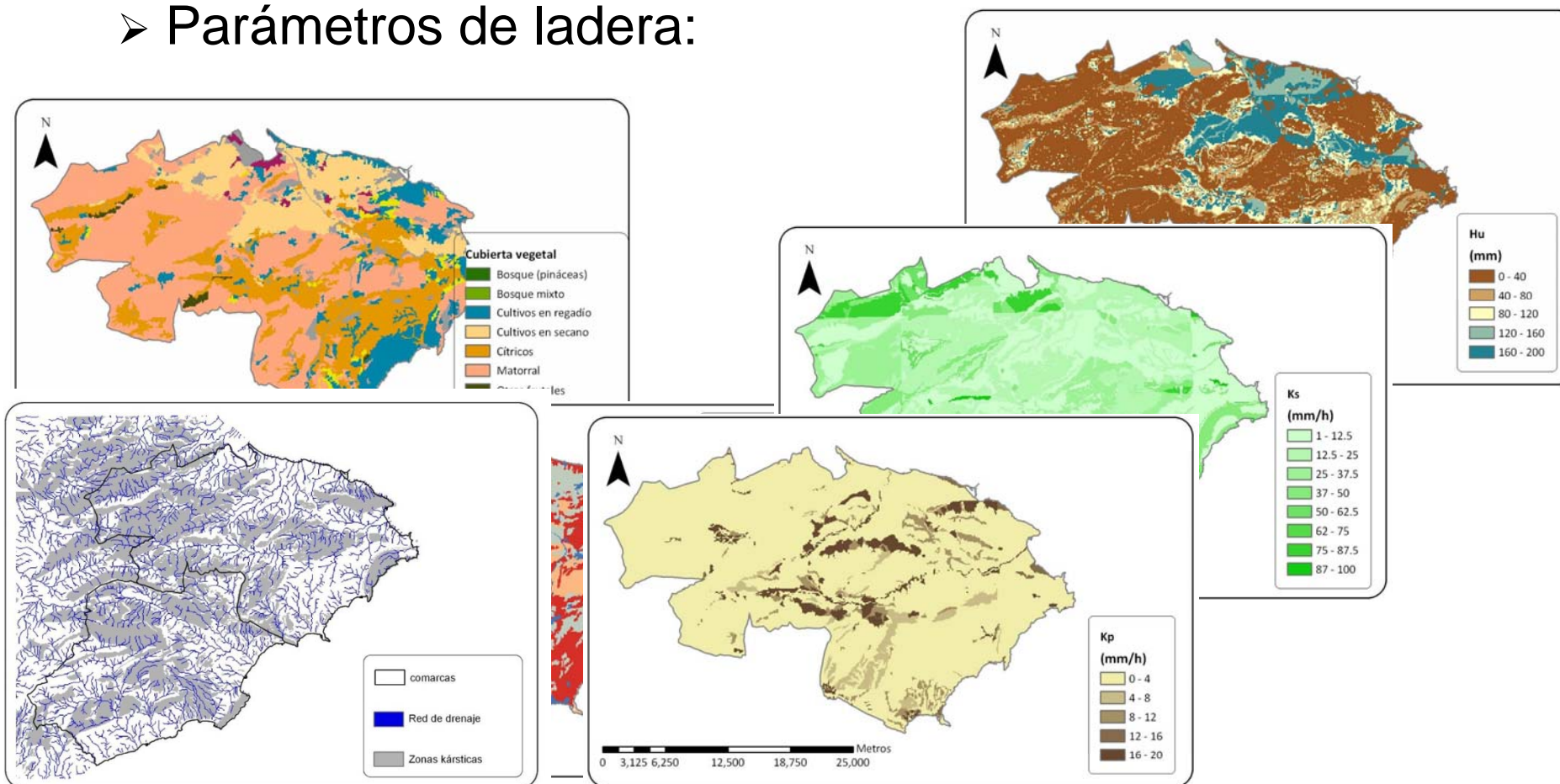




Modelo hidrológico: TETIS v8

□ Estimación de parámetros espaciales

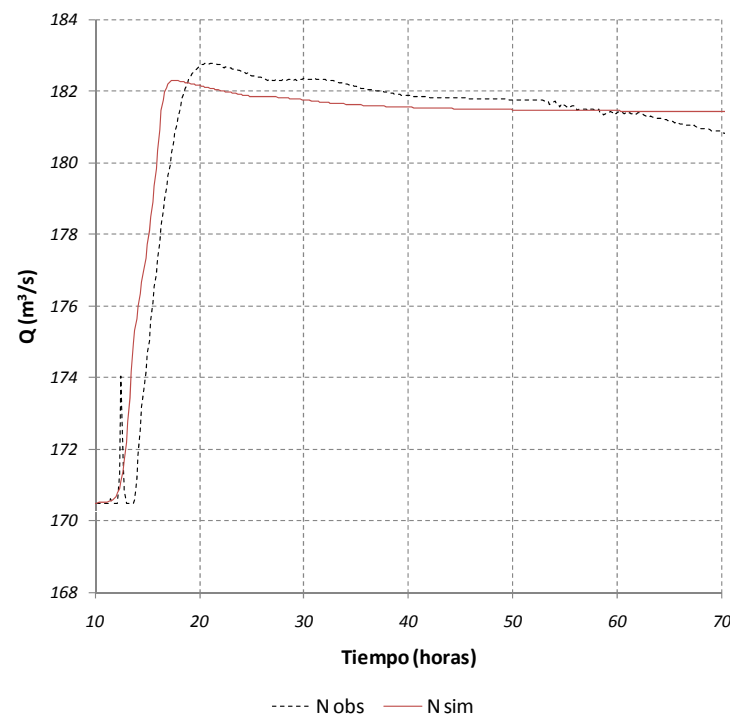
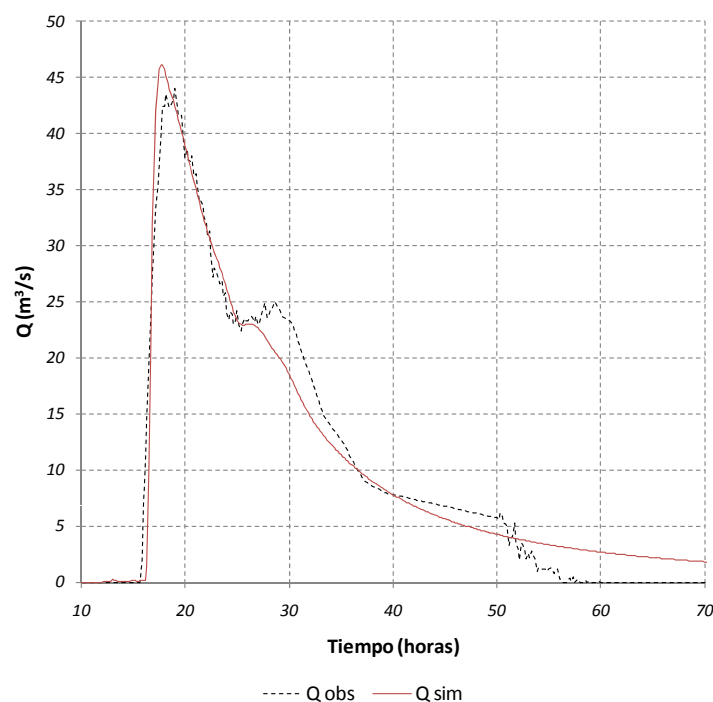
➤ Parámetros de ladera:





