ESTIMACIÓN DE CRECIDAS DE ALTO PERÍODO DE RETORNO MEDIANTE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN CON LÍMITE SUPERIOR E INFORMACIÓN NO SISTEMÁTICA

Tesis doctoral presentada por:

Blanca Adriana Botero Hernández

Dirigida por: Dr. Félix Francés

LLAMADA a los ingenieros e hidrólogos a la estimación precisa de la probabilidad de ocurrencia de crecidas extremas

NECESIDAD real de: Evaluación
Diseño
Planeación

EVITAR pérdidas humanas y económicas
(Inundación de poblaciones, daños a obras civiles, daños agrícolas, daños medioambientales… CATÁSTROFES)

- Según proyecto → **estimar crecidas de mayor o menor probabilidad de ocurrencia**

- Crecidas de menor probabilidad de ocurrir **asociadas a proyectos o situaciones críticas** como: Grandes presas, emplazamiento de plantas nucleares, protección de ciudades contra inundaciones y otras donde algún fallo produciría grandes pérdidas económicas, humanas y medioambientales

- En algunos proyectos de este tipo es necesaria la estimación de la crecida máxima probable, **PMF**

Problemas en la estimación de crecidas, entre otros:

Incertidumbre en la estimación, asociada a la longitud relativamente corta de los registros. Menor que el Tr de la crecida de interés…

… extrapolaciones

Límite físico para las crecidas que se pueden dar en una cuenca de características climáticas e hidrológicas determinadas. No incorporado en el análisis

Varias técnicas existentes para mejorar la estimación, entre ellas:

- Extender la longitud del período con información: introduciendo datos adicionales al registro de la estación de aforo. Información No Sistemática

- Introducir límite: funciones de distribución con límite superior

¿Es posible mejorar la estimación de las crecidas de alto período de retorno utilizando información No Sistemática y funciones de distribución con límite superior?

OBJETIVOS

- Estructurar una metodología para la estimación de crecidas de alto período de retorno con funciones de distribución con límite superior e información No Sistemática

- Análizar el comportamiento de las funciones. Habilidad descriptiva, predictiva

- Establecer el error de los estimadores al usar esta metodología

- Determinar condiciones y recomendaciones de uso

- **CONCEPTOS FUNDAMENTALES**
- **METODOLOGÍA**
- **APLICACIÓN**
- **ANÁLISIS DEL ERROR**
- **CONCLUSIONES**

Conceptos Fundamentales:

- Crecidas de alto período de retorno
- Funciones de distribución con límite superior
- Información No Sistemática

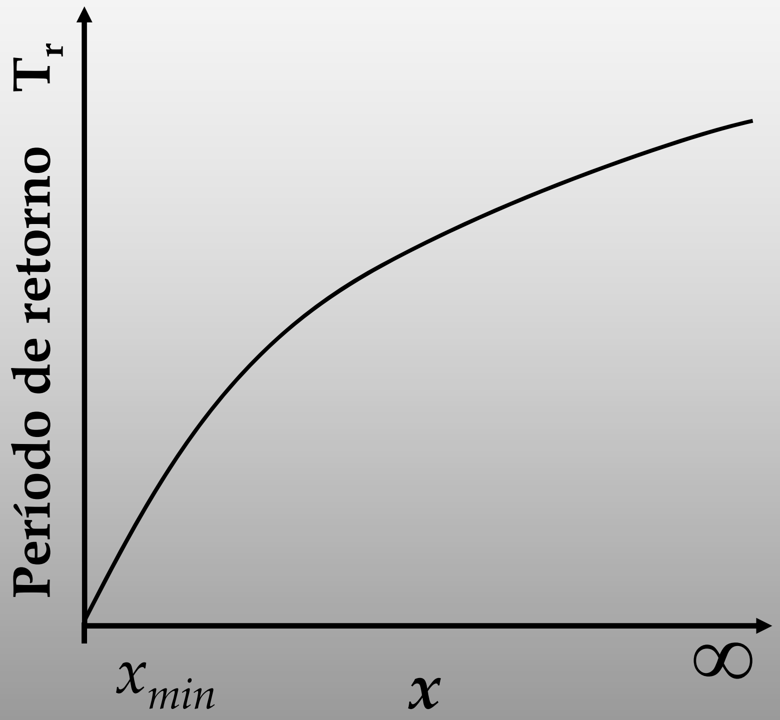
Crecidas de Alto Período de Retorno

Según el interés del proyecto:

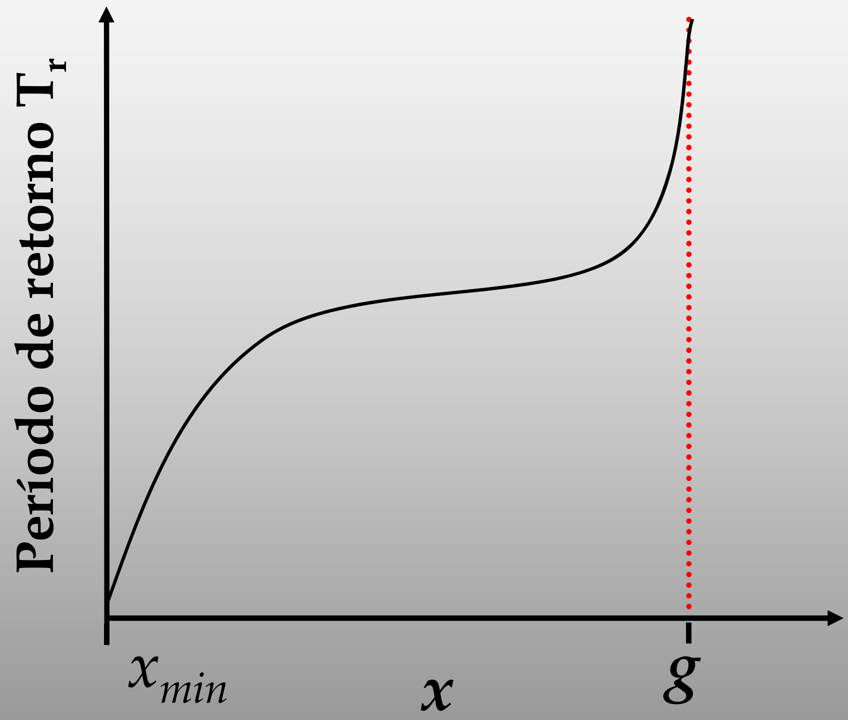
Probabilidad de ocurrencia anual	Período de retorno (Tr) [años]
$\leq 10^{-3}$ (NRC, 1988; Naghettini et al., 1996)	≥ 1000
$\leq 2 \times 10^{-3}$ (England et al., 2003)	≥ 500

Funciones de Distribución con Límite Superior

Sin límite



Con límite



$$F(x) < 1 \qquad x < \infty$$

$$F(x) \rightarrow 1 \qquad x \rightarrow \infty$$

$$F(x) < 1 \qquad x < g$$

$$F(x) = 1 \qquad x \geq g$$

Funciones con límite superior utilizadas en hidrología de extremos:

Precipitación (Eliasson, 1994 y 1997; Takara y Loebis,1996;Takara y Tosa, 1999)
Caudales (Takara y Tosa, 1999). Todos reportan aumento de precisión en la estimación de los cuantiles

EV4 (**Función de Distribución de Valor Extremo de 4 Parámetros**)

TDF (Función de Distribución de Valor Extremo Transformada)

LN4 (Función de Distribución LogNormal de 4 Parámetros)

Función de Distribución EV4

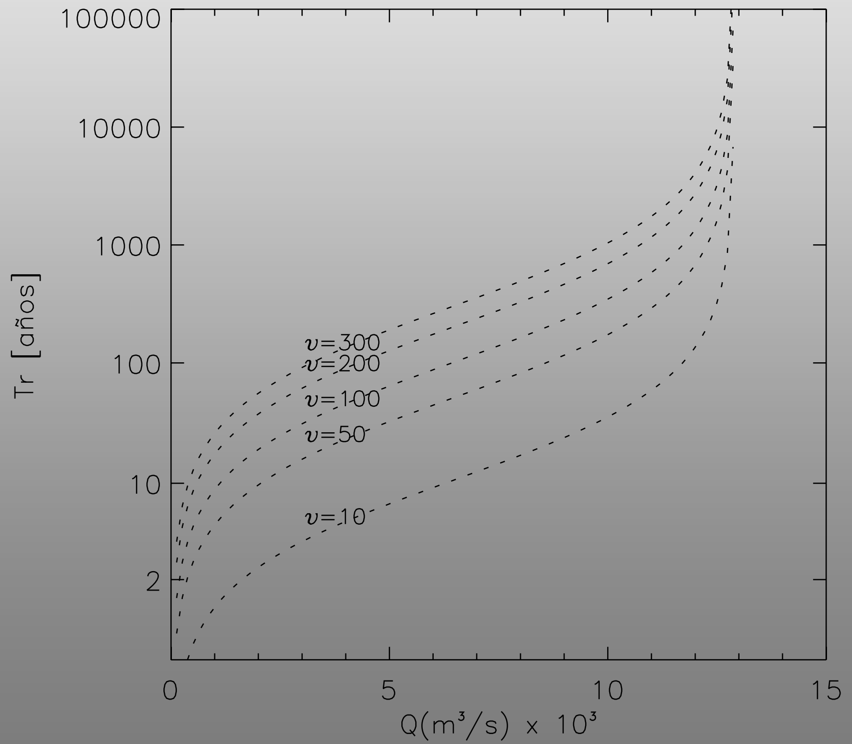
$$F(x) = \exp\left[-\left\{\frac{g-x}{v(x-a)}\right\}^k\right]$$

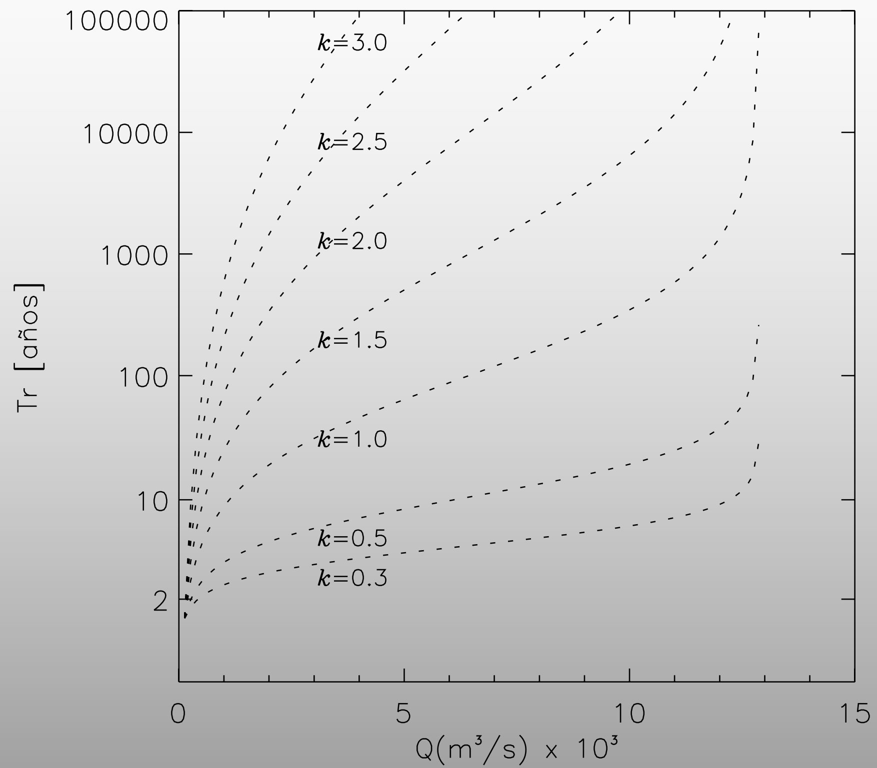
$$F(x) = \exp\left[-\left\{\frac{g-x}{v(x-a)}\right\}^k\right]$$

- **Pertenece a la familia de las distribuciones de valor extremo**
- **Formulada a partir de las funciones EV tipo II y tipo III**
- **Propuesta por Kanda (1981)**
- **Utilizada por primera vez en Hidrología por Takara y Tosa (1999)**

Función de Distribución EV4

Parámetro *v* escala





Parámetro *k* forma

Gumbel: $F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\left(\frac{x}{a}+b\right)\right)\right]$

Variable reducida $y = -\ln\left(-\ln\left[F(x)\right]\right) = \frac{x}{a}+b$

Transformación $y = \frac{x}{a}+b+\frac{k}{\left(\frac{g}{a}+b\right)-\left(\frac{x}{a}+b\right)}$

Transformación

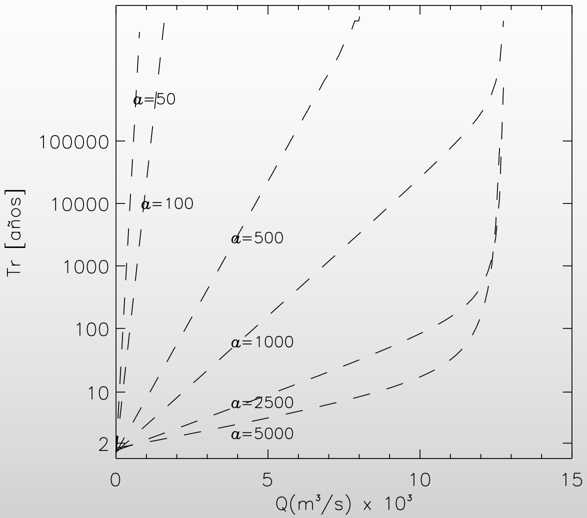
$$y = \frac{x}{a}+b+\frac{k}{\left(\frac{g}{a}+b\right)-\left(\frac{x}{a}+b\right)}$$

Función de Distribución TDF

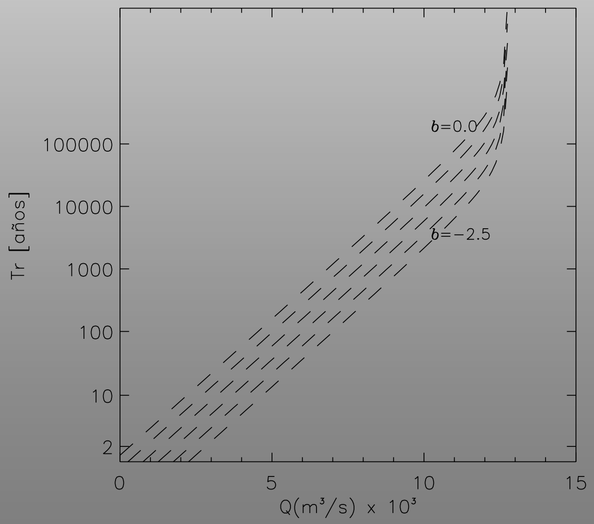
Propuesta por Elíasson (1994)

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-z + \frac{k}{y_{\lim} - z} \right) \right]$$

