



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

GIMHA  
Grupo de Investigación de Modelación  
Hidrológica y Ambiental



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente

# *La variabilidad climática de baja frecuencia y los cambios inducidos por embalses en la modelación no estacionaria de la frecuencia de las crecidas en la España peninsular*

**J. López, F. Francés**

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



2013

III JORNADAS DE INGENIERÍA DEL AGUA

*Valencia, 23 y 24 de octubre de 2013*

*La protección contra los riesgos hídricos*

El estudio de las crecidas es una de las líneas de investigación principal en la Hidrología

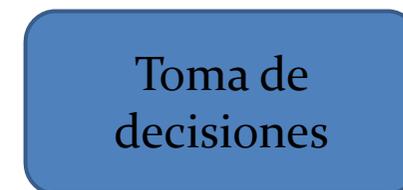
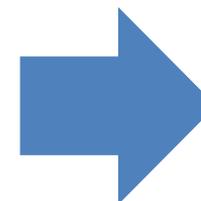
**Necesidad** de mejorar el entendimiento de las crecidas

¿Por qué?



**Mitigar** los daños asociados a un pobre entendimiento

**“El hidrólogo no puede detener la presencia de crecidas, pero debe buscar las estrategias para reducir los posibles riesgos de perdidas, ambientales , económicas y sociales”**





**Análisis de Frecuencia de Crecidas** (AFC) es la herramienta más ampliamente utilizada en el mundo en el estudio de las crecidas

AFC vincula la **magnitud** de las crecidas con su **frecuencia** de ocurrencia a través de distribuciones de probabilidad

## Hipótesis en el AFC:

Las series temporales deben ser independientes e idénticamente distribuidas (i.i.d.)

**¡La hipótesis de estacionaridad ha sido la piedra angular en el AFC!**



Hemos asumido que cambios en el tiempo debido a las **actividades humanas** o **procesos naturales** no alteran la frecuencia de los eventos

# Posición del problema

- ❑ En el análisis de frecuencia, los datos deben generalmente ser independientes e idénticamente distribuidos (iid), lo que implica que deben cumplir con los criterios estadísticos de independencia, homogeneidad y estacionaridad
- ❑ Toda la infraestructura hídrica ha sido diseñada bajo el supuesto de un sistema estacionario
- ❑ En realidad, la distribución de probabilidad de eventos extremos puede cambiar con el tiempo  **forzamiento de la variabilidad climática natural y la intensificación de las actividades antropogénicas**
- ❑ Necesidad de emplear modelos estadísticos capaces de reproducir la variación temporal de los parámetros de las funciones de distribución de probabilidad

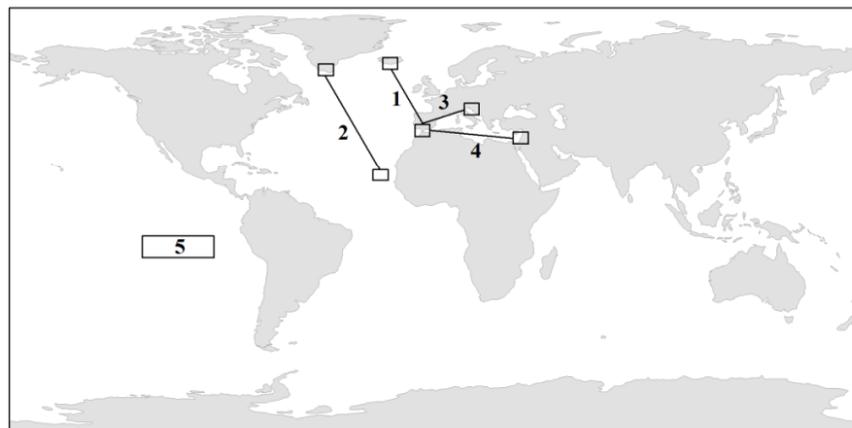
**En los últimos años las investigaciones en el AFC se han centrado de manera dominante en modelar la frecuencia de crecidas en un contexto **no estacionario****

# Objetivo del estudio

Implementación de un marco para **AFC bajo condiciones no estacionarias en GAMLSS**, aplicado a los registros de caudales máximos en ríos de la España peninsular

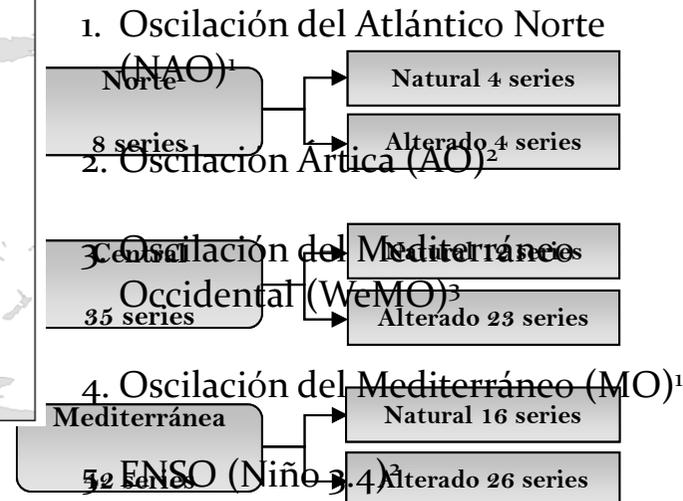
- ❑ Explorar desviaciones del supuesto de estacionaridad
  
