

# Regulación y cambio climático

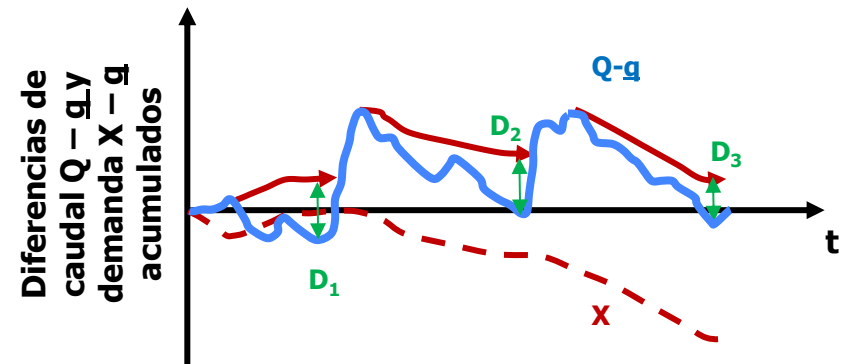
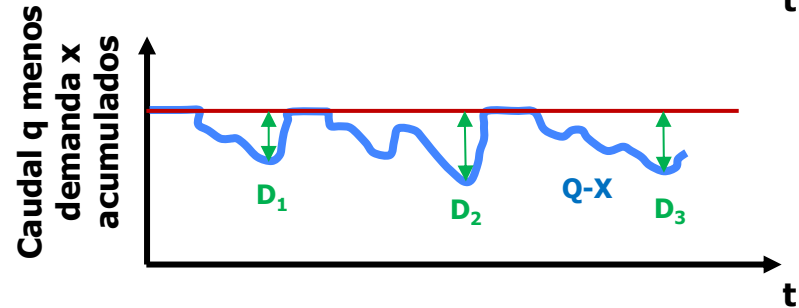
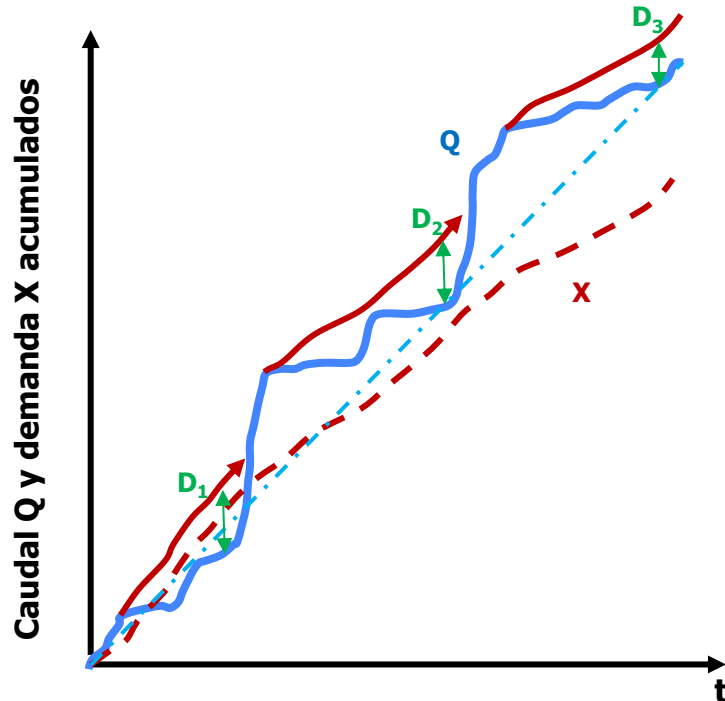
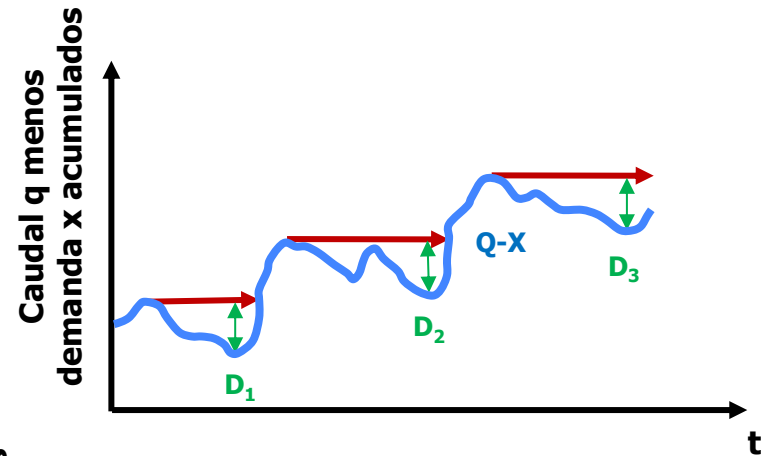
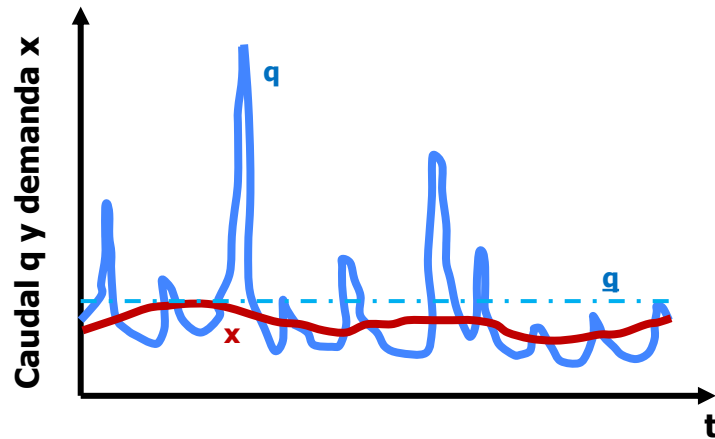
## El papel de los embales en un contexto de cambio climático



**POLITÉCNICA**

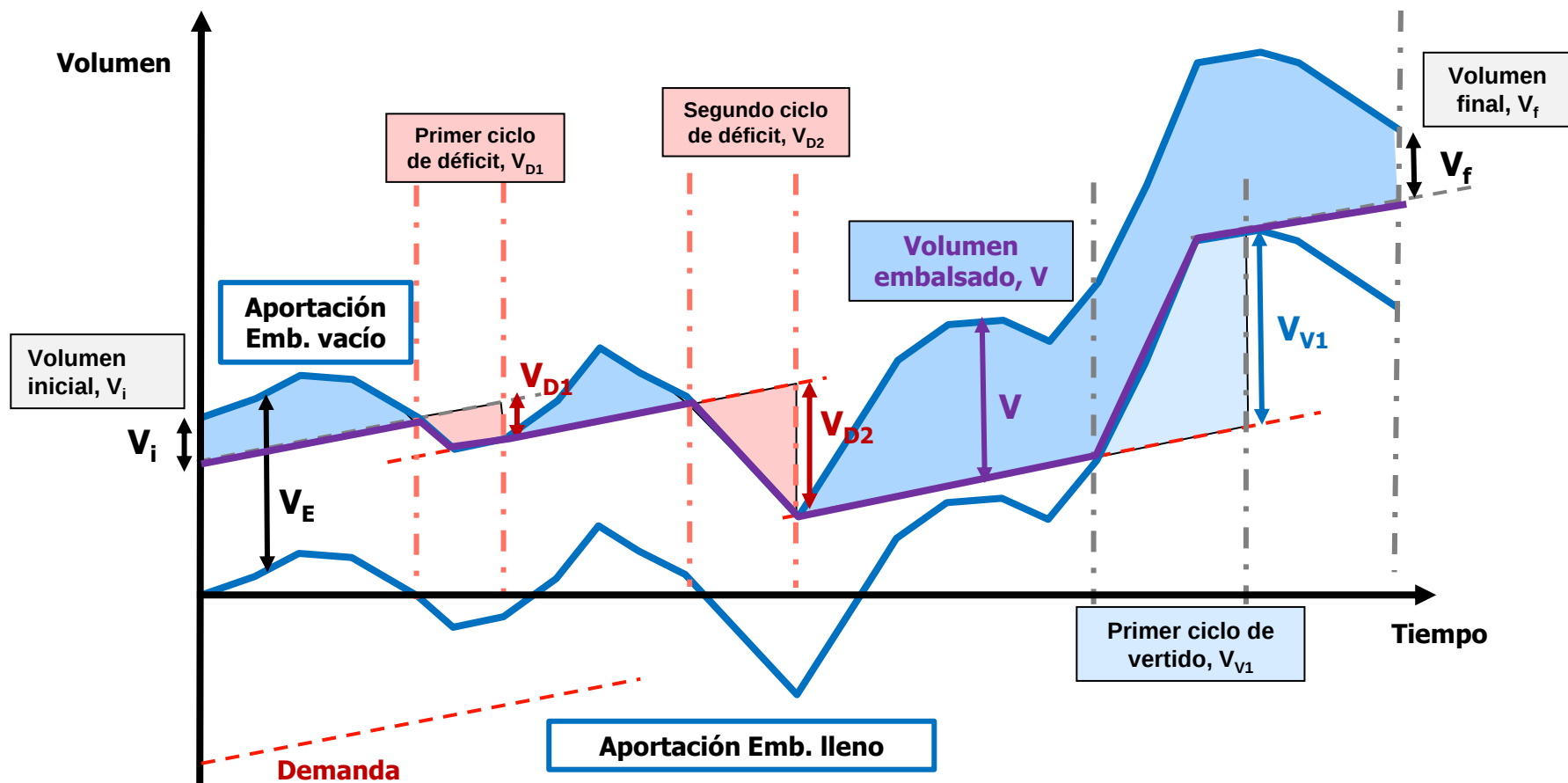
**Luis Garrote, Alfredo Granados, Álvaro Sordo,  
Francisco Martín-Carrasco**

# Análisis de la regulación: volumen de embalse



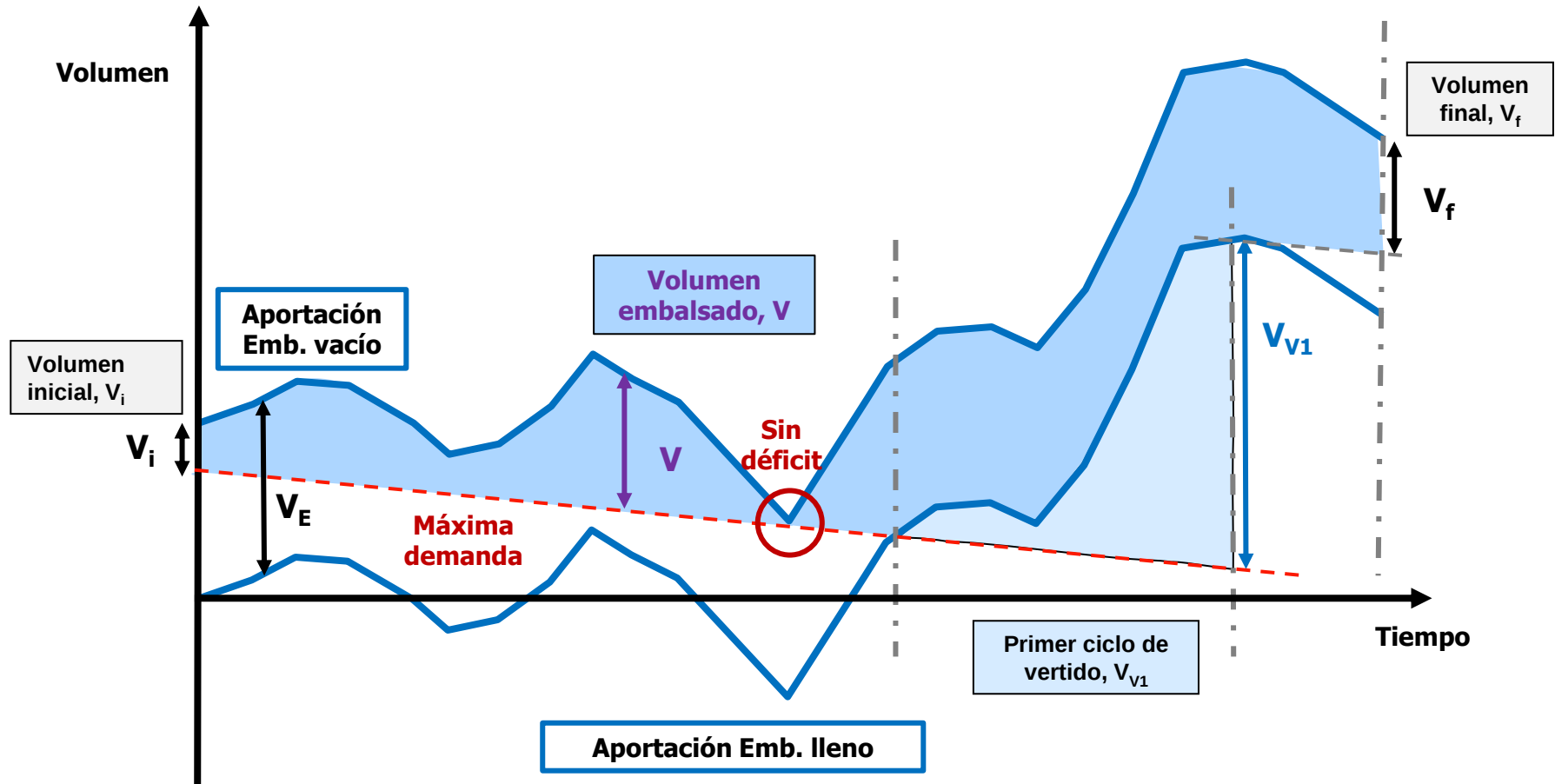
Volumen de embalse:  
Máximo déficit acumulado  $D_{\max}$

# Cálculo de explotación del embalse



El funcionamiento del sistema se evalúa comparando los déficits  $V_{Di}$  con un criterio de aceptación, denominado **"criterio de garantía"**

# Disponibilidad de agua



Corresponde a la máxima demanda que se puede atender respetando un cierto "criterio de garantía"

# WAAPA/ADAPTA: Modelo de disponibilidad de agua

## ❖ Datos de aportaciones

- Situación de control
- Escenarios de cambio climático

## ❖ Características de demanda

- Riego y urbana
- Criterio de garantía  
Urbana 98%  
Riego 90%

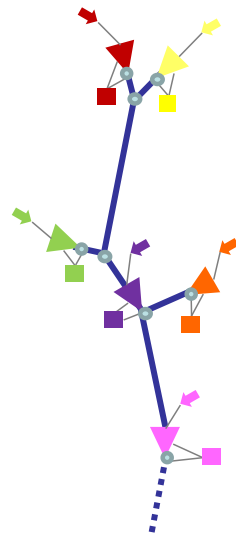
**Water**  
**Availability and**  
**Adaptation**  
**Policy**  
**Analysis**