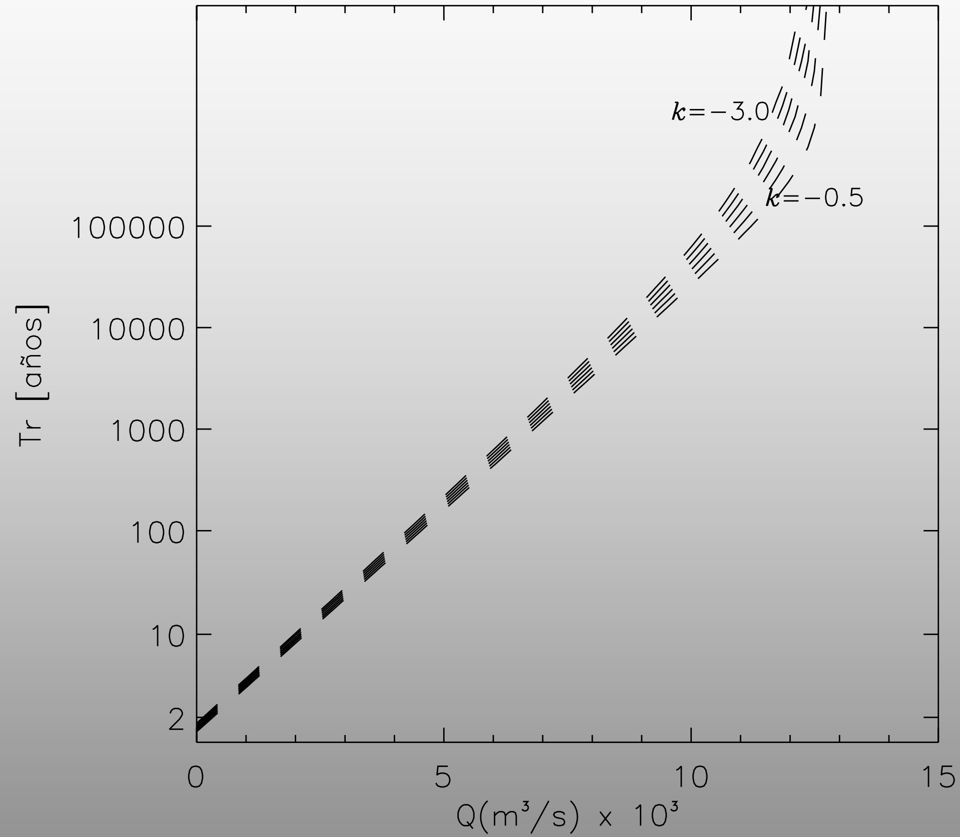
$$z = \frac{x}{a} + b \qquad y_{\lim} = \frac{g}{a} + b$$



a controla la pendiente



b parámetro de localización



***k* parámetro negativo**

Forma de aproximarse al límite

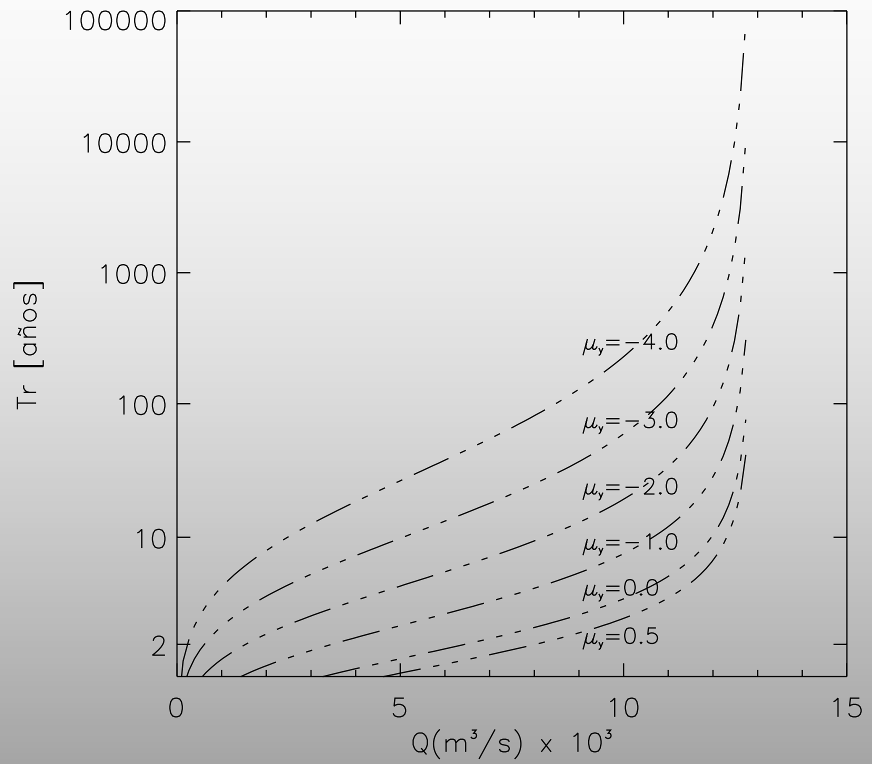
Función de Distribución LN4

Utilizada en Hidrología por Takara y Loebis (1996)

Variable transformada *y*, propuesta por Slade (1936)

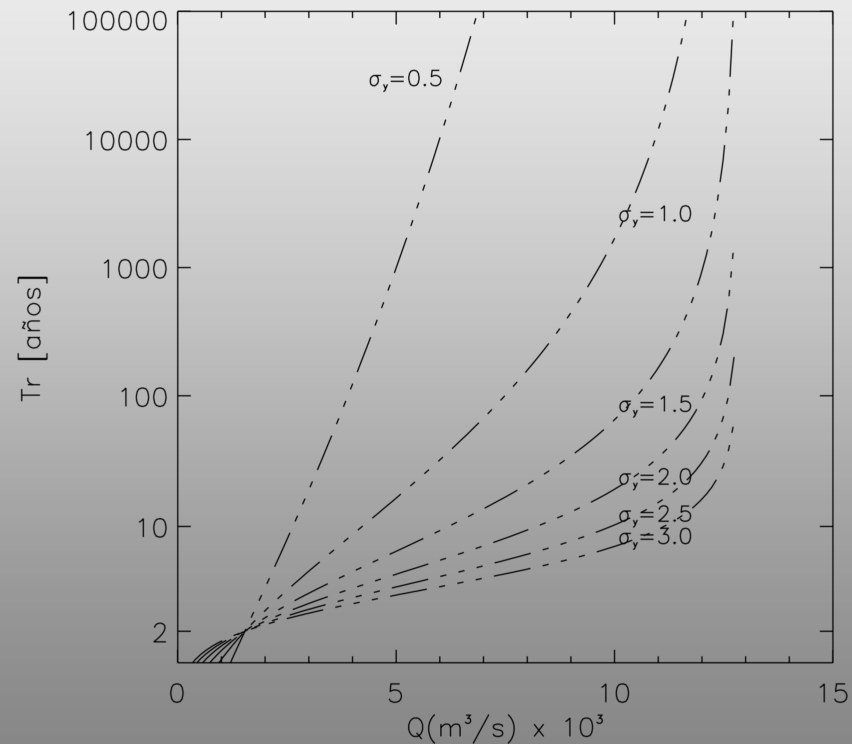
$$y = \ln\left(\frac{x-a}{g-x}\right)$$

$$f(x) = \frac{g-a}{(x-a)(g-x)\sigma_y\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y-u_y}{\sigma_y}\right)^2\right]$$



μ_y localización

σ_y forma



Conceptos Fundamentales

- Crecidas alto período de retorno
- Funciones de distribución con límite superior
- Información No Sistemática

Información No Sistemática

- **Valor de incorporar información No Sistemática en el análisis de frecuencia de crecidas reconocido ampliamente en la literatura. Entre otros por**: Leese, 1973; USWRC, 1982; Stendinger y Cohn, 1986; Stedinger y Baker, 1987; Pilon y Adamowski, 1993; Francés et al., 1994; Cohn et al., 1997; O'Conell et al., 2002; England et al., 2003; Benito et al., 2004a; O'Conell, 2005…

- **Información adicional al registro sistemático de la estación de aforo**

- **Según su origen se clasifica en:**

  Información Histórica

  Información sobre Paleocrecidas

Información Histórica

Información sobre los daños producidos, las fechas y niveles alcanzados, entre otros, por crecidas recopiladas en documentos históricos tales como:

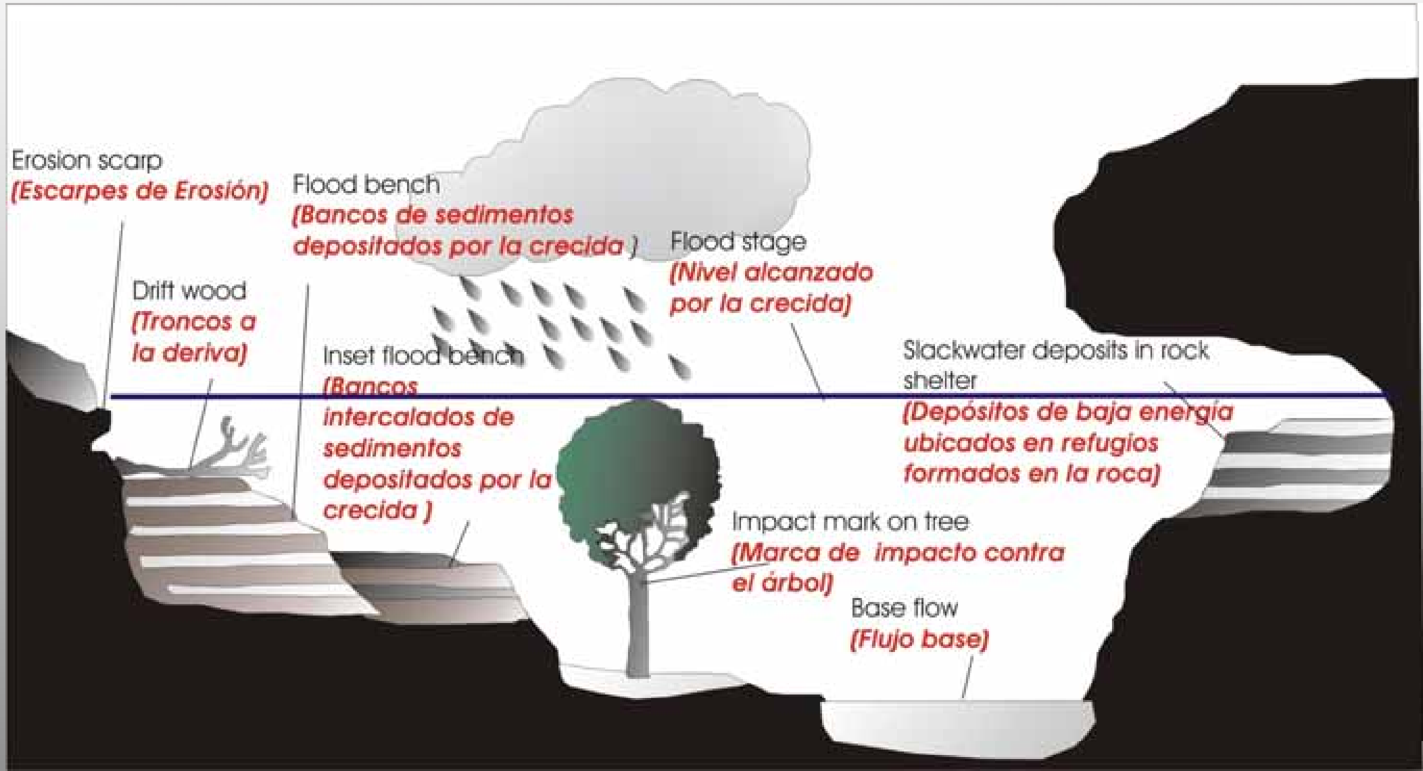
- Eclesiásticos (Archivos parroquiales)
- Archivos municipales
- Otros: Periódicos, Reportes técnicos de daños sufridos por construcciones de la época, Crónicas, Reportes de marcas dejadas por el agua en los edificios locales…

Resultado → Cronología de eventos : Fecha, daños, niveles alcanzados, caudal de la crecida

Historiadores e hidráulicos

Información de Paleocrecidas

Información obtenida de evidencias dejadas por la crecida



Esquema. Sección transversal del cauce y valle de inundación

Tomado de Benito et al. 2004b

Recopilada y analizada por geólogos, geomorfólogos e hidráulicos que finalmente obtienen, fecha, nivel, caudal mínimo…

Información Histórica

Información de Paleocrecidas

Hay información de una crecida porque excedió algún umbral a partir del cual quedó en la memoria de la población, en los documentos históricos o dejó huellas físicas que se conservan hasta ahora

Umbral de percepción X_H

(Stedinger y Cohn, 1986 y Francés et al, 1994)

Información No Sistemática para el análisis estadístico se traduce a grandes rasgos en :

Fecha y magnitud de la crecida
Fecha en que X_H fue excedido

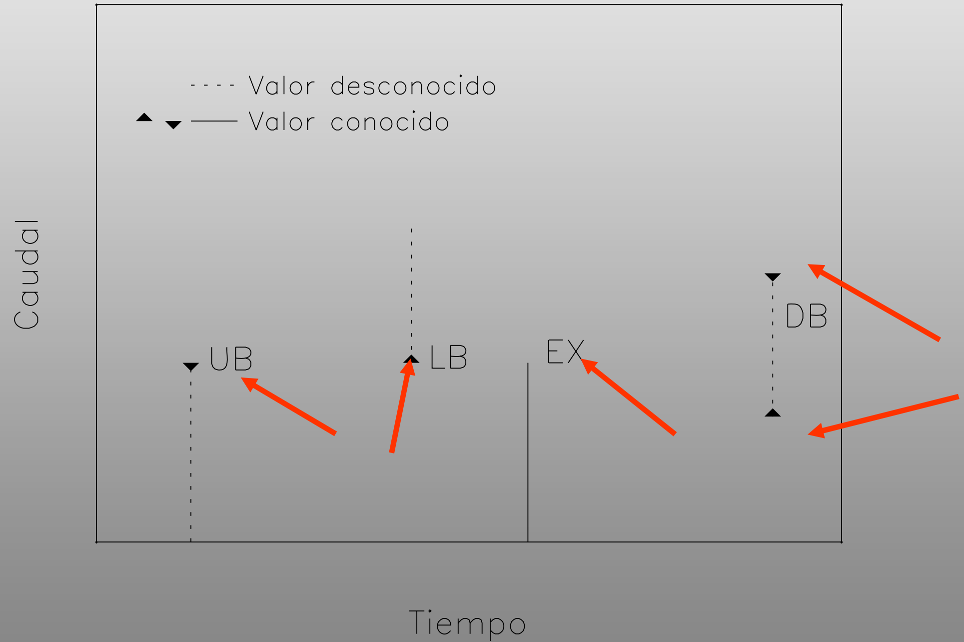
Clasificación de los Datos

EX (Exacto) → Magnitud de la crecida

UB (Upper Bound) → Límite superior no excedido

LB (Lower Bound) → Límite inferior excedido

DB (Double Bound) → Crecida dentro de Intervalo



Si solo UB y EX: Información Censurada (CE)
Si solo UB y LB: Información Binomial Censurada (BC)