- ❑ Incorporar los potenciales impactos de la variabilidad climática y la regulación por embalses
  
- ❑ Se exploran dos alternativas de modelos no estacionarios:
  - Modelo de tendencias temporales
  - Modelo de covariables (índices climáticos y embalse)

- Series temporales de caudales obtenidas de la base de datos del CEDEX
- Estaciones de aforo con al menos 50 años de registro hasta el año 2008
- 85 estaciones de aforo distribuidas a lo largo de la España peninsular
  - ✓ 32 estaciones en régimen natural
  - ✓ 53 estaciones en régimen alterado
- Periodo común de 56 años (1952-2007)



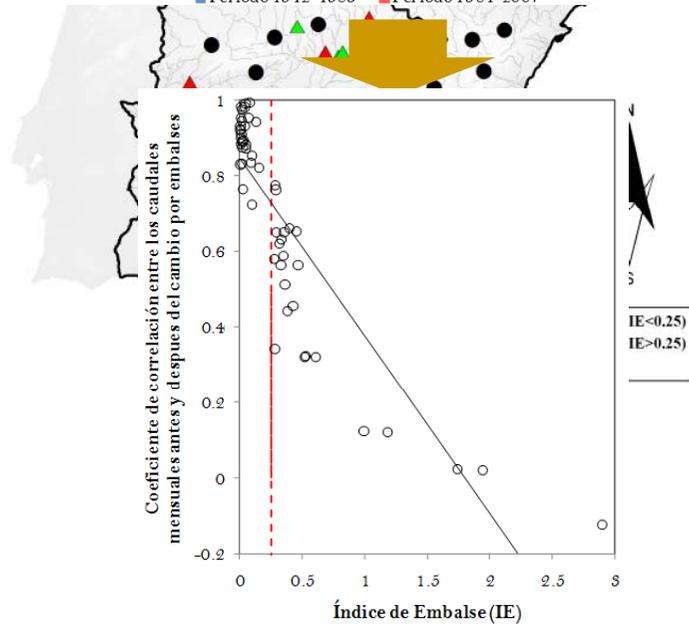
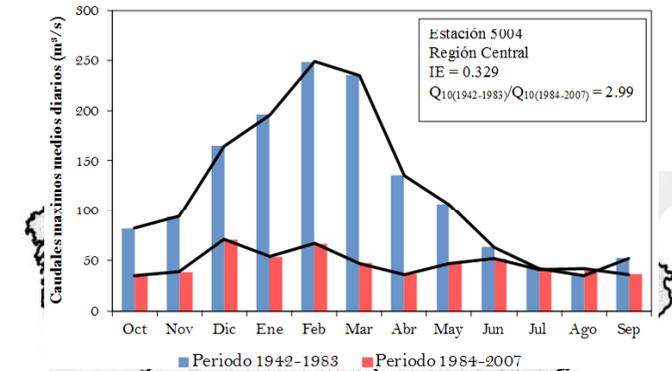
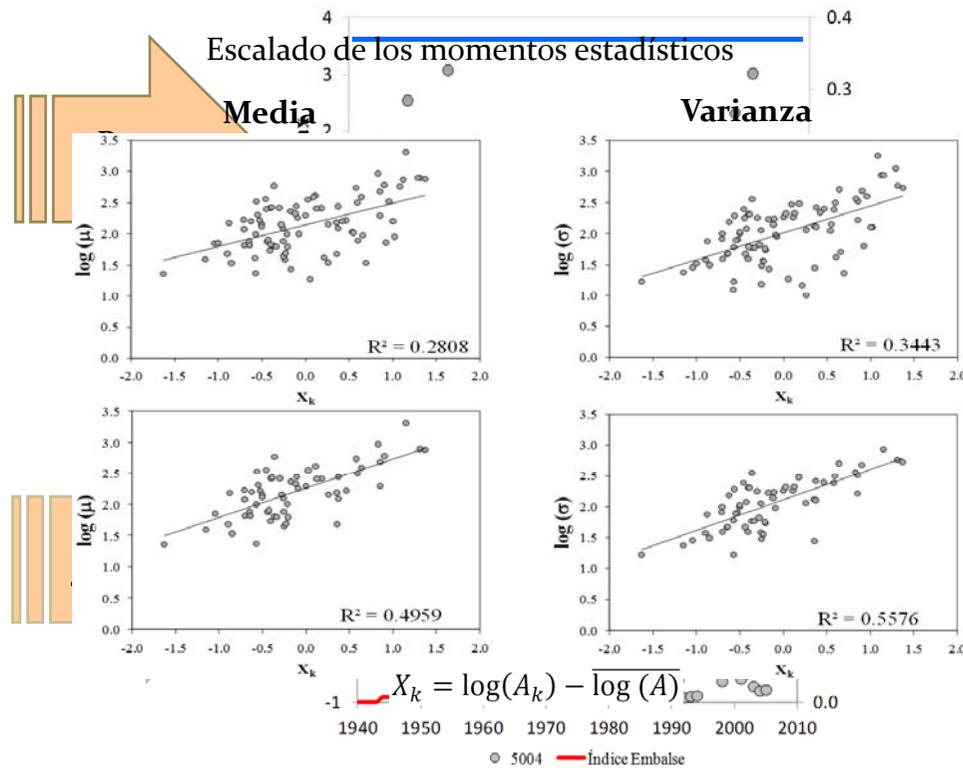
- (1) <http://www.cru.uea.ac.uk/>  
 (2) <http://www.cpc.noaa.gov/>  
 (3) <http://www.ub.edu/gc/English/wemo.htm>