**Análisis de**  
**Disponibilidad de**  
**Agua y**  
**Políticas de**  
**AdapTAción**

## ❖ Tres alternativas de regulación

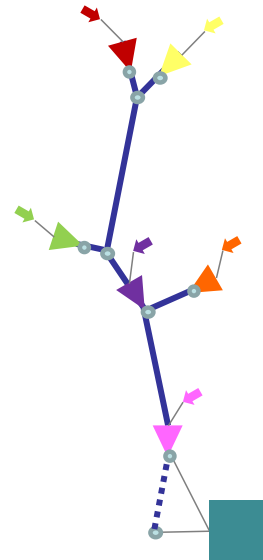
- Regulación concentrada: cada embalse en su nudo de la red fluvial atiende demanda local
- Regulación distribuida cada embalse en su nudo de la red fluvial, pero se atiende demanda global
- Regulación integral: embalse total equivalente que atiende demanda global

**Local  
management**



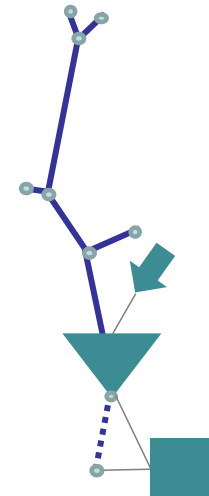
Every reservoir supplies local demands only

**Global  
management of  
distribution**



All reservoirs contribute to supply all demands, but reservoirs are operated independently

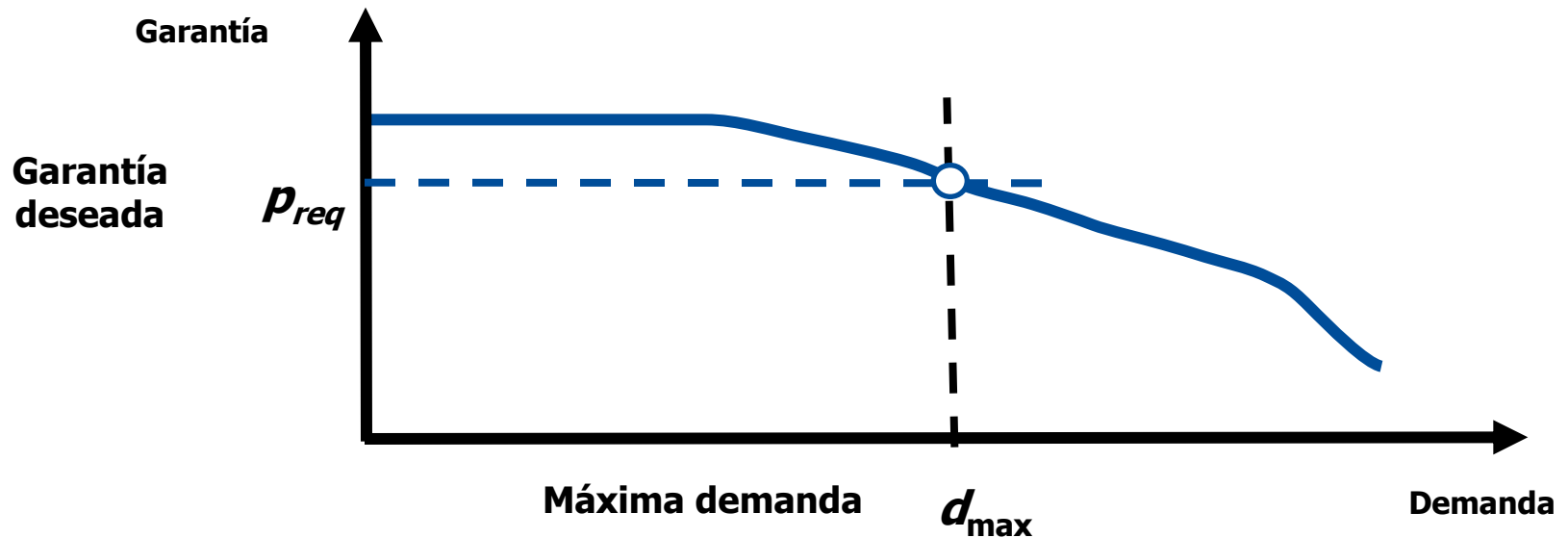
**Global  
management of  
supply and  
distribution**



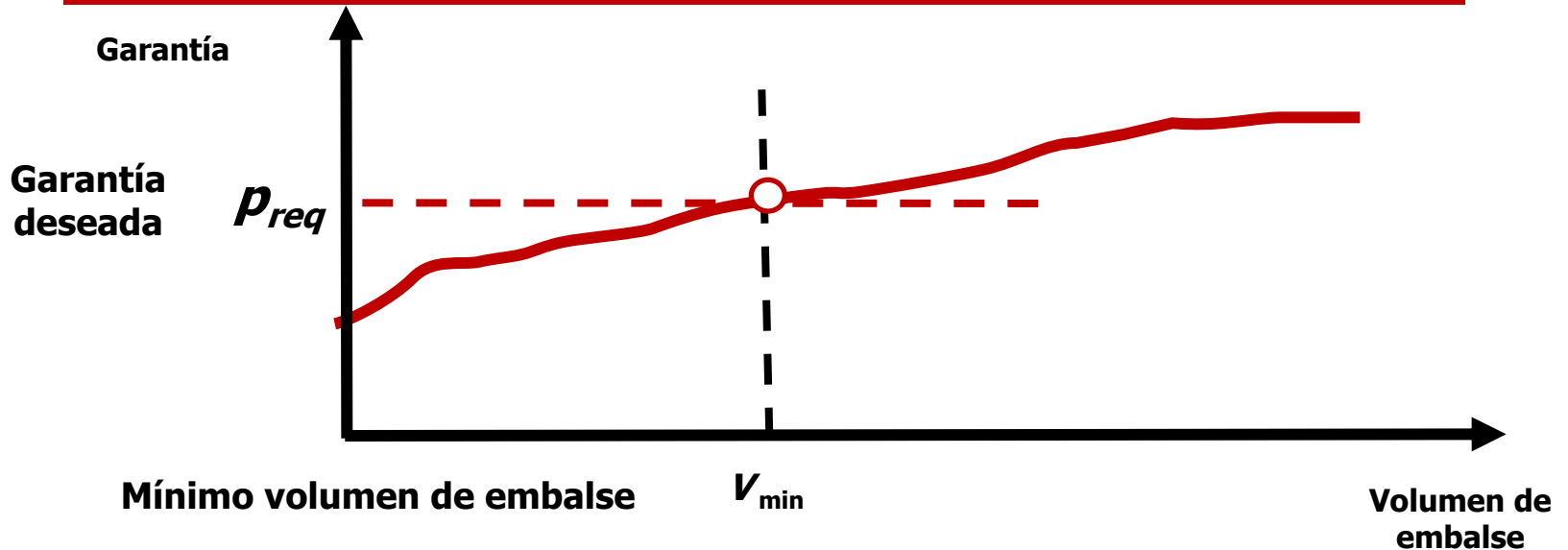
All reservoirs are operated jointly to supply all demands

# Macros para análisis del sistema

## Volumen de embalse fijo, demanda variable



## Demanda fija, volumen de embalse variable

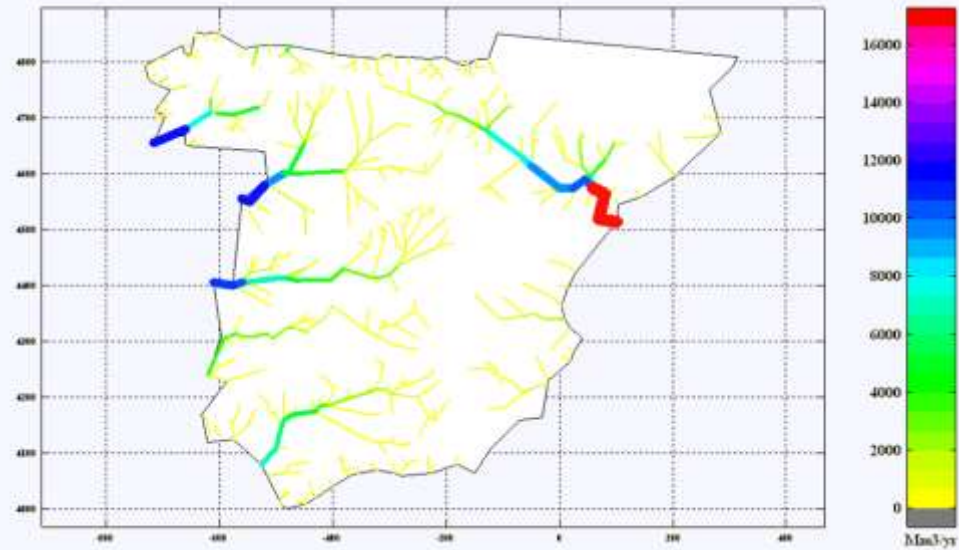


# Caso de estudio 1: España

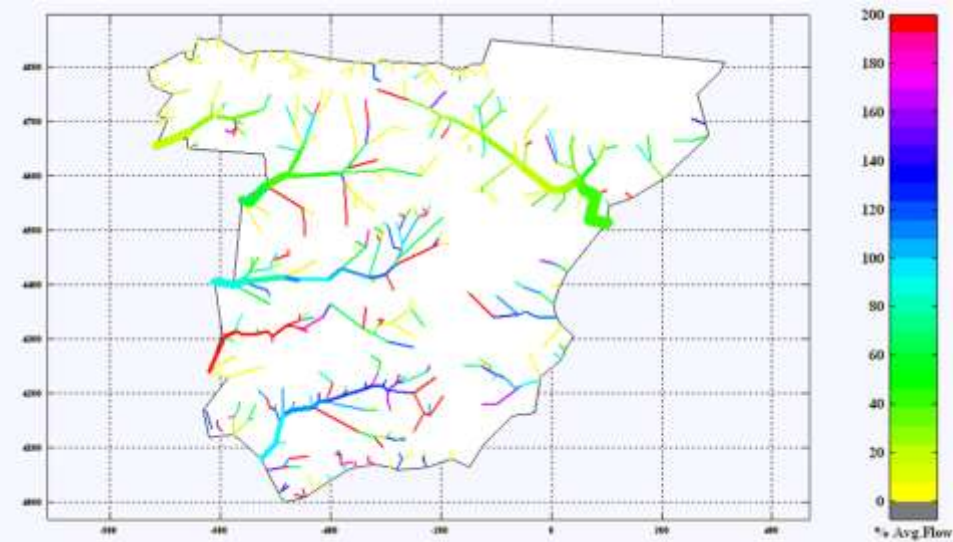
500 cuencas analizadas



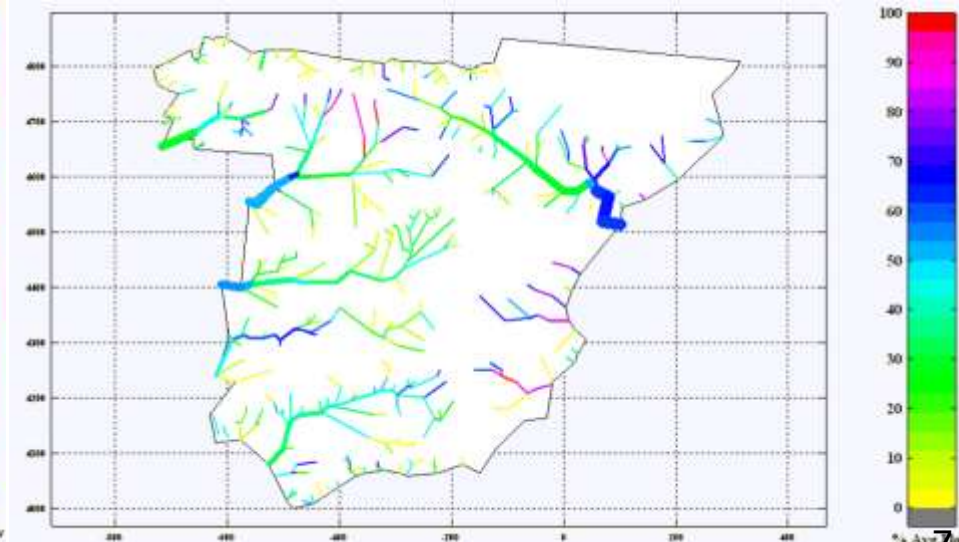
Aportación media anual ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )



Volumen de embalse (% Aportación)



Disponibilidad con embalses (% Aportación)



## ➤ Índice de sensibilidad

- Relación entre la variación de disponibilidad de agua y la variación de aportación

## ➤ Interpretación

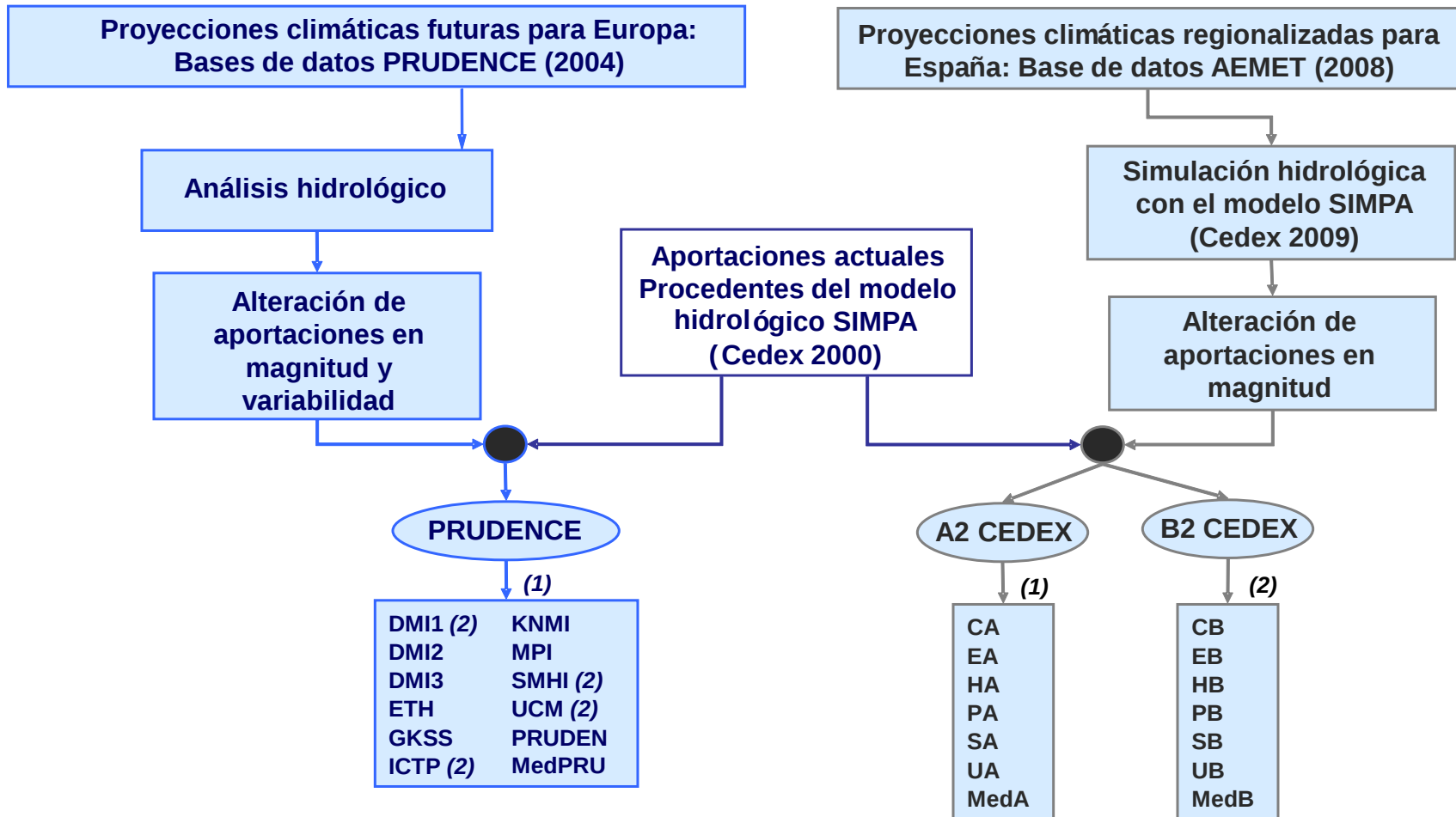
- Valores inferiores a la unidad indican que los efectos del cambio climático se atenúan
- Este efecto es debido a la capacidad de regulación de los embalses y resulta obvio si la única variación es el valor medio de la aportación

