



LA GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN FLUVIAL EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Resultados del estudio del impacto del cambio climático en el riesgo de inundación





ÍNDICE

○ ESTUDIO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN ARPSIS: METODOLOGÍA, INCERTIDUMBRES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Gerardo Benito – MNCN-CSIC

○ METODOLOGÍA GENERAL SEGUIDA EN ESTOS TRABAJOS

Antonio Jiménez – CEDEX

○ TASAS DE CAMBIO EN LOS CUANTILES DE PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA ANUAL ESPERABLES EN SITUACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO A ESCALA NACIONAL

Luis Mediero – UPM

○ RESULTADOS

Ana Salgado – TRAGSATEC

Estudio de cambio climático en ARPSIs: Metodología, Incertidumbres y perspectivas futuras

Gerardo Benito

*Museo Nacional de Ciencias Naturales,
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid*
benito@mncn.csic.es



museonacionaldecienciasnaturales



MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



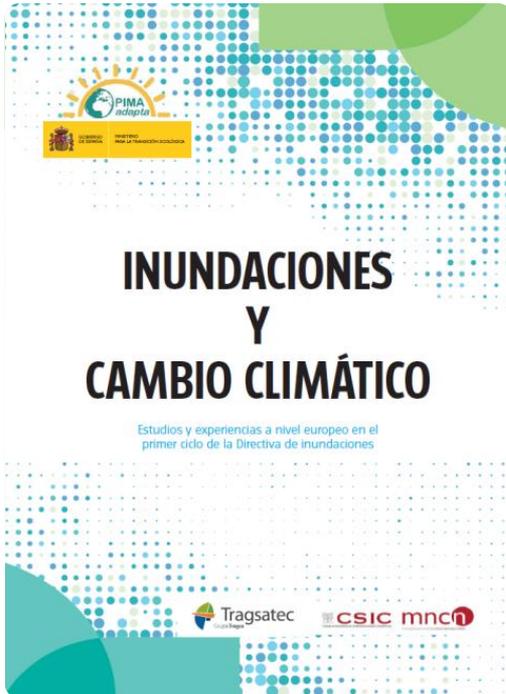
Tragsatec
Grupo Tragsa



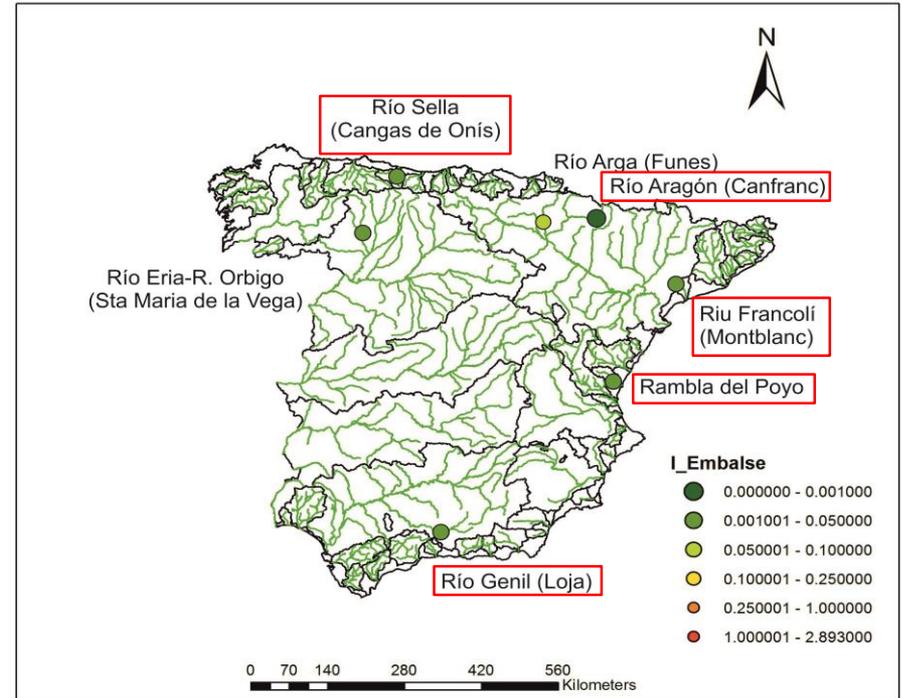
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Revisión de información existente y ensayo metodológico en ARPSIs piloto



Publicación: MITECO
2018. Inundaciones y
cambio climático



Coordinación general: Tragsatec

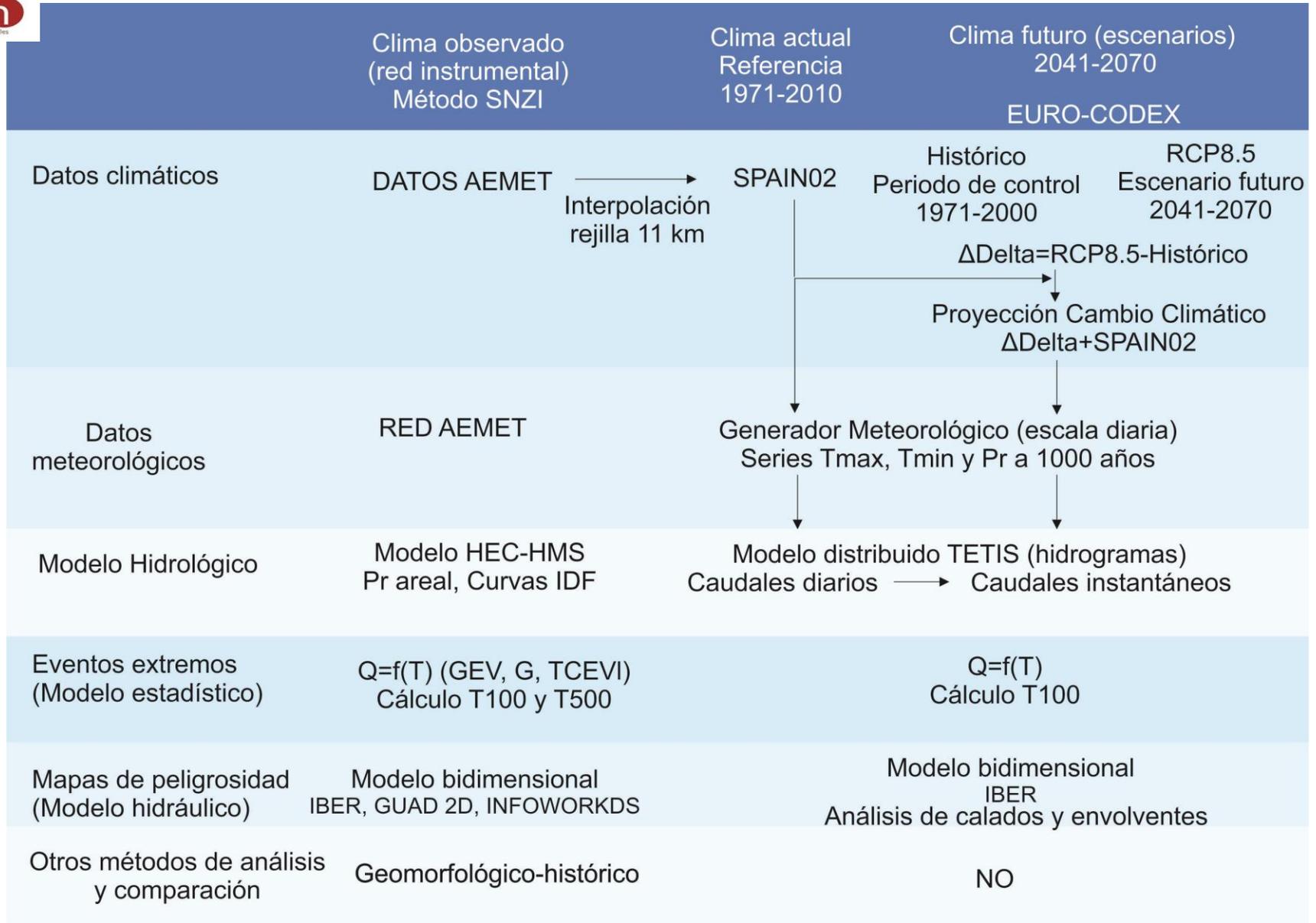
Coordinación científico-técnica: MNCN-CSIC

Modelo climático: IFCA- Universidad de Cantabria

Modelo hidrológico: Universidad Politécnica de Valencia

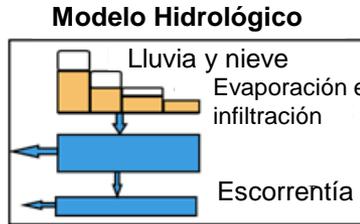
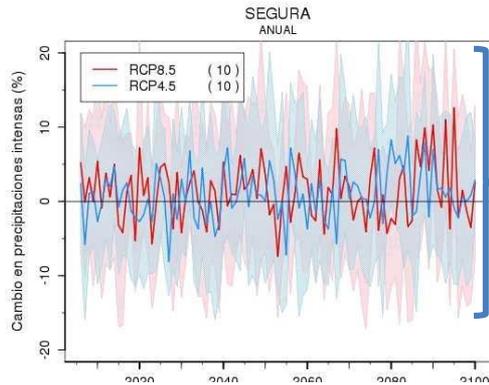
Modelo hidráulico: Tragsatec

Metodología aplicada a ARPSIs piloto

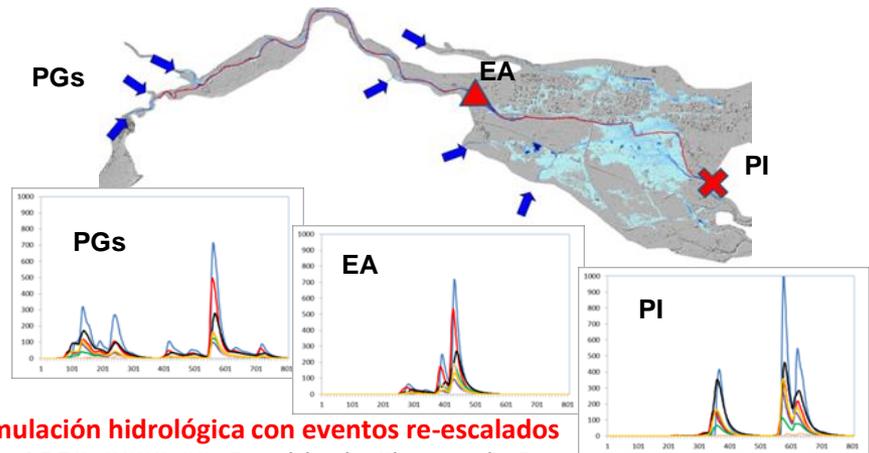
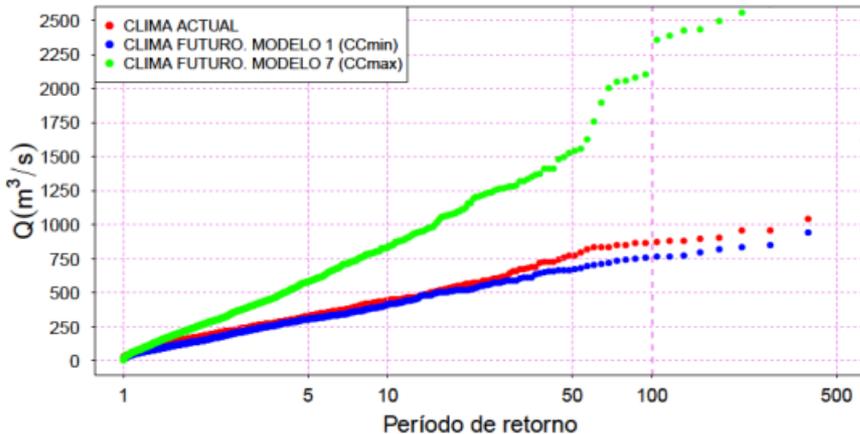
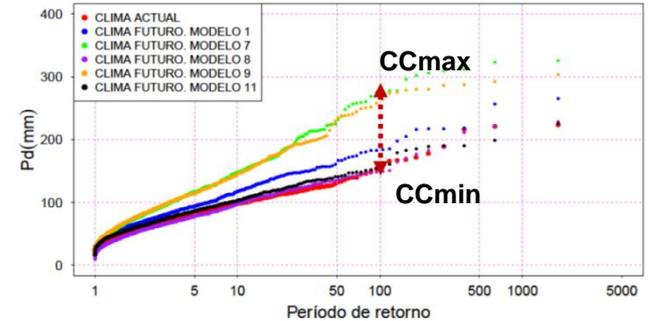