▲ Régimen Alterado  
 ● Régimen Natural



Propuesta de un índice de embalse (IE):

$$IE(t) = \sum_{i=1}^n \frac{S_{E_i}(t)}{S_S} \cdot \frac{C_{E_i}(t)}{Ve} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$



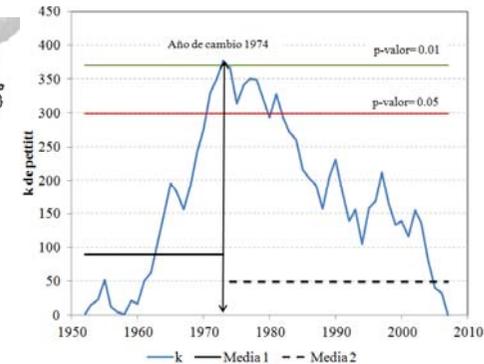
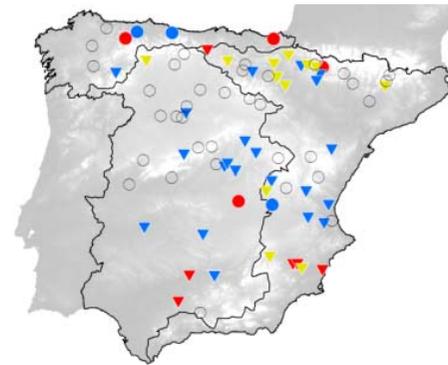
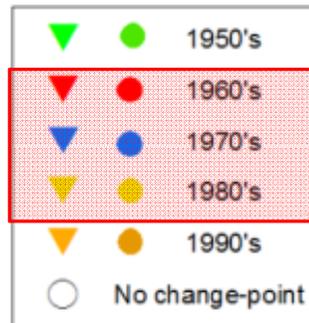
✓ Volúmenes de embalses no excedan el 50% del volumen de escurrimiento medio anual



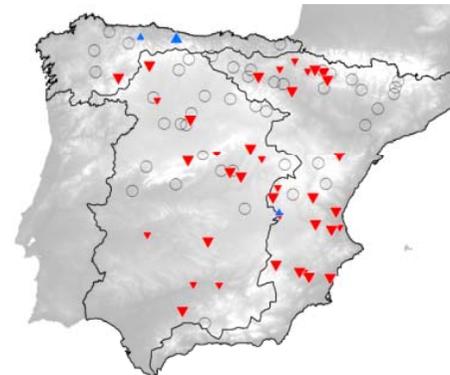
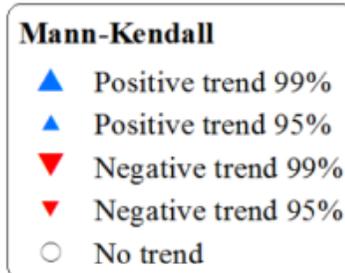
## ¿Experimentan las series temporales de caudales máximos desviaciones del supuesto de estacionaridad?

Rupturas: (Test de Pettitt)

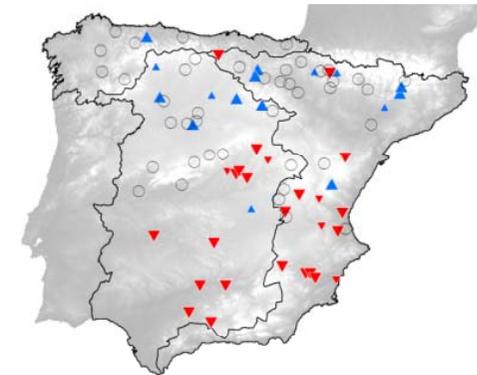
- ▼ Decreciente
- Creciente



Trends (Mann-Kendall, Pearson y Spearman) :