- CONCEPTOS FUNDAMENTALES
- **METODOLOGÍA**
- APLICACIÓN
- ANÁLISIS DEL ERROR
- CONCLUSIONES

Estimación de parámetros por Máxima Verosimilitud

- Permite incorporar fácilmente cualquier tipo de dato

- Estimadores más eficientes con muestras largas

Función de verosimilitud *L(Θ)* → **Probabilidad conjunta de ocurrencia de la muestra**

Si variable es i.i.d → **Producto de las probabilidades de ocurrencia de cada observación**

$$L_X(\Theta) = \prod_{i=1}^{n} f_X(x_i, \Theta)$$

***L(Θ)* de muestra con datos EX, UB, DB, LB** → **El producto de la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos**

→ "el aporte de cada tipo de dato"

$$L_X(\Theta) = \prod_{i=1}^{N_{EX}} f_X(EX_i, \Theta) \prod_{i=1}^{N_{UB}} F_X(UB_i, \Theta) \prod_{i=1}^{N_{LB}} [1 - F_X(LB_i, \Theta)] \prod_{i=1}^{N_{DB}} [F_X(UR_i, \Theta) - F_X(LR_i, \Theta)]$$

En el caso de las 3 distribuciones propuestas se desarrolla explícitamente la función de verosimilitud

Función de verosimilitud para la EV4

$$LL_{EX}(\Theta) = N_{EX}\ln(k) + (k-1)\sum_{i=1}^{N_{EX}}\ln(g - EX_i) - (k+1)\sum_{i=1}^{N_{EX}}\ln(EX_i - a) - \sum_{i=1}^{N_{EX}}\left[\frac{g - EX_i}{v(EX_i - a)}\right]^k + N_{EX}\ln(g-a) - N_{EX}k\ln(v)$$

$$LL_{UB}(\Theta) = -\sum_{i=1}^{N_{UB}}\left[\frac{g - UB_i}{v(UB_i - a)}\right]^k$$

$$LL_{LB}(\Theta) = \sum_{i=1}^{N_{LB}}\ln\left[1 - \exp\left[-\frac{g - LB_i}{v(LB_i - a)}\right]^k\right]$$

$$LL_{DB}(\Theta) = \sum_{i=1}^{N_{DB}}\ln\left[\exp\left[-\frac{g - UR_i}{v(UR_i - a)}\right]^k - \exp\left[-\frac{g - LR_i}{v(LR_i - a)}\right]^k\right]$$

Función de verosimilitud para la TDF

$$LL_{EX}(\Theta) = -\sum_{i=1}^{N_{EX}} \exp\left[-\frac{EX_i}{a} + \frac{ak}{g - EX_i} - b\right] - \sum_{i=1}^{N_{EX}} \frac{EX_i}{a} + \sum_{i=1}^{N_{EX}} \frac{ak}{g - EX_i} - Nb + \sum_{i=1}^{N_{EX}} \ln\left[\frac{1}{a} - \frac{ak}{(g - EX_i)^2}\right]$$

$$LL_{UB}(\Theta) = -\sum_{i=1}^{N_{UB}} \exp\left[\frac{UB_i}{a} + \frac{ak}{g - UB_i} - b\right]$$

$$LL_{LB}(\Theta) = \sum_{i=1}^{N_{LB}} \ln\left[1 - \exp\left[\exp\left[\frac{LB_i}{a} + \frac{ak}{g - LB_i} - b\right]\right]\right]$$

$$LL_{DB}(\Theta) = \sum_{i=1}^{N_{LB}} \ln\left\{\exp\left[\exp\left(\frac{UR_i}{a} + \frac{ak}{g - UR_i} - b\right)\right] - \exp\left[\exp\left(\frac{LR_i}{a} + \frac{ak}{g - LR_i} - b\right)\right]\right\}$$

Función de verosimilitud para la LN4

$$LL_{EX}(\Theta) = N_{EX}\ln(g-a) - \sum_{i=1}^{N_{EX}}\ln(EX_i - a) - \sum_{i=1}^{N_{EX}}\ln(g - EX_i) - N_{EX}\ln(\sigma_y)$$

$$N_{EX}\ln\left(\sqrt{2\pi}\right) - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N_{EX}}\left[\frac{\ln\left(\frac{EX_i - a}{g - EX_i}\right) - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2$$

$$LL_{UB}(\Theta) = \sum_{i=1}^{N_{UB}}\ln\Phi\left[\left[\left(\frac{UB_i - a}{g - UB_i}\right) - \mu_y\right]\Big/\sigma_y\right]$$

$$LL_{LB}(\Theta) = \sum_{i=1}^{N_{LB}}\ln\left[1 - \Phi\left[\left(\frac{LB_i - a}{g - LB_i}\right) - \mu_y \Big/ \sigma_y\right]\right]$$

$$LL_{DB}(\Theta) = \sum_{i=1}^{N_{DB}}\ln\left\{\Phi\left[\left(\left((UR_i - a)/(g - UR_i)\right) - \mu_y\right)/\sigma_y\right] - \Phi\left[\left(\left((UR_i - a)/(g - UR_i)\right) - \mu_y\right)/\sigma_y\right]\right\}$$

Estimación del Límite Superior

Desafortunadamente en ciertos casos

$\hat{g}$ por ML → Máximo observado

- **Hidrología con funciones de límite superior (Eliasson, 1994 y 1997; Takara y Loebis, 1996; Takara y Tosa, 1999) :**

No se reporta que $\hat{g}$ por ML=Máximo observado

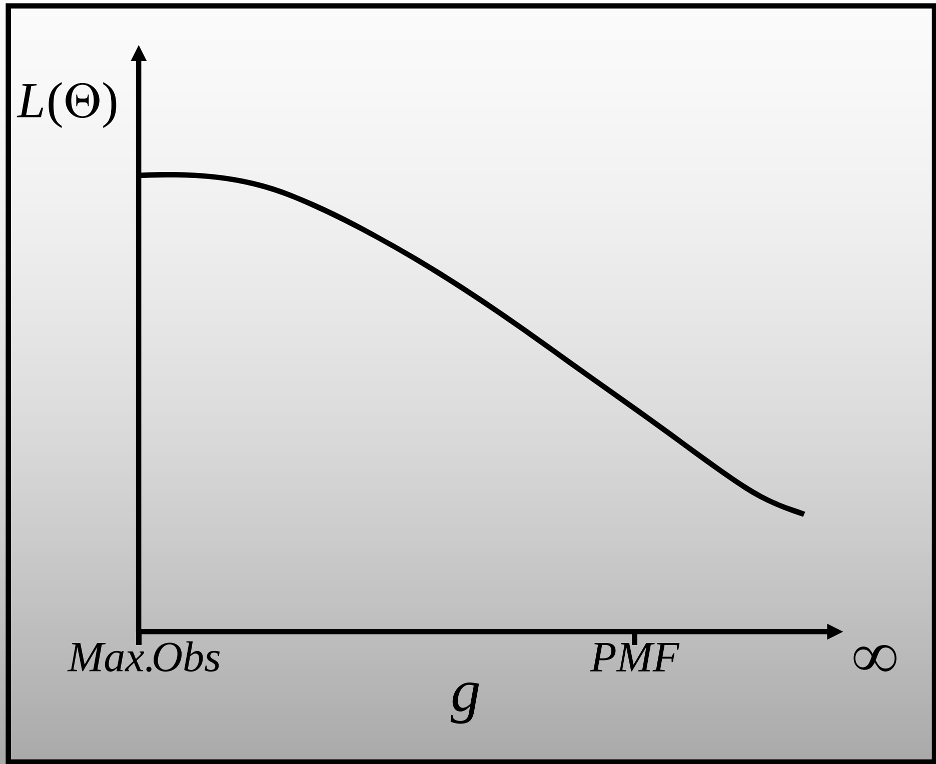
Desafortunadamente en ciertos casos

Estimar límite superior g, por ML como un parámetro más

$\hat{g}$ por ML → Máximo observado

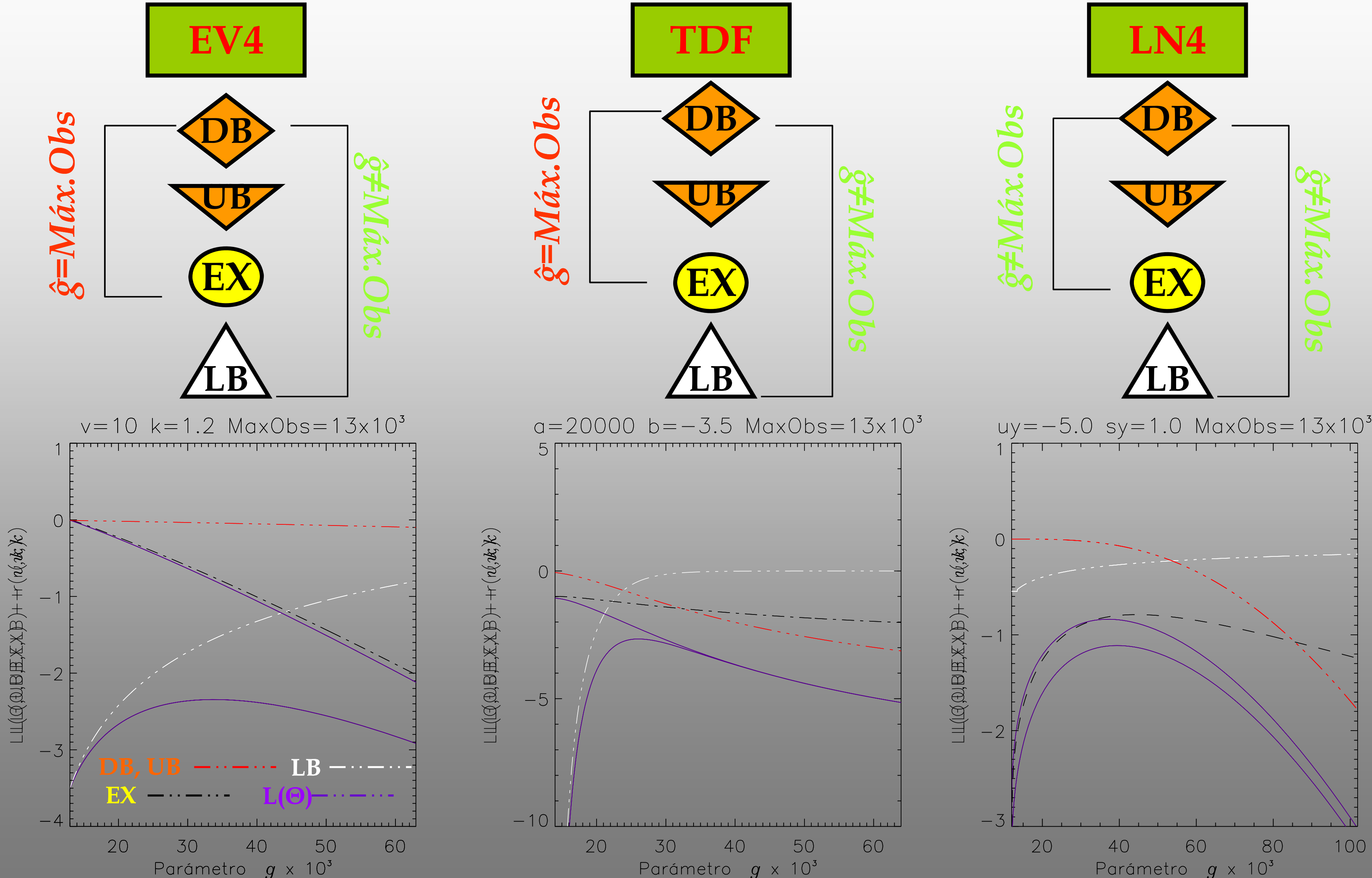
- **Sin embargo → Para la EV4 a medida que $\hat{g}$ se acerca al Máximo observado el ajuste mejora (Takara y Tosa,1999)**

- **Sismología (Kijko y Sellevoll, 1989)→ Informacion No Sistemática + distribución con límite superior + ML → g se estima por otro método ≠ML**



Para esta función en particular la función de verosimilitud es monótonamente decreciente con g (Kijko y Sellevoll, 1989)

Análisis de la *L(Θ)* de cada una de las distribuciones



Ecuación Genérica (EG)

$$\boxed{g = Max.Obs + \int_{x_{\min}}^{g} [F_X(x)]^n \, dx}$$

Propuesta por Kijko (2004), basado en el estimador del límite superior de una variable aleatoria de Cooke (1979)

Max.Obs. → Máxima observación de la información Sistemática y No Sistemática

$\boldsymbol{n} \xrightarrow{\text{Información Censurada}}$ **λ L** (Kijko,2004) $\xrightarrow{\text{Q máx ins. anual}}$ **λ=1** → ***n*=L**

n ↓ **Orden del *Max.Obs.***

λ ↓ Parámetro de frecuencia en una Poisson

L → L=M+N=Longitud del período con información

Cuando se tienen datos tipo LB no es posible establecer el orden del Max.Obs→ no se puede aplicar EG

Límite Superior Preestablecido

- **Máximo observado**
- **Crecida máxima probable (PMF, *Probable Maximum Flood*)**

PMF

“…la crecida que se puede esperar de la combinación de las más severas condiciones razonablemente posibles en una región determinada” (US Army Corp of Engineers, 1975)

Asociada a la precipitación máxima probable, PMP

“La mayor altura acumulada de precipitación meteorológicamente posible para una duración determinada, para un tamaño de tormenta dado localizado sobre un área específica, en determinado momento del año” (WMO, 1986)