Cascada de incertidumbres: Estimación de Qci en CC

Precipitación Máxima Diaria Anual



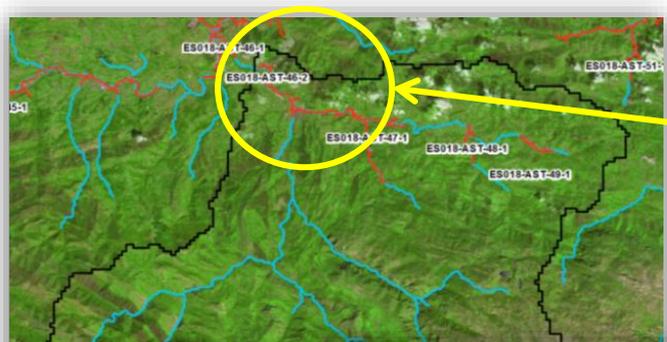
Elevado rango de incertidumbre



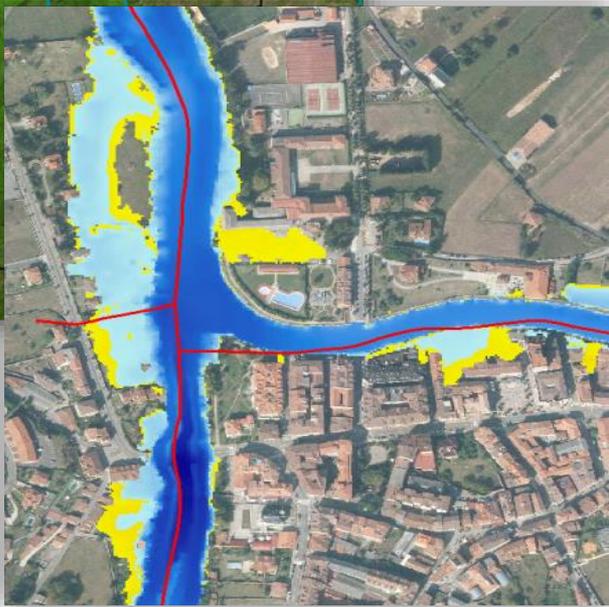
Simulación hidrológica con eventos re-escalados
 ES080_ARPS_0022-03: Rambla de Chiva o de Poyo desde Chiva hasta canal Júcar – Turia (F. Francés, UPV)

- ✓ Modelos de Clima no desarrollados o calibrados para lluvia/flujo extremos.
- ✓ Incertidumbre en robusted del modelo y entre modelos.
- ✓ Selección de modelos Mayor/Menor o Media (ensemble) no necesariamente adecuada.
- ✓ Incertidumbre en los periodos de retorno calculados (estadísticos con series de 30 años)
- ✓ Aparentemente gran incertidumbre en datos de entrada y resultados
- ✓ Resultados cualitativos de cambio, pero difícilmente comparables con mapas de peligrosidad de SNZI

Resultados del estudio de efectos del cambio climático en la peligrosidad de 5 ARPSIs



Ejemplo ARPSI ES018-AST-46-2
Río Sella en Cangas de Onís y cuenca de estudio asociada



Peligrosidad en clima actual: Azul
Peligrosidad con RCM CCLM4-8-17_v1: Amarillo

| | | Influencia del CC RCM CCLM4-8-17_v1 | Influencia del CC RCM RCA4_v1 |
|--|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| MEDIA TMÁX | Todas las ARPSIs | Aumento | Aumento |
| MEDIA TMÍN | Todas las ARPSIs | Aumento | Aumento |
| MEDIA DE PRECIPITACIÓN DIARIA | 2 de las 5 ARPSIs | Aumento | Aumento |
| | 1 ARPSI | Variable | Variable |
| | 1 ARPSI | Sin cambio | Sin cambio |
| % DE DÍAS CON LLUVIA EN LA CUENCA | Todas las ARPSIs | Reducción | Reducción |
| CAUDALES | 2 ARPSI | Aumento | Aumento |
| | 2 ARPSIs | Aumento | Reducción |
| | 1 ARPSI | Reducción | Aumento |

Datos de Tragsatec, 2018

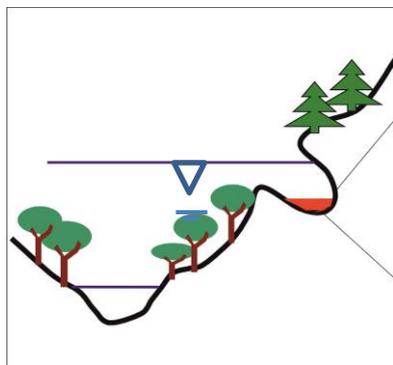
Ganar robusted: Proyecciones climáticas vs paleocrecidas

Cuenca de la Rambla de la Viuda (Embalse de María Cristina)

| Periodo de retorno (años) | 10 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 5000 | 10000 | % cambio T100 |
|---------------------------|-----|-----|------|-------|------|------|-------|---------------|
| Estación Aforos | | | 1300 | 1975 | 2250 | 2895 | 3100 | - |
| Aforos + Paleocrecidas | | | 1570 | 2305 | 2615 | 3310 | 3560 | +17 |
| M. Hidrometeorológico | 180 | 365 | 445 | 640 | 720 | 900 | 965 | -66 |
| Clima futuro M8 (min) | 85 | 175 | 225 | 380 | 465 | 725 | 870 | -83 |
| Clima futuro M1 (med) | 116 | 235 | 300 | 495 | 600 | 905 | 1075 | -77 |
| Clima futuro M9 (max) | 210 | 520 | 730 | 1510 | 2030 | 3985 | 5300 | -43 |
| PMF** | | | | 10700 | | | | |

Financiado por
Fundación
Biodiversidad
(MITECO)

T100 Avda. de Diseño



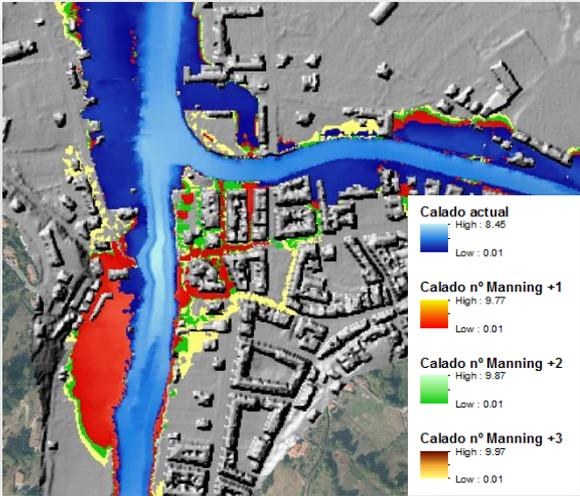
Caudales registrados:
1962: 1500 m³s⁻¹
2000: 1268 m³s⁻¹

Aliviadero Actual (Avenida de diseño): 600 m³s⁻¹

Benito et al., 2018, MNCN-CSIC

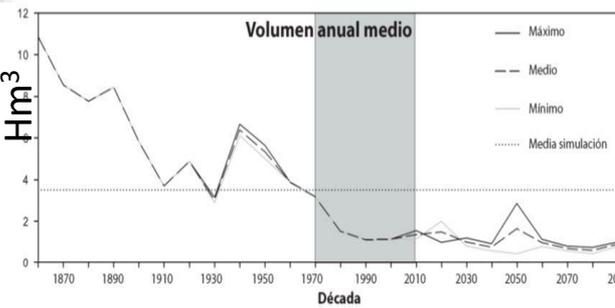
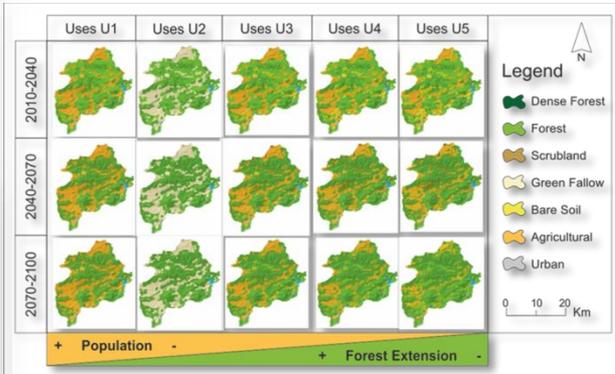
Influencia de otros factores Geomorfológicos y Ambientales en el riesgo de inundación

**Cambio en la vegetación:
Rugosidad hidráulica**

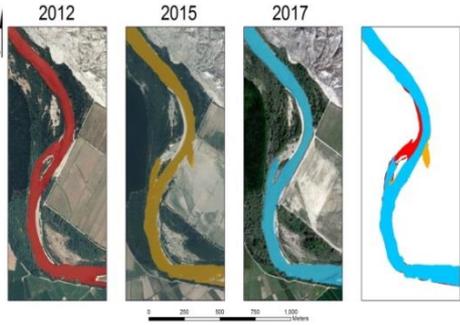


| ZONA INUNDABLE | SUPERFICIE (Km ²) | VARIACIÓN |
|--------------------------|-------------------------------|-----------|
| Nº Manning cauce: actual | 0.48 | - |
| Nº Manning cauce: +1 | 0.53 | 10% |
| Nº Manning cauce: +2 | 0.57 | 19% |
| Nº Manning cauce: +3 | 0.61 | 27% |

**Cambio usos del suelo:
Caudal líquido y sólido**



**Cambio geomorfológico:
Geometría y movilidad**



Considerar posibles escenarios de cambio ambiental (aforestación, agrícolas, incendios) y sus impactos en cauces (incisión, agradación) y llanuras de inundación.