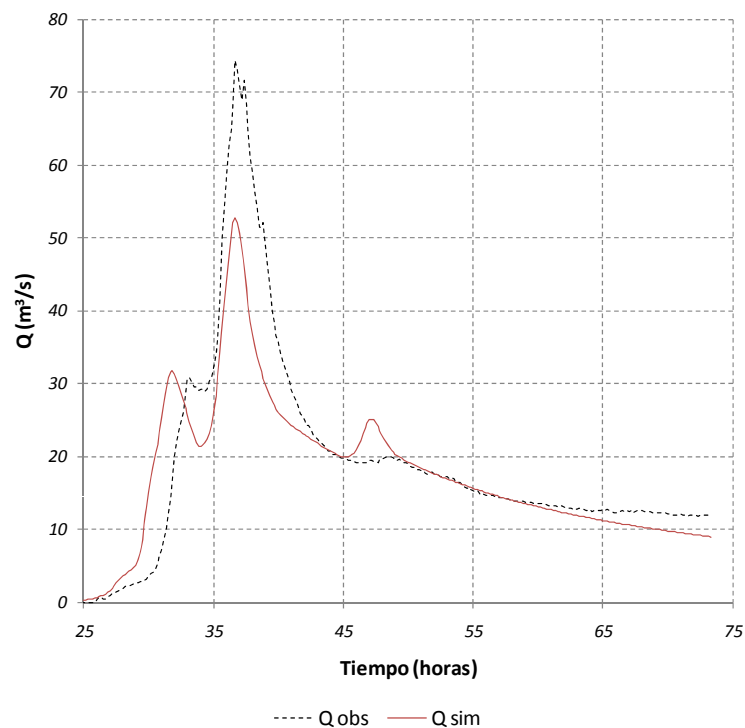
Modelo hidrológico: TETIS v8

- ❑ Calibración: Caudal salida y nivel en embalse simulado y observado del evento de Abril 2003 en la estación SAIH “Isbert”

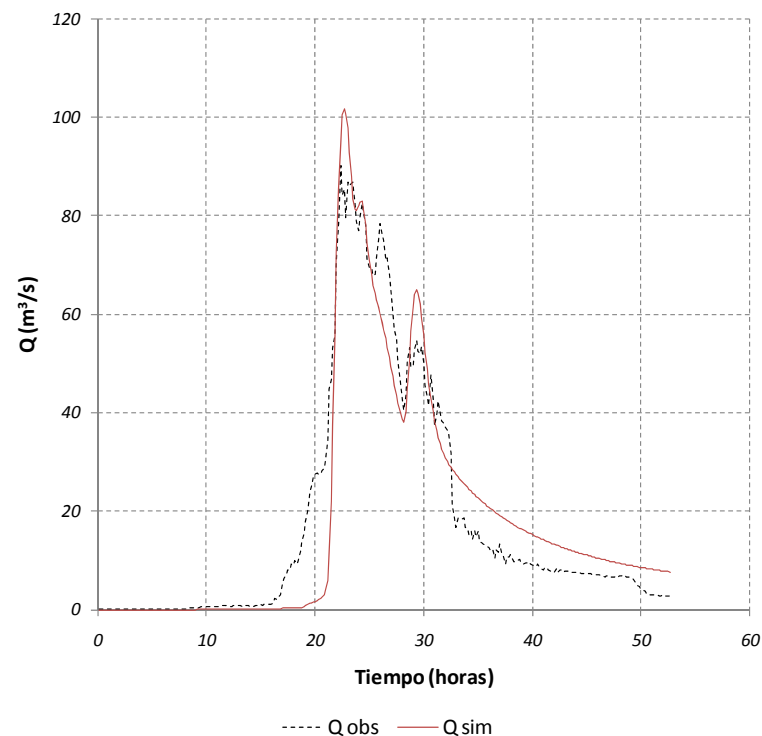




❑ Validación espacio-temporal



Estación de aforo de Marina Baixa, evento de Mayo 2002

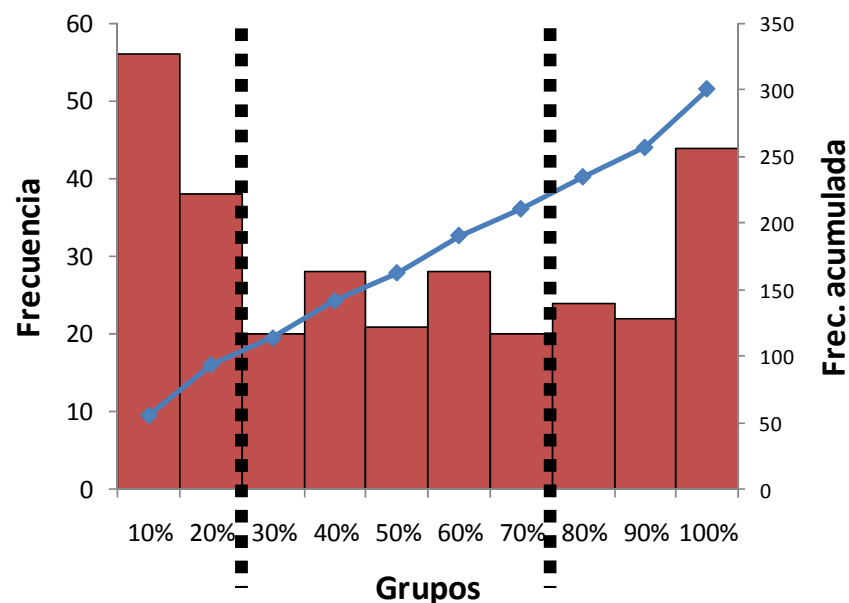


Estación de aforo de Guadalest, evento de Octubre 2007



Análisis estado humedad inicial

- ❑ Ajuste modelo diario en Rambla Gallinera
- ❑ Simulación continua 1943-2010
- ❑ Análisis frecuencia estados para $P_d > 30\text{mm}$
- ❑ 3 estados de humedad:
 - Seco (10%) $P = 0,3$
 - Medio (40%) $P = 0,4$
 - Húmedo (80%) $P = 0,3$

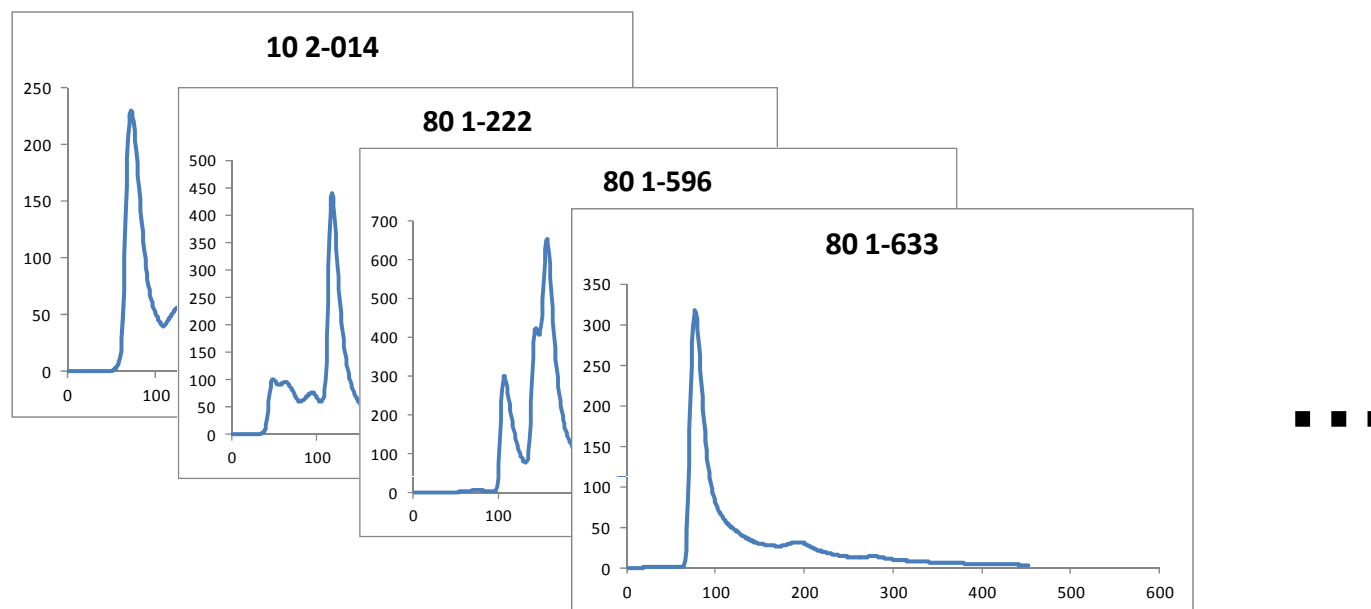


Histograma y distribución acumulada de humedad antecedente en el suelo obtenidos por simulación continua en la Rambla Gallinera