PMF

PMP/PMF

Trasposición, maximización de tormentas → PMP

PMP

Modelo Lluvia – Escorrentía

PMF

Relaciones empíricas

Envolventes de las crecidas mayores mundiales, regionales…

Estimación estadística

- **Se asocia PMF con q_T de 10 mil años de Tr**

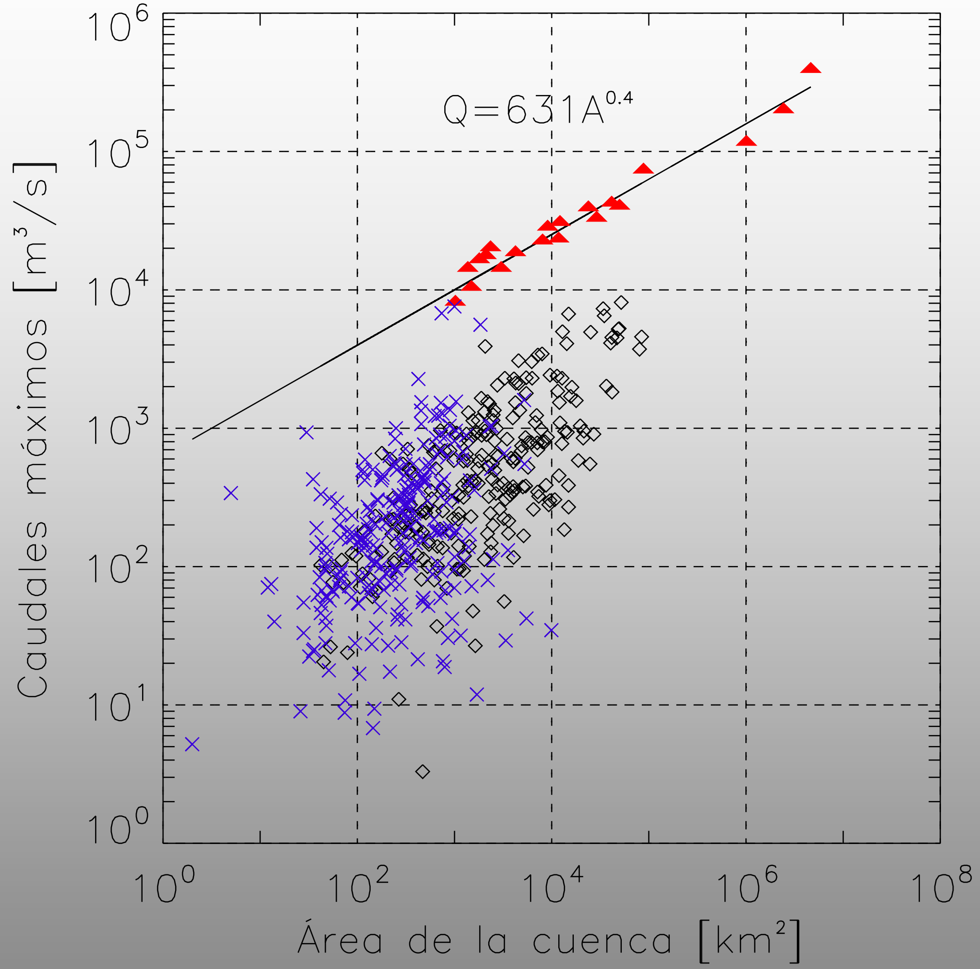
$$PMF = 10^6 \left(\frac{A}{10^8} \right)^{(1-0.1k)}$$

Francou y Rodier (1969)

- 1200 crecidas máximas vs área

Rodier y Roche (1984)

- Completan el estudio con crecidas de 95 países.
- Obtienen k=6 para las crecidas mayores y para A>100km^2



Crecidas Máximas mundiales
Tomadas de Smith y Ward (1998)

Límite Superior Preestablecido

- **Máximo observado**
- **Crecida máxima probable**
  - **A efectos de la presente tésis**
  - **Método aproximado**

$$PMF = 10^6 \left(\frac{A}{10^8} \right)^{(1-0.1k)} \quad Con \quad k=6$$

Métodos de Estimación para Funciones con Límite Superior

Estimación resto de parámetros	Estimación g		
ML	ML	ML-Completo	Θ por ML
ML	EG	ML-EG	Proceso Iterativo: máx $L(\Theta')$; $\hat{g} = \hat{g}(\Theta')$
ML	Preestablecido	ML-Prestablecido	$\hat{g}$=G y máx $L(\Theta')$

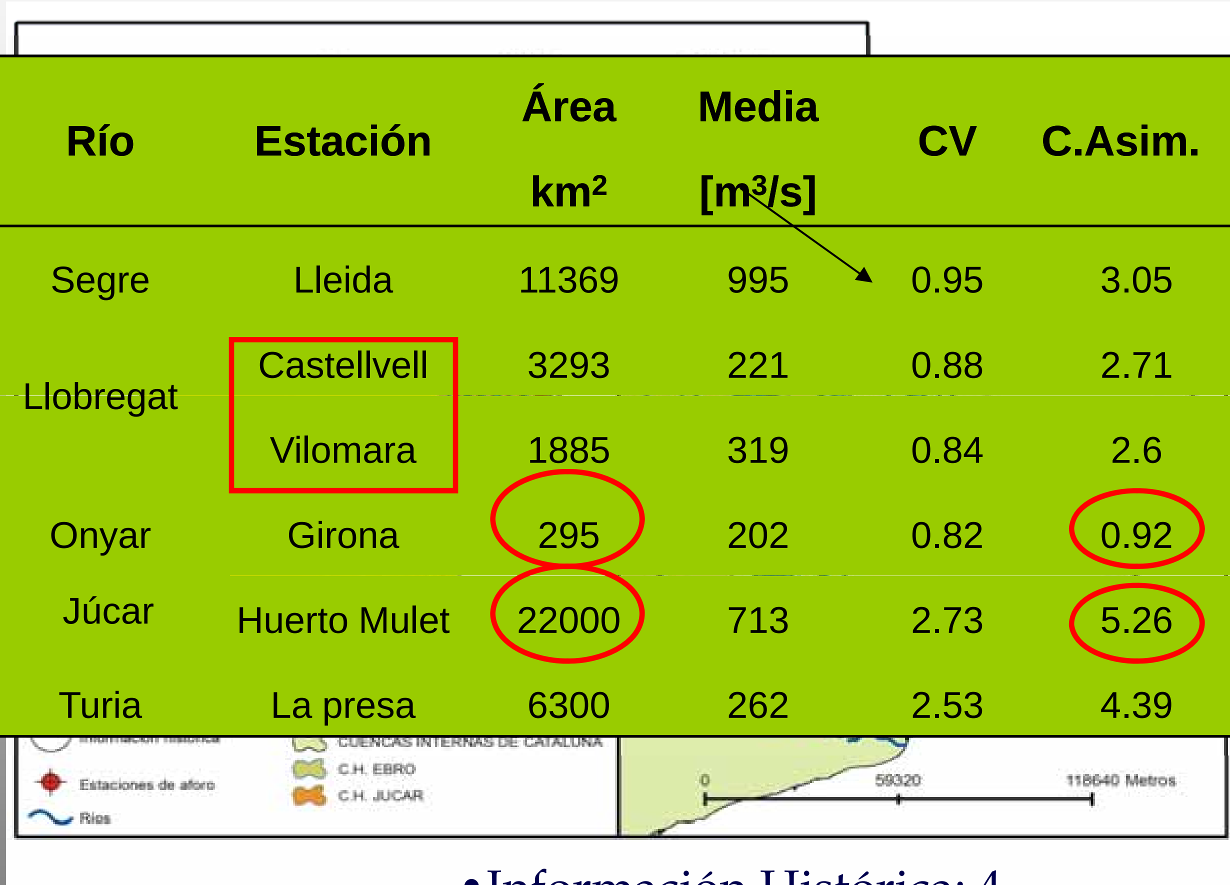
ML-Prestablecido: G=PMF; G=Xmax Obs

Θ conjunto de parámetros

Θ' conjunto de parámetros sin incluir g

- CONCEPTOS FUNDAMENTALES
- METODOLOGÍA
- **APLICACIÓN**
- **ANÁLISIS DEL ERROR**
- **CONCLUSIONES**

•6 sitios con información No Sistemática en la región del Mediterráneo Español. Algunos parte del proyecto europeo **SPHERE** (*Systematic, Palaeoflood and Historical data for the ImprovEment of flood Risk Estimation*)



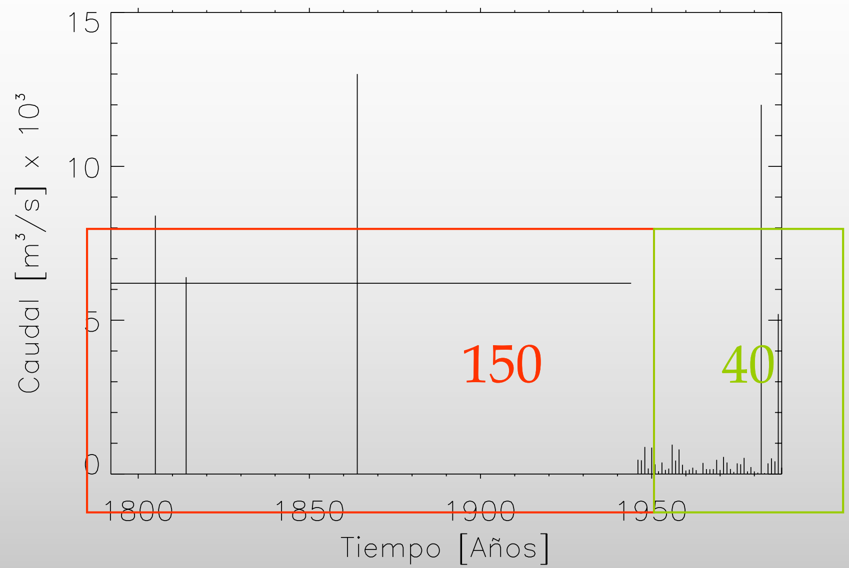
Río	Estación	Área km²	Media [m³/s]	CV	C.Asim.
Segre	Lleida	11369	995	0.95	3.05
Llobregat	Castellvell	3293	221	0.88	2.71
	Vilomara	1885	319	0.84	2.6
Onyar	Girona	295	202	0.82	0.92
Júcar	Huerto Mulet	22000	713	2.73	5.26
Turia	La presa	6300	262	2.53	4.39

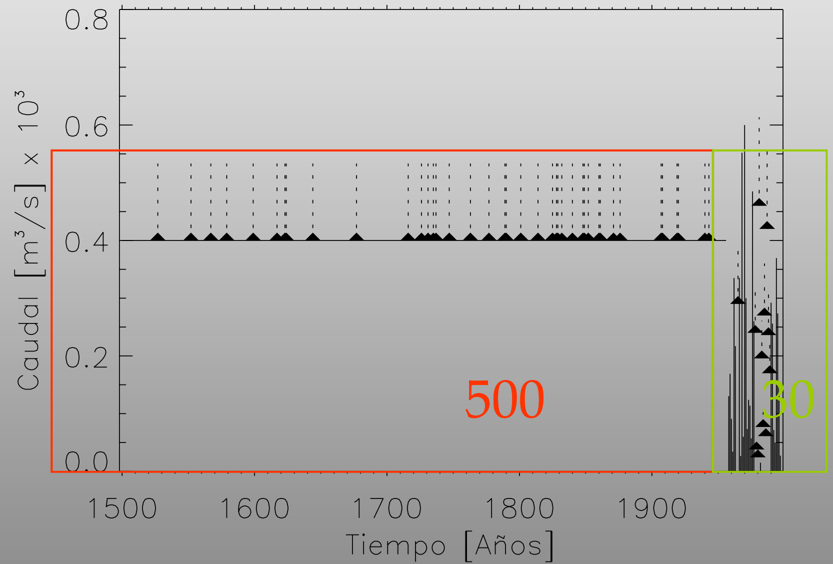
•Información Histórica: 4

•Informacion de Paleocrecidas: 2

Algunas series

Júcar: UB, EX





Onyar: LB,UB,EX

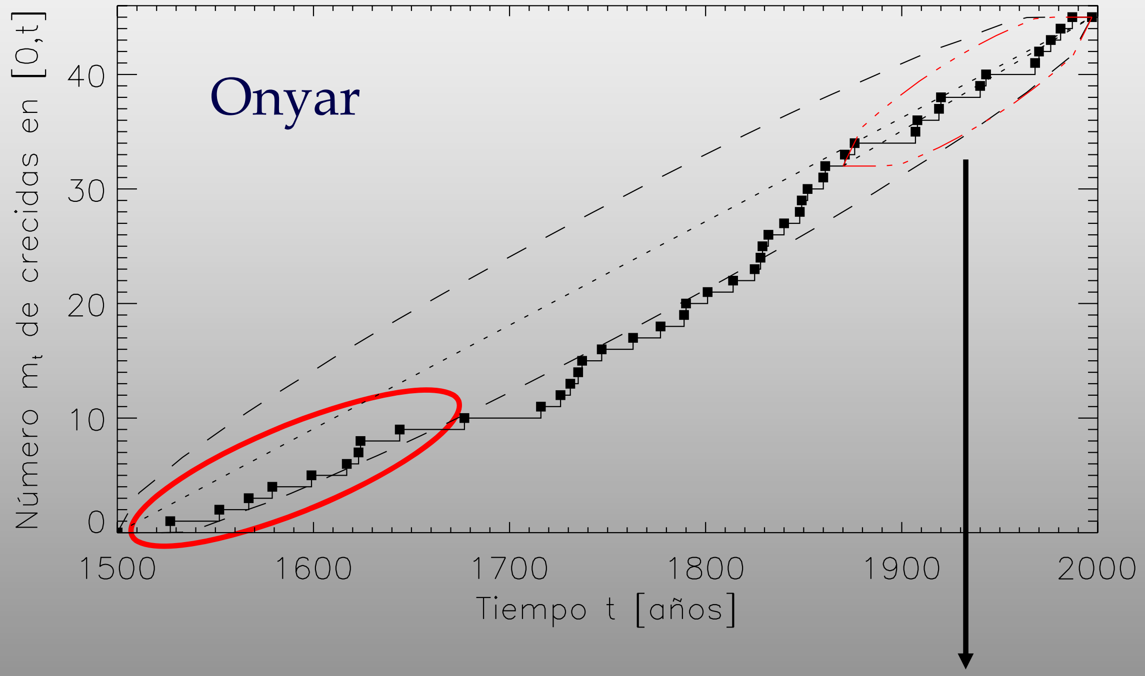
Longitudes grandes del período con información No Sistemática

- Cuestionar la estacionaridad:

Si el régimen de crecidas ha cambiado, es decir si las características estadísticas de las series permanecen constantes con el tiempo

Análisis de Estacionaridad

Test estacionaridad para muestras censuradas (Lang et al. 1999)