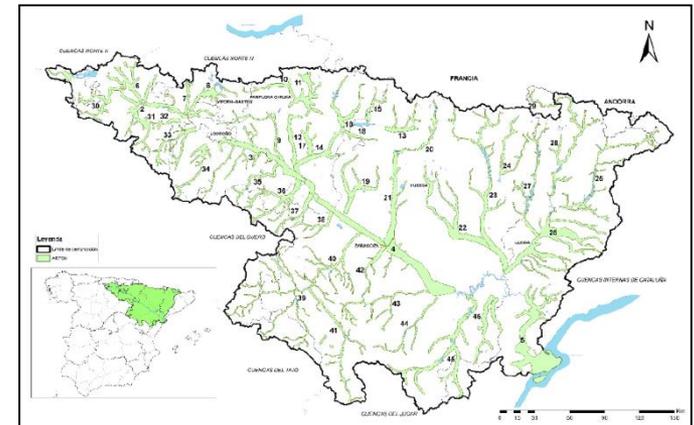
RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RIESGO DE INUNDACIÓN

Metodología general del trabajo

Antonio Jiménez Álvarez
Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX)

Directiva 2007/60/CE de Evaluación y Gestión del Riesgo de Inundación (RD 903/2010)

- Artículo 4. Evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI).
- Artículo 14.1. Revisión de la EPRI a más tardar el 22 de diciembre de 2018 y luego cada seis años.
- Artículo 14.4. En la revisión de la EPRI se tendrá en cuenta las posibles repercusiones del CC.



Objetivo del trabajo: Disponer de una estimación del impacto del CC en las crecidas para identificar posibles nuevas ARPSIS (revisión EPRI).

- Primera aproximación al impacto del CC en las crecidas.
- Resultados generales para toda la red fluvial.
- Interesan zonas donde se prevé un aumento de caudales.

Análisis a escala nacional:

- Análisis espacial de cambios en precipitaciones máximas.
- Análisis simplificado de cambios en caudales máximos (tramos seleccionados).

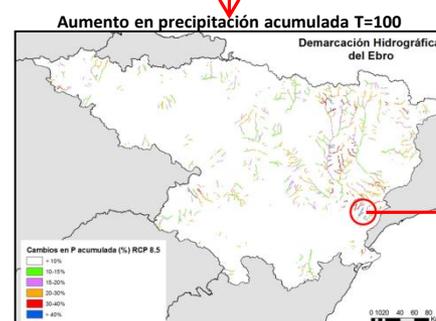
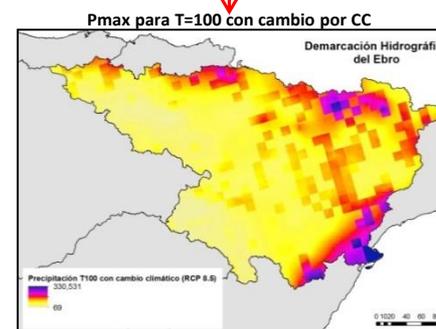
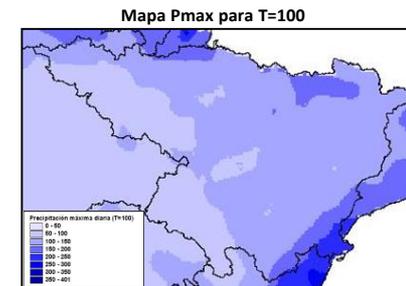
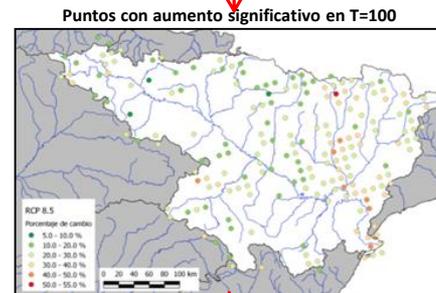
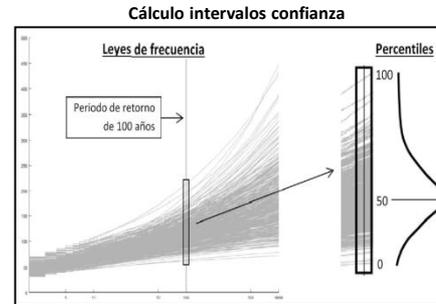
Se parte de los resultados previos obtenidos por la UPM.

Hipótesis de cálculo:

| | |
|------------------------|-------------------------------|
| 12 modelos Euro-Cordex | Periodo de impacto: 2041-2070 |
| RCP: 4.5 y 8.5. | T = 100 años |

Tratamiento de los resultados obtenidos por la UPM: Para RCP 4.5. y 8.5.

- Identificación de zonas con aumento significativo del cuantil de P_{max} de T=100 años.
 - Cálculo de intervalos de confianza para el periodo de control (una desviación típica).
 - Mínimo 6 modelos con aumento significativo.
- Identificación de tramos de la red fluvial con mayor impacto.
 - Asignación de cambios al mapa de precipitaciones máximas.
 - Análisis de cambios en la precipitación acumulada.
- Cálculo de los cambios en el caudal de T=100 años en tramos seleccionados.
 - De forma simplificada mediante aplicación del método racional.



Aplicación método racional en tramos seleccionados

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

| | | |
|---|--------------|------------|
| Municipio | Vinebre | |
| ARPSI | No | |
| Coordenadas | 802094 | 4565279 |
| Área (km2) | 29,5 | |
| Tiempo de concentración (h) | 4,44 | |
| Factor de torrencialidad (1/1d) | 11 | |
| Umbral de escorrentía (mm) | 21,39 | |
| Umbral de escorrentía aplicado el coeficiente corrector (mm) | 96,36 | |
| | CLIMA ACTUAL | RCP 8.5 |
| T100 actual Precipitación (mm) | 149,68 | 220,05 |
| T100 actual Precipitación corregida en función del área (mm) | 135,01 | 198,49 |
| Intensidad (mm/h) | 23,25 | 34,32 |
| Coefficiente de escorrentía (C) | 0,33 | 0,47 |
| CAUDAL T100 (m3/s) | 84 | 173 |
| Porcentaje de cambio de precipitación máxima diaria acumulada | 46% | |
| Porcentaje de cambio en caudal | 106% | |

Cuestiones a profundizar en trabajos futuros:

- Obtención y análisis de los cambios significativos negativos, no solo los positivos.
- Análisis de la incertidumbre de los resultados:
 - *Análisis de la continuidad temporal de los cambios:* obtención de resultados para los tres periodos de impacto (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100).
 - *Análisis de los cambios en toda la ley de frecuencia:* obtención de resultados para más periodos de retorno.
 - *Comparación de los cambios proporcionados por los distintos modelos.*
- Obtención de cambios en caudales de forma continua en la red fluvial:
 - Consideración de los cambios en el estado de humedad antecedente.
 - Análisis de los impactos debidos a cambios en la fusión de nieve.



POLITÉCNICA

MITECO – PIMA ADAPTA



Tasas de cambio en los cuantiles de precipitación diaria máxima anual esperables en situación de cambio climático a escala nacional

Luis Mediero y Carlos Garijo
(luis.mediero@upm.es; c.garijo@upm.es)

Universidad Politécnica de Madrid

Grupo de Investigación de Hidroinformática y Gestión del Agua
ETSI de Caminos, Canales y Puertos

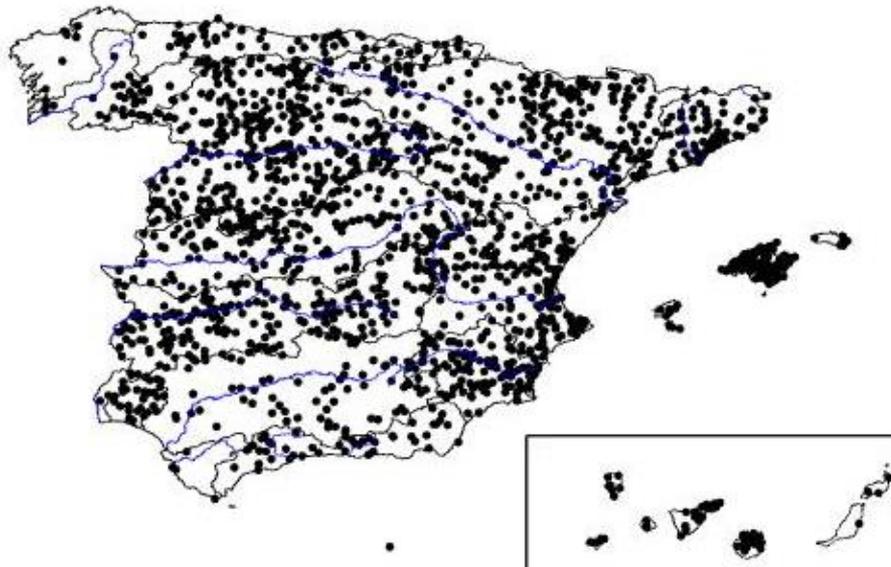


AEMET - CORDEX



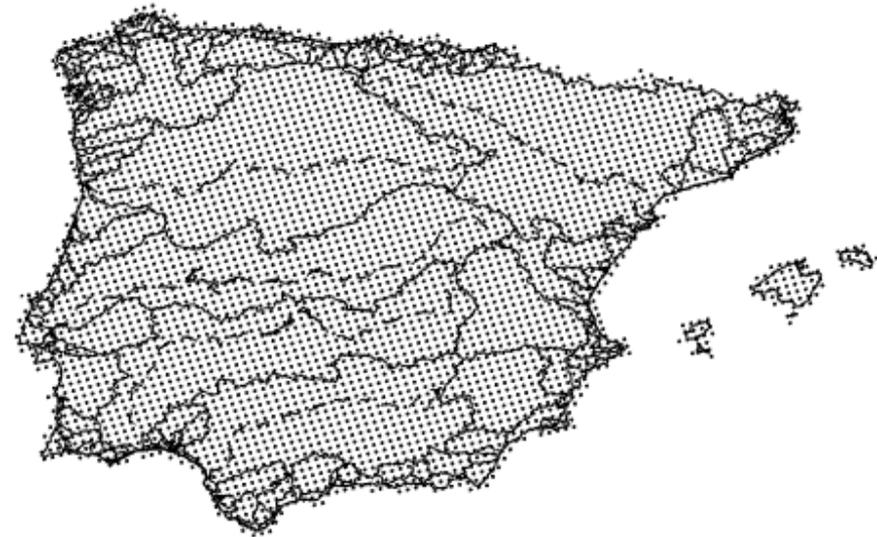
- En España se dispone de dos fuentes de **proyecciones climáticas de precipitación: AEMET (puntuales) y CORDEX (distribuidas espacialmente):**