Simulación hidrogramas sintéticos

- ❑ 368 tormentas x 3 estados de humedad = 1104 eventos
- ❑ En algunas cuencas además x escenarios futuros que afecten la hidrología

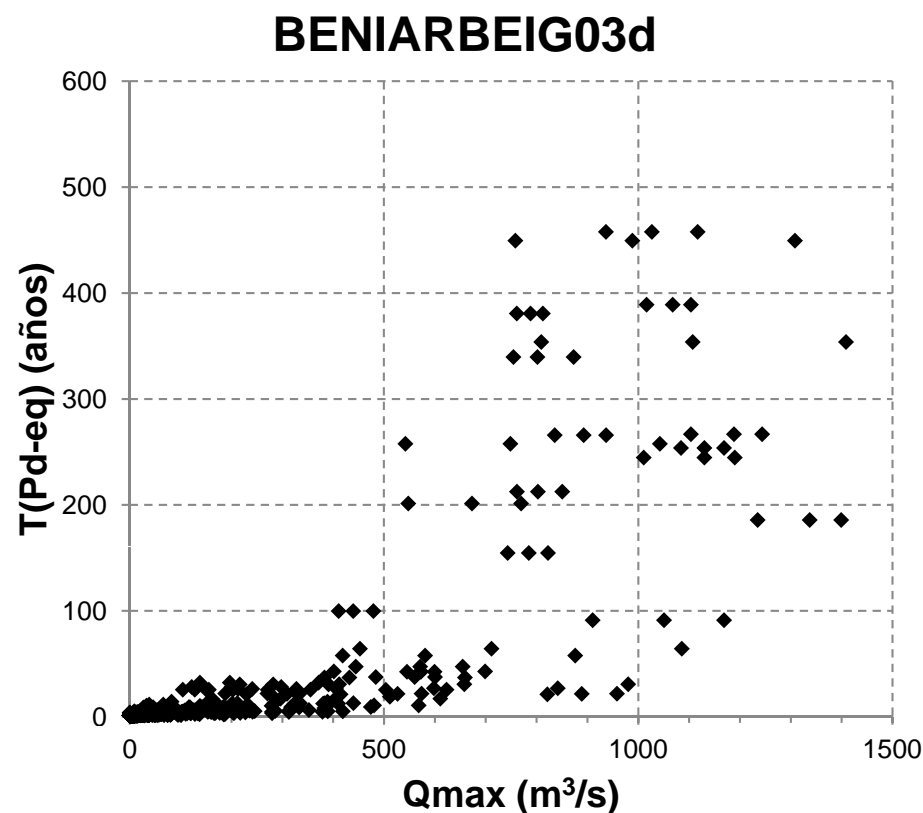
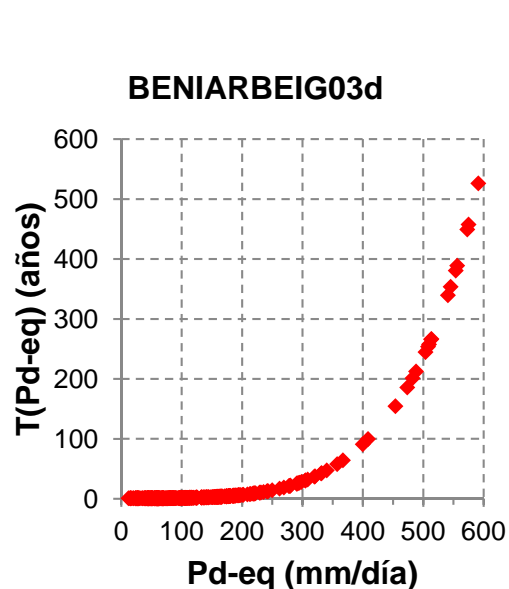


Hidrogramas generados en la desembocadura del Girona (Benairbeig03d)



Caudales pico en función de $T(Pd)$

❑ Resultados en la desembocadura del Girona:



¡El paradigma de la “Tormenta de Diseño” es erróneo e incierto!



Asignación de probabilidad

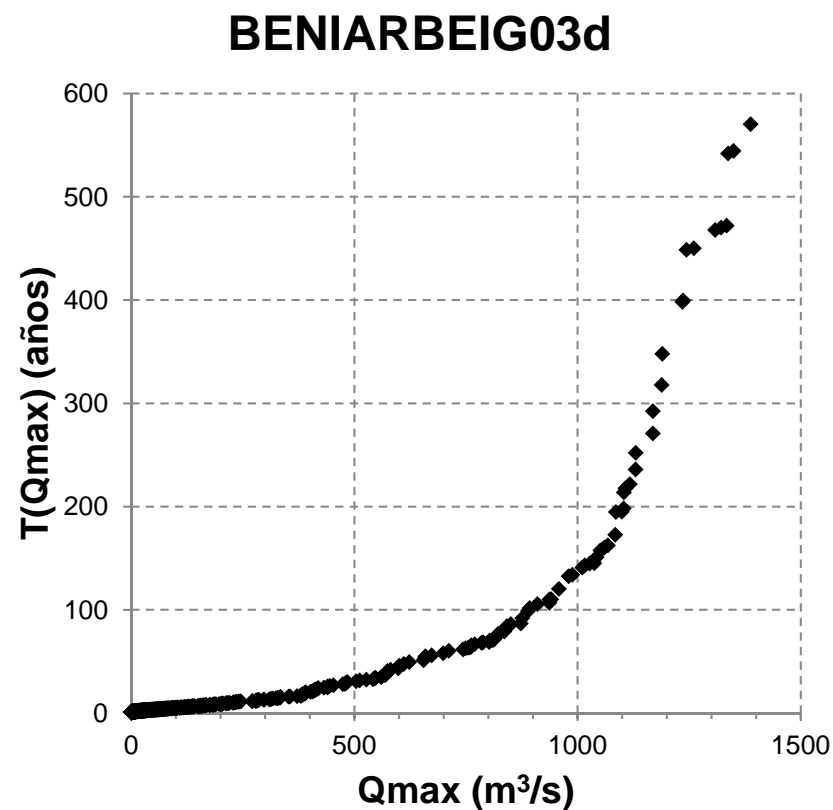
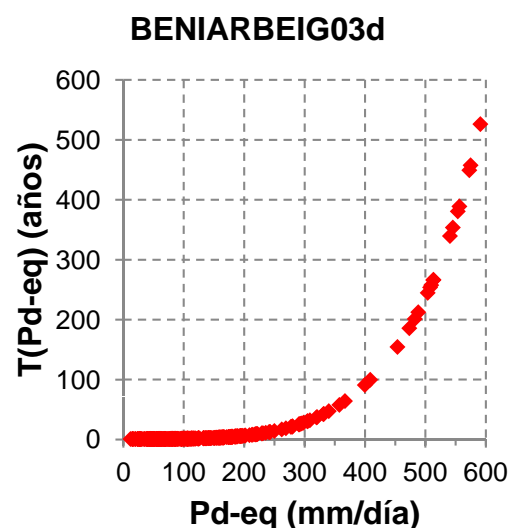
- ❑ Modelo multivariado de:
 - R = precipitación areal máxima de 24 horas
 - X = caudal pico (o variable de interés)
 - M = Estado de humedad inicial del suelo
 - Variable discreta (tres estados en este estudio)
- ❑ Finalmente la distribución marginal empírica de X :
 - Se conocen las marginales de R y M
 - Si M es independiente de R

$$F_X(a) \approx \sum_{j=1}^3 \left\{ P_j \sum_{i=0}^{\infty} \frac{n_{ij}(a)}{N_{ij}} [F(R_{i+1}) - F(R_i)] \right\}$$