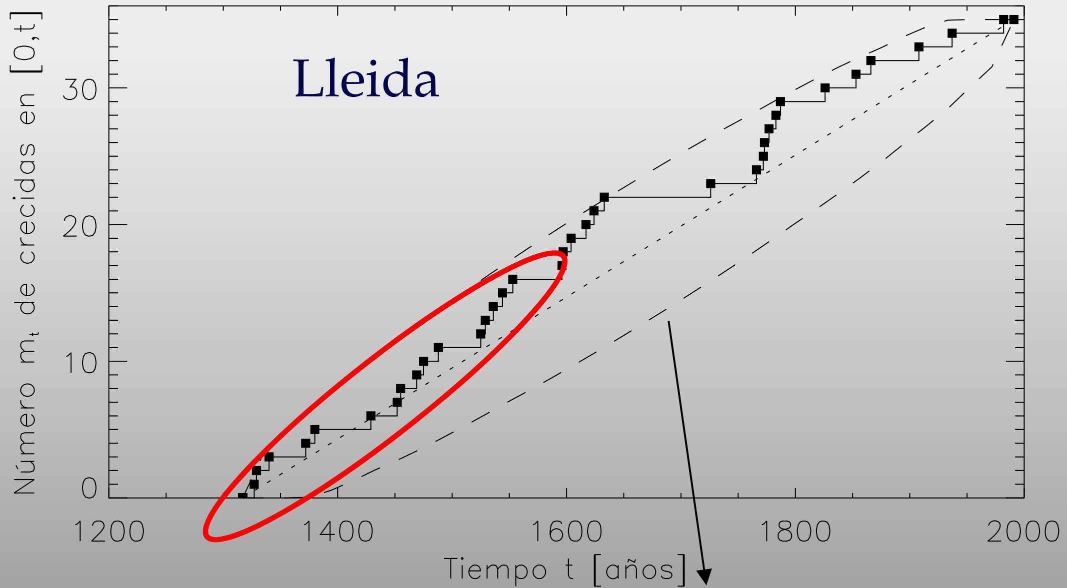
- Se recortan la serie del Onyar y la de Vilomara, considerando solo desde 1870

1870, Final de la LIA para la peninsula Ibérica

(Barriendos, Martín-Vide,1998)

Análisis de Estacionaridad

Test estacionaridad para muestras censuradas (Lang et al. 1999)



Intervalo del 90% para el número de eventos por encima de un umbral en el tiempo t)

• Futuro próximo →pasado reciente

Bondad del Ajuste

- **MML (máxima verosimilitud logarítmica):**

$$MLL = \sum_{i=1}^{n} \ln f(x_i, \hat{\theta})$$

Mejor ajuste, mayor MML

- **AIC (criterio de información de Akaike):**

$$AIC = -2MLL + 2k$$

Mejor ajuste, menor AIC

- **Comparación visual de los ajustes a los datos (probabilidad empírica)**

→Utilizando expresiones para muestras censuradas

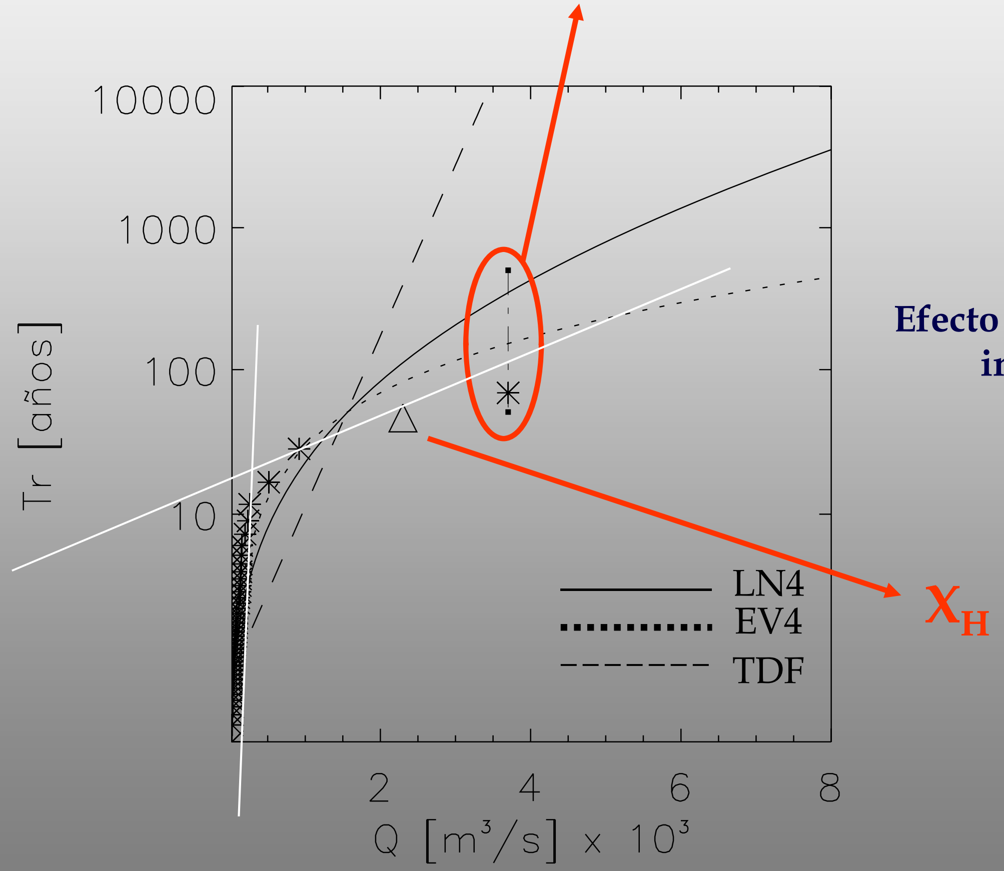
→Indispensable conocer el orden de todos los datos

→ No es posible en muestras con datos LB. Intervalos

Algunos ajustes

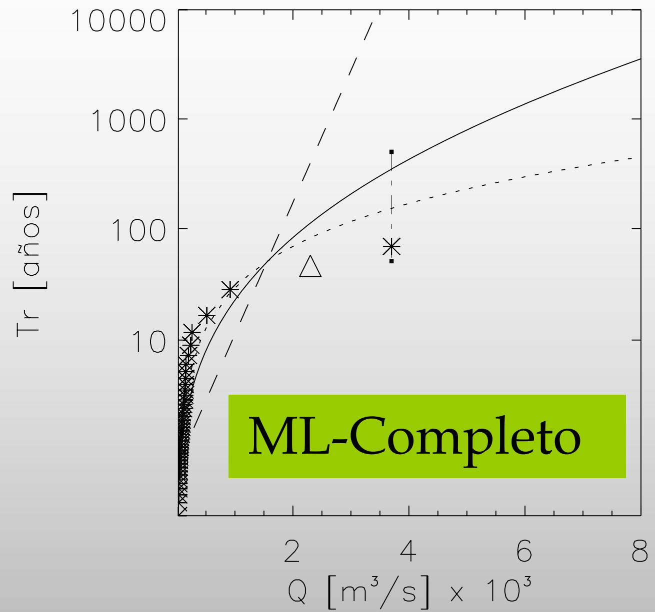
Turia LB, UB, EX

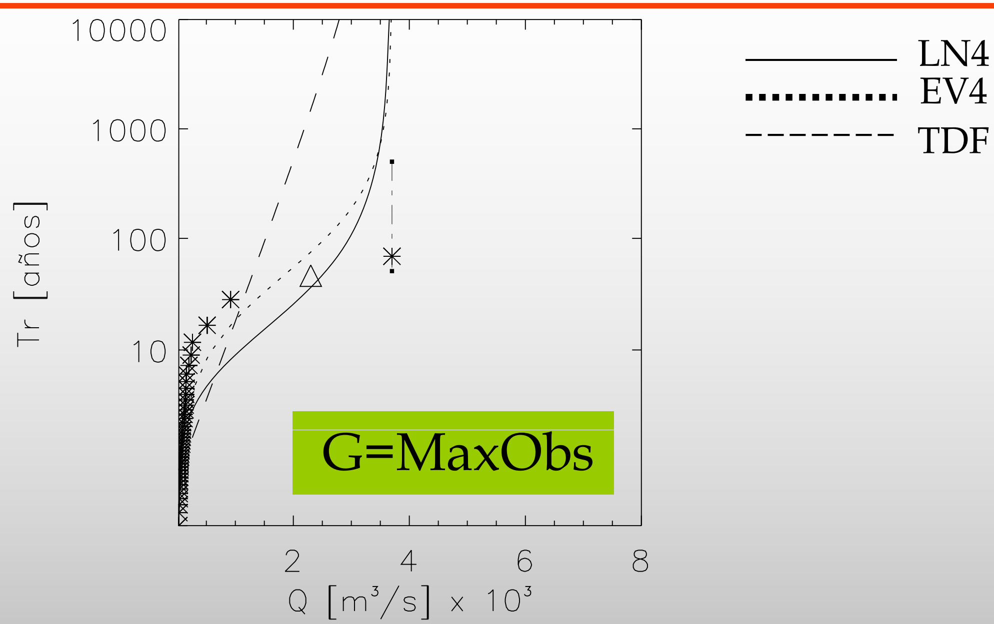
Intervalo de probabilidad empírica de un dato EX de magnitud mayor que el umbral LB



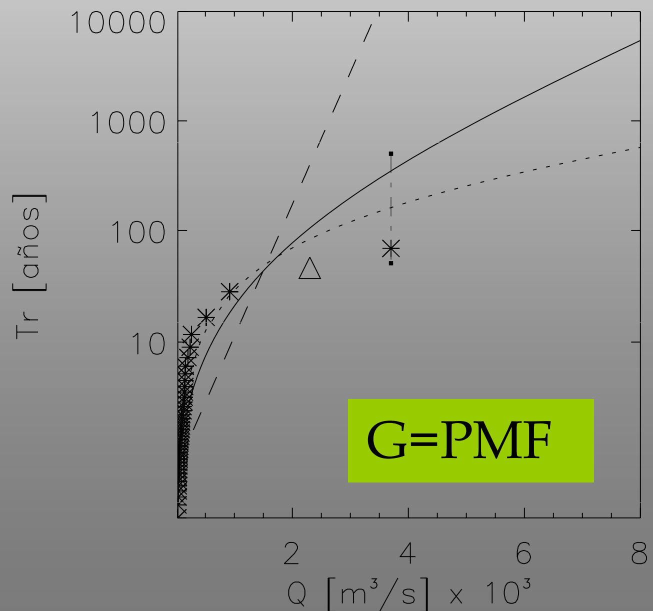
Efecto " pata de perro" del inglés "*Dog leg*" (Potter,1958)

Turia LB, UB, EX

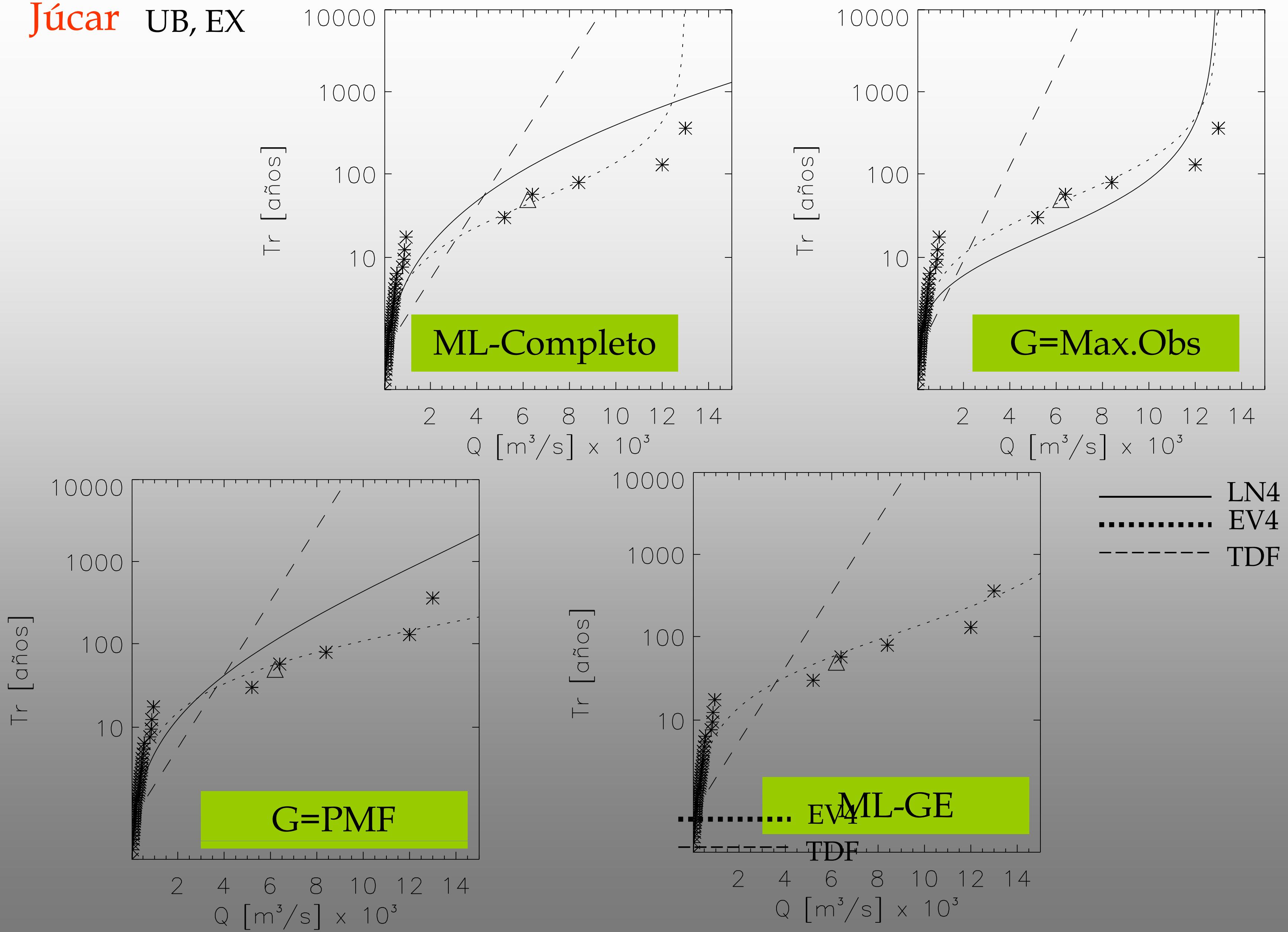




np	Modelo		MML	AIC
3	EV4/ML-Completo	39753.2	-262.69	531.384
2	EV4/G=PMF	20881.7	-262.76	529.516
2	EV4/G=XmaxObs	3700.1	-263.96	531.915
3	LN4/ML-Completo	41742.2	-272.05	550.099
2	LN4/G=PMF	20881.7	-272.34	548.672
2	LN4/G=XmaxObs	3700.1	-291.47	586.94
4	TDF/ML-Completo	43179.9	-323.37	654.744
3	TDF/G=PMF	20881.7	-323.37	652.745
3	TDF/G=XmaxObs	3700.1	-383.48	772.967