AEMET



2321 puntos

CORDEX

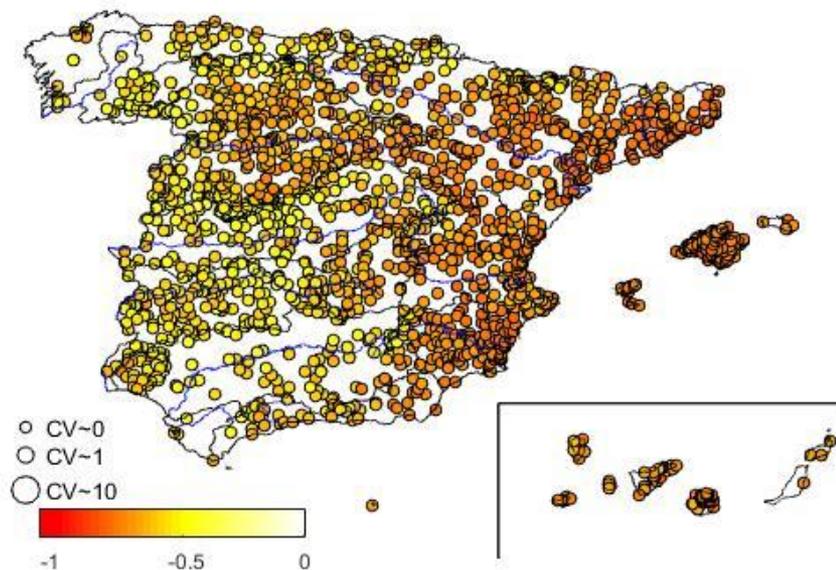


Celdas de $0,11^{\circ}$ ~ 12,5 km

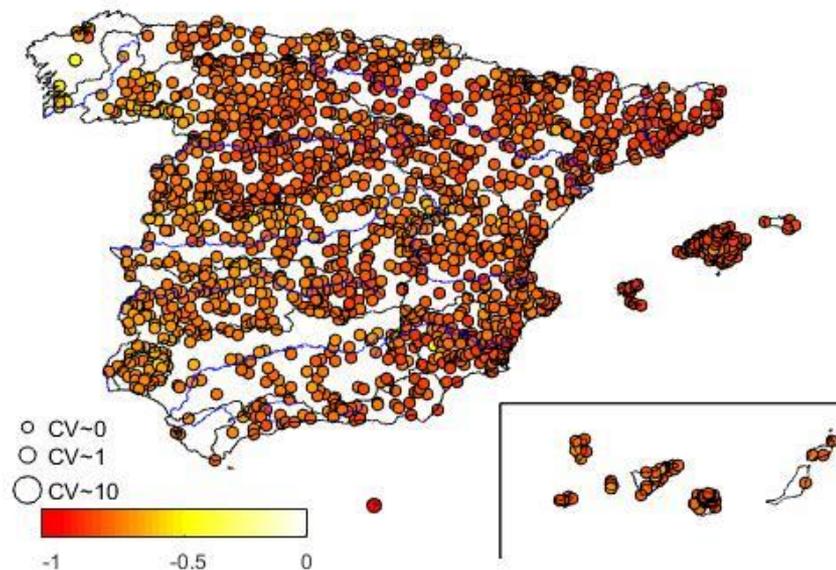
- **En precipitaciones máximas anuales, los valores medios son muy inferiores a los observados:**

ERRORES EN PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL EN PERIODO DE CONTROL

Error medio en: Media máximos (ANALOGOS)



Error medio en: Media máximos (SDSM)

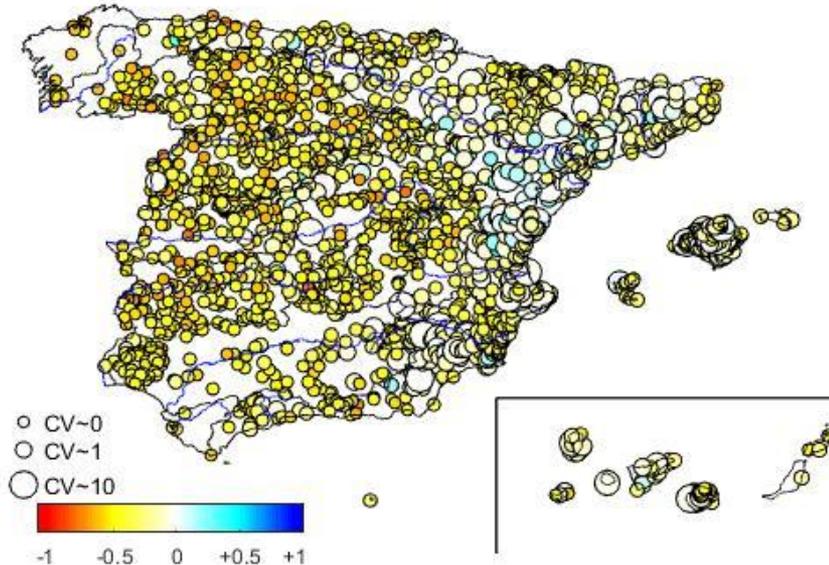


Fuente: Garijo et al. (2018)

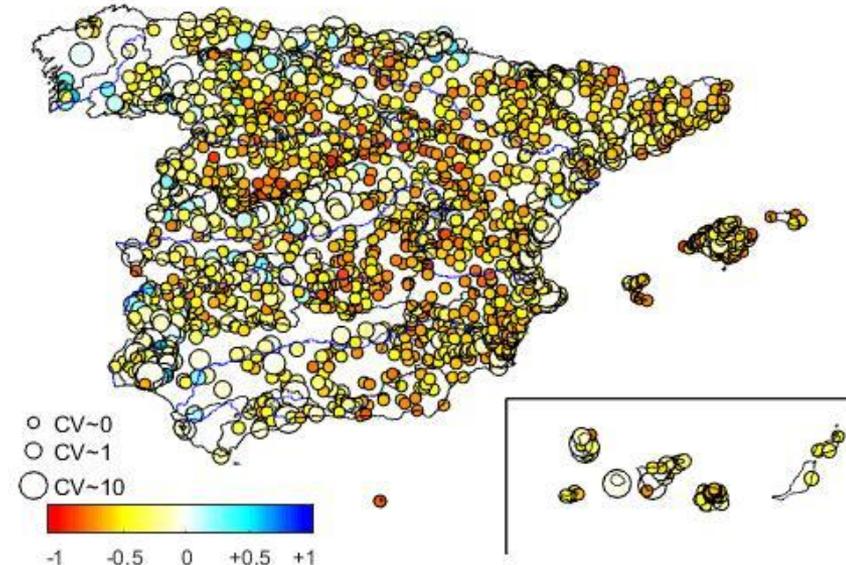
- En precipitaciones máximas anuales, la **variabilidad** de las proyecciones AEMET es **inferior** a la de las observaciones en pluviómetros:

ERRORES EN COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL

Error medio en: Coeficiente de Variación máximos (ANALOGOS)



Error medio en: Coeficiente de Variación máximos (SDSM)



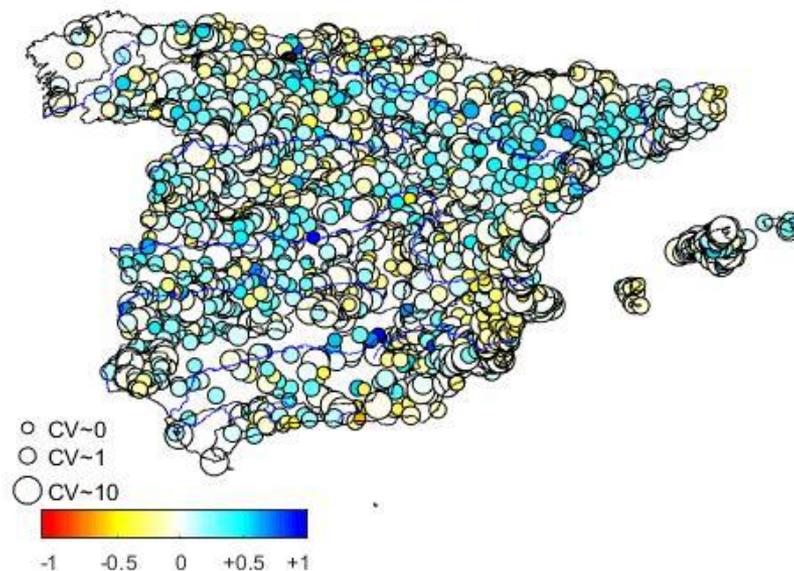
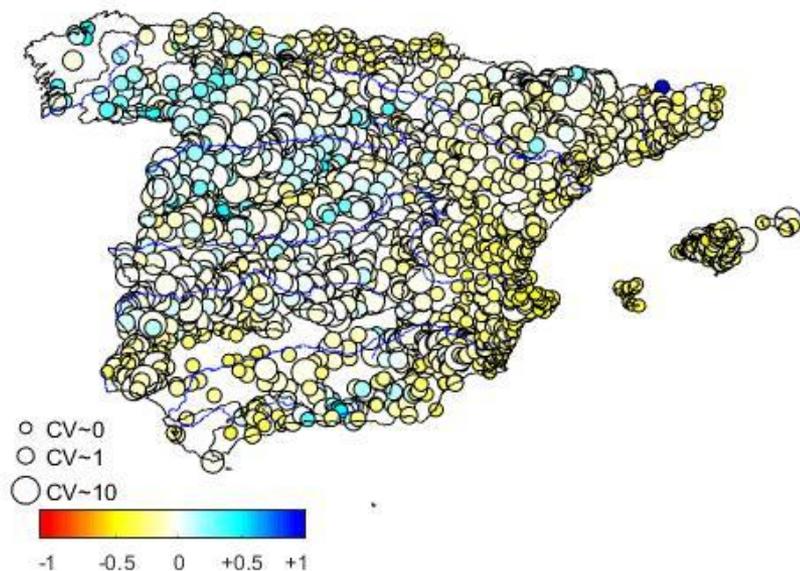
Fuente: Garijo et al. (2018)

- Sin embargo, las **proyecciones climáticas CORDEX** se ajustan mejor a los valores observados de **precipitación máxima anual**:

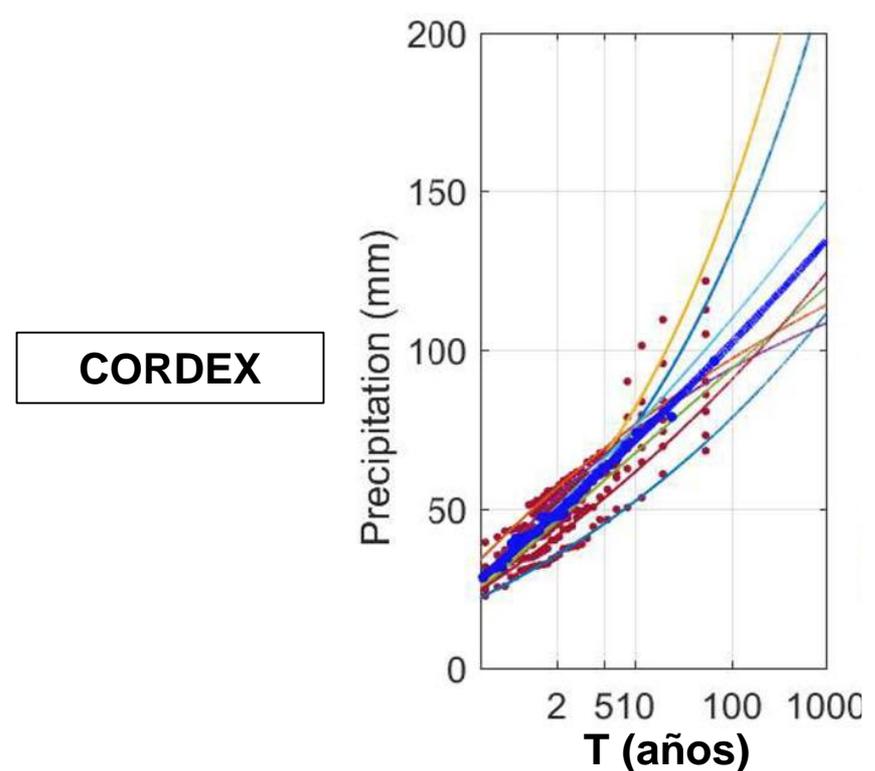
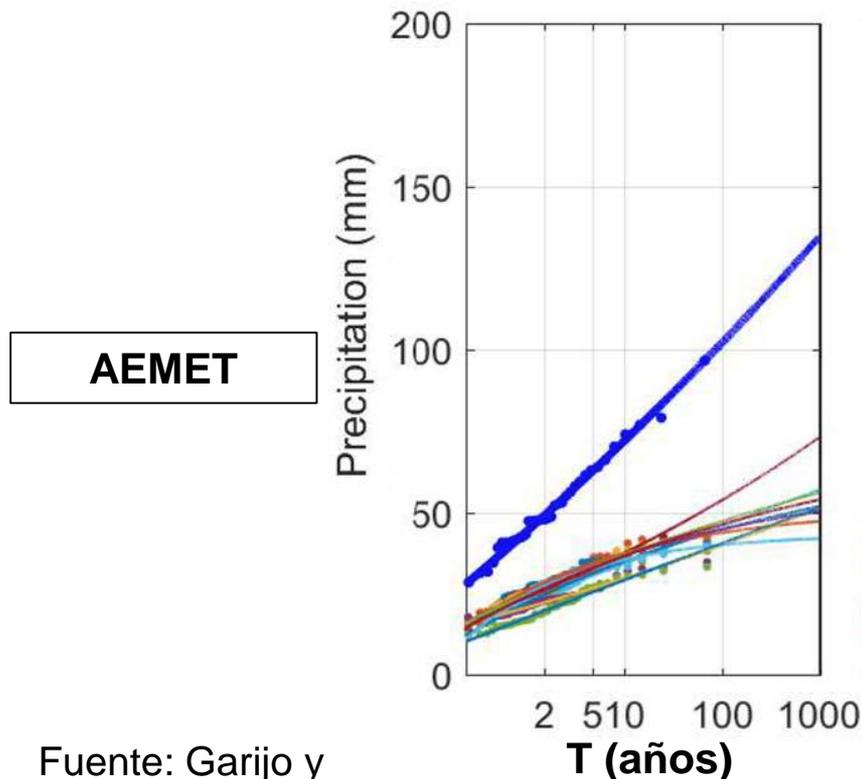
ERRORES EN **PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL** EN PERIODO DE CONTROL

Error medio en: Media máximos (CORDEX)

Error medio en: Coeficiente de Variación máximos (CORDEX)



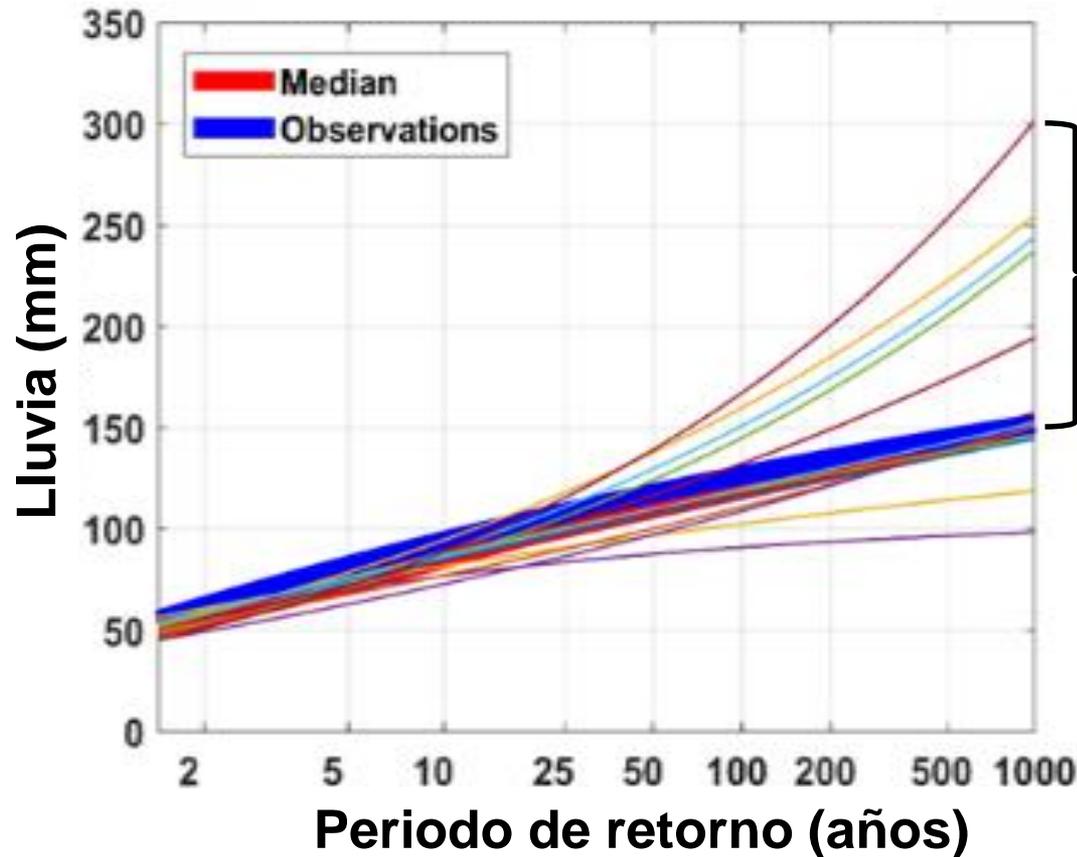
- Por tanto, las **proyecciones** de precipitación suministradas por **AEMET no son adecuadas** para estudios de **extremos** de precipitación.



Fuente: Garijo y Mediero (2018)

- Se han utilizado las proyecciones climáticas suministradas por el programa **CORDEX**:
 - **12 modelos** climáticos regionalizados.
 - **2 escenarios** de emisiones: RCP 4.5 y 8.5.
 - Periodo de **control**: 1951-2005 y 1971-2005.
 - Periodo **futuro**: 2006-2100.
 - Series de **precipitaciones diarias máximas anuales**.
- Se ha utilizado el **método delta**, sin corrección de sesgo.

- En cada celda se obtienen **12 valores de tasa de cambio** para cada periodo de retorno:

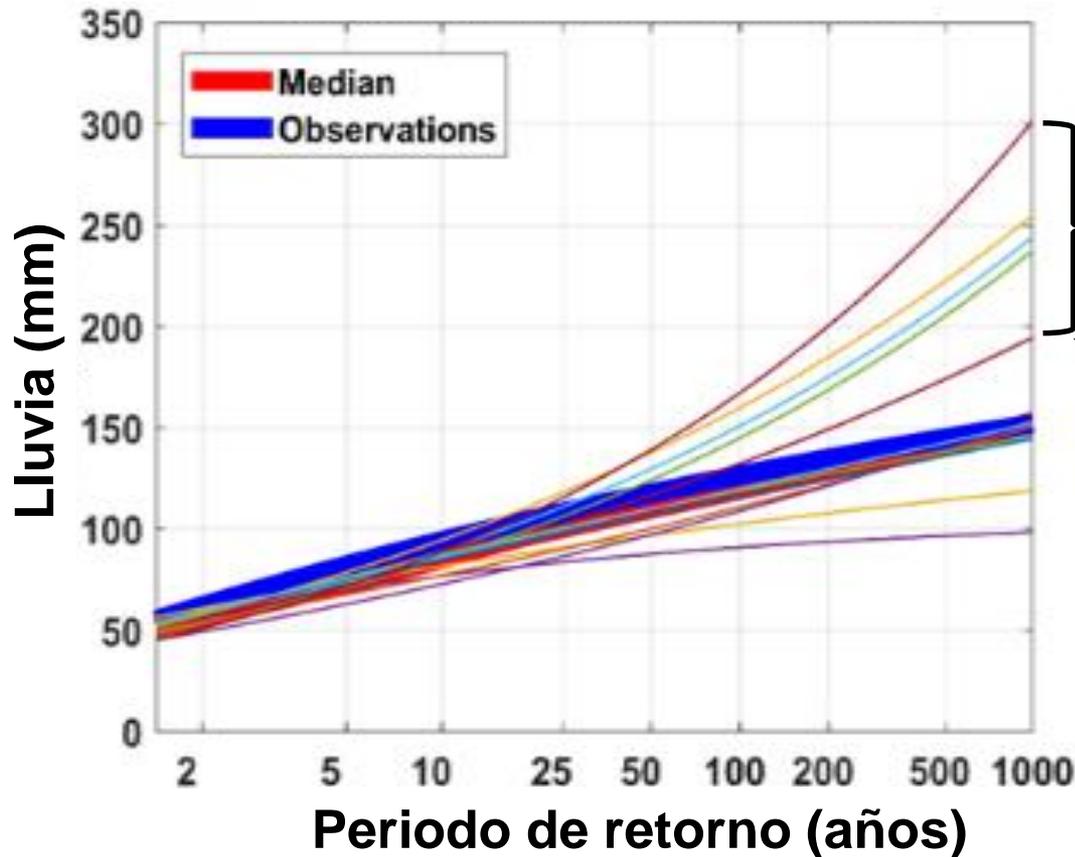


Mediana:
50 % - Tasa de cambio excedida por 6 modelos

TASAS DE CAMBIO



- En cada celda se obtienen **12 valores de tasa de cambio** para cada periodo de retorno:

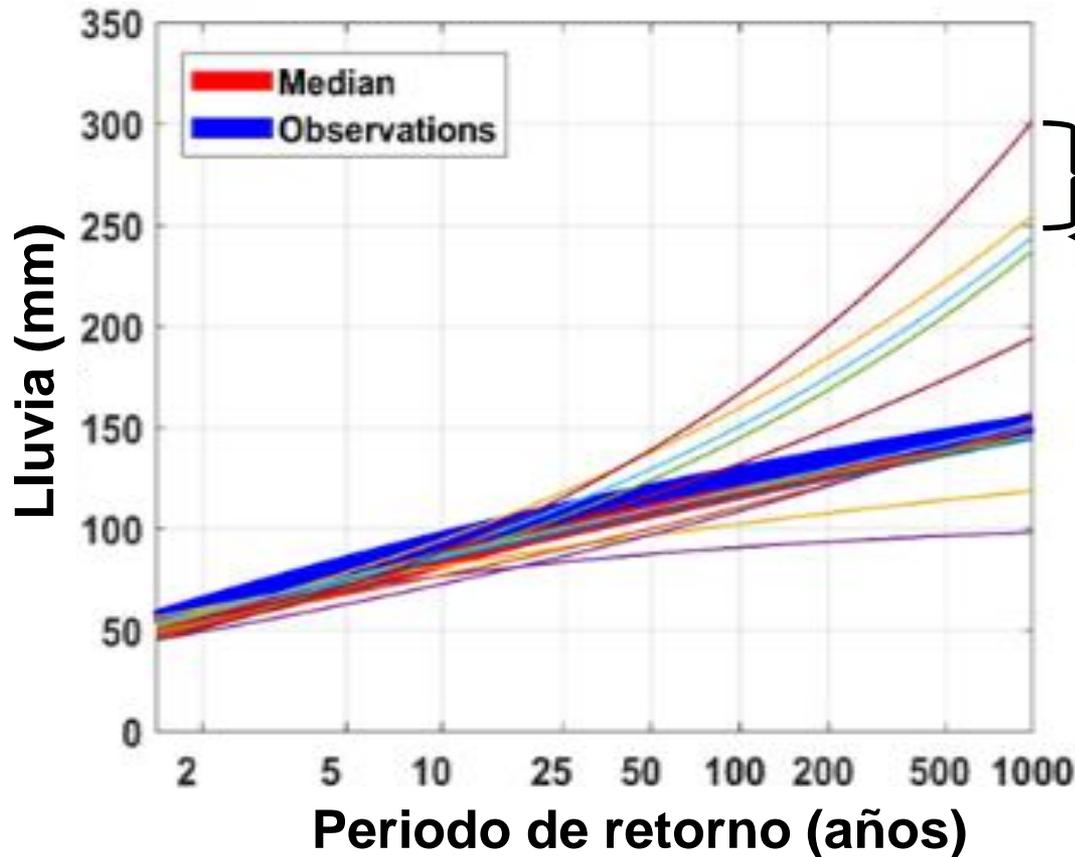


68 % - Tasa de cambio excedida por 4 modelos

TASAS DE CAMBIO



- En cada celda se obtienen **12 valores de tasa de cambio** para cada periodo de retorno:



90 % - Tasa de cambio excedida por 2 modelos

- **Tasas de cambio de precipitación diaria máxima anual:**

- **T = 2, 5, 10, 50, 100, 500 y 1000 años**

- **RCP 4.5 y 8.5**

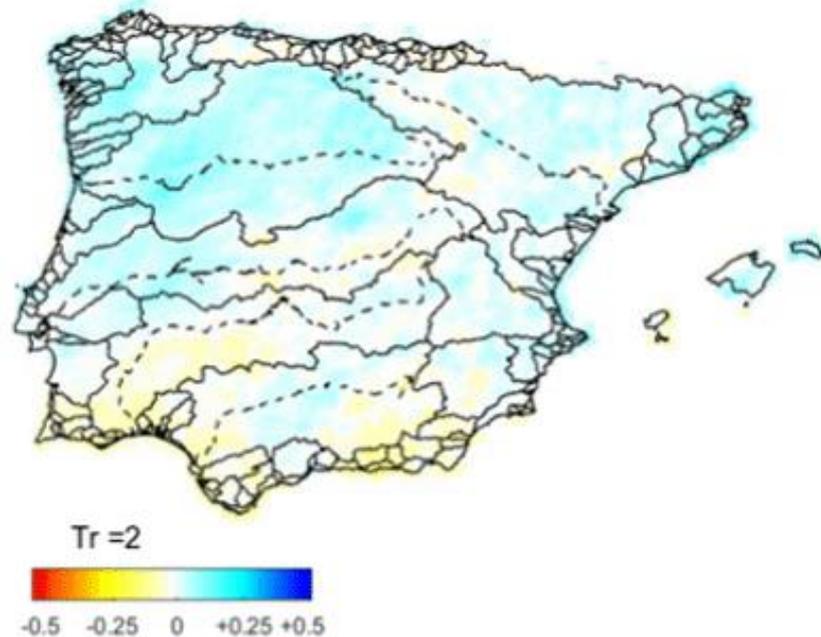
- **50, 68 y 90 %**

- **2011-2040**

- **2041-2070**

- **2071-2100**

Tasa de cambio en RCP 85 para el periodo (2011-2040)





Tasas de cambio en cuantiles de precipitación diaria máxima anual esperables en situación de cambio climático a escala nacional

Luis Mediero y Carlos Garijo
(luis.mediero@upm.es; c.garijo@upm.es)

Universidad Politécnica de Madrid

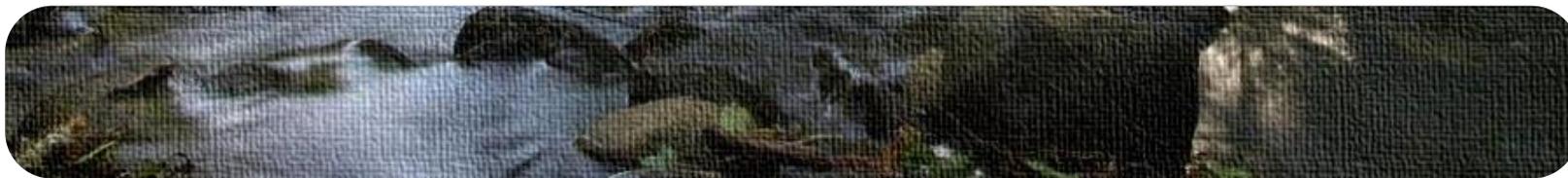
Grupo de Investigación de Hidroinformática y Gestión del Agua
ETSI de Caminos, Canales y Puertos



RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RIESGO DE INUNDACIÓN

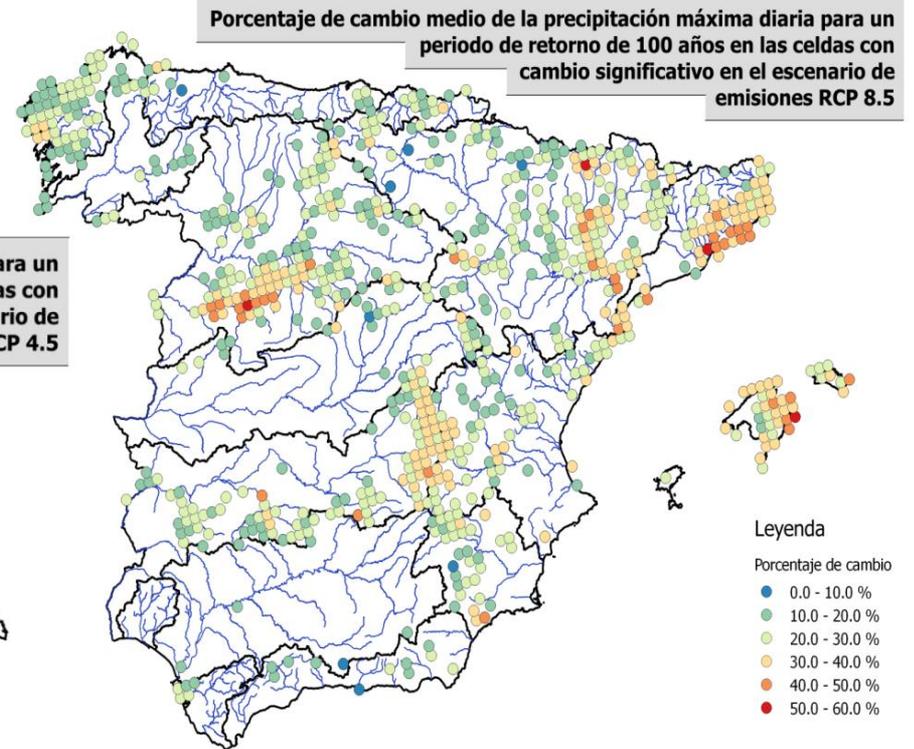
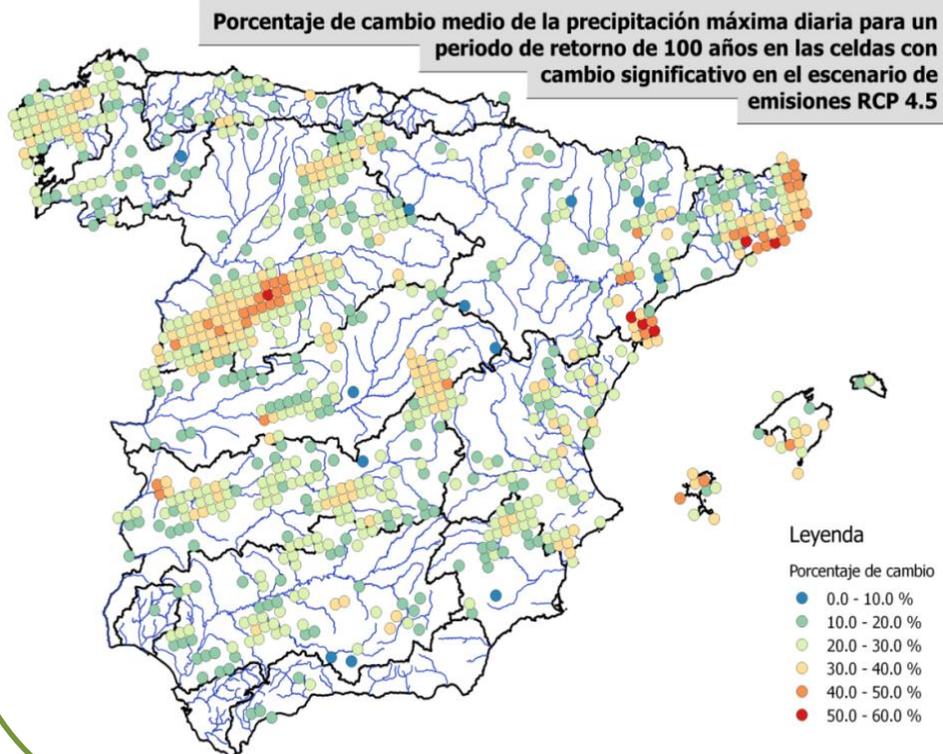
**Información facilitada a las CCHH para su
consideración en la EPRI**

Ana Salgado Cámara



RESULTADOS DE LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EPRI

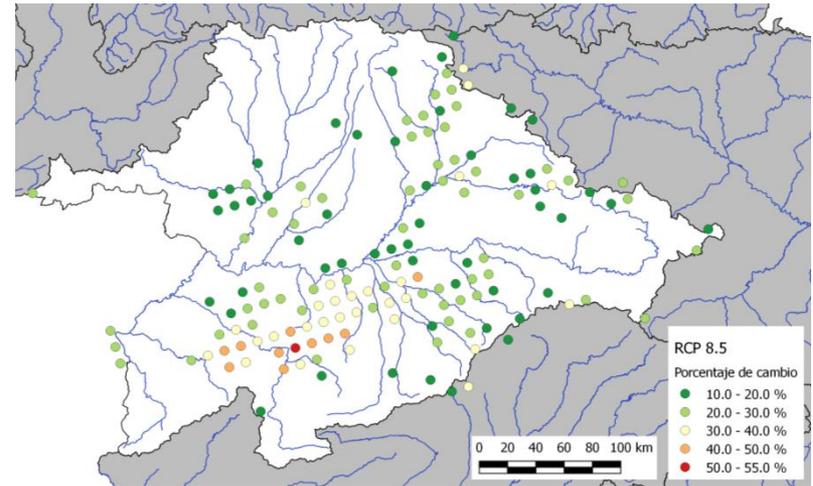
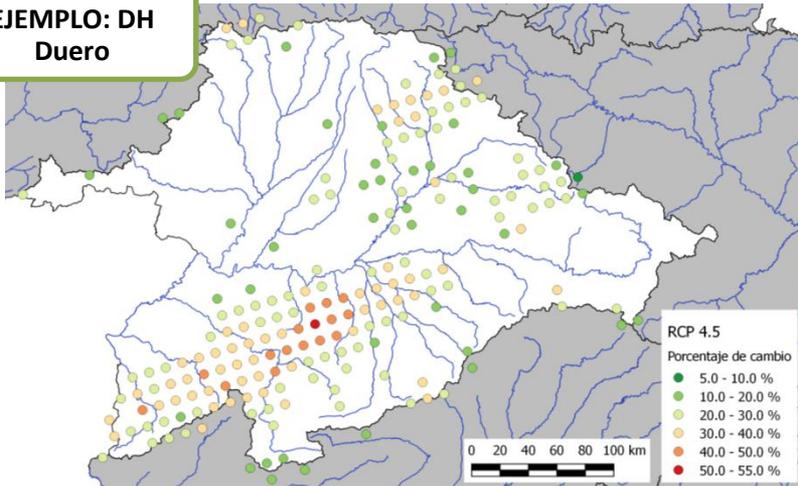
Zonas con cambio relevante en la precipitación máxima diaria