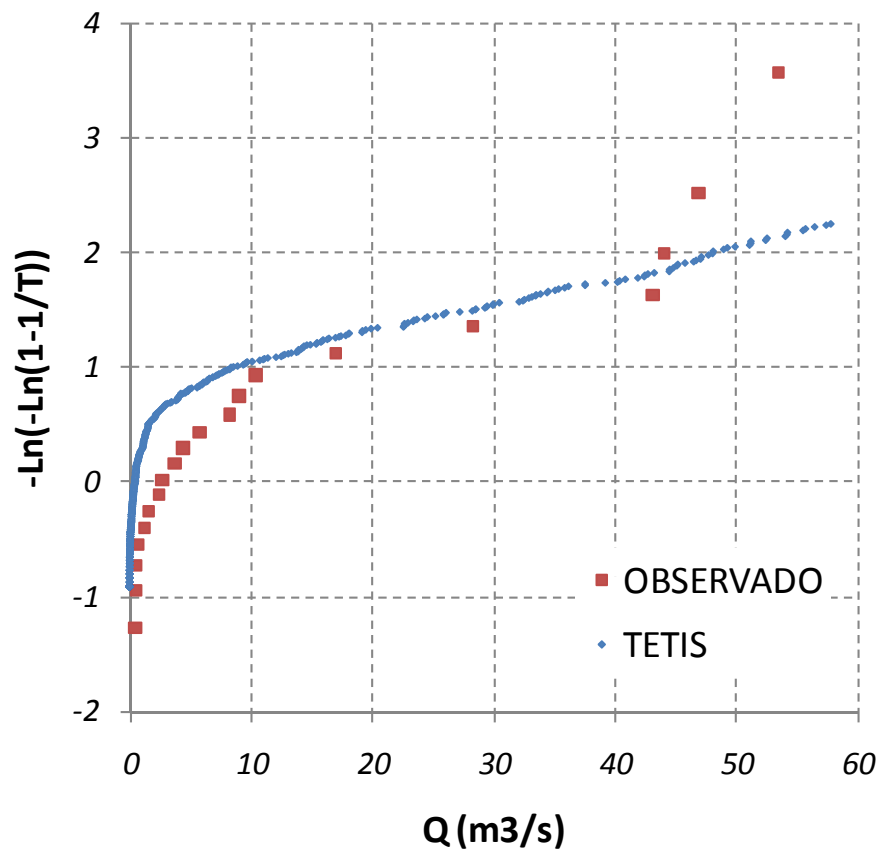
Asignación de probabilidad

- ❑ Función de distribución de probabilidad en la desembocadura del Girona





Validación estadística

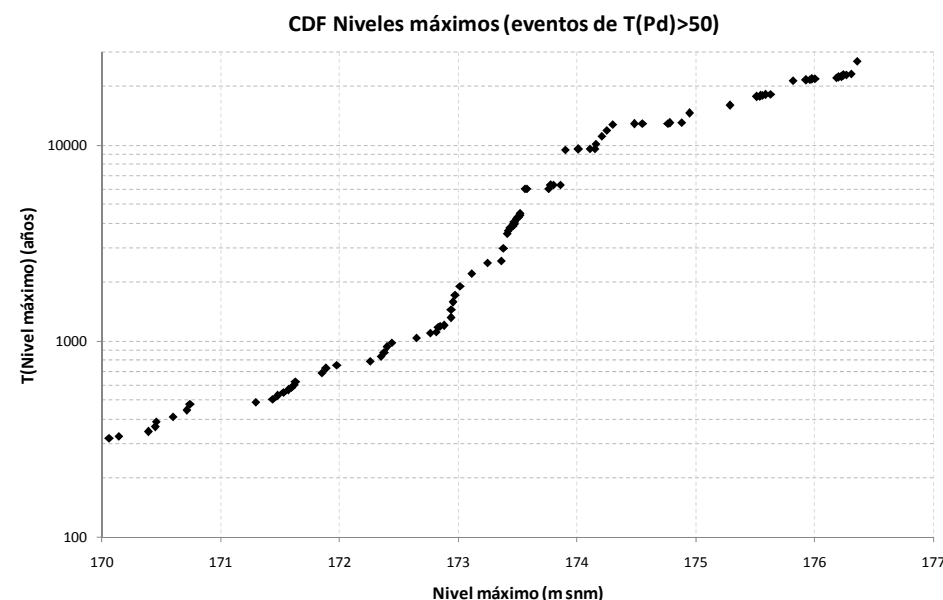
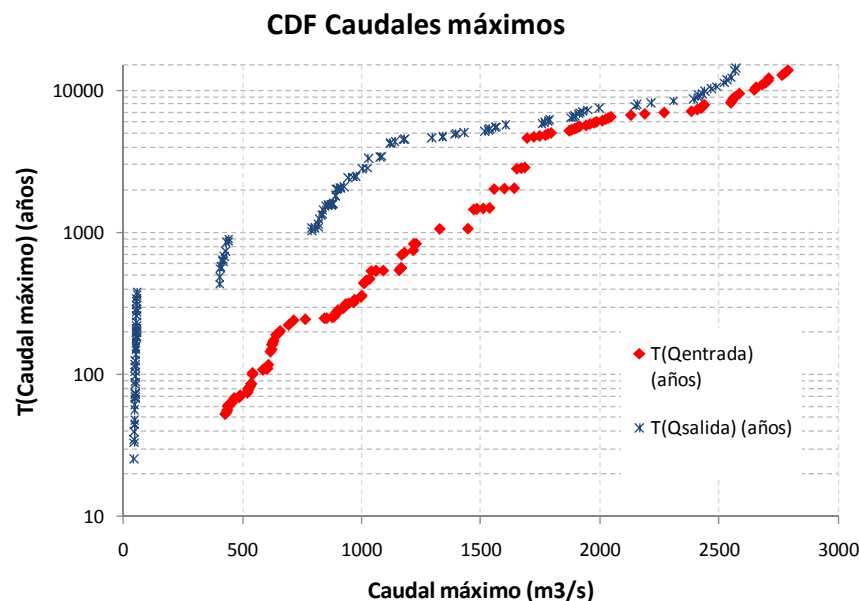


Estación de aforo de Gallinera.
Funciones de distribución empíricas de
los caudales máximos.



Explotación resultados

- ❑ Futuro embalse de Isbert: análisis estadístico variable de interés



¡Abandonar el concepto de Avenidas de Proyecto y Extrema que mantiene el borrador de la NTS de presas!



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Inundaciones costeras



2013

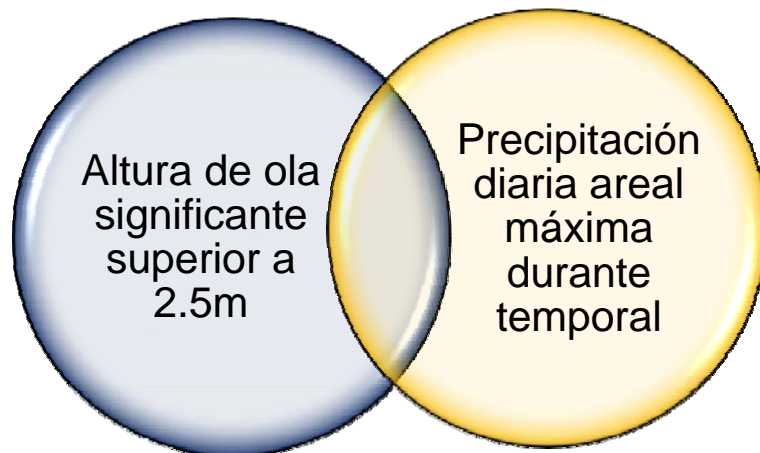
Valencia, 23 y 24 de octubre de 2013

III JORNADAS DE INGENIERÍA DEL AGUA

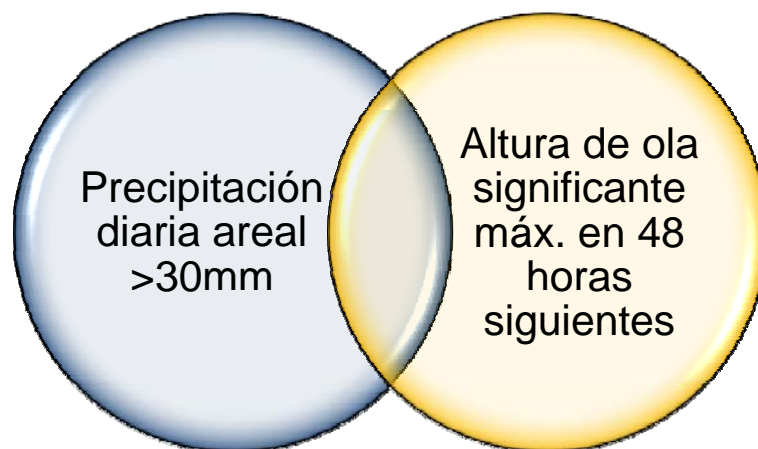
La protección contra los riesgos hídricos