Júcar UB, EX

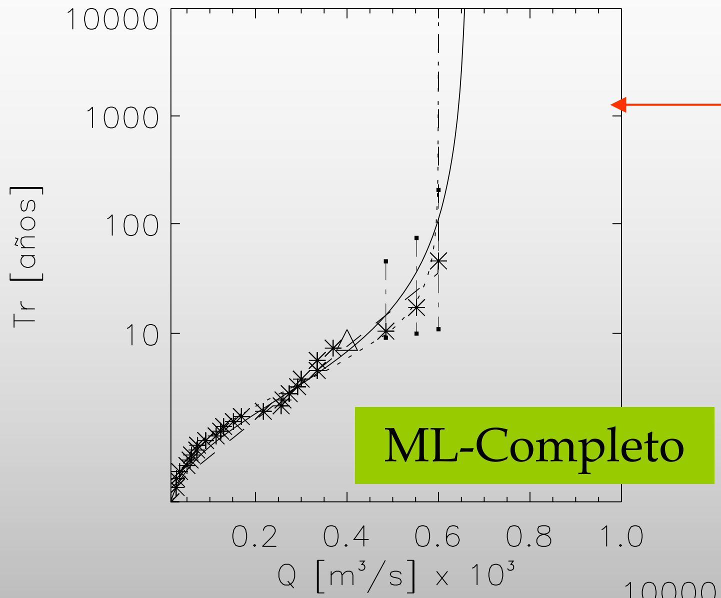

ML-Completo
G=Max.Obs
G=PMF
ML-GE
Tr [años]
Q [m³/s] x 10³
10000
1000
100
10
2 4 6 8 10 12 14
LN4
EV4
TDF

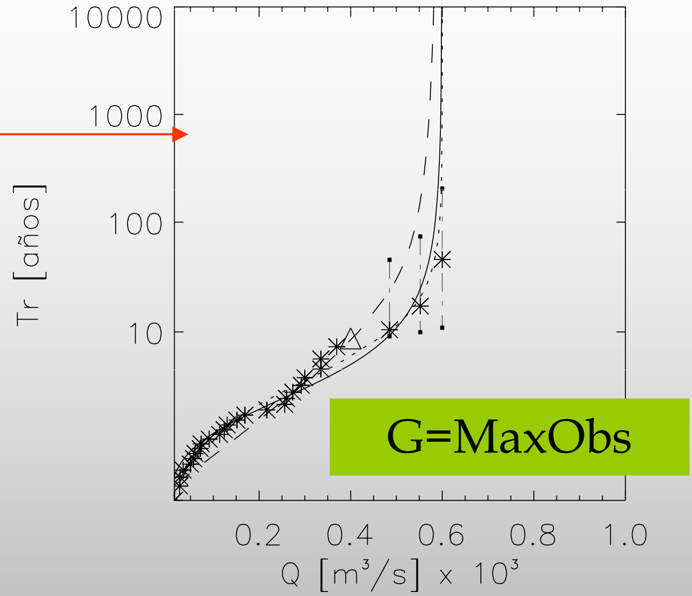
Júcar UB, EX

np	Modelo		MML	AIC
3	EV4/ML-Completo	13000	-338.58	683.164
2	EV4/G=XmaxObs	13000.1	-338.8	681.591
3	EV4/ML-GE	18067.6	-340.03	686.055
2	EV4/G=PMF	34434.9	-340.74	685.471
3	LN4/ML-Completo	93066.3	-344.07	694.131
2	LN4/G=PMF	34434.9	-344.68	693.367
2	LN4/G=XmaxObs	13000.1	-367.26	738.525
4	TDF/ML-Completo	13000	-385.03	778.063
4	TDF/ML-GE	99253.2	-395.52	799.034
3	TDF/G=PMF	34434.9	-395.52	797.036
3	TDF/G=XmaxObs	13000.1	-449.76	905.514

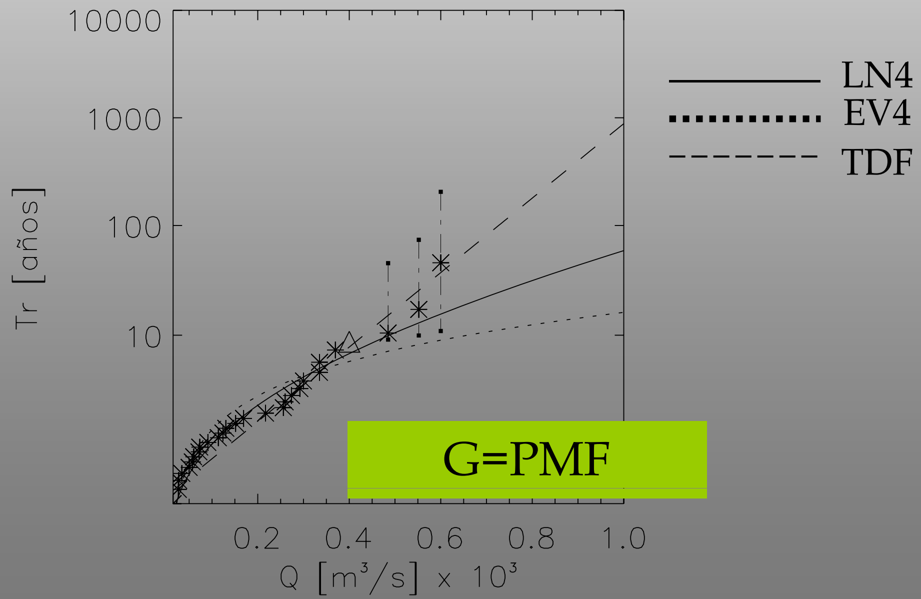
Método con $\hat{g} \neq$ Max.Obs con mejor MML y AIC

Onyar LB, UB, EX





- Por ML-Completo $\hat{g}$=Max. Obs. para todas las *F(x)*
- TDF sigue la forma de los datos



Aspectos a Destacar de la Aplicación

- La función que mejor describe series con características de régimen mediterráneo es la EV4

- No LB→ EV4/ML-GE →para un $\hat{g} \neq$ Max.Obs

- Cando hay LB : EV4/ML-Completo
  EV4/G=PMF
  LN4/ML-Completo
  → Si hay "efecto pata de perro"→ los que involucran EV4

- Coeficientes de Asimetria bajos, el máximo observado es determinante para estimar g

- CONCEPTOS FUNDAMENTALES
- METODOLOGÍA
- APLICACIÓN
- **ANÁLISIS DEL ERROR**
- **CONCLUSIONES**

Simulación por MonteCarlo

Generando series sintéticas pertenecientes a :

Escenario 1: Datos tipo UB, EX

Coef. Asim. Alto
γ_x=5.77

Escenario 2: Datos tipo UB, EX

Coef. Asim. Menor
γ_x=2.39

Escenario 3: Datos tipo UB, LB, EX

Coef. Asim. Alto
γx=5.77

Escenario 4: Datos tipo UB, LB, EX

Coef. Asim. Menor
γ_x=2.39

M +N

Longitud del período Sistemático [100, 50]

Longitud del período Histórico [200, 400, 800]

T_H → Período de retorno del Umbral de percepción

X_h. [25, 75, …, 250] (9)

Explorar varias longitudes y T_H. En la línea de lo observado en las muestras con información No Sistemática

Medida del Error

Adimensional

R.M.S.E

En porcentaje

$$Error(\%) = \frac{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\hat{\theta}_i - \theta\right)^2}}{\theta} \times 100$$

$\theta \rightarrow Q_T,\ g$ — Teóricos

$\hat{\theta}_i \rightarrow \hat{Q}_T,\ \hat{g}$ — Estimados a partir de la serie *i*

Modelos Incluidos en el Análisis de Error

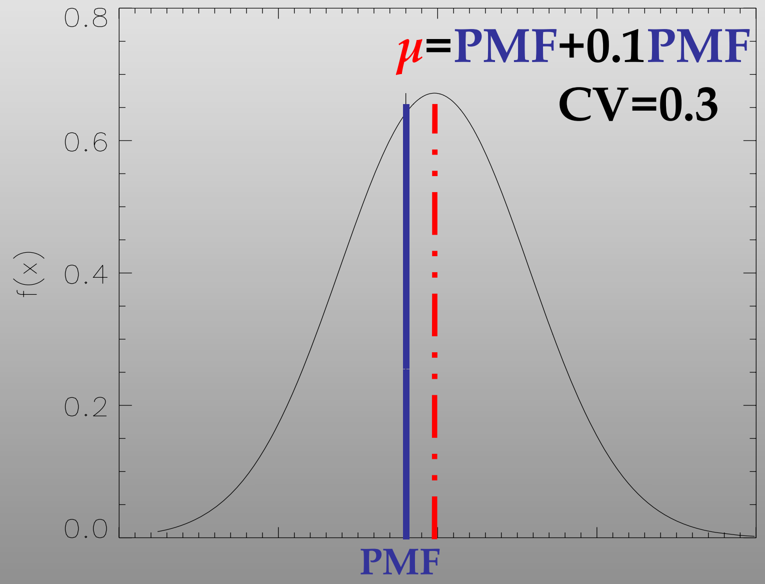
Se asume conocido el error asociado al valor **PMF** preestablecido

EV4/ML-GE

EV4/ML-Completo

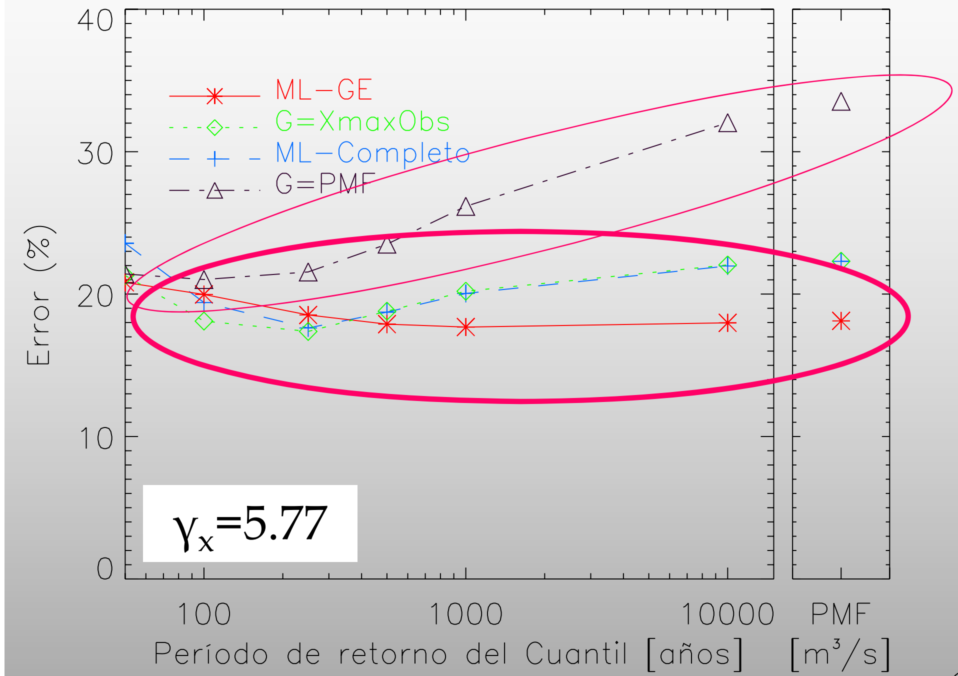
EV4/G=PMF

EV4/G=Max.Obs

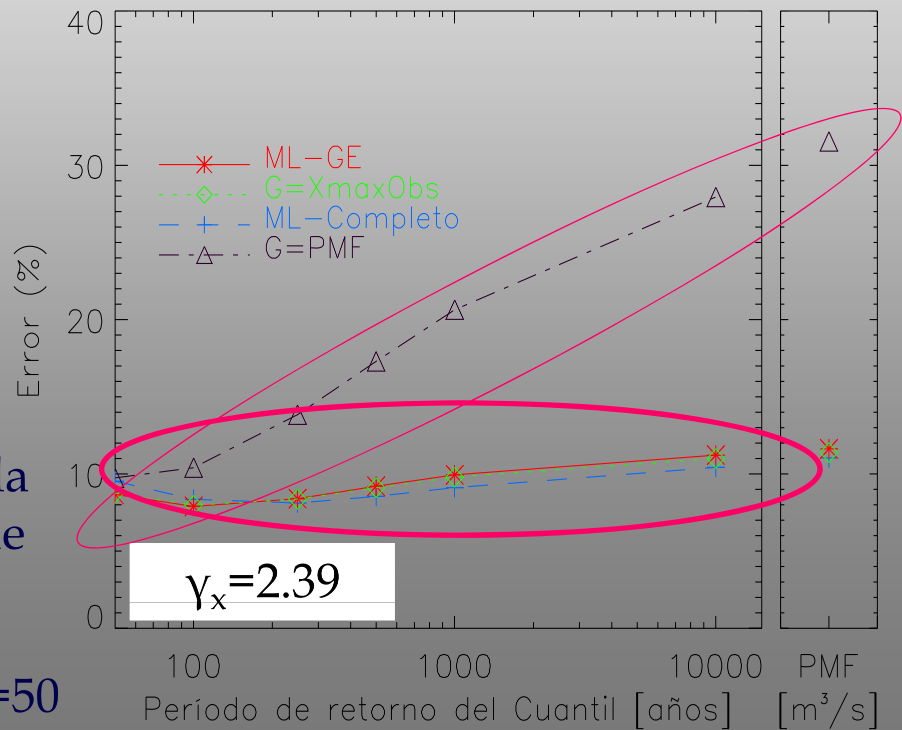


¿Cómo influye el error previo de la PMF en los cuantiles estimados?