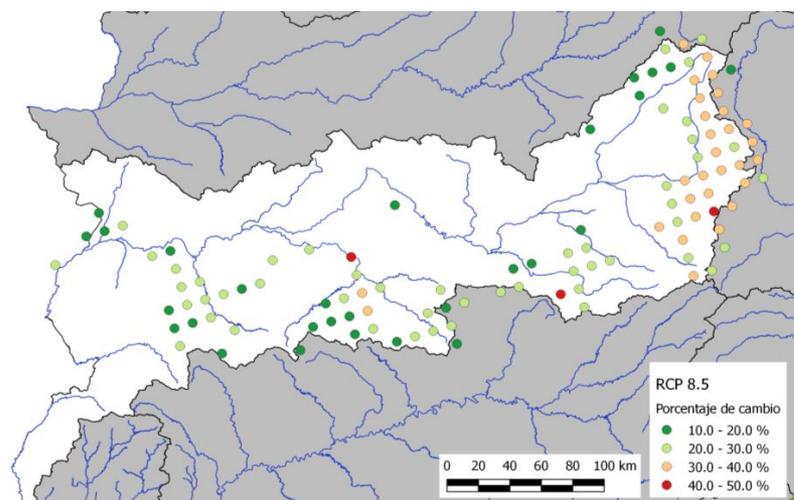
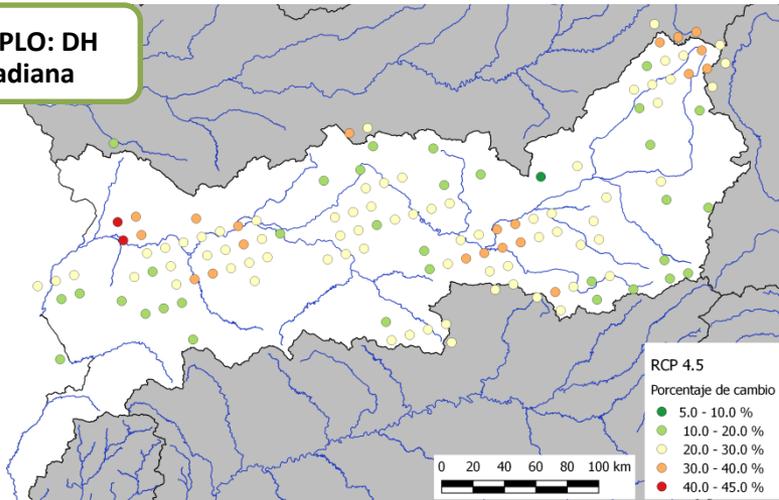
Por lo general, coinciden en señalar las mismas zonas con cambio (margen izquierda del río Duero en su tramo medio, cabecera del río Guadiana, zona norte en las Cuencas Internas de Cataluña o Galicia – Costa, entre otras). También hay disparidades.

RESULTADOS DE LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EPRI

EJEMPLO: DH Duero



EJEMPLO: DH Guadiana

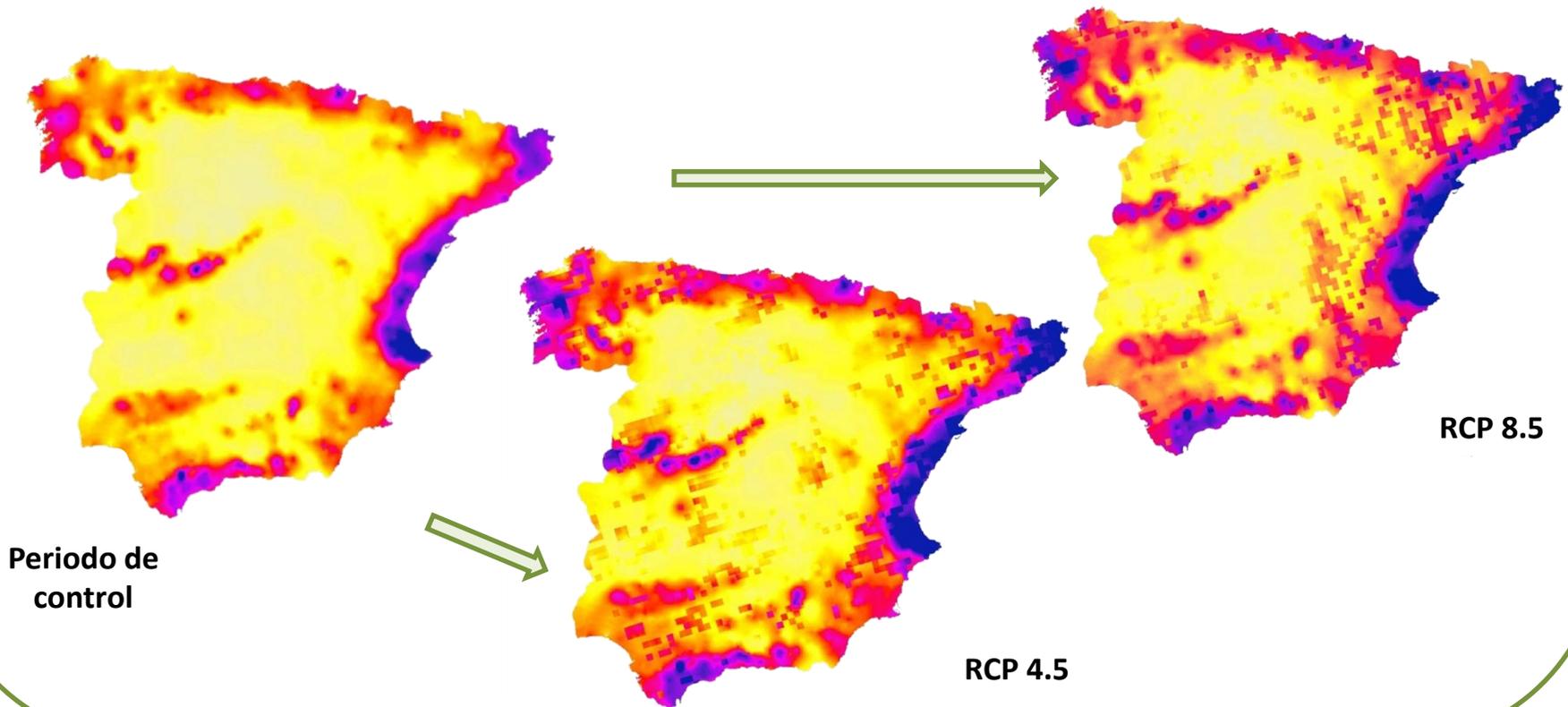


RESULTADOS DE LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EPRI

Cambios en la ley de frecuencia de caudales a partir del método racional modificado

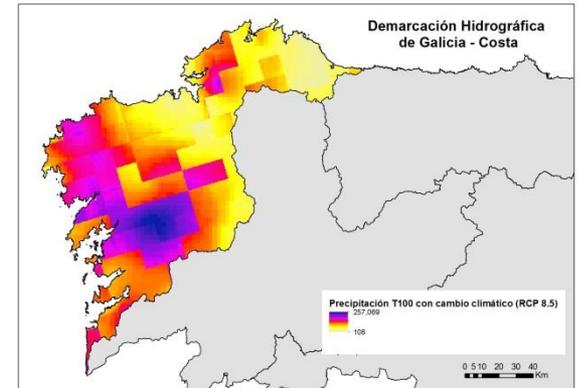
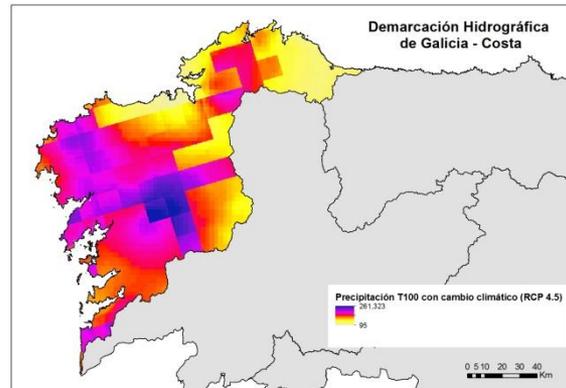
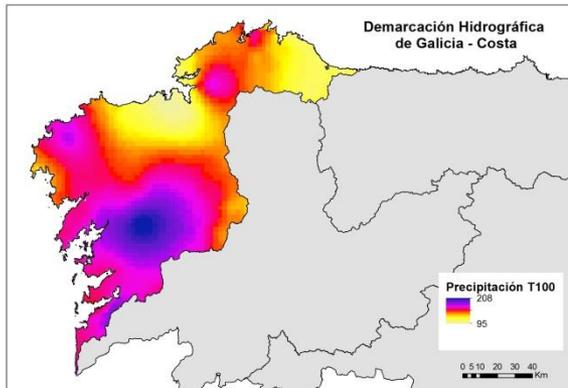
1. Cambios en la precipitación máxima diaria

Las zonas que más aumentan la precipitación máxima diaria son las zonas próximas a la costa (costa de Cataluña, Levante, Galicia o cornisa cantábrica), cabeceras de los ríos Guadiana, Júcar o Segura y afluentes de los ríos Duero y Ebro en su tramo medio.