Desembocadura del Girona



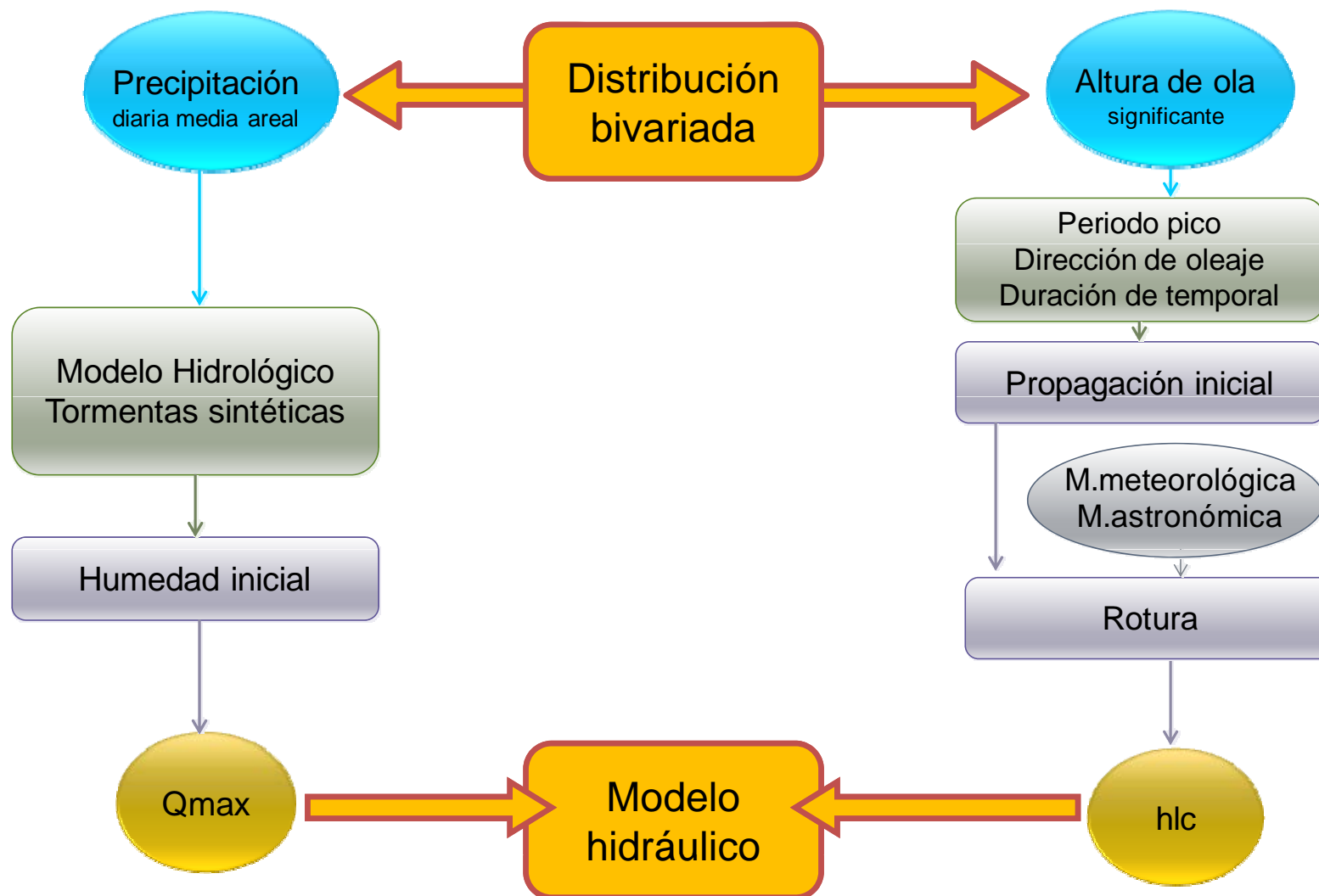
=> Correlación 0,12 y significativa



=> Correlación 0,18 y significativa



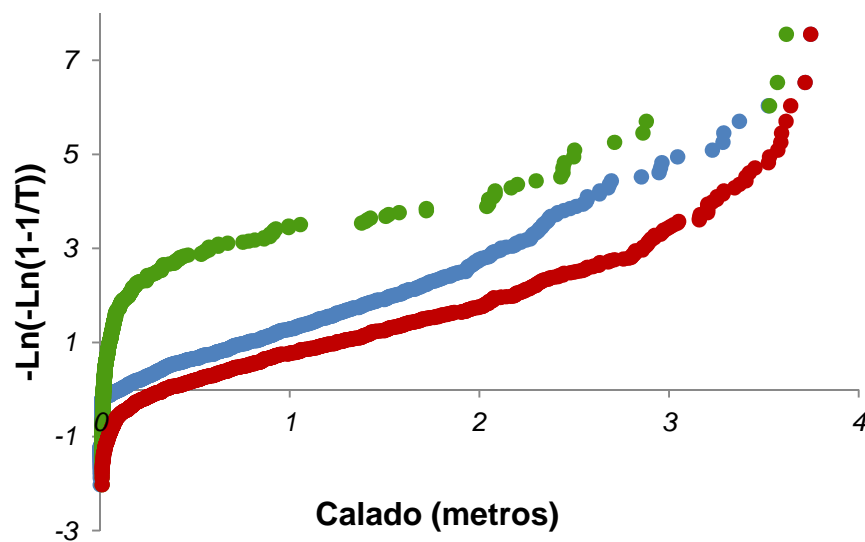
Propuesta de modelación conjunta





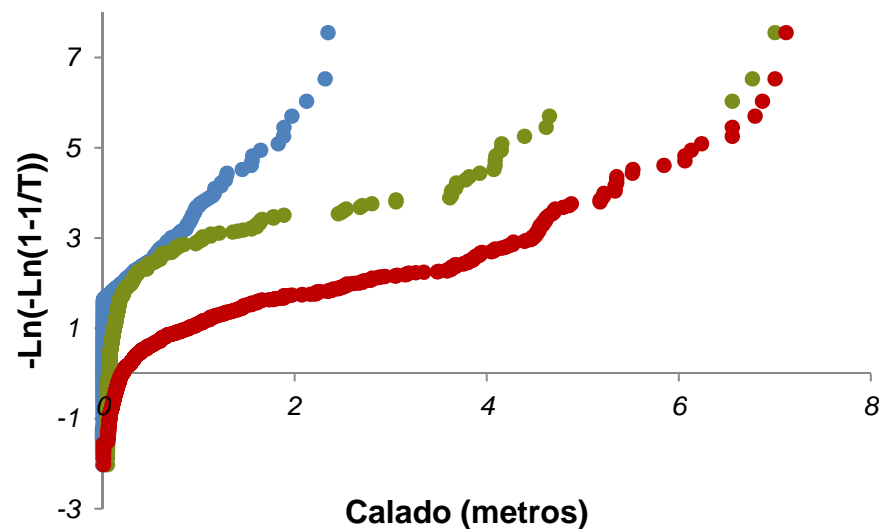
Resultados río Girona

Centro del cauce, Sección 2 – 300 m.