Error con Información CE (datos UB y EX)



- E(%) por ML-Completo y G=MaxObs practicamente igual
- Error de ML-completo, ML-GE, G=MaxObs, aprox del 20%, con asimetría mayor y 10% asimetría menor



- E(%) a partir de cierto T_r aumenta
- Metodo ML-GE en E1 casi constante

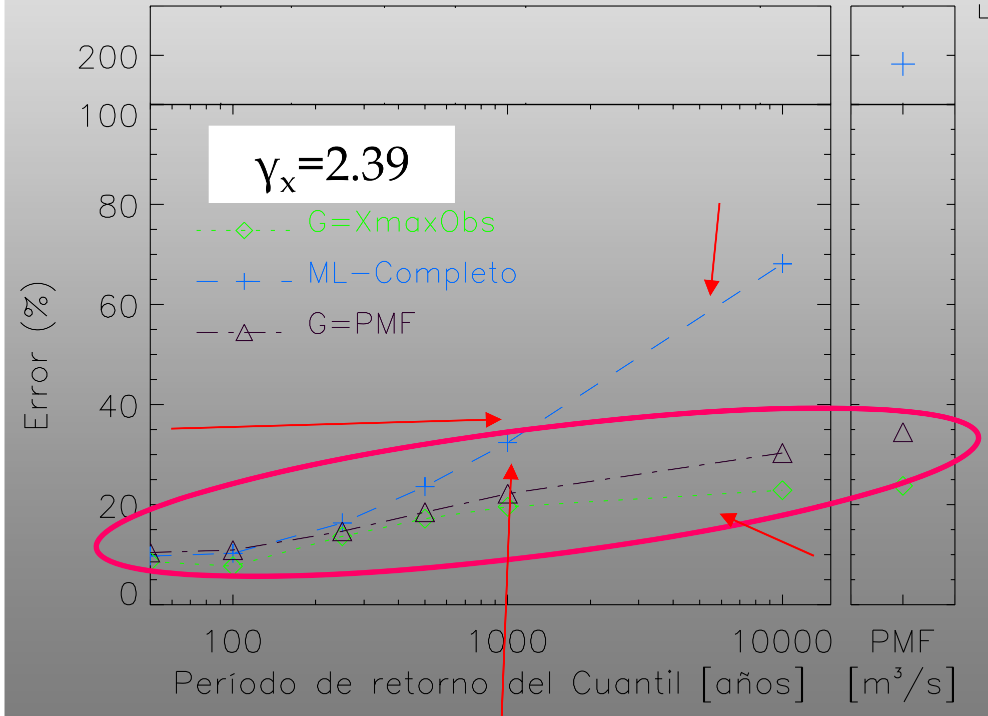
- G=PMF mayor error. Directamente para la PMF y el cuantil de 10 mil años corresponde con el error asociado previo

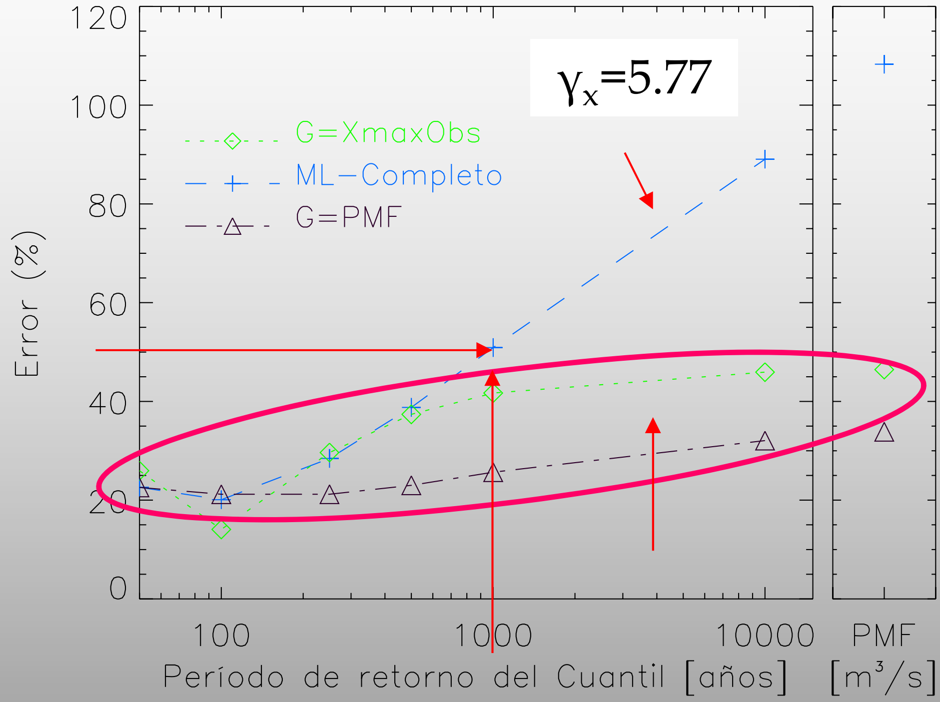
Resultados para T_H=100 años, M=400 y N=50

Error con Información BC (datos UB y EX)

- E(%) por ML-Completo diferente al E(%) por G=Max. Obs.

- Menor error con Métodos g Preestablecido



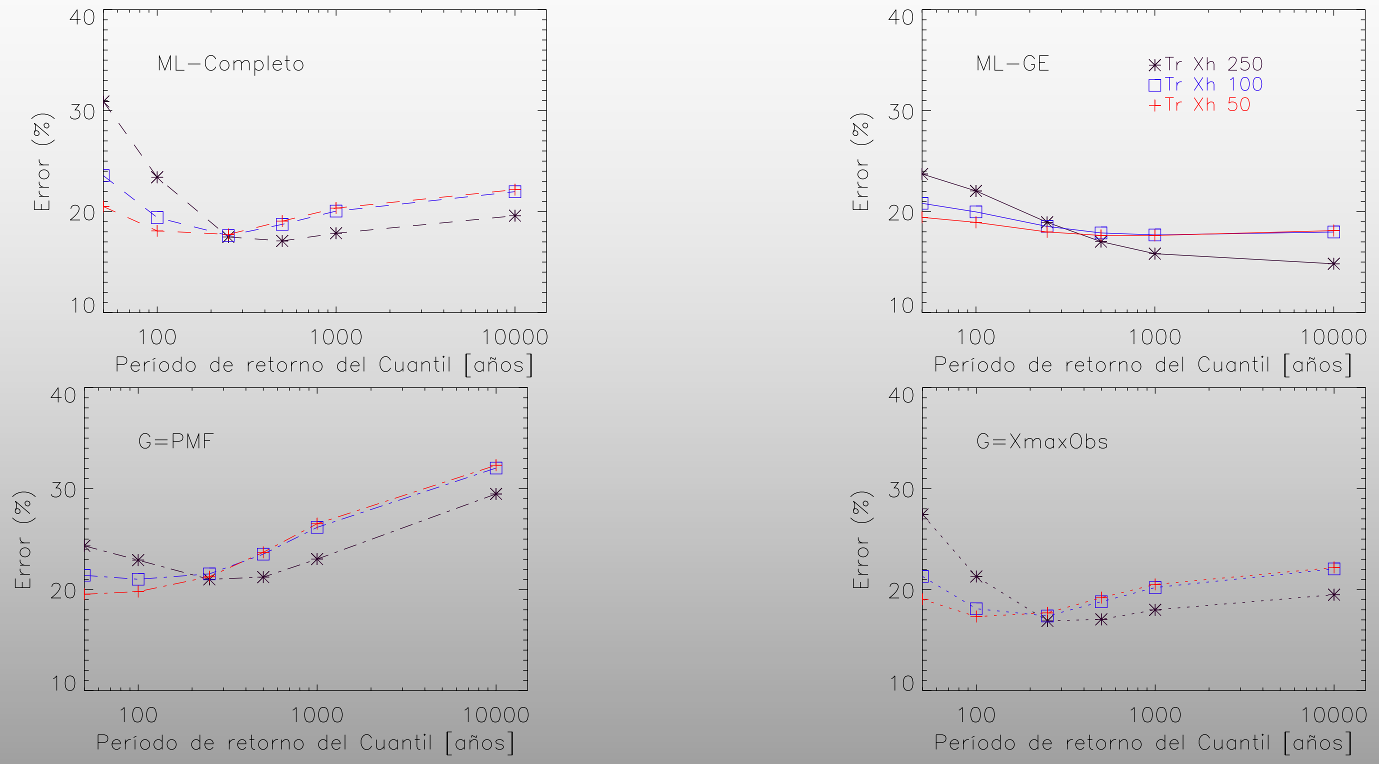


- ML-Completo a partir de q_T 1000 E(%) >50% con asimetría mayor y E(%)>40% con asimetría menor

- E(%) crece a partir de cierto T_r

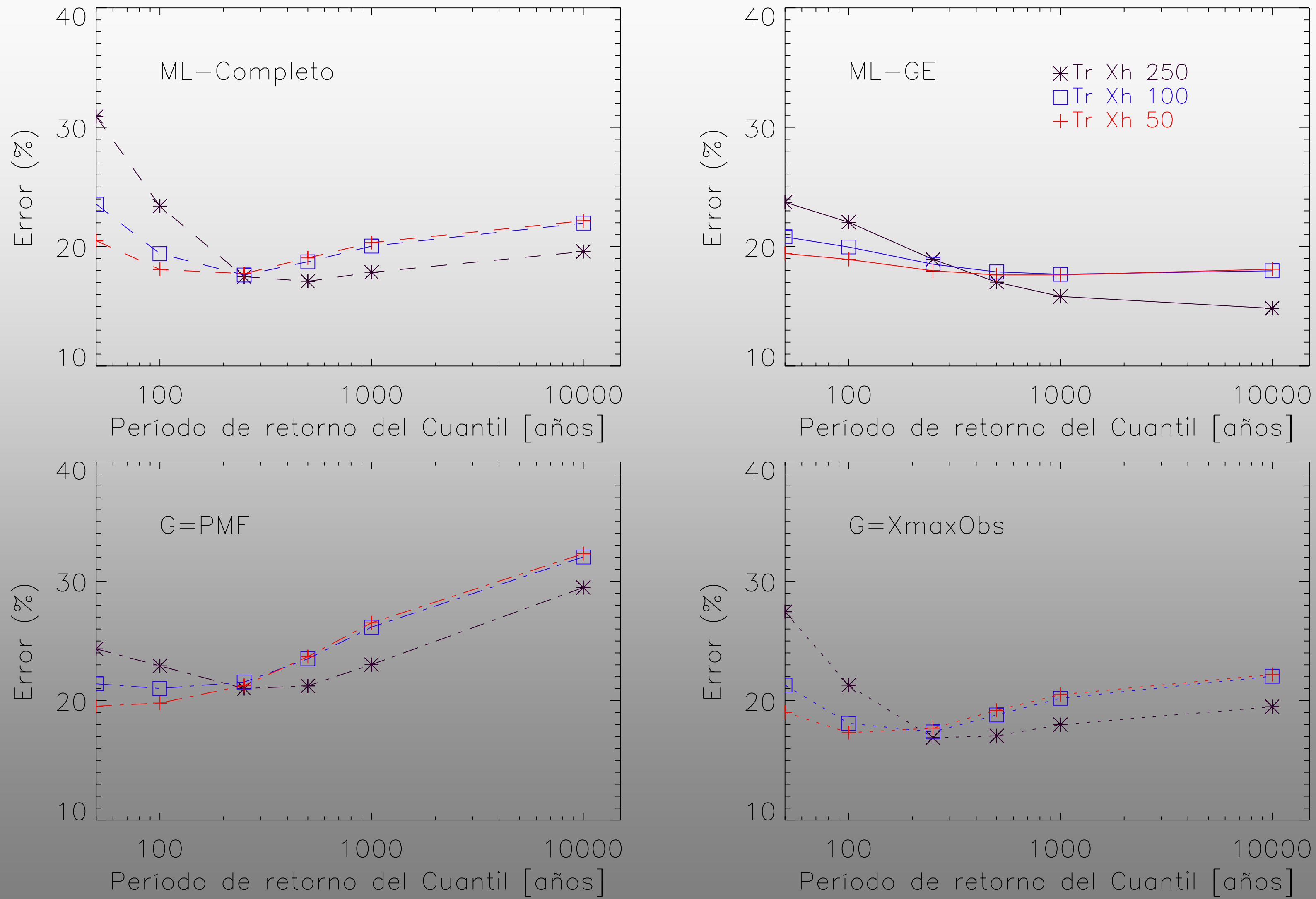
Resultados para T_H=100 años, M=400 y N=50

Influencia del Umbral T_H en el Error



•Optimo de menor error aproximadamente cuando el T_r del q_T estimado igual al T_H. Reportado por Francés (1995). Pero para ML-Completo y ML-GE desplazado

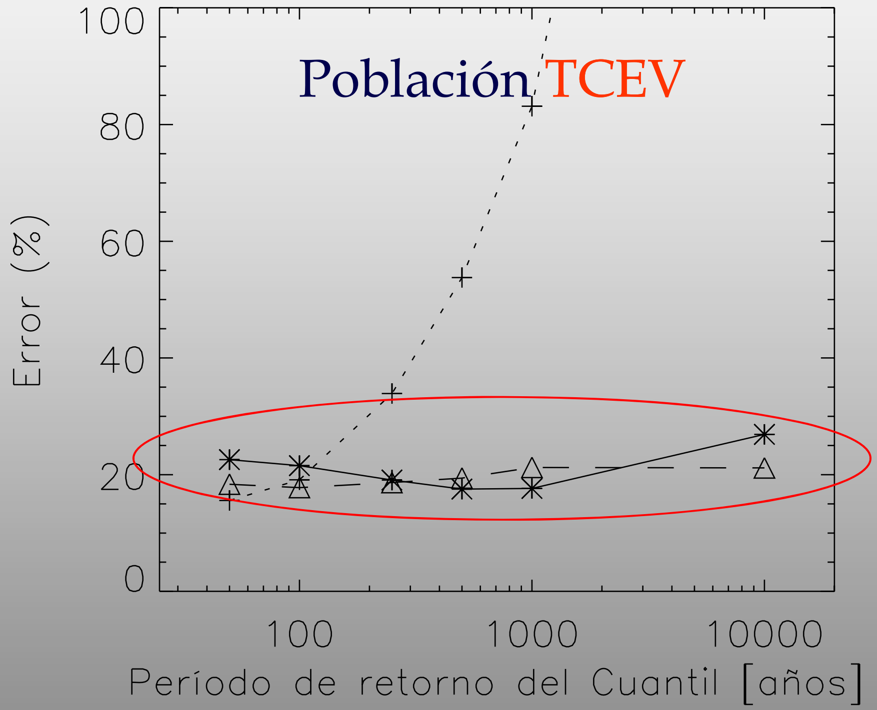
•Punto de referencia que indica los cuantiles a los cuales la información No Sistemática está contribuyendo

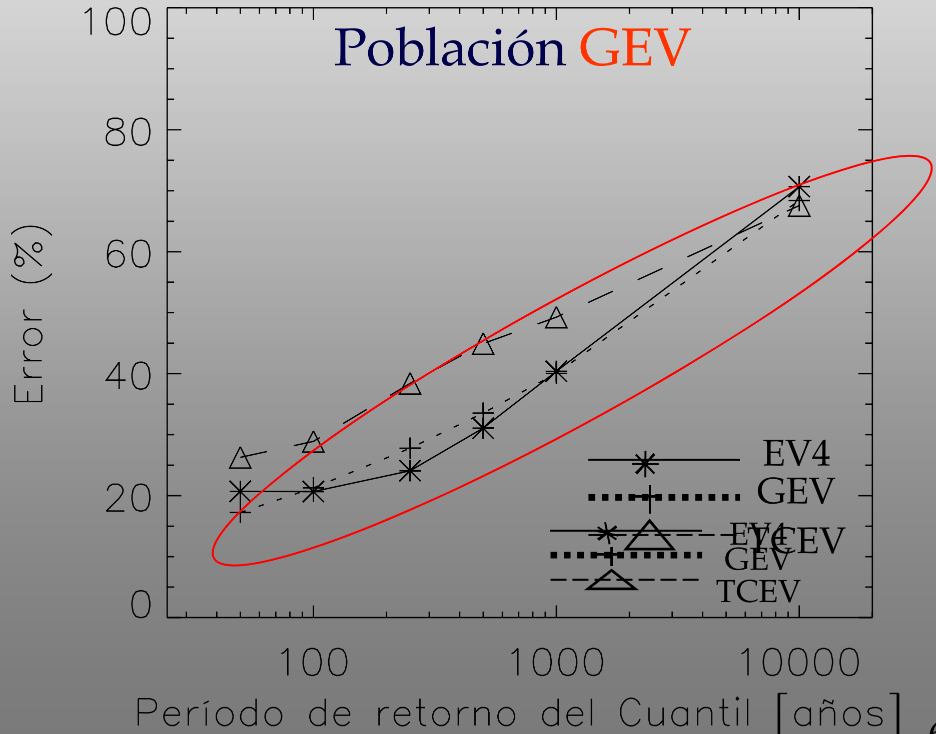


ML−Completo
ML−GE
G=PMF
G=XmaxObs
Tr Xh 250
Tr Xh 100
Tr Xh 50
Error (%)
Período de retorno del Cuantil [años]
10
20
30
40
100
1000
10000