## ➤ Problema

- En la práctica no sólo varía la media, sino prácticamente todas las características de la serie de aportaciones

# Escenarios climáticos

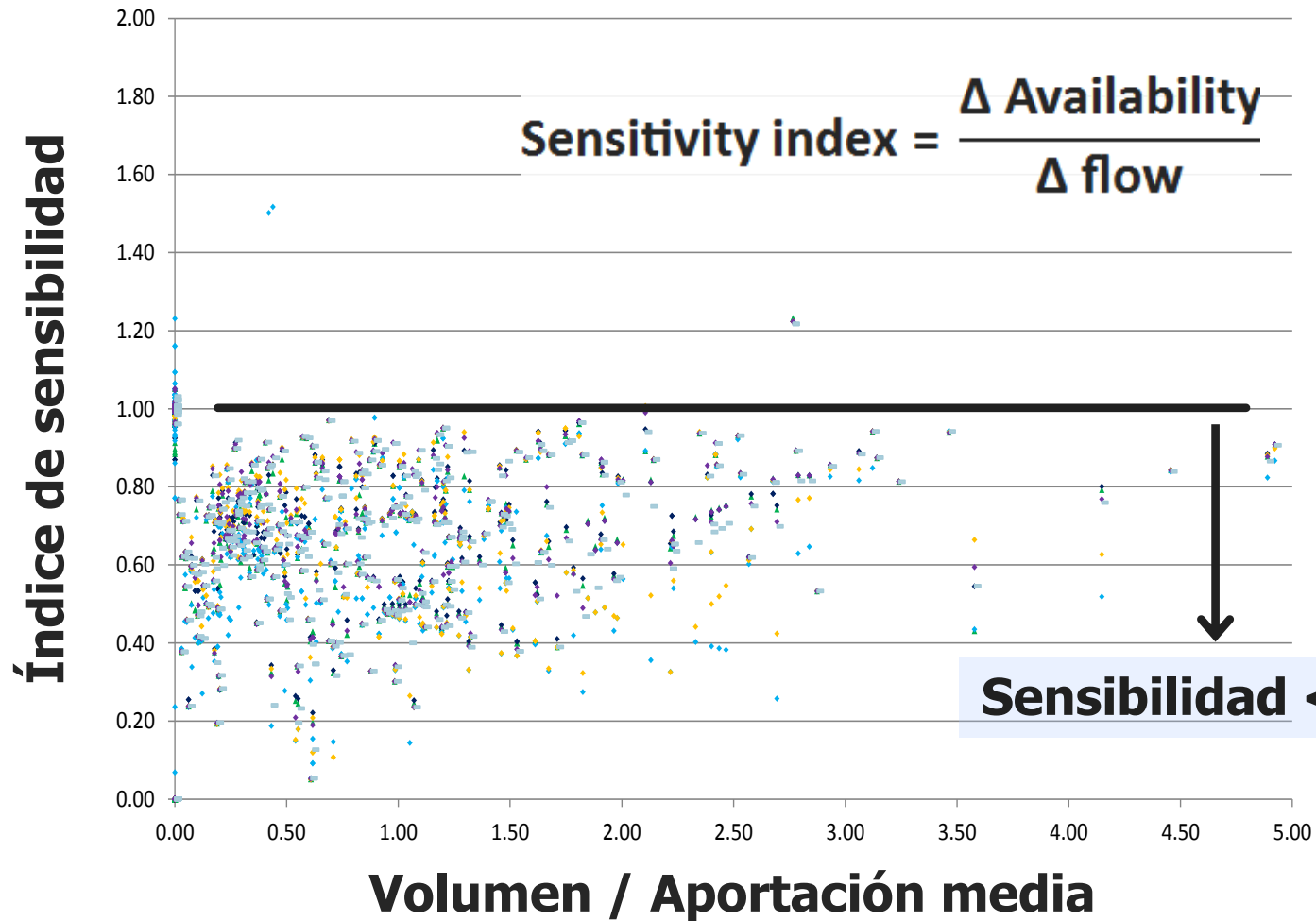
- Se analizaron los resultados del estudio del CEDEX y del proyecto europeo PRUDENCE



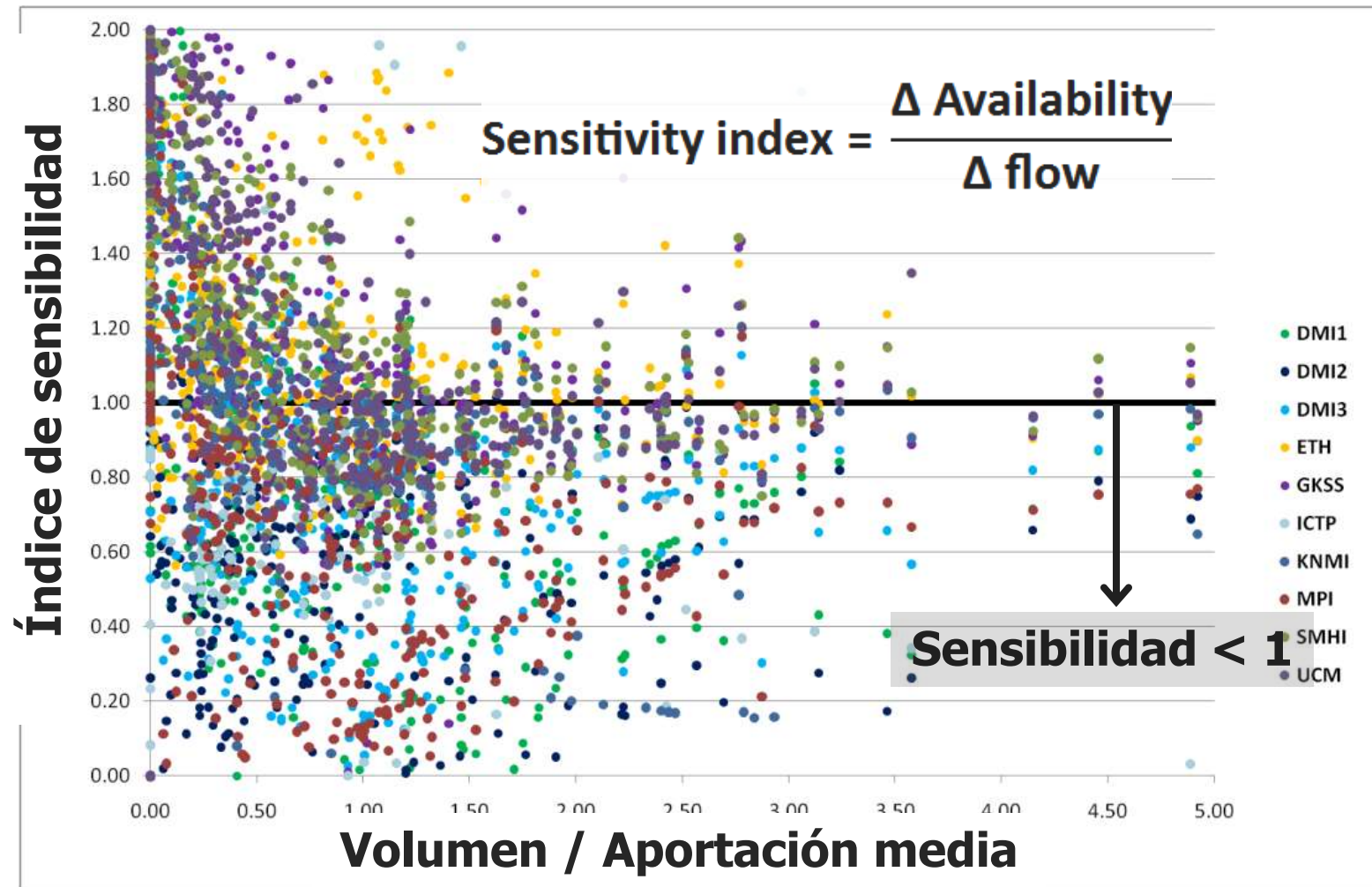
(1) Corresponden al escenario de emisiones A2

(2) Corresponden al escenario de emisiones B2

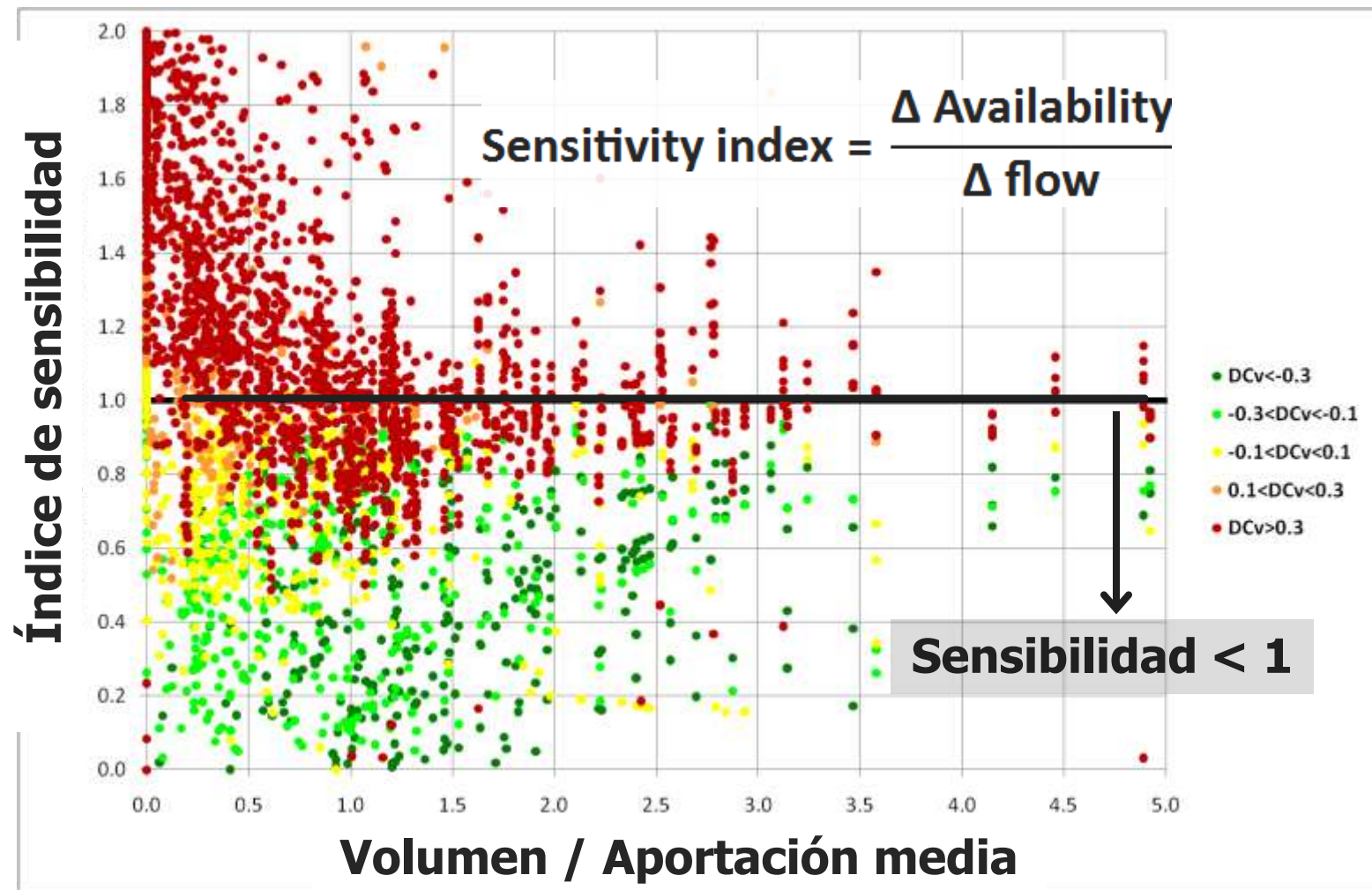
# Escenarios CEDEX



# Escenarios PRUDENCE



# Escenarios PRUDENCE

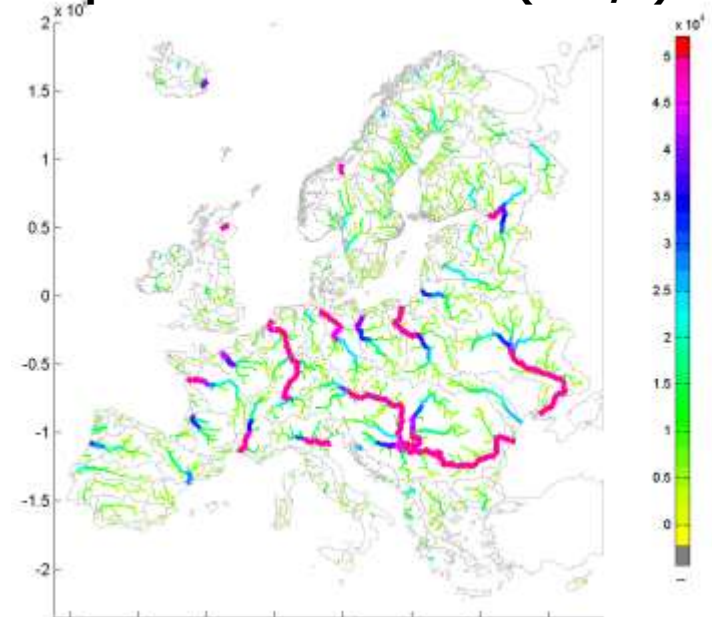


# Caso de estudio 2: Europa

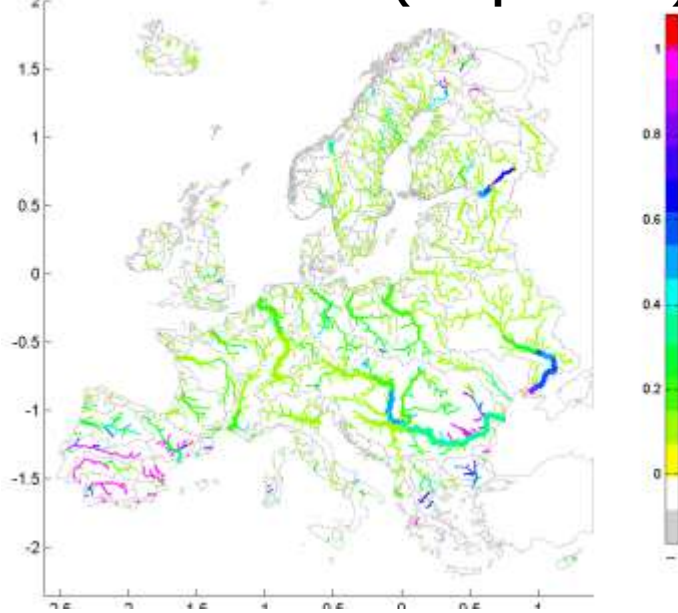
1260 cuencas analizadas



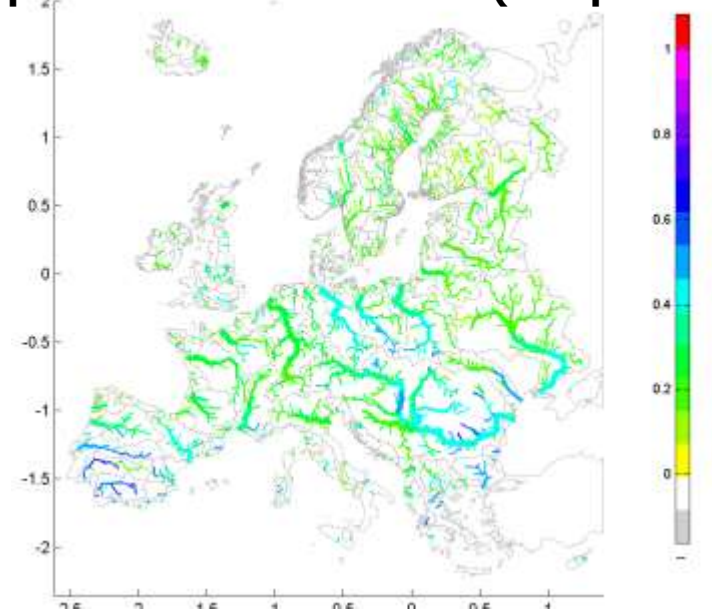
Aportación media anual ( $\text{hm}^3/\text{a}$ )