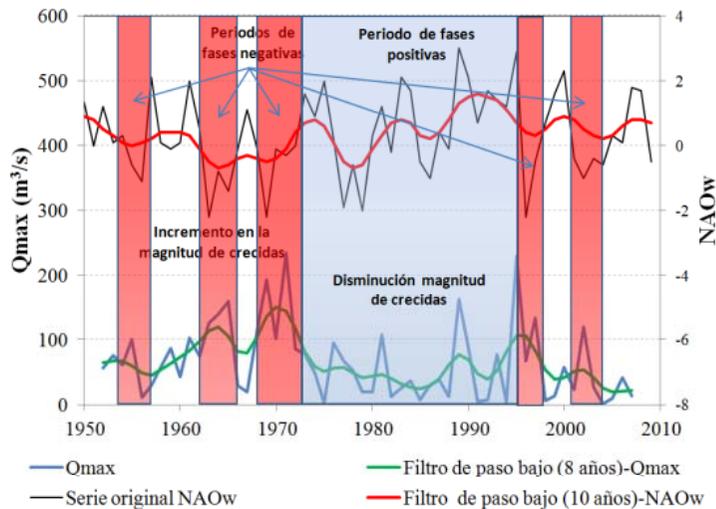
Media



Varianza

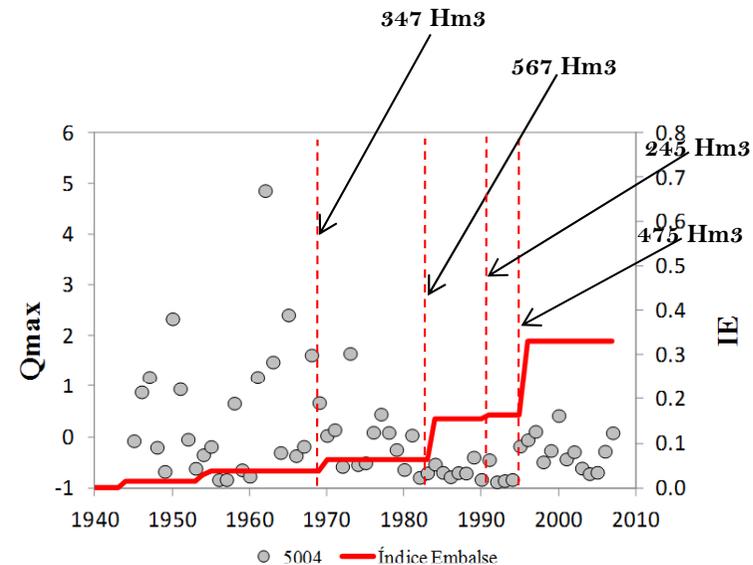
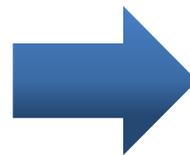
Existen evidencias de violaciones del supuesto de estacionaridad en las series temporales de caudales máximos

# Influencia de la variabilidad climática y los embalses en los cambios en los caudales



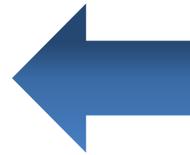
Estación 2046 (régimen natural)

La construcción de embalses ha impactado en el régimen de caudales



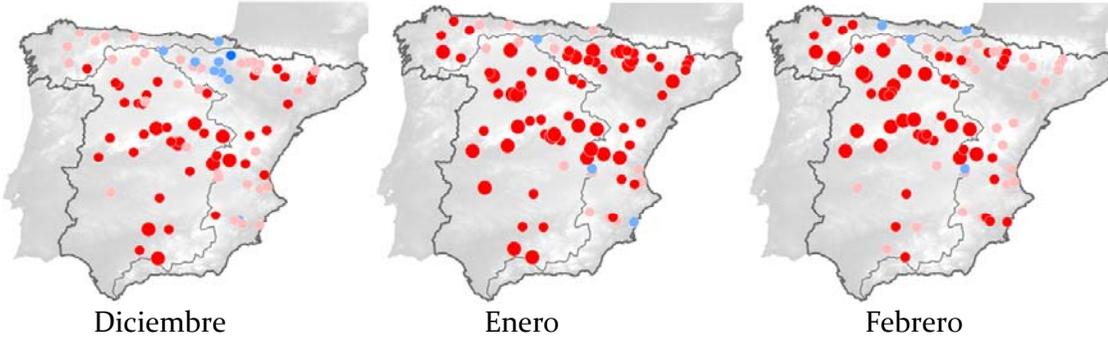
Estación 5004 (régimen alterado)

Sincronía en la evolución interanual de los regímenes de caudales máximos y las variables macroclimáticas

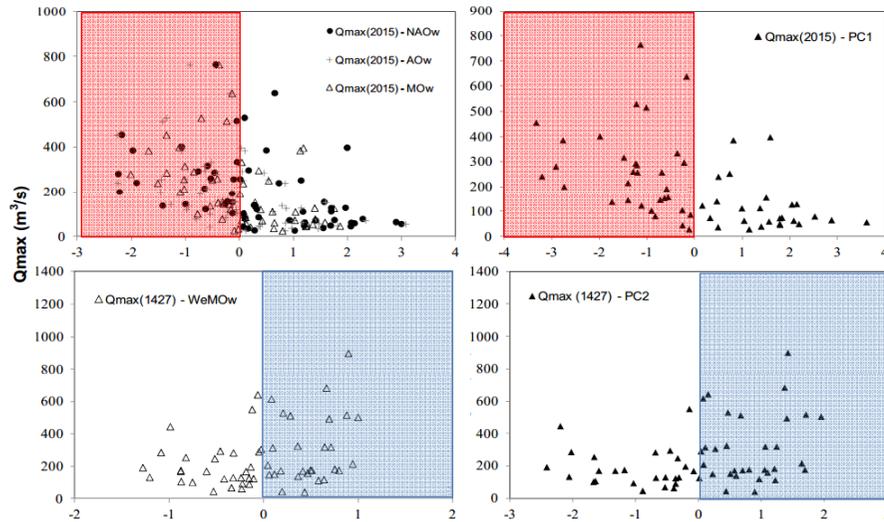
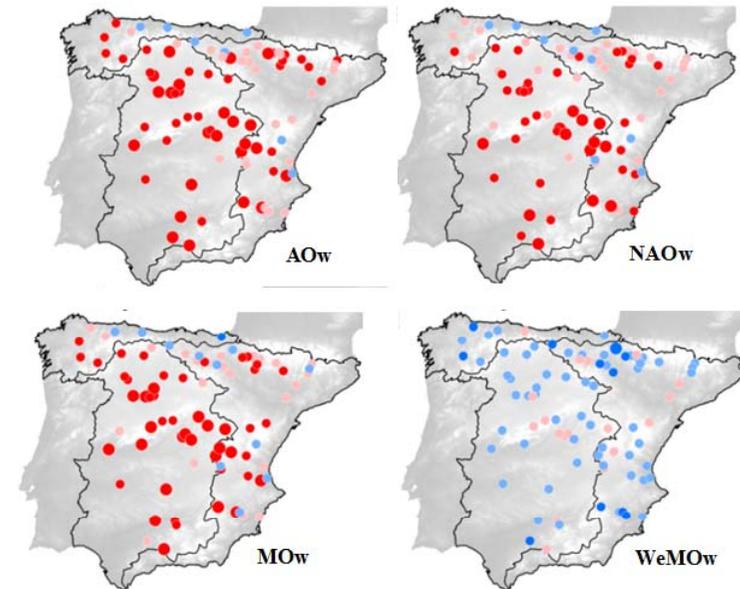