- Temporal marino
- Tormenta terrestre
- Modelo conjunto

Centro del cauce, Sección 3 - 1000 m.





Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estimación de la incertidumbre



2013

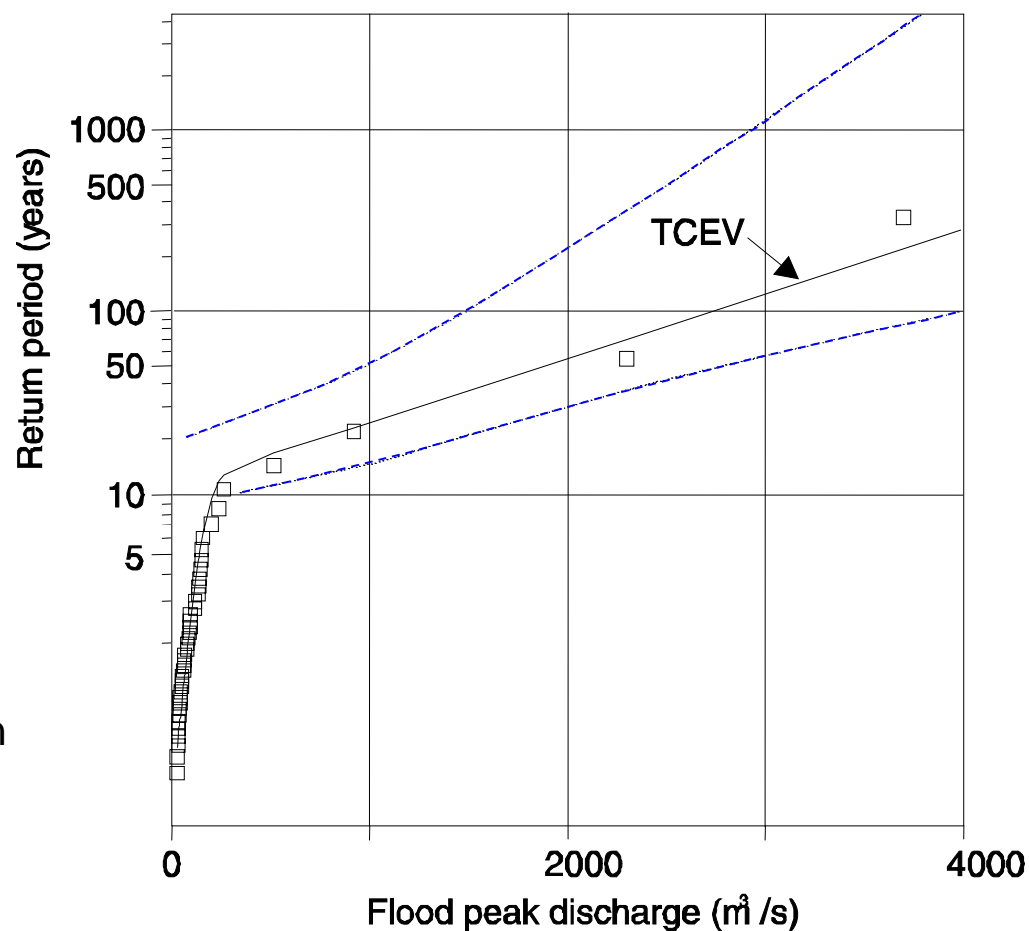
Valencia, 23 y 24 de octubre de 2013

III JORNADAS DE INGENIERÍA DEL AGUA

La protección contra los riesgos hídricos



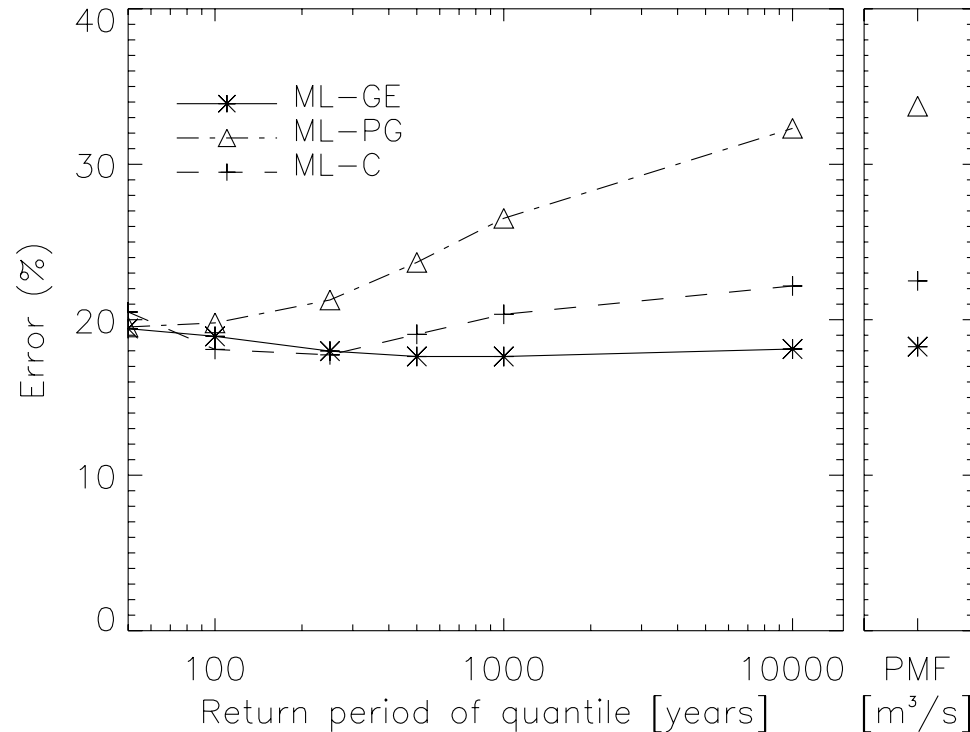
- Estimación matemática de la varianza del estimador (o de su varianza asintótica)



Ajuste TCEV al río Turia en
Manises con intervalos de
confianza del 95 %



□ O mediante simulación por Monte Carlo



$$E(\%) = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\theta_i - \theta)^2}}{\theta} \cdot 100$$

EV4 quantile uncertainty in Jucar River.

Simulations with:

N = 50 years

M = 400 years

H = 50 years return period

$\gamma_x = 5.77$

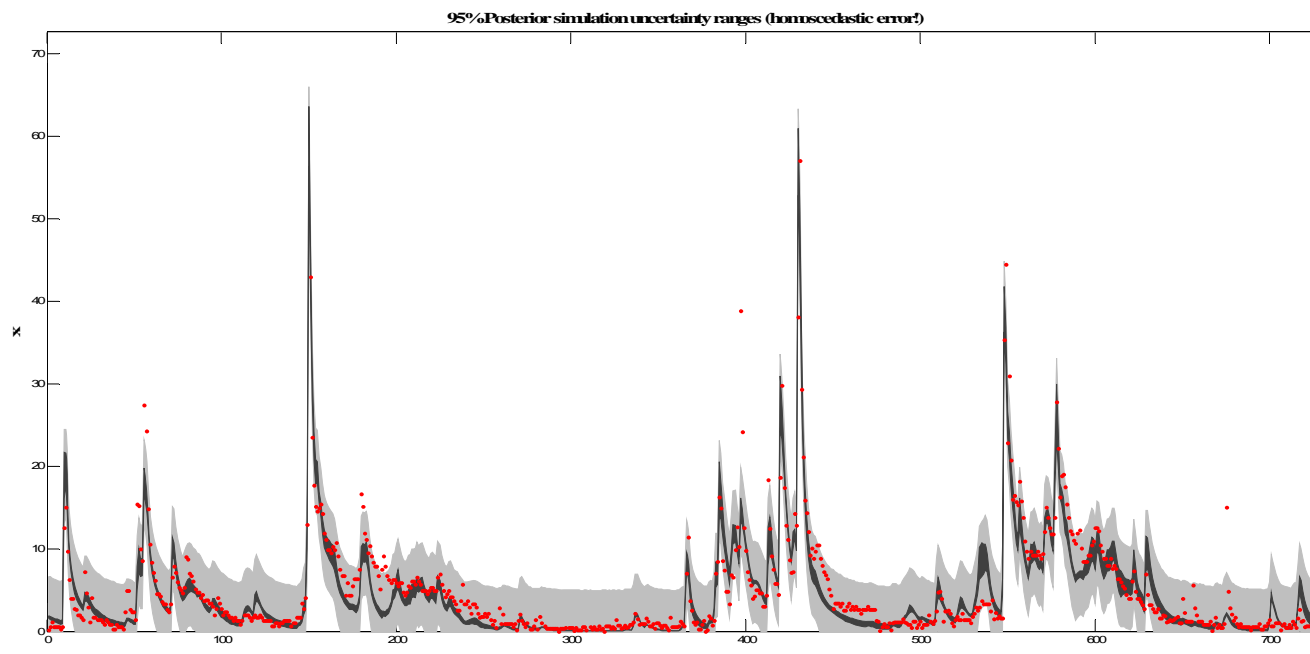
Errors in G with

CV = 0.3

bias = +10%



- ❑ Métodos en GIMHA:
 - *Model Conditional Processor*
(modelo calibrado)

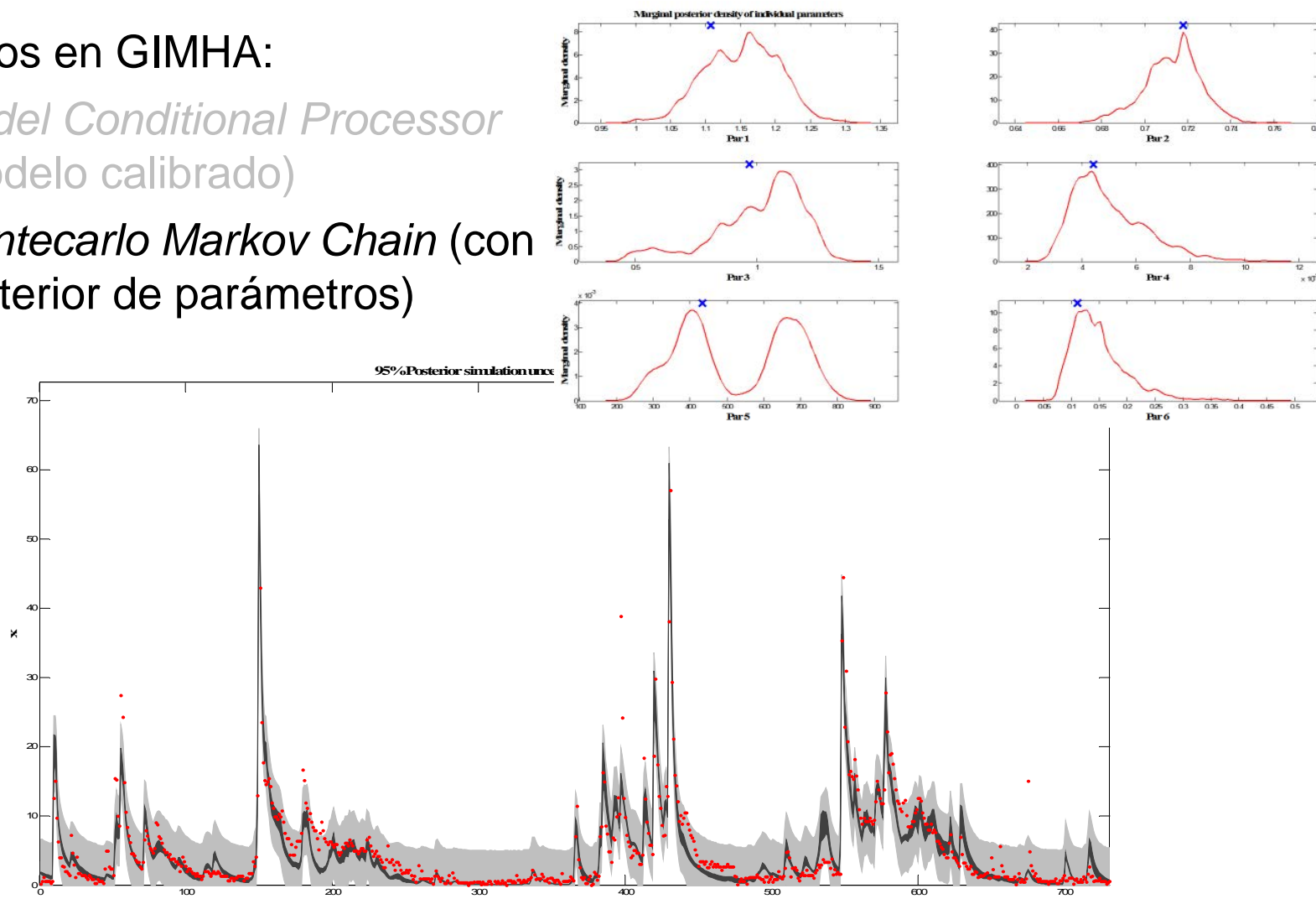




En modelos determinísticos

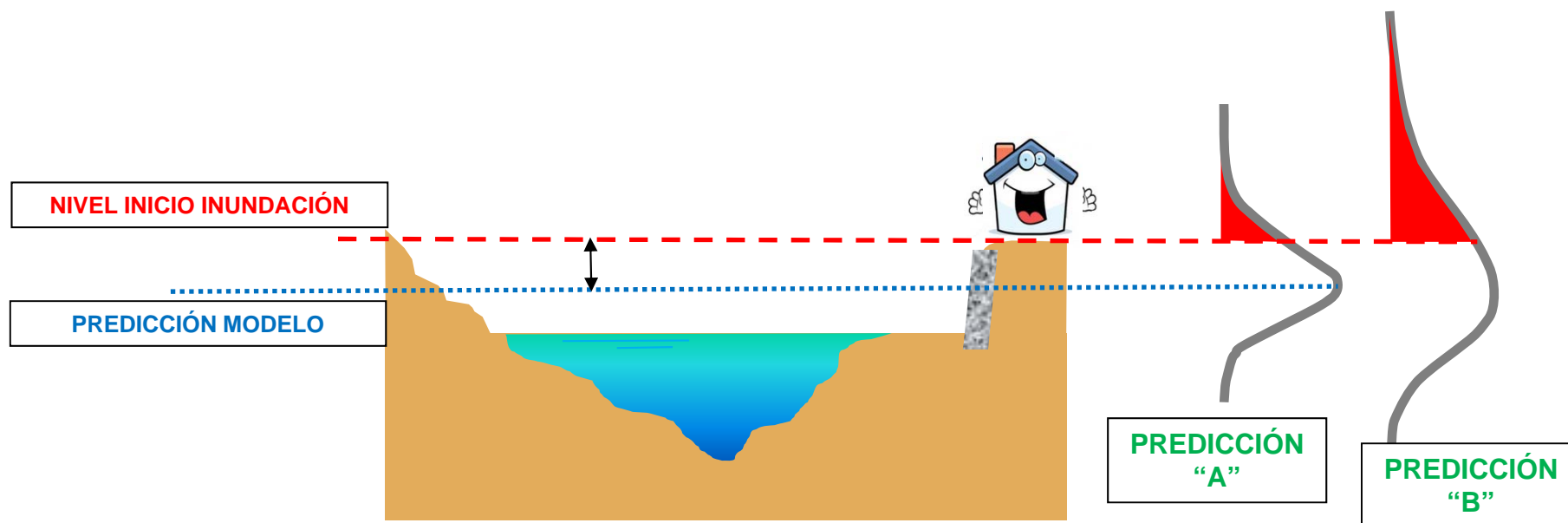
❑ Métodos en GIMHA:

- *Model Conditional Processor* (modelo calibrado)
- *Montecarlo Markov Chain* (con posterior de parámetros)



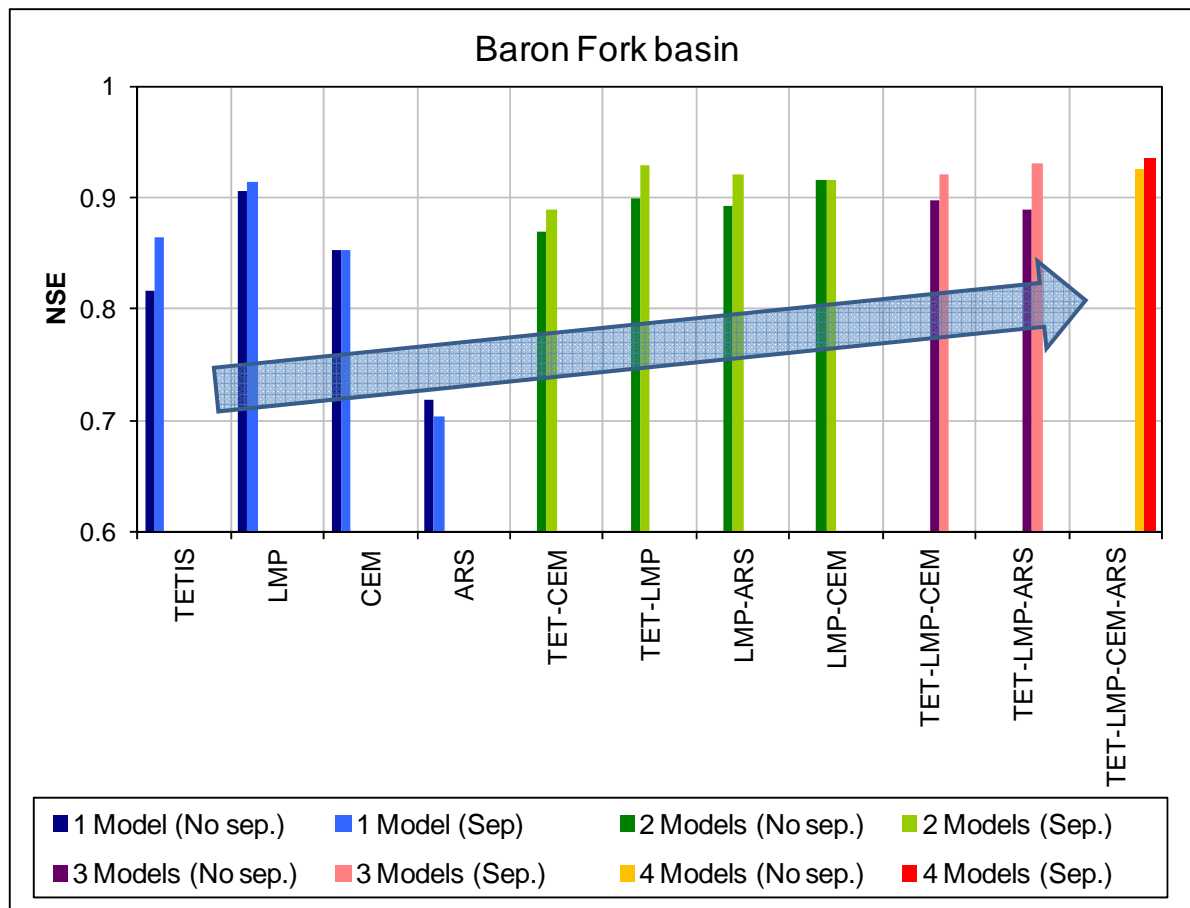


Toma de decisiones con incertidumbre





Combinación de modelos con MCP

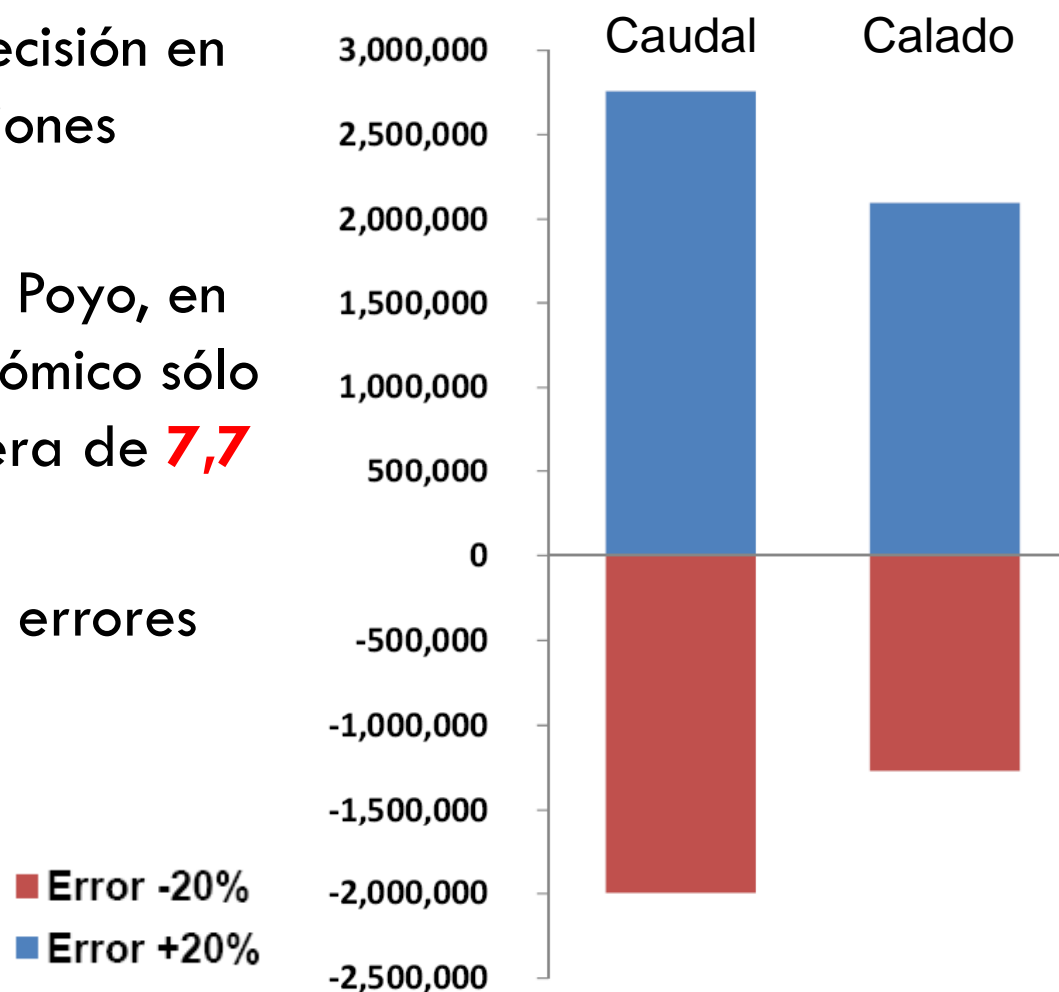


Left bar: all data in a single sample

Right bar: separation of data in two Truncated Normal Joint distributions



- ❑ Exigible la máxima precisión en función de las implicaciones económicas y sociales
 - En ZI de Rambla del Poyo, en 2006 el riesgo económico sólo por daños directos era de **7,7 millones de €/año**
 - La sensibilidad a los errores es:





UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

GIMHA
Grupo de Investigación de Modelación
Hidrológica y Ambiental



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Prof. Félix Francés (f frances@hma.upv.es)

Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y
Ambiental (GIMHA)

<http://lluvia.dihma.upv.es>



Cañete (Cuenca), 2011



Tabasco (México), 2008



Pakistán, 2010



2013

III JORNADAS DE INGENIERÍA DEL AGUA

Valencia, 23 y 24 de octubre de 2013

La protección contra los riesgos hídricos