Volumen de embalse (% Aportación)

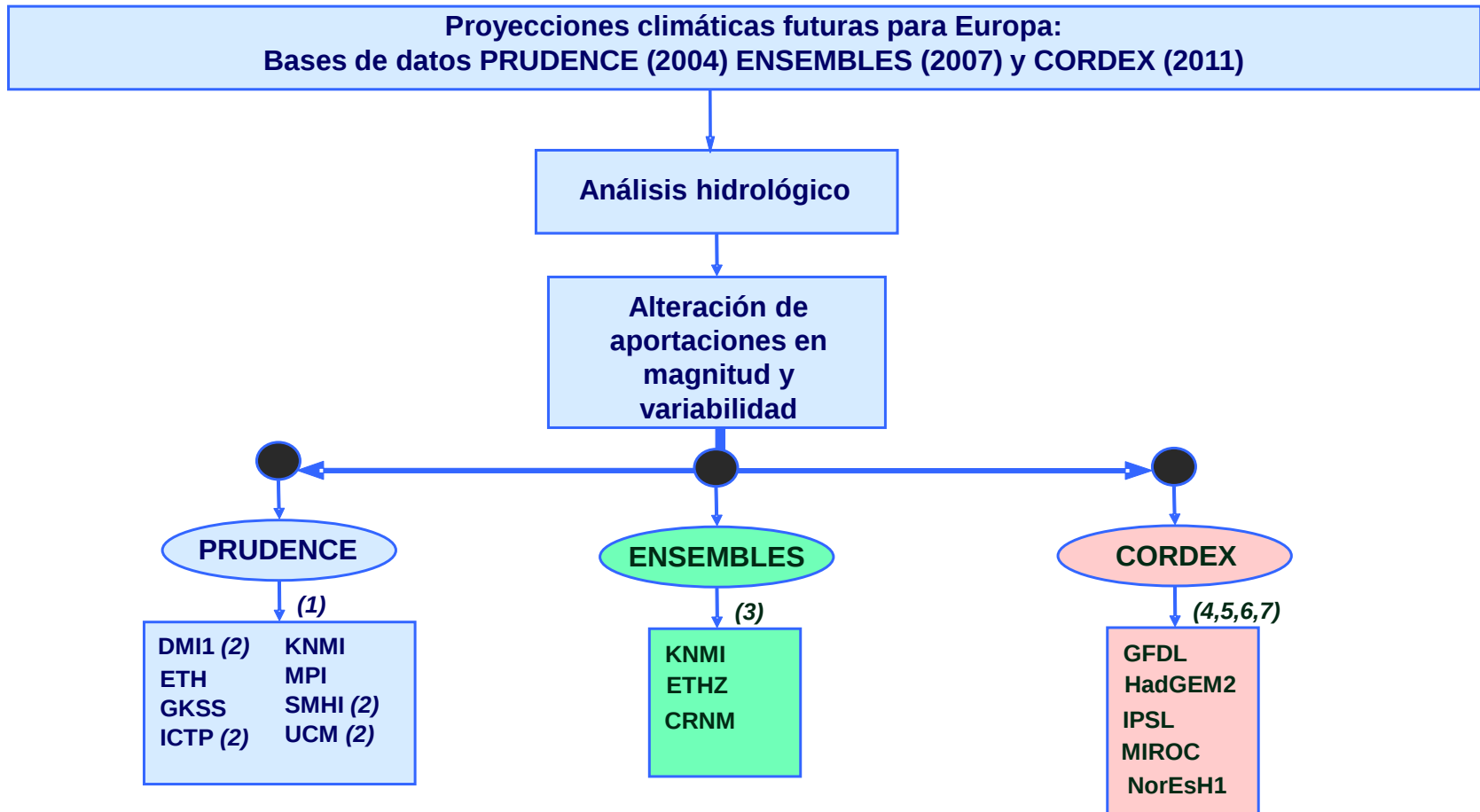


Disponibilidad con embalses (% Aportación)



# Escenarios climáticos

- Se analizaron los resultados de los proyectos europeos **PRUDENCE**, **ENSEMBLES** y **CORDEX**



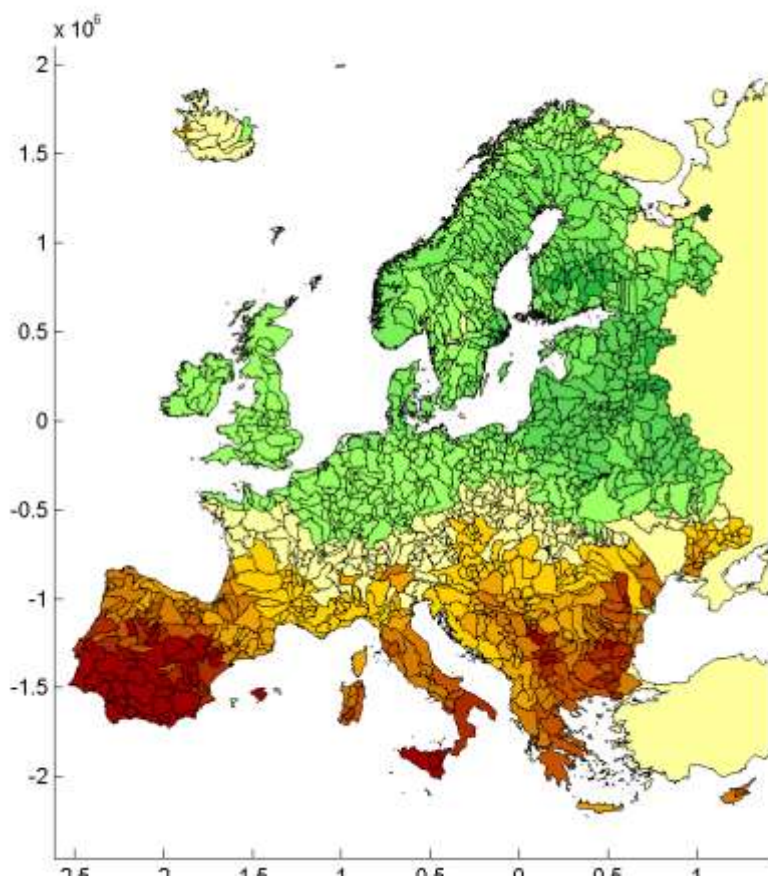
- (1) Corresponden al escenario de emisiones A2  
(2) Corresponden al escenario de emisiones B2  
(3) Corresponden al escenario de emisiones A1B

- (4) Corresponden al escenario de emisiones RCP2  
(5) Corresponden al escenario de emisiones RCP4  
(6) Corresponden al escenario de emisiones RCP6  
(7) Corresponden al escenario de emisiones RCP8

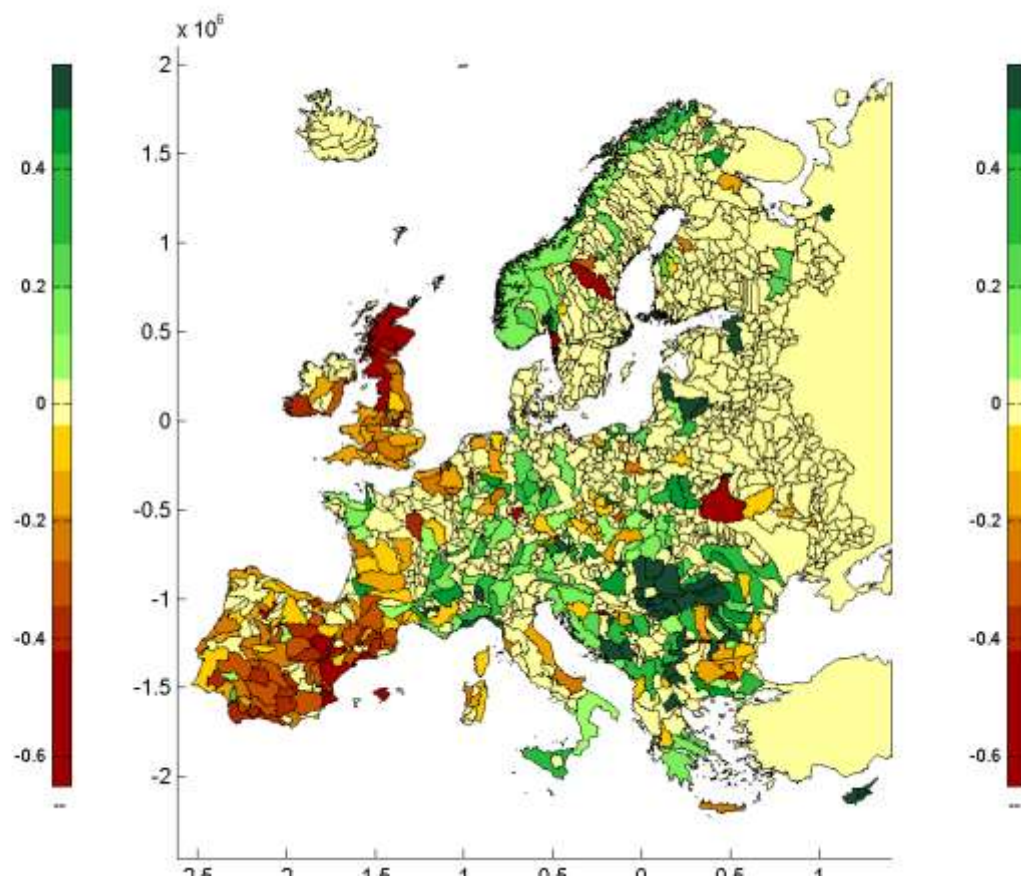
# Respuesta al cambio climático en disponibilidad de agua

Escenario RCP4.5

CAMBIO de ESCORRENTÍA



CAMBIO de DISPONIBILIDAD

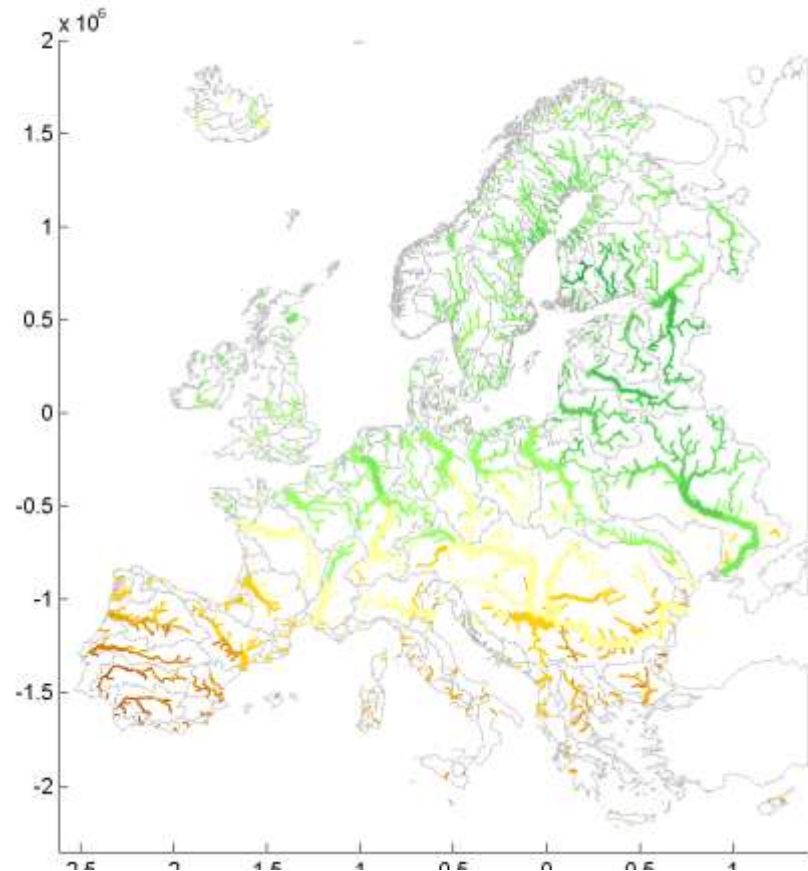


Ciclo de 5 modelos

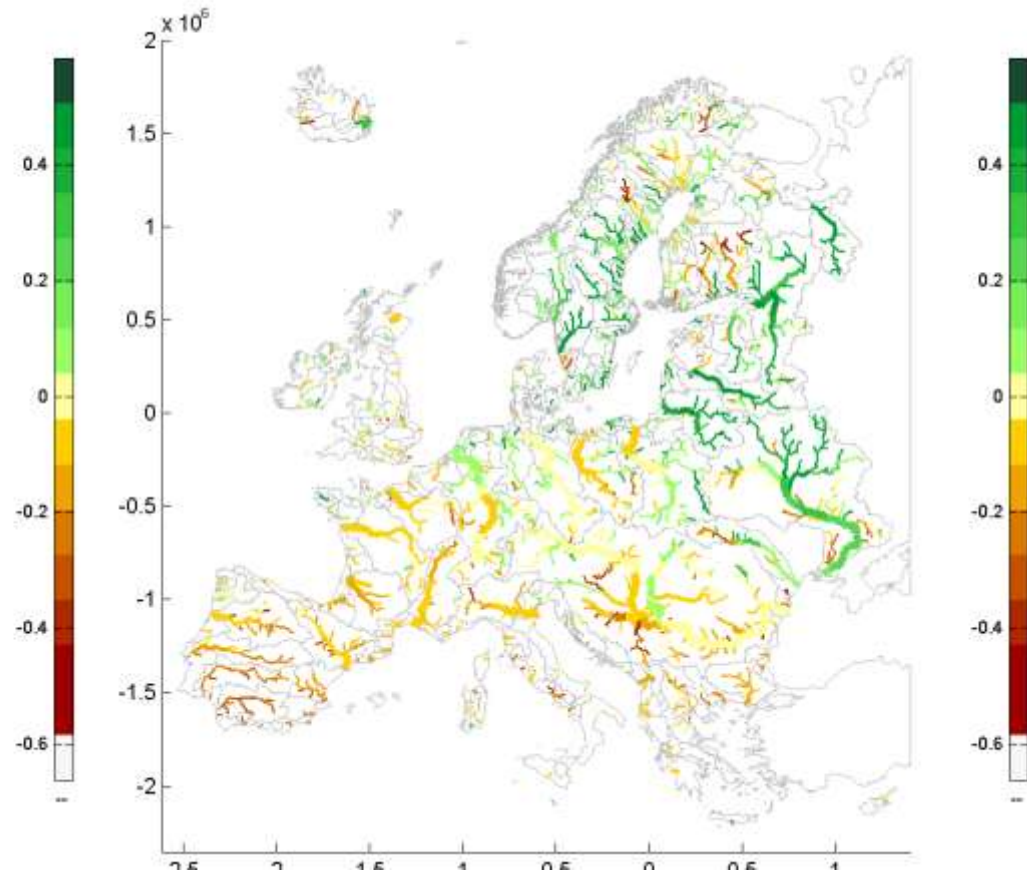
# Cambio en escorrentía y disponibilidad