# Teleconexión: análisis de correlación

Correlación entre el índice de la NAO y los caudales máximos mensuales



Correlación entre los índices climáticos invernales y los caudales máximos mensuales



Índices climáticos invernales

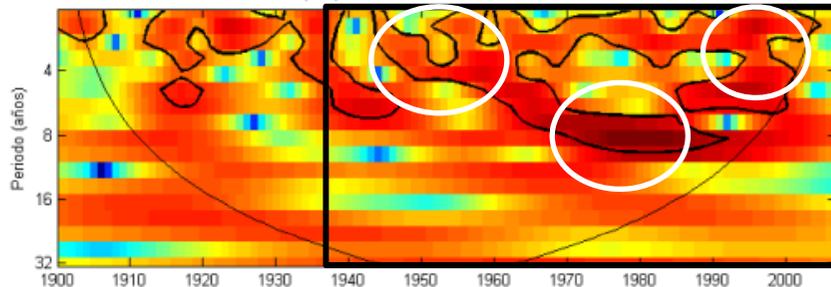
Componentes principales

- Positiva significativa  $\tau > 0.5$
- Negativa significativa  $\tau < -0.5$
- Positiva no significativa
- Negativa no significativa

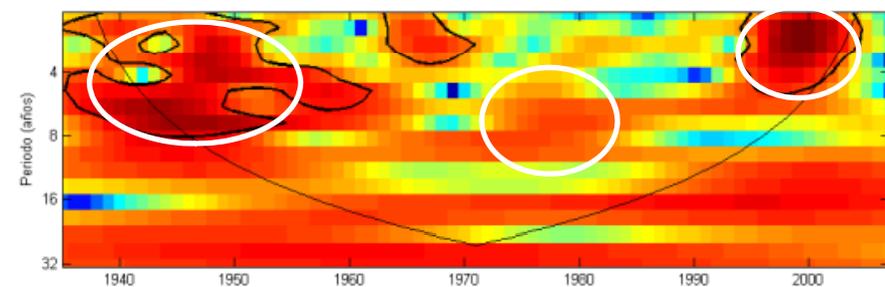
## □ Espectros continuos de potencia *wavelet*

El análisis *wavelet* es un método que nos permite identificar los modos dominantes de variabilidad en una serie temporal con características no estacionarias

Índice invernal de la NAO



Caudales máximos anuales (Estación 2015)