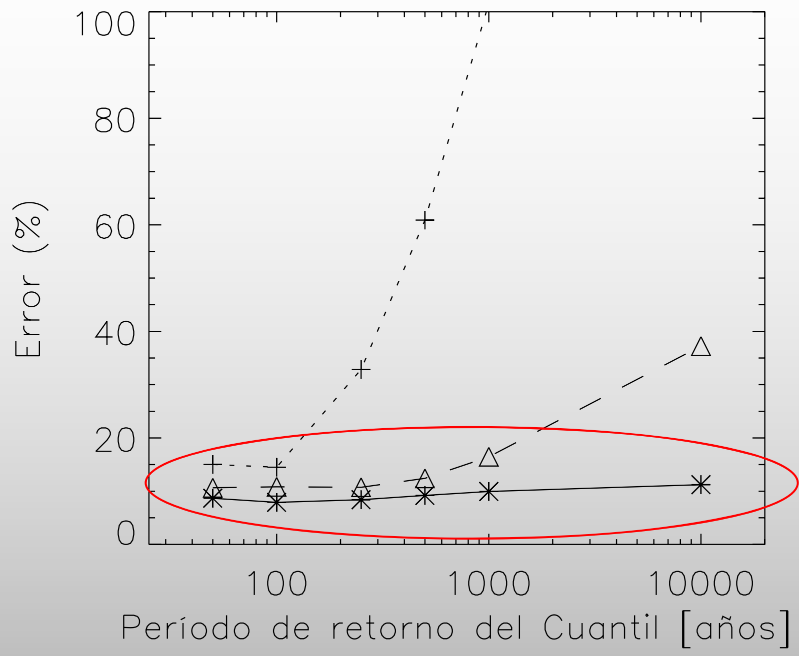
Robustez

Comportamiento con series provenientes de otras poblaciones



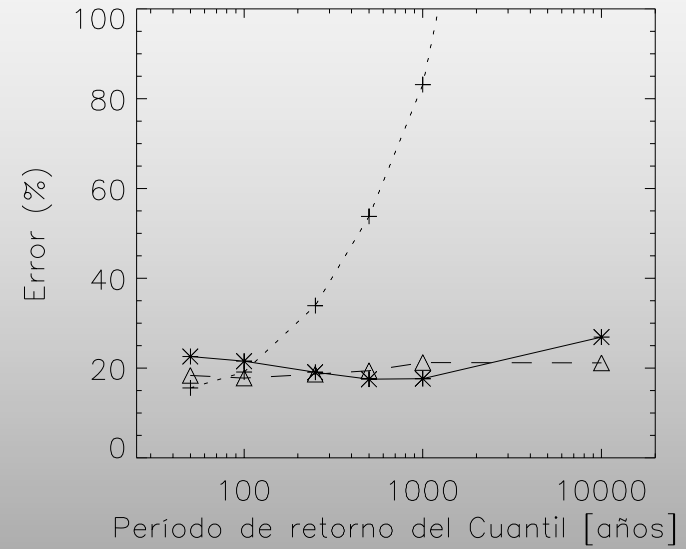


Población EV4

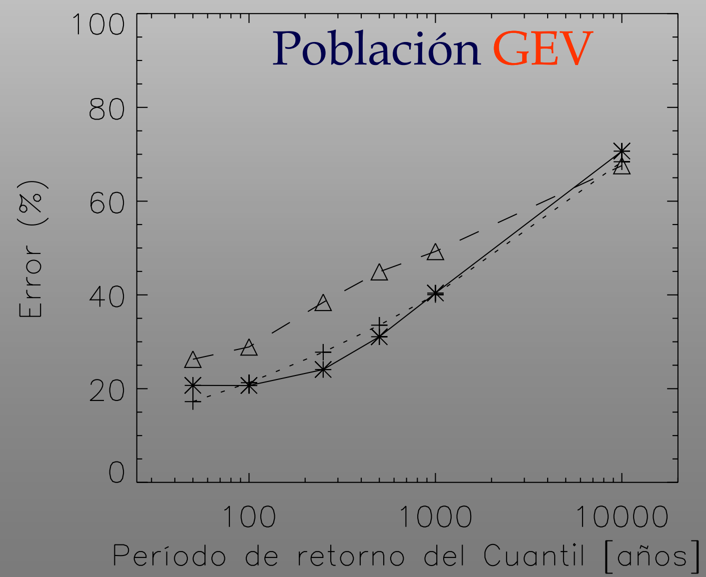


Comportamiento con series provenientes de otras poblaciones

Población TCEV



Población GEV



- EV4 puede modelar muestras provenientes de dos mecanismos generadores diferentes como las generadas con TCEV
- Presenta igual o mayor robustez que función sin límite GEV

Resultados para Escenario 2

- CONCEPTOS FUNDAMENTALES
- METODOLOGÍA
- APLICACIÓN
- ANÁLISIS DEL ERROR
- **CONCLUSIONES**

Respecto al comportamiento de las funciones de distribución:

- De las funciones con límite superior la EV4 es la que mejor representa las características de los ríos mediterráneos. Muestra capacidad para describir series con el efecto "pata de perro".
- La TDF no se recomienda en casos donde se presenta el efecto "pata de perro".

Respecto a la variación del error:

- Se destaca la presencia de un óptimo de mínimo error. En los métodos ML-GE y ML-Completo este óptimo se desplaza hacia los cuantiles de período de retorno mayor que el período de retorno del X_H.

Respecto a la robustez:

- La EV4 demuestra ser robusta frente a muestras de una única población (GEV) y de dos poblaciones (TCEV).

Respecto al tipo de Información No Sistemática:

- El estimador del límite superior de las funciones EV4 y TDF cuando hay datos tipo EX, UB y DB es la máxima observación.

- Es posible estimar la PMF como el límite superior de las funciones. Cuando se tiene información BC por el método ML-Completo. Cuando se tiene información CE por el método ML-GE .

- Se recomienda el uso del método EV4/ML-GE cuando se tiene información CE ya que produce los menores errores en los cuantiles de alto período de retorno.

- Con información BC se recomienda el método-preestablecido ya que produce los cuantiles con menor error.

Aportes

•**Inclusión** en el análisis de frecuencia de crecidas de dos herramientas hasta ahora no utilizadas **conjuntamente**, como son la incorporación de **información No Sistemática** y el uso de **distribuciones con límite superior**.

•**Se analizó** la **capacidad descriptiva y predictiva** de las funciones **EV4, TDF** y **LN4**. Análisis de las relaciones entre los principales estadísticos y los parámetros de las funciones.

•**Sistematización** de la **información Sistemática** y **No Sistemática** para su **incorporación** en una estructura de **ML general**. Se implementa un esquema de ML el cual permite **agregar cualquier tipo de dato** que sea parte de la información Sistemática o de la No Sistemática.

•**Se sistematizaron diferentes alternativas** para la **estimación del límite superior** de las funciones.

•**Inclusión** de la **Ecuación Genérica** la cual no se reporta que haya sido utilizada antes en Hidrología.

• **Definición** de los casos cuando el **límite superior** puede ser estimado por **ML** sin obtener la **máxima observación**.

• **Especificación de las recomendaciones de uso** para estas funciones de distribución y para los método de estimación propuestos, a partir del análisis de robustez y de error realizados.

• **Se realizó por primera vez** el análisis de frecuencia **en ríos Españoles** con Información **No Sistemática** utilizando **funciones de distribución con límite superior**. Obteniendo un **estimador estadístico de la PMF** para todos ellos.

• **Se desarrolló** el software de libre distribución **AFINS** para el Análisis de Frecuencia de crecidas con Información No Sistemática.
http://lluvia.dihma.upv.es/software.php?language=es

Futuras líneas de investigación

- **Investigar comportamiento** de las funciones **bajo escenarios más complejos** con otros tipos de datos No Sistemáticos.

- Error asintótico de la **LN4** la cual también mostró buenos resultados en las aplicaciones.

- Analizar si es posible la **implementación** de una método que permita utilizar la **Ecuación Genérica** cuando se tienen datos **LB.**

- Desarrollo de un modelo que pueda **involucrar** la **no estacionaridad** de las series. Se puede beneficiar directamente del esquema tipo ML año año.

Agradecimientos

- Al **Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación** de la **Universidad Politécnica de Valencia** y al **Grupo de Investigación en Hidráulica e Hidrología** del **Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente** de la misma universidad, responsables de la beca F.P.I para la realización de los estudios de doctorado.

- Al proyecto europeo **SPHERE** (Systematic, Palaeoflood and Historical data for the improvEment of flood Risk Estimation) bajo el cual se desarrolló parte de esta tesis doctoral y de donde se obtuvo la mayoría de los datos utilizados.

Gracias por su atención

Referencias

Barriendos, M. y Martin-Vide, J., 1998, Secular Climatic Oscilations in the Spanish Coastal Area, *Climatic Change*, 38, pags. 473-491.

Benito, G., Lang, M., Barriendos, M., Llasat, M. C., Francés, F., Ouarda, T., Thorndycraft, V. R., Enzel, Y., Bardossy A., Coeur, D. y Bobèe, B., 2004a, Use of Systematic, Palaeoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation. Review of Scientic Methods, *Natural Hazards*, 31, pags. 623-643.

Benito, G., Thorndycraft, V. R., Enzel, Y., She®er, N. A., Rico, M., Sopeña, A. y Sáanchez-Moya, Y., 2004b, Palaeoflood Data Collection and Analysis, en Benito, G. y Thorndycraft, V. R., editores, Systematic, Palaeoflood and Historical Data for the improvement of Flood Risk Estimation. Methodological Guidelines, págs.15-27, CSIC - Centro de Ciencias Medioambientales.

Cohn, T. A., Lane, W. L. y Baier, W. G., 1997, An Algorithm for Computing Moment-Based Flood Quantile Estimates When Historical Flood Information is Available., Water Resources Research, 33(9), págs. 2089-2096.

Cooke, P., 1979, Statistical Inference for Bounds of Random Variables, Biometrika, 66, págs. 367-374.

Elíasson, J., 1994, Statistical Estimates of PMP Values, Nordic Hydrology, 25, págs.301-312.

Elíasson, J., 1997, A Statistical Model for Extreme Precipitation, *Water Resources Research*, 33(3), págs. 449-455.

England, J. F., Jarrett, R. D. y Salas, J. D., 2003, Data-Based Comparisons of Moments Estimators Using Historical and Paleoflood Data, *Journal of Hydrology*, 278, págs. 172-196.

Francés, F., 1995, *Utilización de la Información Histórica en el Análisis Regional de Avenidas*, Monografía No 27, Centro internacional de métodos numéricos en ingeniería.

Francés, F., Salas, J. D. y Boes, D. C., 1994, Flood Frequency Analysis with Systematic and Historical or Paleoflood Data Based on the Two Parameter General Extreme Value Models, *Water Resources Research*, 30(6), págs. 1653-1664.

Francou, J. y Rodier, J., 1969, Essai de Classi¯cation Des Crues Maximales, en *Floods and Their Computation*, páags. 518{527, IAHS/UNESCO/WMO.

Kanda, J., 1981, A New Value Ditribution with Lower and Upper Limits for Earth-quake Motions and Wind Speeds, *Theoretical and Applied Mechanics. Tokyo*, 31, págs. 351-360.

Kijko, A., 2004, Estimation of the Maximum Earthquake Magnitude, Mmax, *Pure and Applied Geophysics*, 161, págs. 1-27.

Kijko, A. y Sellevoll, M. A., 1989, Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part I. Utilization of Extreme and Complete Catalogs with Different Threshold Magnitudes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 79(3), págs. 645-654.

Lang, M., Ouarda, T. B. M. J. y Bobèe, B., 1999, Towards Operational Guidelines for Over-Threshold Modeling, *Journal of Hydrology*, 225, págs. 103-117.

Leese, M., 1973, Use of Censored Data in the Estimation of Gumbel Distribution Parameters for Annual Maximum Flood Series, *Water Resources Research*, 9(6), págs. 1534-1542.

Naghettini, M., Potter, K. W. y Illangasekare, T., 1996, Estimating the Upper Tail of Flood-Peak Frequency Distributions Using Hydrometeorological Information, *Water Resources Research*, 32(6), págs. 1729-1740.

NRC, 1988, *Estimating Probabilities of Extreme Floods, Methods and Recommended Research*, National Research Council, National Academy Press, Washington, D. C.

O'Connell, D. R. H., 2005, Nonparametric Bayesian Flood Frequency Estimation, *Journal of Hydrology*, 313, págs. 79-96.

O'Connell, D. R. H., Ostenaa, D. A., Levish, D. R. y Klinger, R. E., 2002, Bayesian Flood Frequency Analysis with Paleohydrologic Bound Data, *Water Resources Research*, 38(5), págs. 16. 1- 16. 14.

Pilon, P. J. y Adamowski, K., 1993, Asymptotic Variance of Flood Quantile in Log Pearson Type III Distribution with Historical Information, *Journal of Hydrology*,143, págs. 481-503.

Potter, W. D., 1958, Upper and Lower Frequency Curves for Peak Rates of Runnof, *EOS. Trans. AGU*, 39, págs. 100-105.

Stedinger, J. R. y Baker, V. R., 1987, Surface Water Hydrology: Historical and Paleoflood Information, *Reviews of Geophysics*, 25(2), págs. 119-124.

Stedinger, J. R. y Cohn, T. A., 1986, Flood Frequency Analysis with Historical and Paleoflood Information, *Water Resources Research*, 22(9), págs. 785-793.

Slade, J. J., 1936, An Asymmetric Probability Function, *Transactions. American Society of Civil Engineers*, 62, págs. 35-104.

Smith, K. y Ward, R., 1998, *Floods. Physical Processes and Human Impacts*, John Wiley and Sons.

Takara, K. y Loebis, J., 1996, Frequency Analysis Introducing Probable Maximum Hydrologic Events: Preliminary Studies in Japan and in Indonesia, en Loebis, J., editor, *Proceedings of International Symposium on Comparative Research on Hydrology and Water Resources in Southeast Asia and the Pacific*, págs. 67-76, Indonesian National Committee For International Hydrological Programme.

Takara, K. y Tosa, K., 1999, Storm and Flood Frequency Analysis Using PMP/PMF Estimates, en *Proceedings of International Symposium on Floods and Droughts, Nanjing, China, 18-20 October*, págs. 7-17.

USWRC, 1982, Guidelines for Determining Flood Frequency, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

WMO, 1986, *Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation*, World Meteorological Organization, Operational Hydrology Report.