Escenario RCP4.5

## CAMBIO de ESCORRENTÍA



## CAMBIO de DISPONIBILIDAD

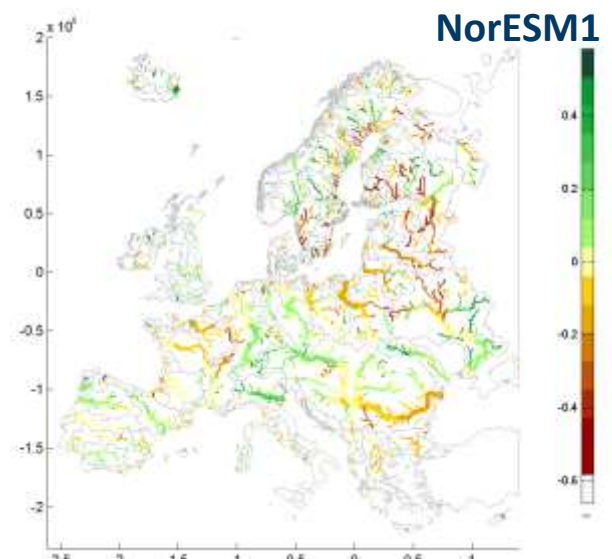
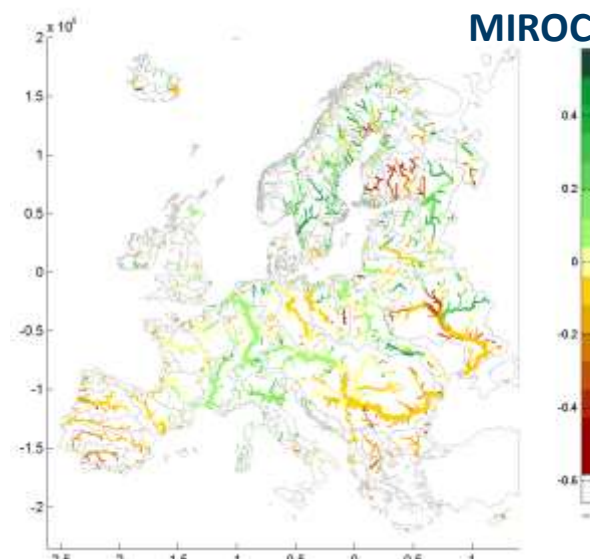
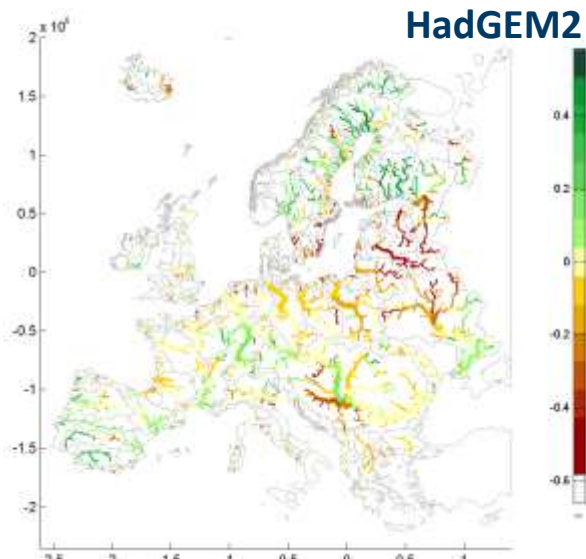
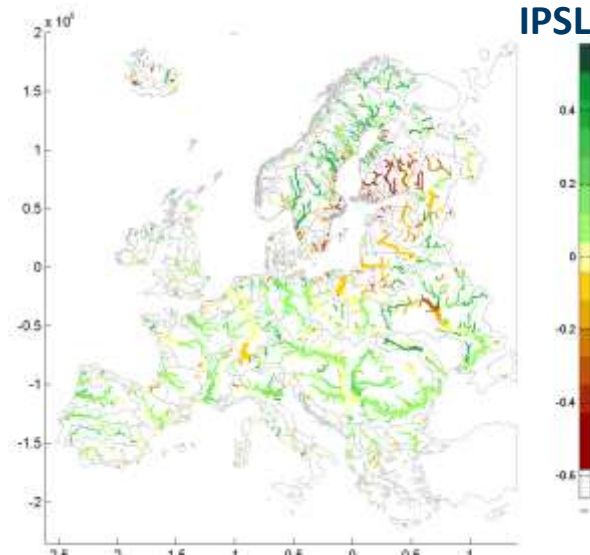
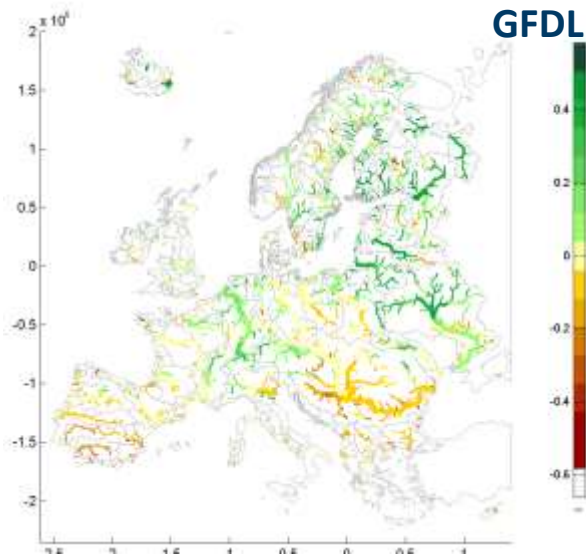