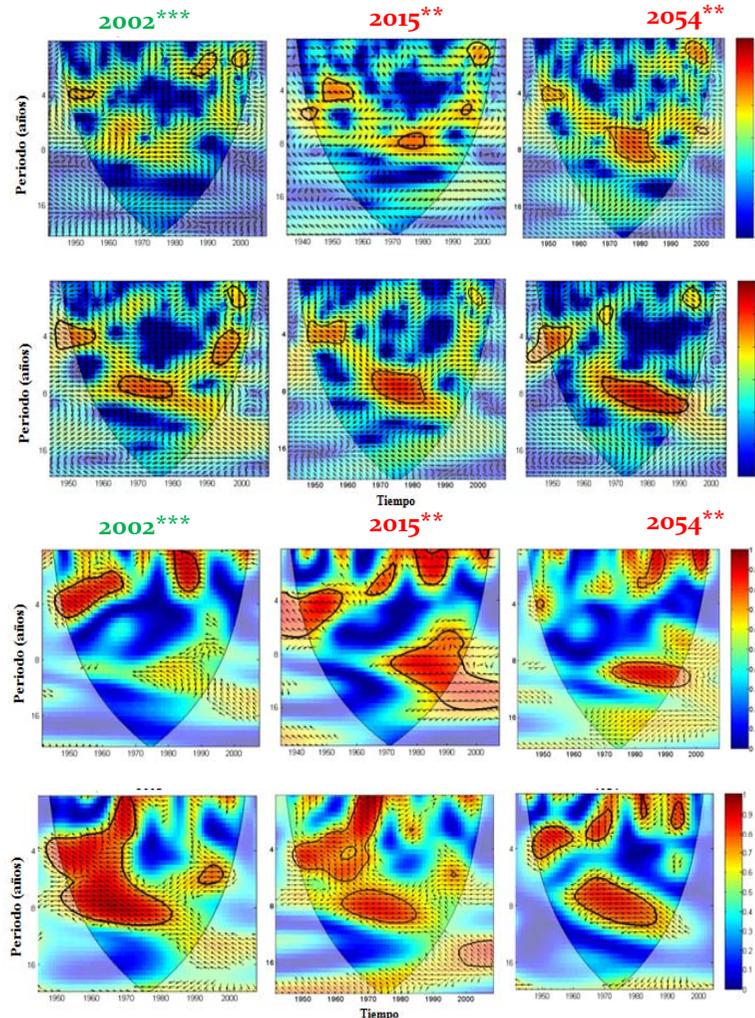


- ✓ Los espectros revelaron la intermitente actividad energética, evidenciando los cambios en la varianza de las series hidroclimáticas, mostrando que la actividad energética se encuentra organizada en las bandas interanuales (2-8 años)
- ✓ La NAO mostró mayor actividad en altas frecuencias durante los años 1950-1970 y 1990-2000, así como en frecuencias más bajas durante los años 70's y 80's
- ✓ Los espectros de las series de caudales máximos (2015) mostraron claros síntomas de no estacionaridad, así como que la actividad energética se encuentra organizada en bandas espectrales interanuales: 1940-1960 (2 - 8 años) y 1995-2005 (2 - 4 años)

**Los resultados sugieren que las variaciones interanuales en los regímenes de caudales máximos pueden ser explicado por los cambios en los patrones de baja frecuencias**



# Teleconexión: análisis *wavelet*



\*régimen natural

\*\* régimen poco alterado

\*\*\*régimen muy alterado

NAOw

- ✓ Los espectros revelaron la alta covarianza en el espacio tiempo-frecuencia entre el índice invernal de la NAO y los caudales máximos anuales
- ✓ Las series covarían principalmente en las bandas espectrales interanuales (2-8 años)
- ✓ En frecuencias mas altas es mas persistente la potencia espectral así como la coherencia

El análisis *wavelet* permitió diagnosticar que la variabilidad en los regímenes de crecidas está fuertemente modulada por los cambios en los patrones de variabilidad climática.

# Modelos propuestos y criterios de selección

- Modelo 1.  $Y_t \sim F(y_i; \boldsymbol{\theta})$  (modelo estacionario)
- Modelo 2.  $Y_t \sim F(y_i; \boldsymbol{\theta}_t(t))$  (modelo de tendencias)
- Modelo 3.  $Y_t \sim F(y_i; \boldsymbol{\theta}_t(\text{CP1}_t, \text{CP2}_t, \text{IE}_t))$  (modelo de covariables)
  
- Criterios de selección:
  - Criterio de información de Akaike (CIA)
  - Criterio Bayesiano de Schwarz (CBS)
  
- Evaluación del ajuste de los modelos: normalidad y dependencia de los residuales
  - Gráficos qq-plots y worm-plots
  - Función de autocorrelación
  - Cálculo de los cuatro momentos estadísticos



# Implementación de los modelos no estacionarios

## Modelo 1 (modelo de tendencia)

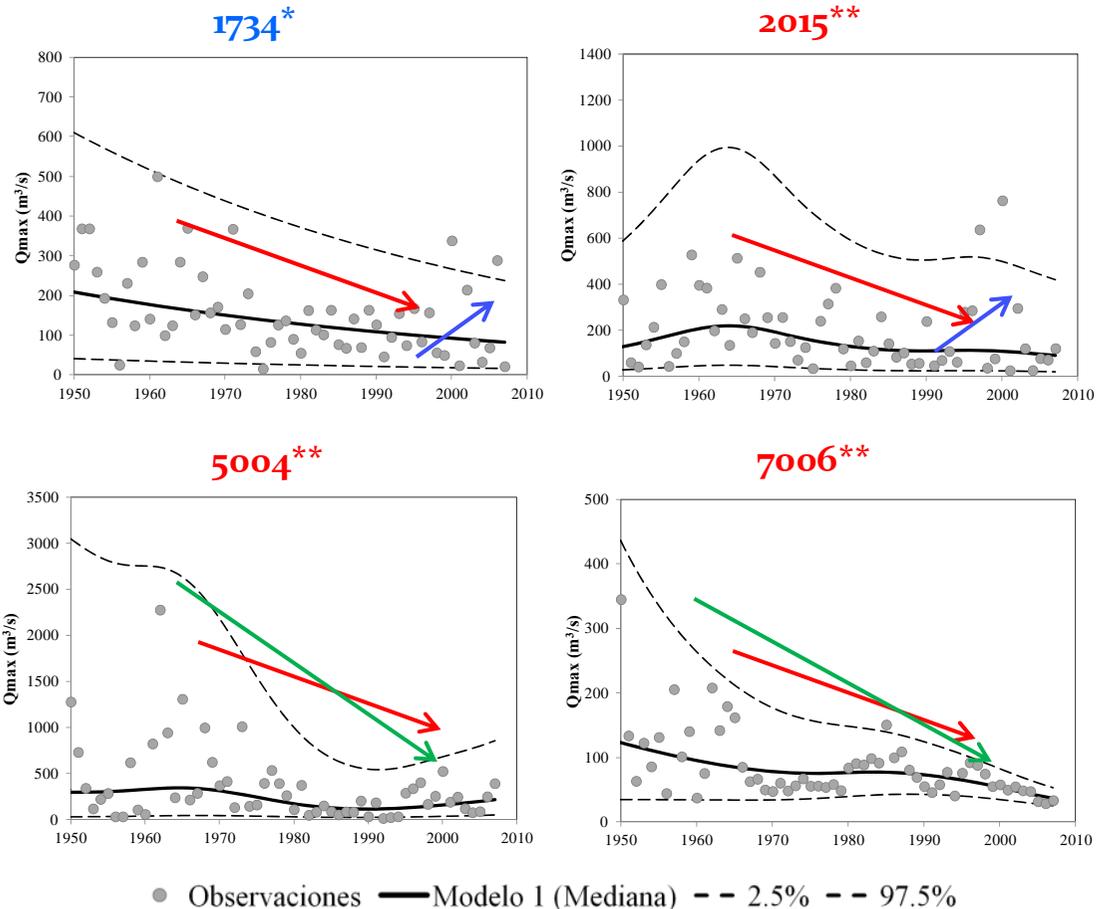
✓ Los modelos muestran el potencial para describir adecuadamente las no estacionaridades