Ciclo de 5 modelos

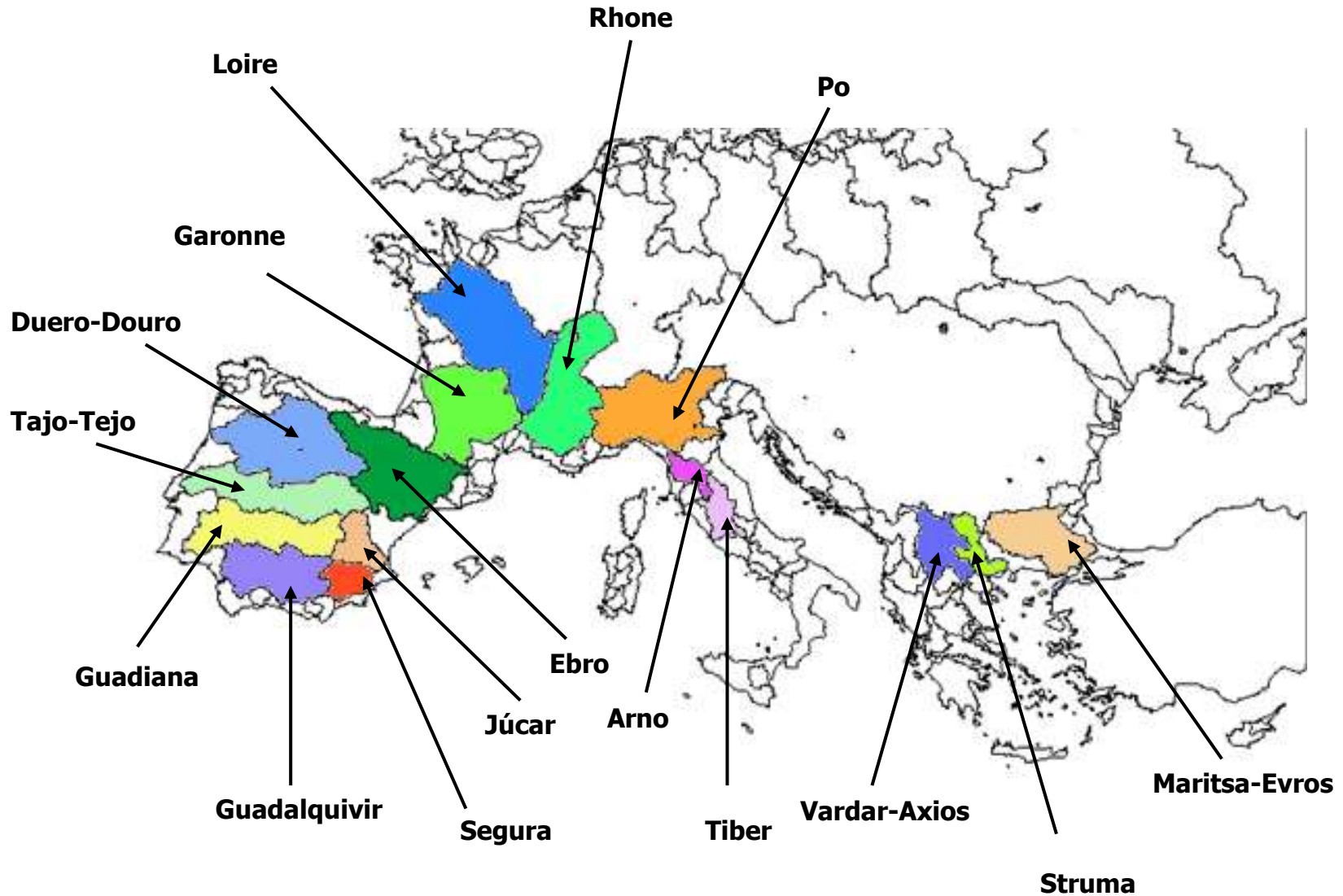
# Incertidumbre debida al escenario

Disponibilidad en  
horizonte 2060-99  
entre disponibilidad  
actual 1960-99

Se presentan los 4  
escenarios analizados  
rotando



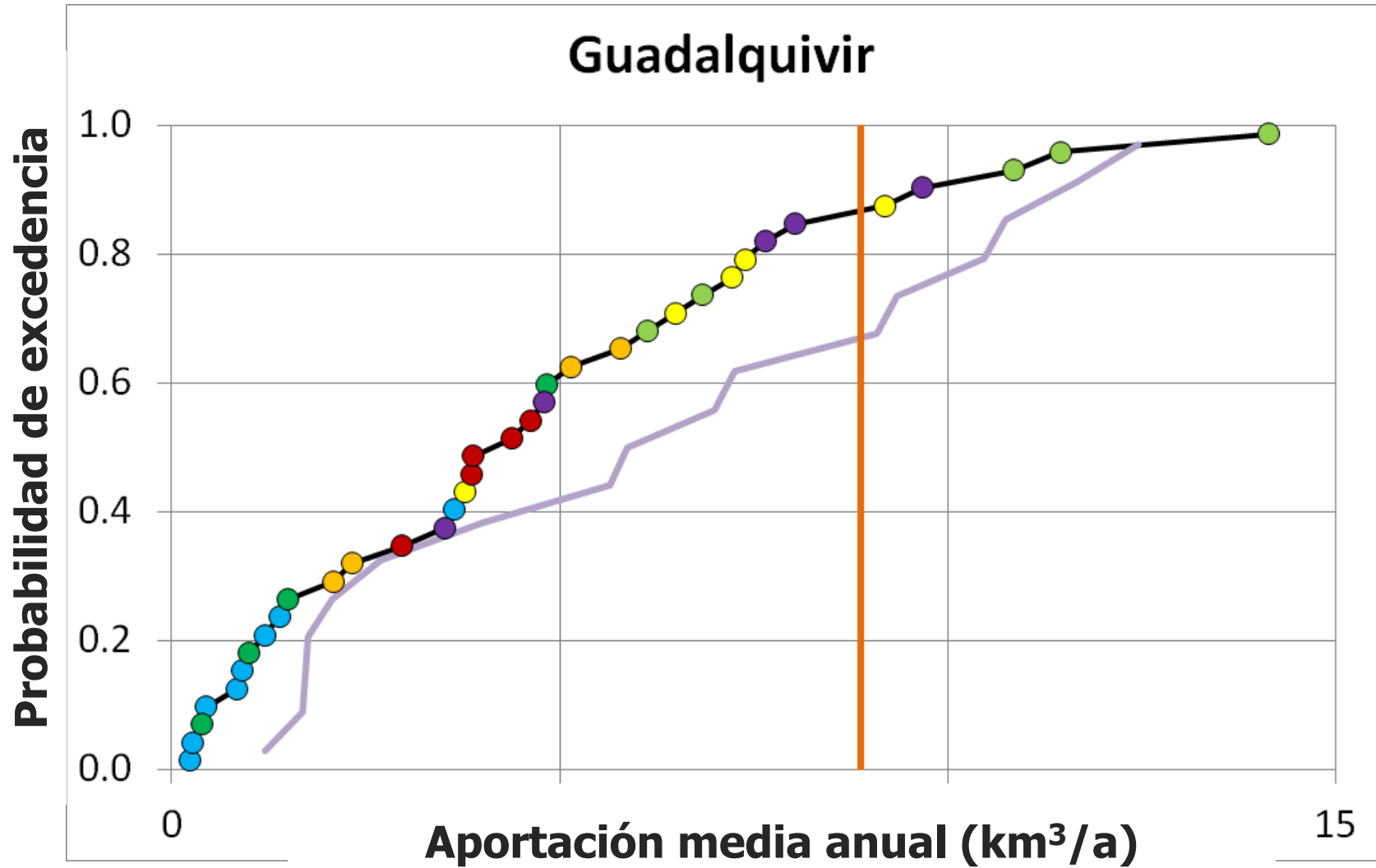
# Análisis de algunas cuencas



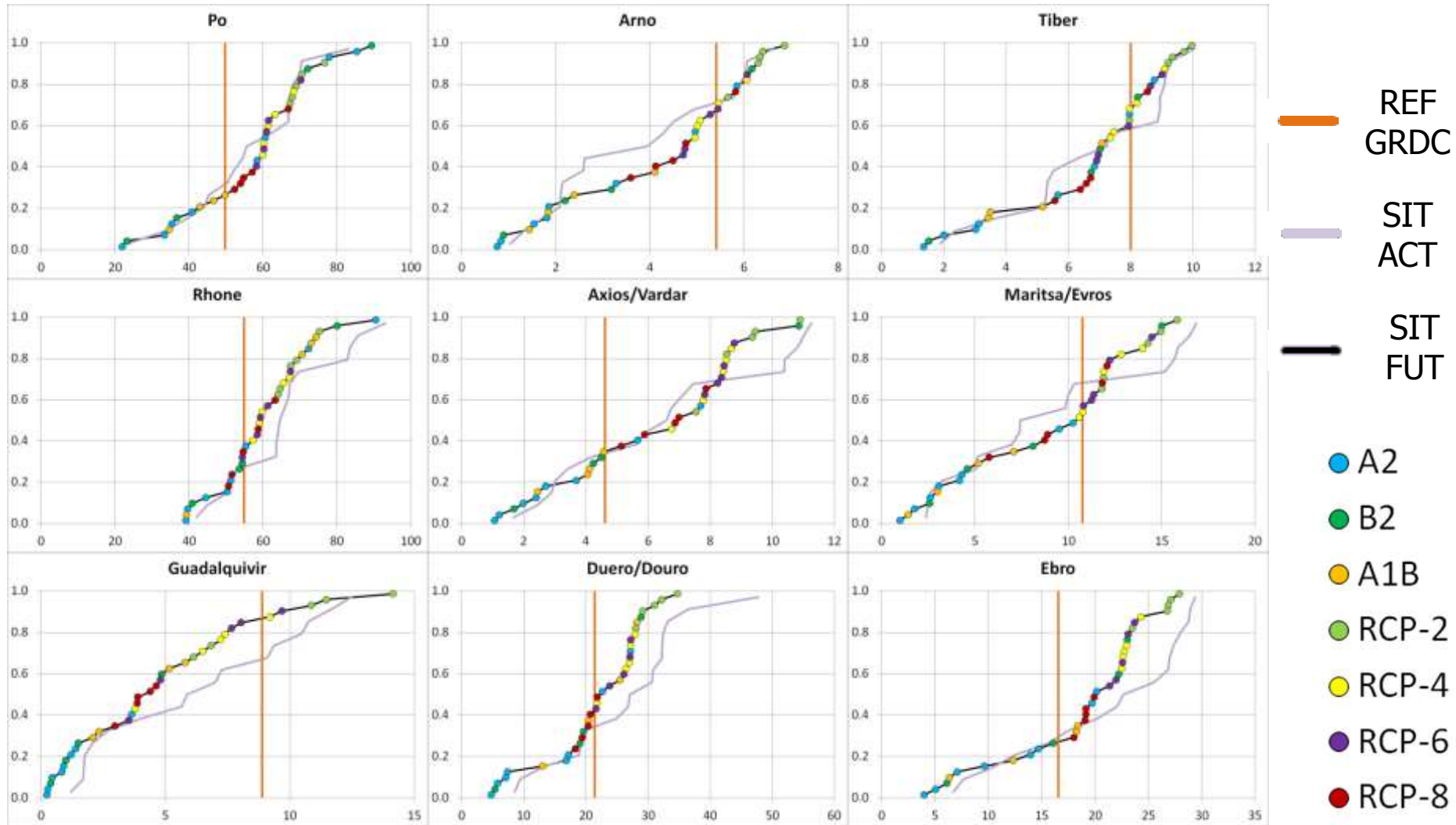
# Análisis de algunas cuencas

| Cuenca        | Superficie (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> ) | Aportación (km <sup>3</sup> /a) | V.Embalse (km <sup>3</sup> ) | Apo/Sup | V.Emb/Apo |
|---------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------|-----------|
| Arno          | 10.30                                         | 4.22                            | 0.07                         | 0.41    | 0.02      |
| Po            | 84.73                                         | 46.46                           | 0.93                         | 0.55    | 0.02      |
| Loire         | 115.91                                        | 30.43                           | 0.73                         | 0.26    | 0.02      |
| Tiber         | 17.31                                         | 8.58                            | 0.36                         | 0.50    | 0.04      |
| Garonne       | 79.67                                         | 26.30                           | 1.81                         | 0.33    | 0.07      |
| Rhone         | 88.43                                         | 42.71                           | 3.72                         | 0.48    | 0.09      |
| Struma        | 16.81                                         | 2.36                            | 0.23                         | 0.14    | 0.10      |
| Douro         | 96.24                                         | 18.39                           | 3.48                         | 0.19    | 0.19      |
| Vardar-Axios  | 22.73                                         | 5.19                            | 1.17                         | 0.23    | 0.23      |
| Ebro          | 84.90                                         | 14.16                           | 4.63                         | 0.17    | 0.33      |
| Guadalquivir  | 54.96                                         | 8.51                            | 6.29                         | 0.15    | 0.74      |
| Maritsa-Evros | 52.60                                         | 3.97                            | 3.57                         | 0.08    | 0.90      |
| Tagus         | 69.73                                         | 9.66                            | 8.88                         | 0.14    | 0.92      |
| Jucar         | 21.83                                         | 1.02                            | 2.58                         | 0.05    | 2.53      |
| Guadiana      | 60.85                                         | 4.34                            | 14.19                        | 0.07    | 3.27      |
| Segura        | 17.55                                         | 0.14                            | 1.14                         | 0.01    | 8.36      |