✓ Los modelos exhiben no linealidades en la relación entre el tiempo y los parámetros de las FDP

✓ En general, los caudales máximos anuales muestran una disminución notable en la magnitud

✓ La magnitud de la disminución es más evidente en las estaciones 5004 y 7006 (régimen muy alterado)

✓ Un aumento en la magnitud en el periodo 1995-2005 es ignorado en este modelo



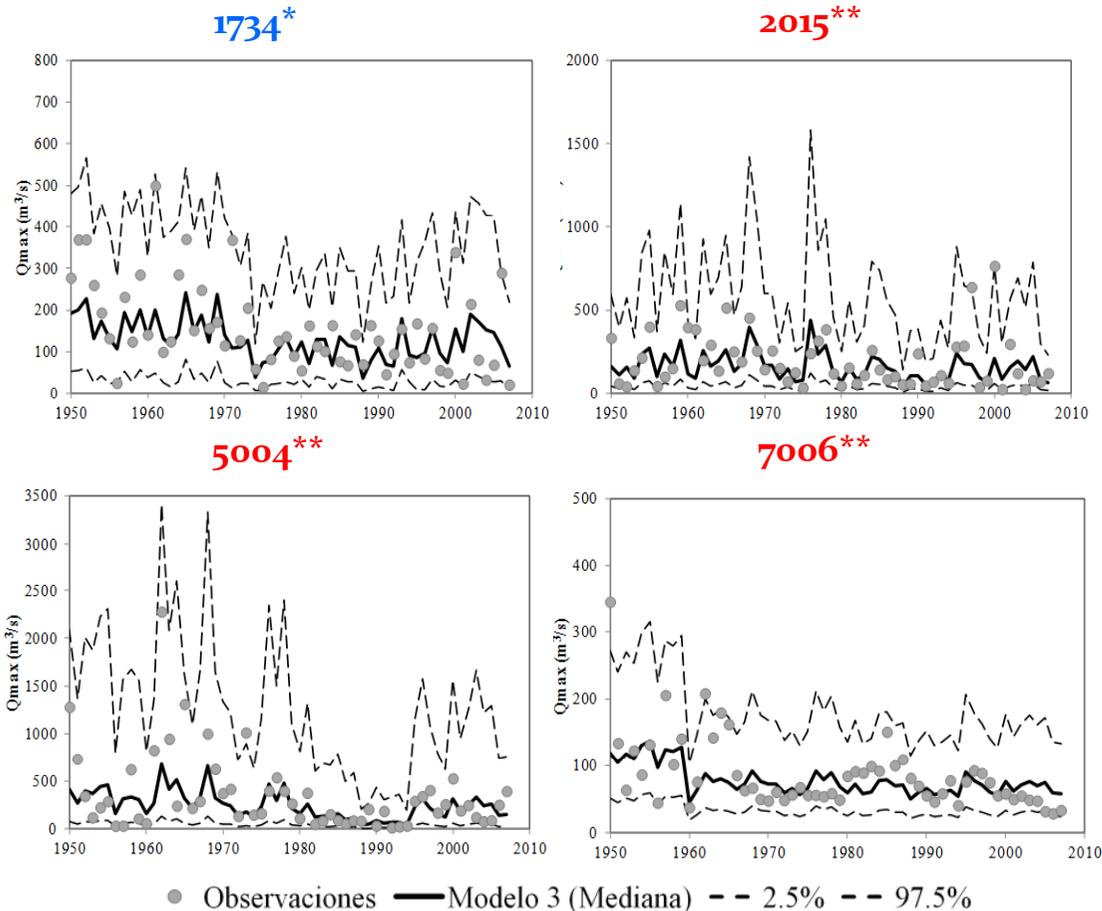
\* régimen natural  
\*\* régimen alterado



# Implementación de los modelos no estacionarios

## Modelo 2 (modelo de componentes principales)

- ✓ Los modelos estacionarios incorporando las covariables externas muestran una descripción más adecuada
- ✓ Los modelos resultan más parsimoniosos incorporando las CP como covariables
- ✓ Se pudo establecer una dependencia lineal en la relación entre las CP y los parámetros de las FDP
- ✓ La CP<sub>1</sub> resulto covariables significativa en 18 sitios (explica el 66% de la varianza de los índices de las VM)
- ✓ LNO y GA se presentaron como las distribuciones paramétricas más adecuadas



\* régimen natural

\*\* régimen alterado



# Aplicación de los modelos no estacionarios

## Modelos no estacionarios como herramientas predictivas:

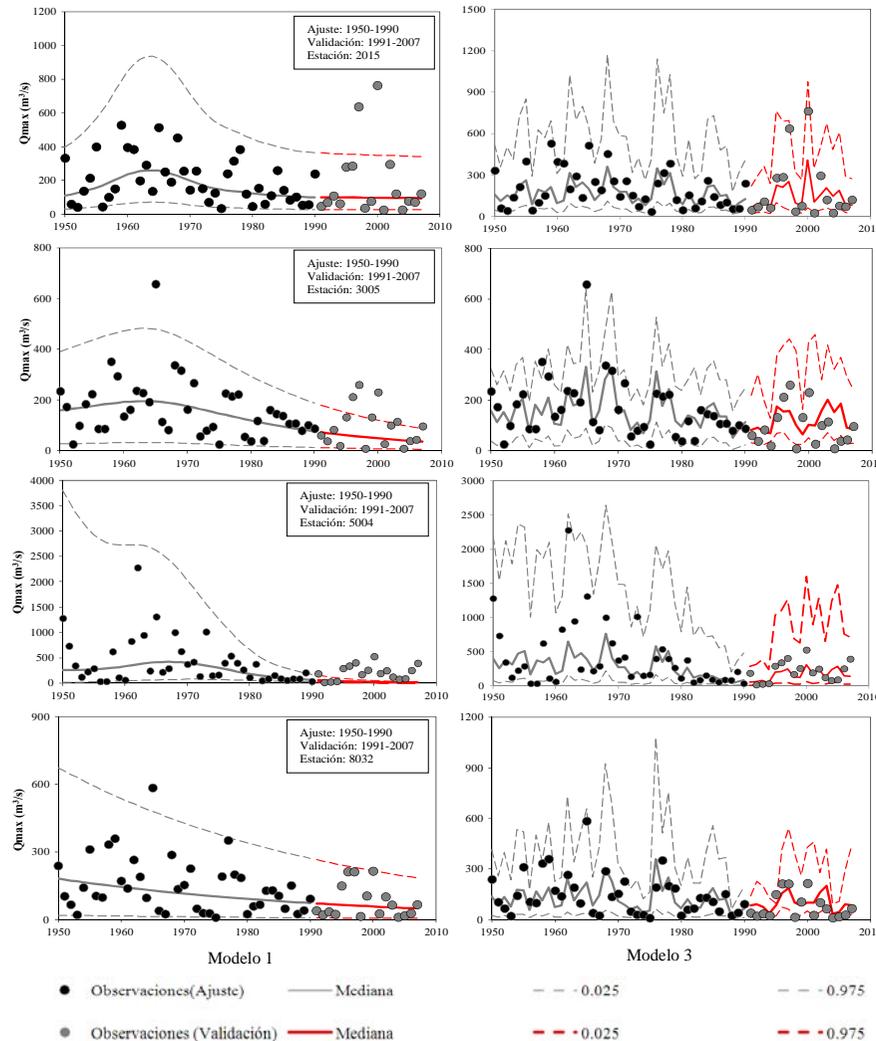
Periodo ajuste: 1950-1990

Periodo validación: 1991-2007

✓ Los modelos de tendencia temporal no describen adecuadamente el comportamiento del régimen de caudales posterior al periodo de ajuste

✓ Las **covariables externas** mejoran los resultados obtenidos en la validación con los modelos no estacionarios

✓ Es necesario analizar los efectos del cambio climático antropogénico en los modos de variabilidad de los patrones de baja frecuencia **ya que incorpora cierto grado de imprevisibilidad y ausencia de robustez en la predicción**



- Las series temporales de caudales máximos en la España peninsular experimentan desviaciones importantes del supuesto de estacionaridad (cambios y tendencias ).
- Es evidente la influencia que tienen los patrones de variabilidad de baja frecuencia (asociados a las precipitaciones invernales de origen advectivo) en la variabilidad interanual de los caudales máximos
- Los impactos de la variabilidad climática natural y el impacto de los embalses pueden explicar en parte los cambios observados en las series temporales de caudales máximos.
- La implementación de los modelos de tendencia temporal demostró que los parámetros de las distribuciones adoptadas presentan una alta dependencia del tiempo.
- La incorporación de covariables externas en los modelos estadísticos, demostró que estos pueden describir adecuadamente la variabilidad interanual de los regímenes de crecidas.
- Los modelos no estacionarios se presentan como una interesante alternativa adicional al análisis de frecuencias de crecidas clásico, permitiendo incorporar los efectos de forzamientos externos.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

GIMHA  
Grupo de Investigación de Modelación  
Hidrológica y Ambiental



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente

# Muchas gracias por su atención

**Jesús López (jeslpede@posgrado.upv.es)**

Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental

[lluvia.dihma.upv.es](http://lluvia.dihma.upv.es)

Este estudio ha sido financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y el Ministerio Español de Economía y Competitividad a través del proyecto FLOOD-MED CGL2008-06474-C02-01/02)



2013

Valencia, 23 y 24 de octubre de 2013

III JORNADAS DE INGENIERÍA DEL AGUA

*La protección contra los riesgos hídricos*