# Resultados escorrentía

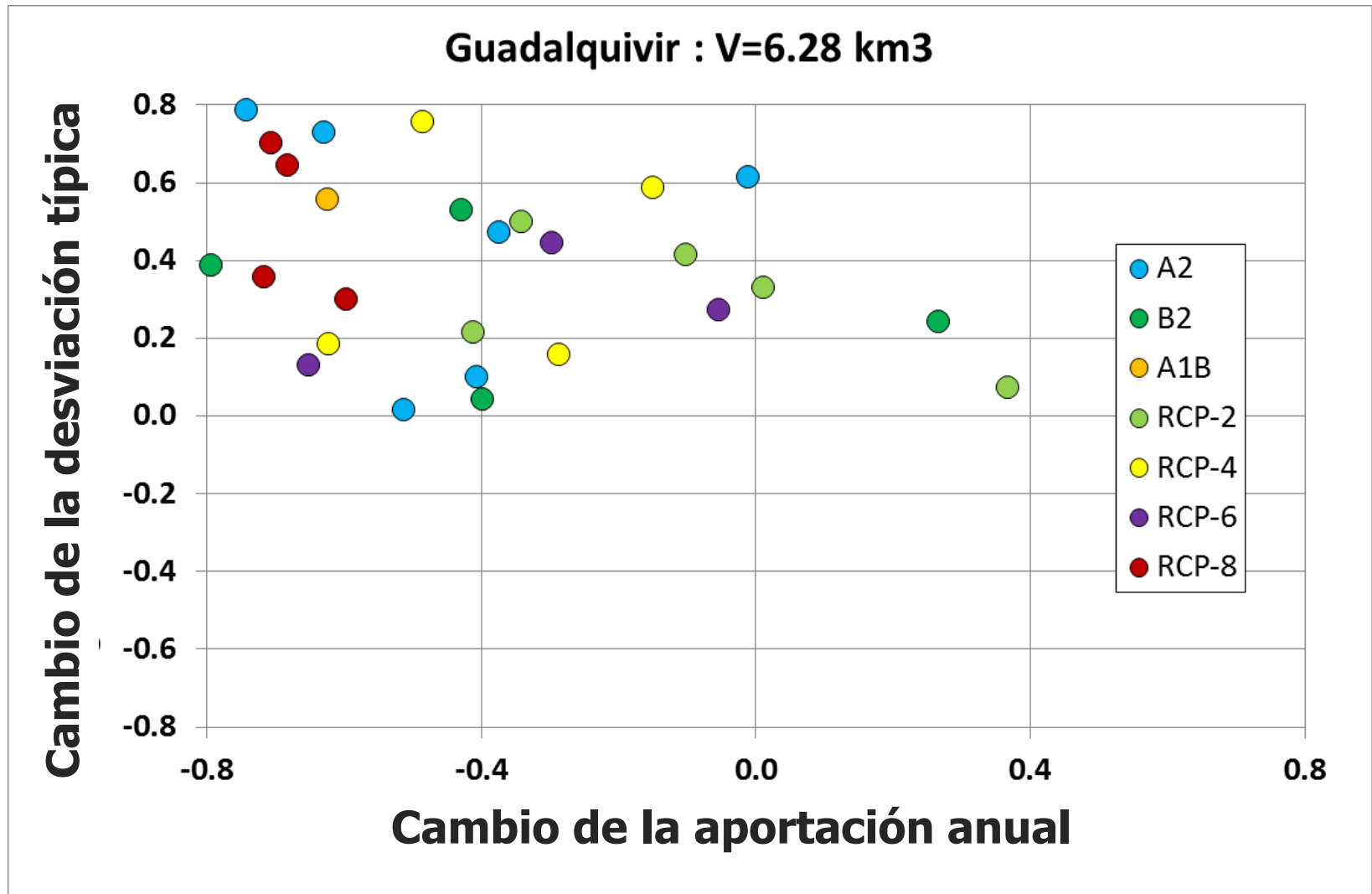


# Resultados escorrentía

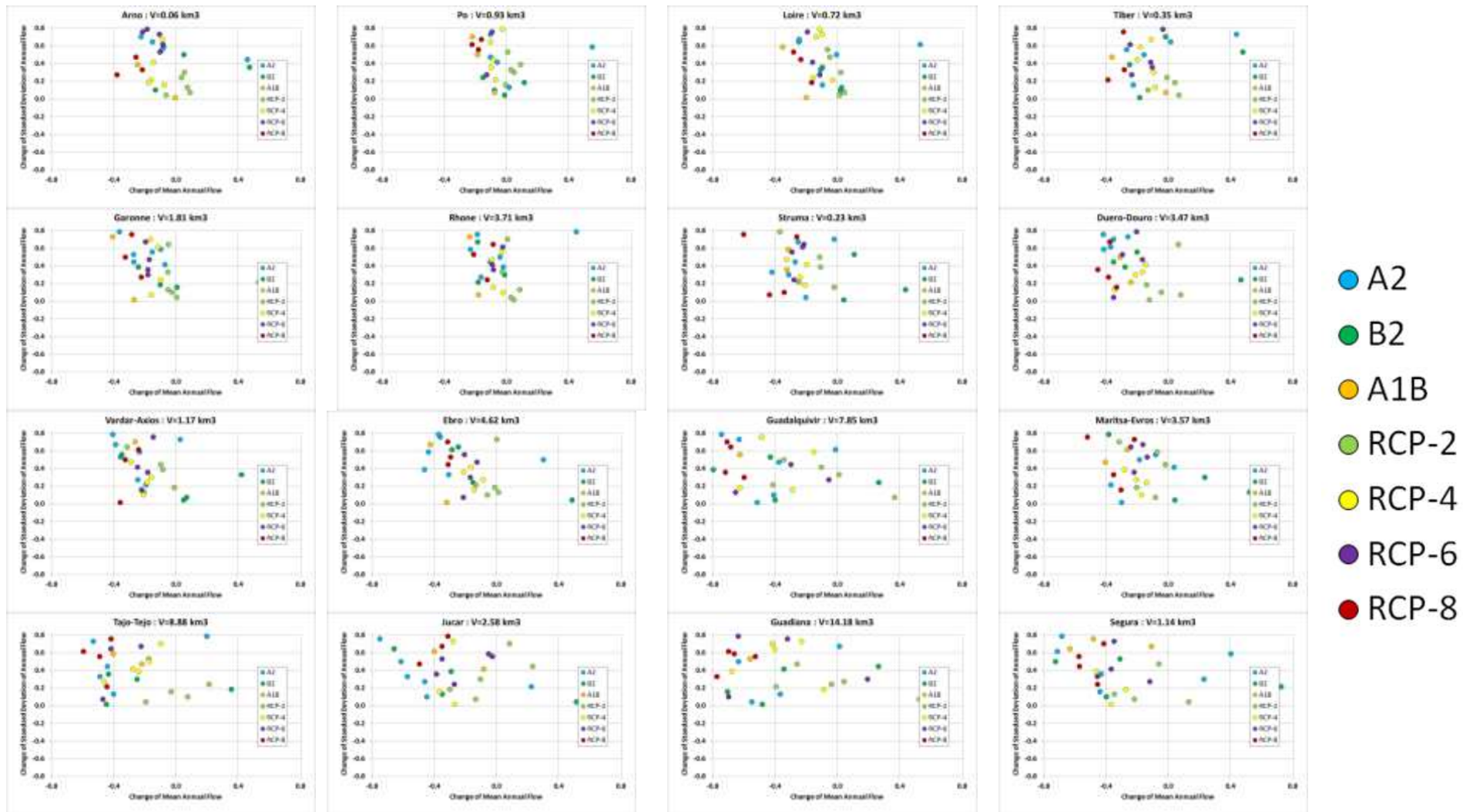


Hay una gran incertidumbre tanto en modelos como en escenarios

# Efectos del cambio climático sobre la hidrología

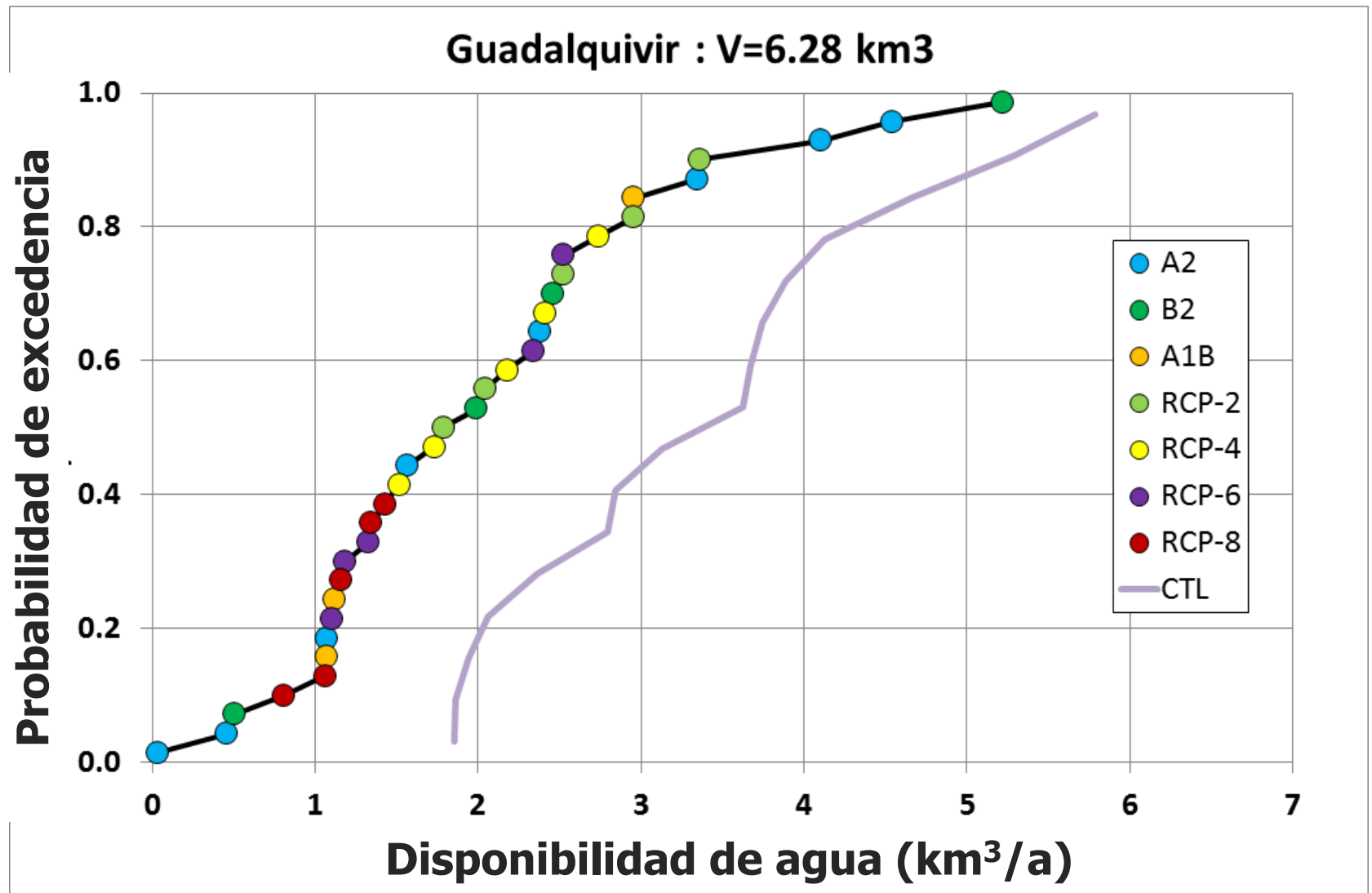


# Efectos del cambio climático sobre la hidrología

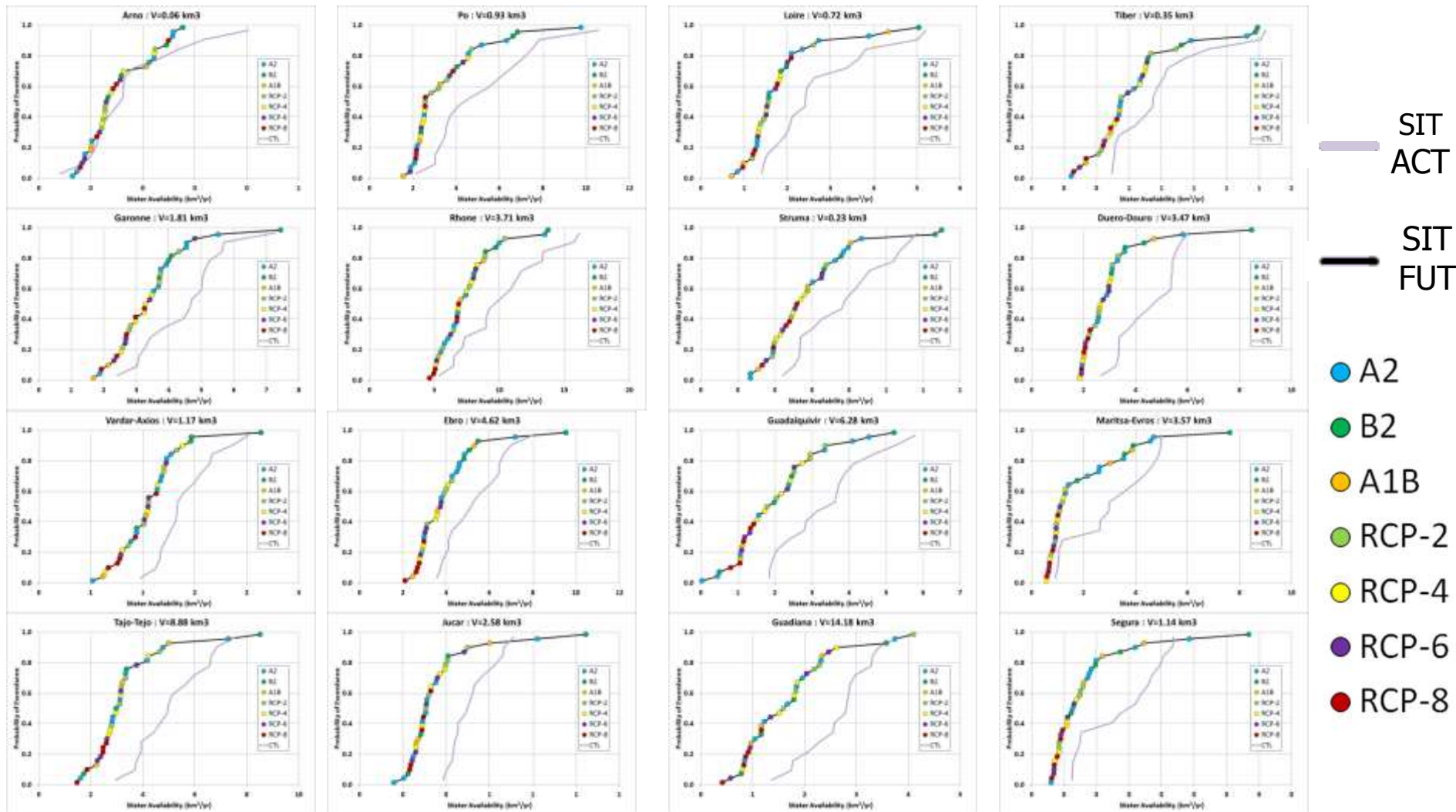


Las acciones sobre las cuencas son muy diferentes en los distintos escenarios y en las distintas regiones de Europa

# Resultados disponibilidad de agua

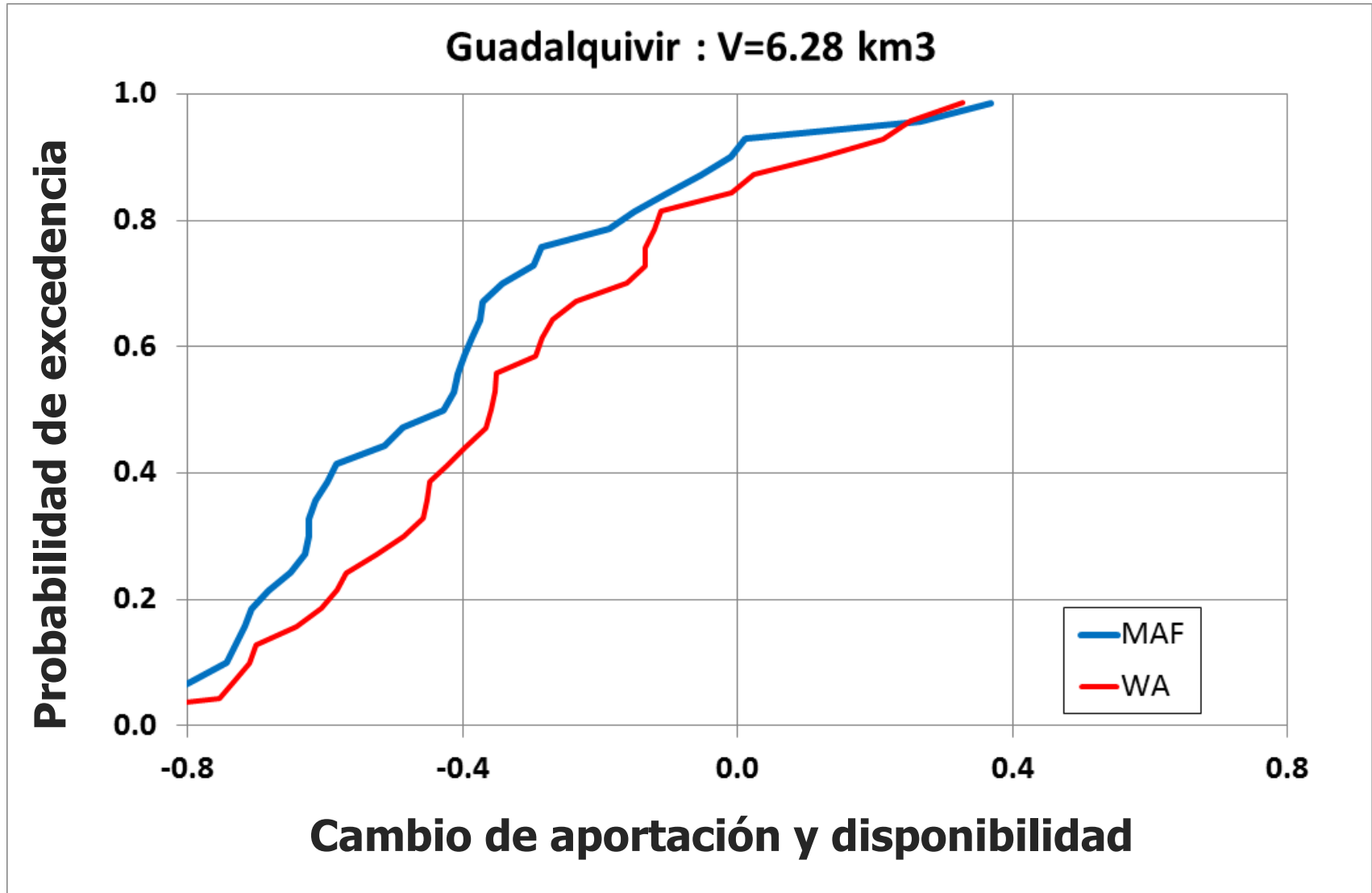


# Resultados disponibilidad de agua



La reducción de disponibilidad es mucho más acusada que la reducción de escorrentía

# Resultados cambio escorrentía y disponibilidad

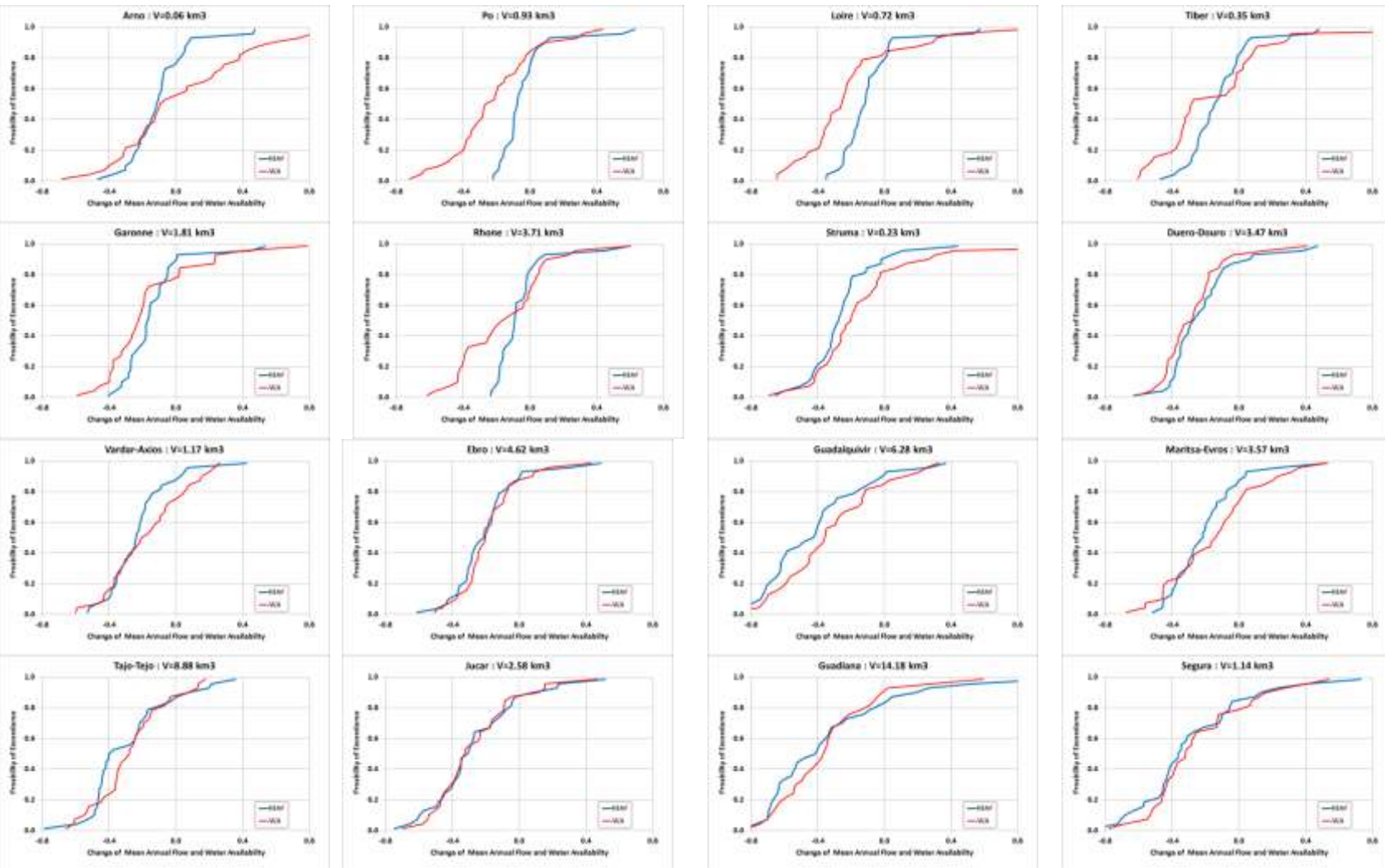


# Resultados cambio escorrentía y disponibilidad

**CAMBIO  
ESCORR**

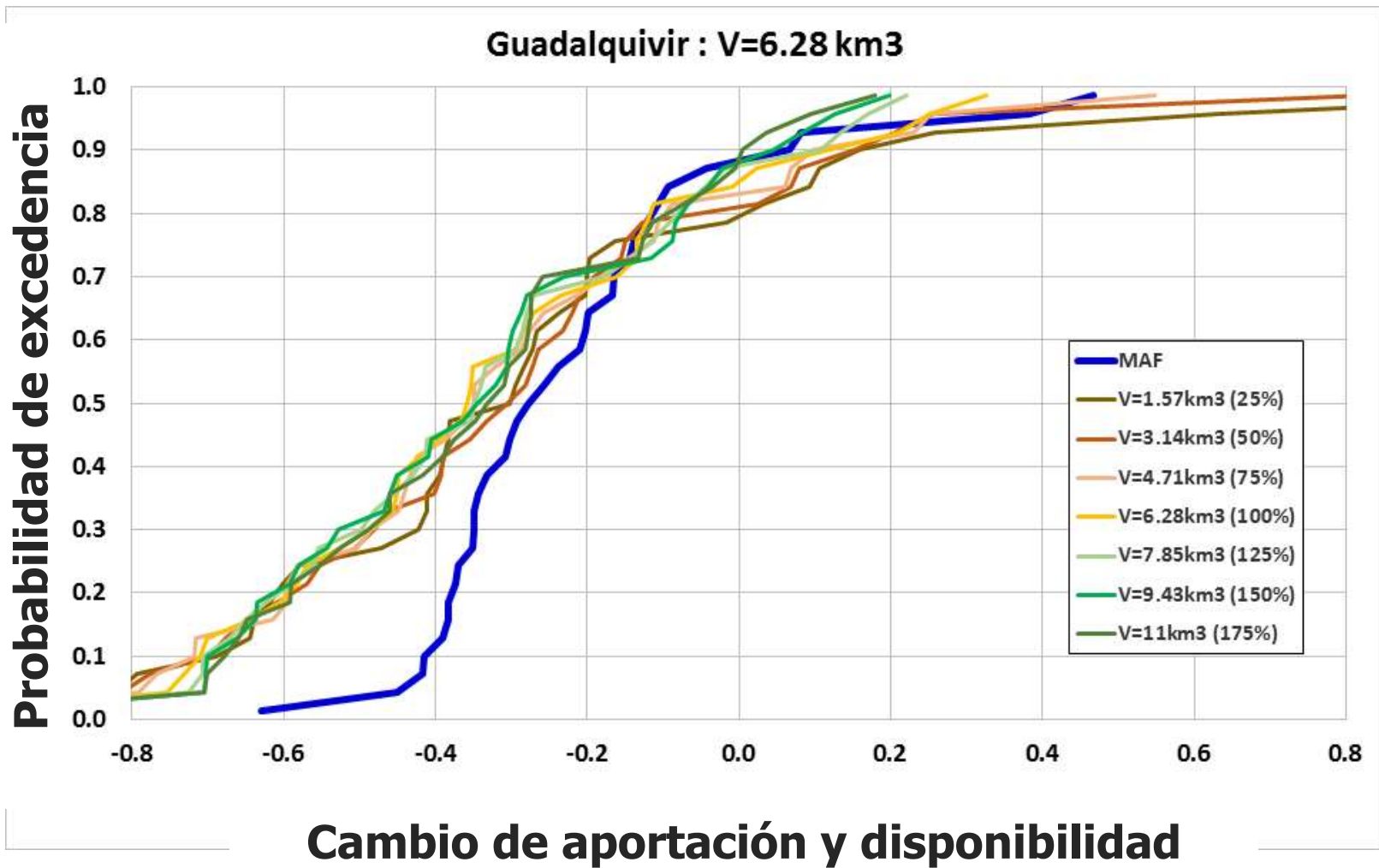
$\frac{CC - CTL}{CTL}$

**CAMBIO  
DISPON**

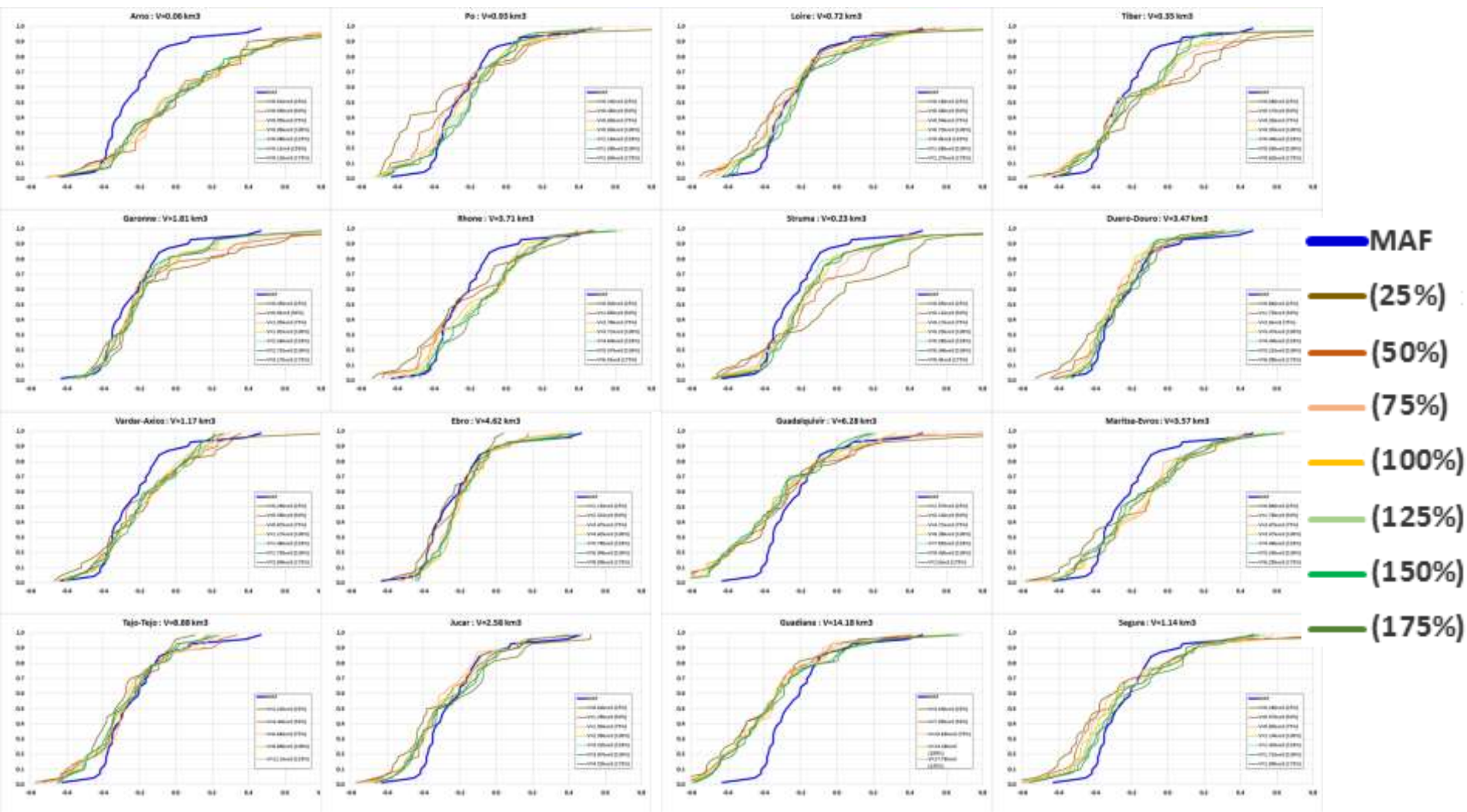


Las cuencas presentan comportamientos diferentes, dependiendo del régimen hidrológico y su variación y del volumen de embalse

# Efecto de volumen de embalse

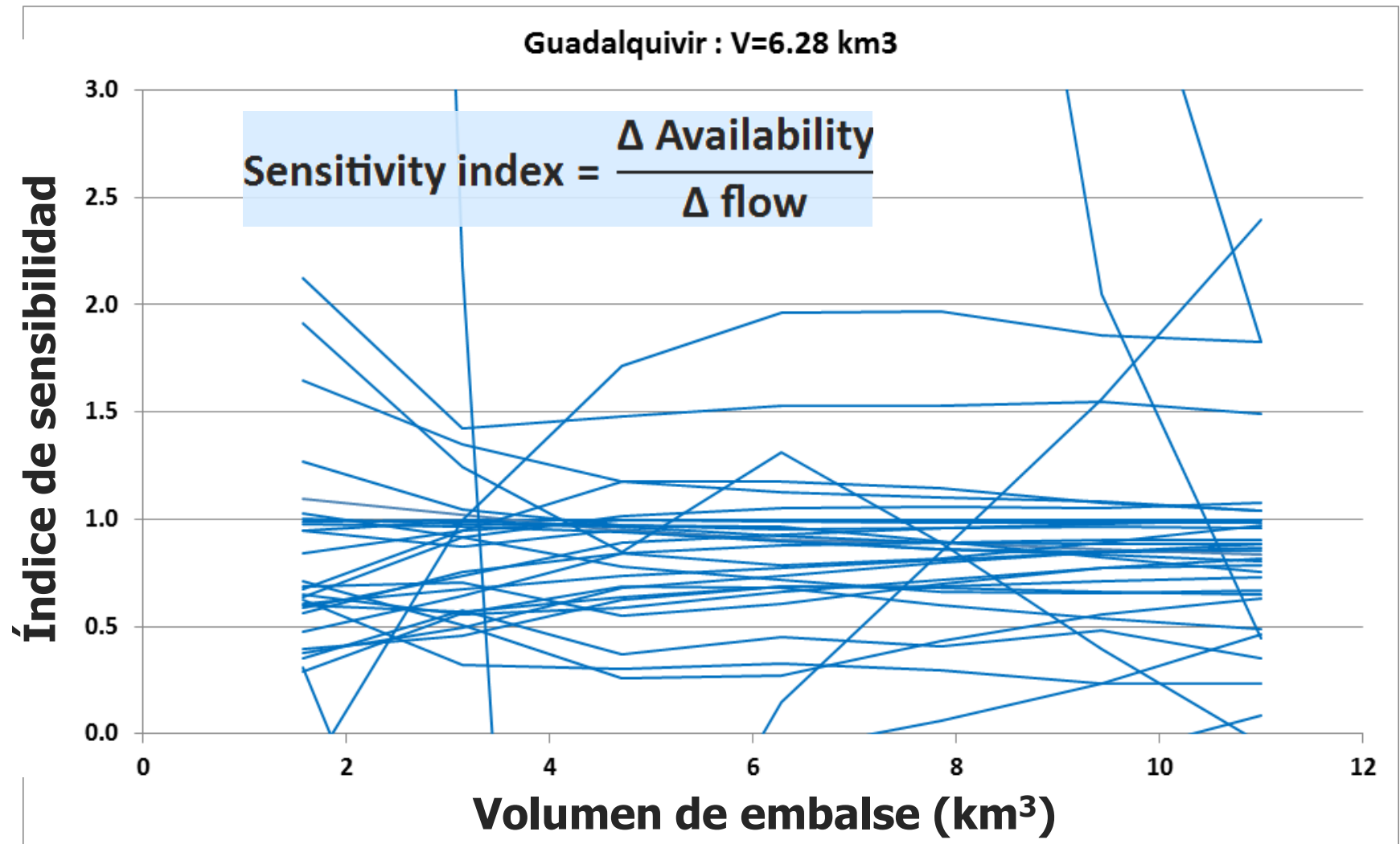


# Efecto de volumen de embalse

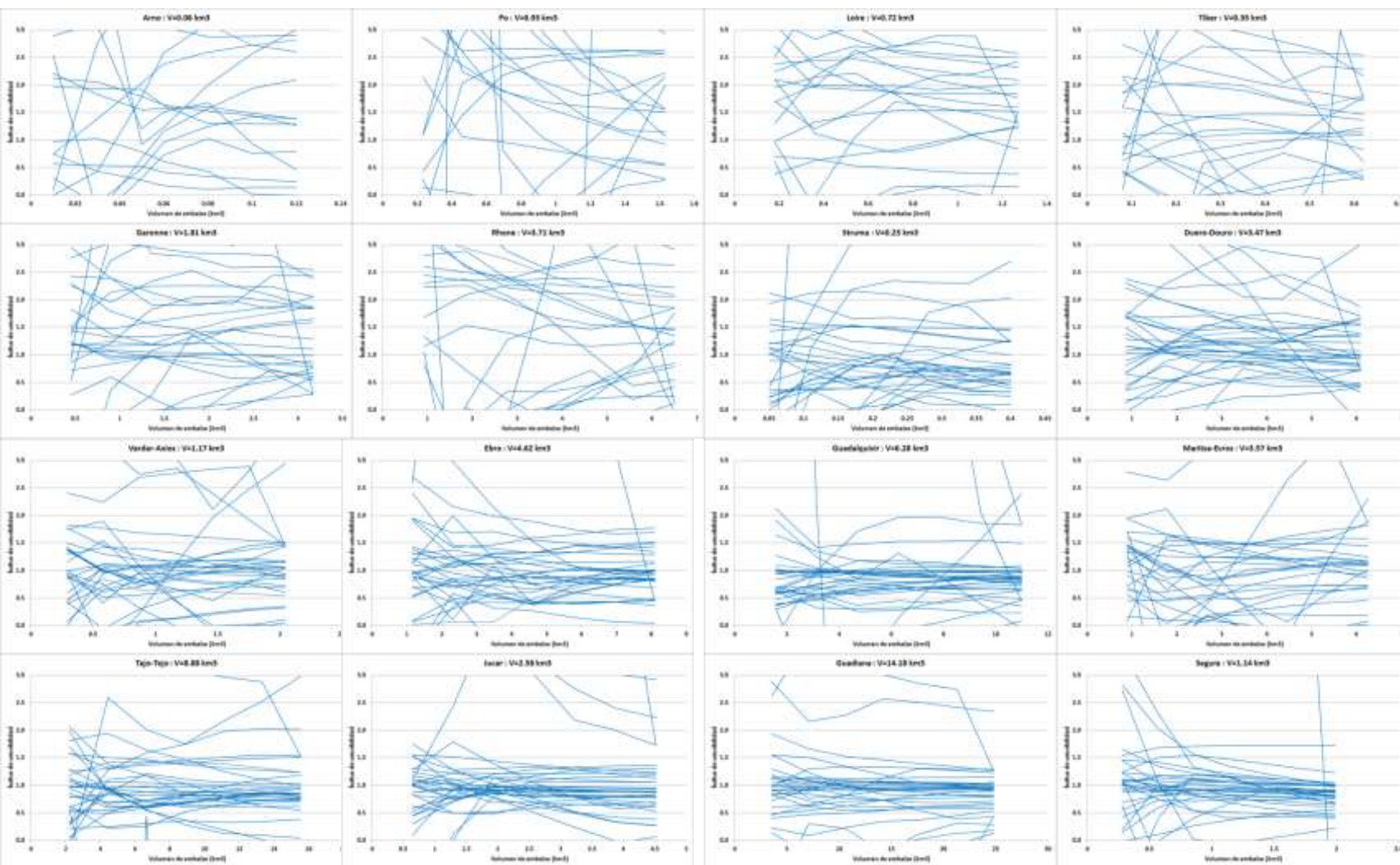


El comportamiento en cambio climático no depende significativamente del volumen de embalse en la mayor parte de las cuencas

# Efectos de volumen de embalse en la sensibilidad



# Efectos de volumen de embalse en la sensibilidad



**El volumen de embalse tiene un efecto claro sobre la sensibilidad al cambio climático**

- **Algunas complicaciones ...**

- El análisis de la regulación requiere el estudio de la serie de aportaciones mediante un modelo
- El análisis es difícil e incierto por la incertidumbre de los escenarios climáticos
- Es difícil extraer conclusiones sin estudiar la envolvente de alternativas

- **Sin embargo ...**

- La disponibilidad de embalses atenúa el efecto del cambio climático
- También favorece el establecimiento de políticas de adaptación basadas en la gestión

- **Oportunidades**

- Resultados interesantes a distintas escalas y grados de detalle del análisis, que aconsejan seguir estudiando ...