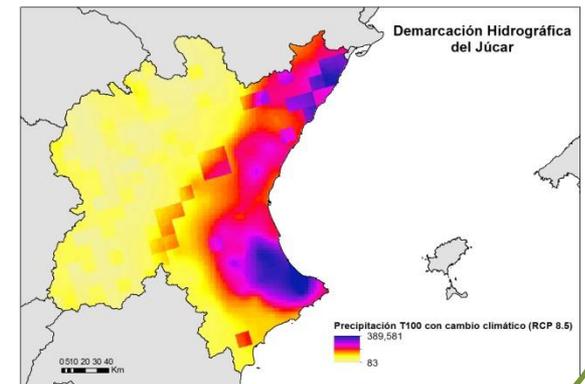
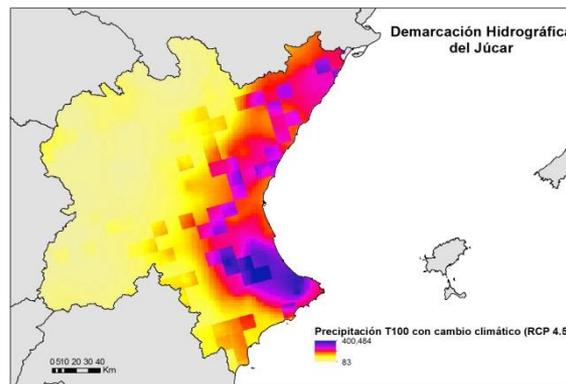
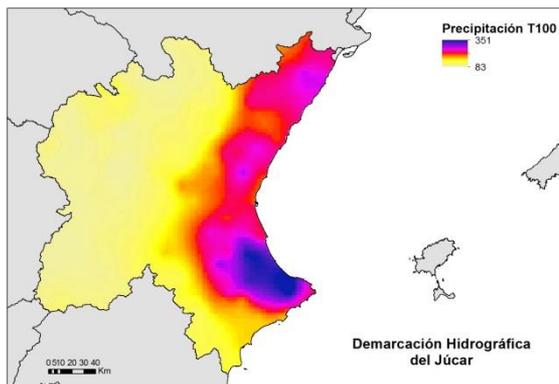


RESULTADOS DE LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EPRI

EJEMPLO: DH Galicia - Costa



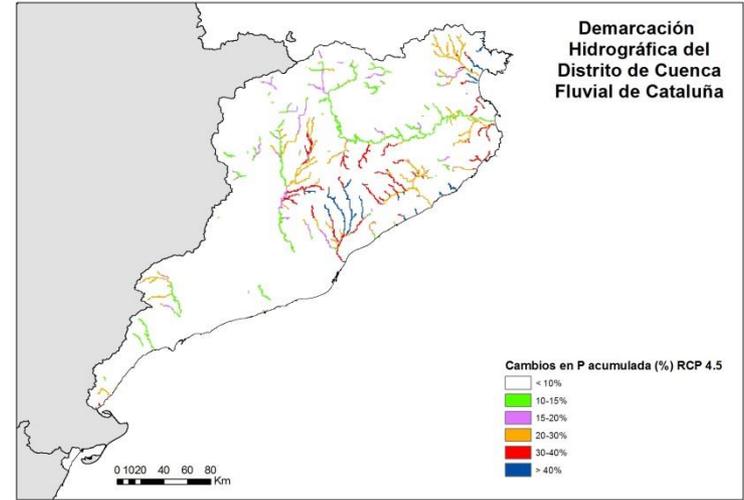
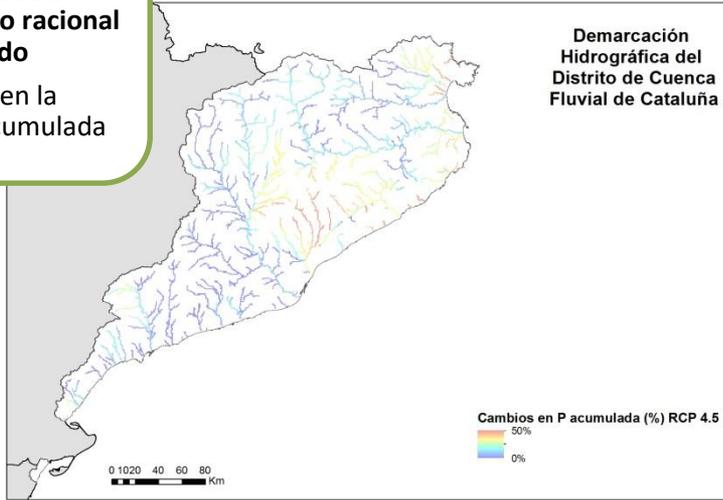
EJEMPLO: DH Júcar



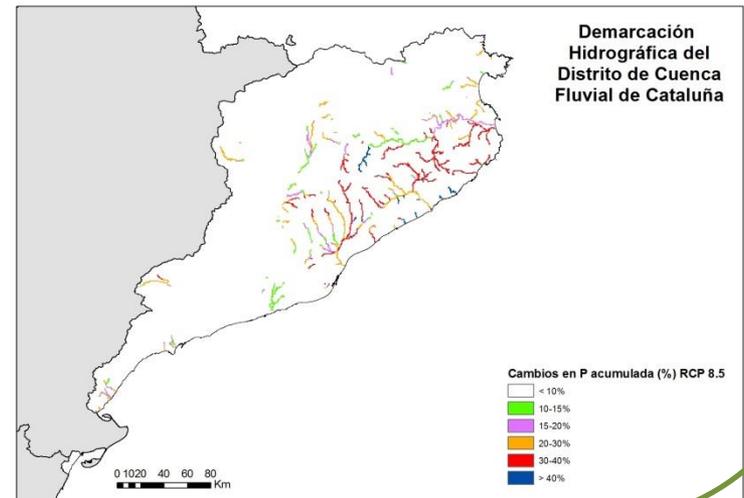
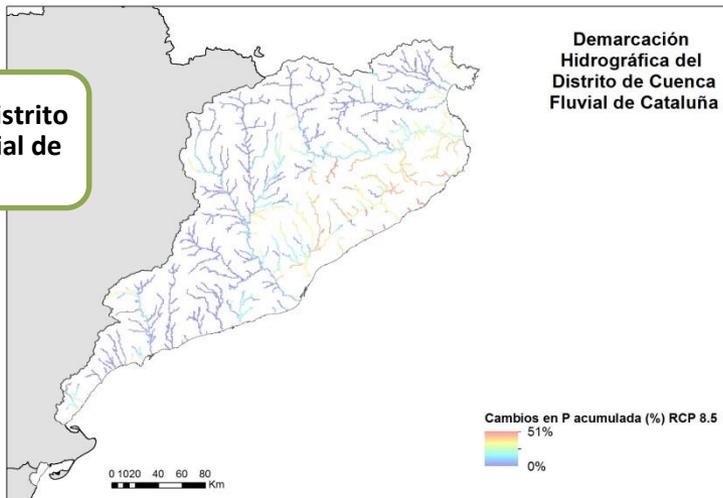
RESULTADOS DE LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EPRI

Cambios en la ley de frecuencia de caudales a partir del método racional modificado

2. Cambios en la precipitación acumulada



EJEMPLO: DH Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña



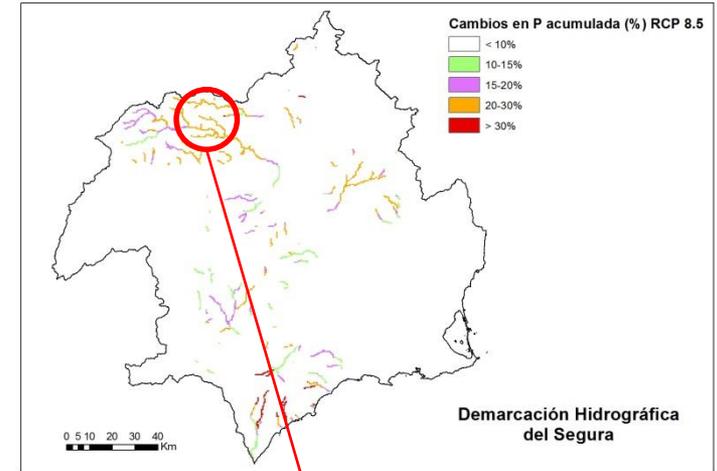
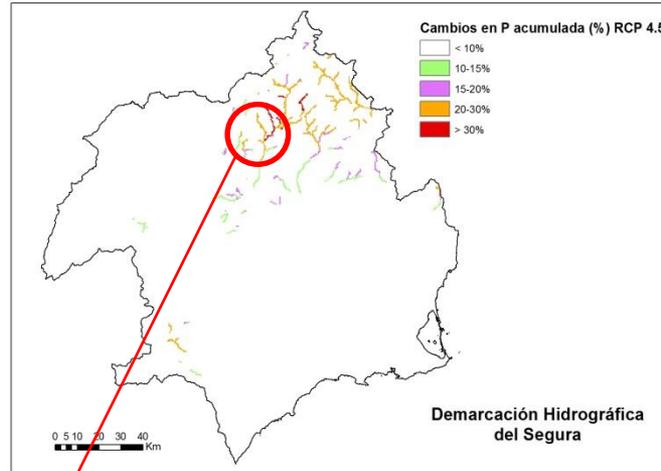
RESULTADOS DE LA CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EPRI

EJEMPLO: DH Segura

Cambios en la ley de frecuencia de caudales a partir del método racional modificado

3. Método racional modificado (Témez)

Valoración cualitativa final



| | | |
|--|---------------------|----------------|
| Municipio | Hellín | |
| ARPSI | Sí (ES070/0002-03) | |
| Coordenadas | 613691 | 4261989 |
| Área (km2) | 14,5 | |
| Tiempo de concentración (h) | 2,98 | |
| Factor de torrencialidad (I1/I0) | 11 | |
| Umbral de escorrentía (mm) | 19,18 | |
| Umbral de escorrentía aplicado el coeficiente corrector (mm) | 23,02 | |
| | CLIMA ACTUAL | RCP 4.5 |
| T100 actual Precipitación (mm) | 107,39 | 130,69 |
| T100 actual Precipitación corregida en función del área (mm) | 99,08 | 120,29 |
| Intensidad (mm/h) | 22,56 | 27,39 |
| Coefficiente de escorrentía (C) | 0,39 | 0,45 |
| CAUDAL T100 (m3/s) | 43 | 61 |
| Porcentaje de cambio de precipitación máxima diaria acumulada | 21% | |
| Porcentaje de cambio en caudal | 42% | |



Figura 1- Cuenca correspondiente al tramo analizado a partir de la aplicación CauMax

| | | |
|--|---------------------|----------------|
| Municipio | Alcadozo | |
| ARPSI | No | |
| Coordenadas | 584747 | 4277825 |
| Área (km2) | 44,5 | |
| Tiempo de concentración (h) | 6,56 | |
| Factor de torrencialidad (I1/I0) | 10 | |
| Umbral de escorrentía (mm) | 36,62 | |
| Umbral de escorrentía aplicado el coeficiente corrector (mm) | 39,14 | |
| | CLIMA ACTUAL | RCP 8.5 |
| T100 actual Precipitación (mm) | 110,21 | 142,27 |
| T100 actual Precipitación corregida en función del área (mm) | 98,1 | 126,64 |
| Intensidad (mm/h) | 12,25 | 15,81 |
| Coefficiente de escorrentía (C) | 0,27 | 0,29 |
| CAUDAL T100 (m3/s) | 46 | 81 |
| Porcentaje de cambio de precipitación máxima diaria acumulada | 29% | |
| Porcentaje de cambio en caudal | 76% | |

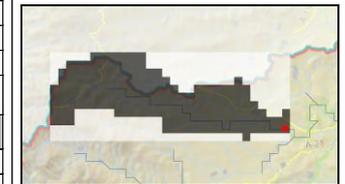


Figura 1- Cuenca correspondiente al tramo analizado a partir de la aplicación CauMax

CONCLUSIONES

UTILIZANDO EL CRITERIO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

- Se han revisado las ARPSIs previas
- Se han revisado los tramos con cambio significativo a su paso por núcleos urbanos
- Se ha valorado incluir ARPSIs

PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA

Mayores aumentos en:

- Costa: Galicia, Cataluña, delta del Ebro y Levante.
- Cabeceras de los ríos Guadiana, Júcar y Segura
- Cabeceras de afluentes del Ebro en Pirineos y en su tramo medio
- Margen izquierda del río Duero en su margen izquierda

CAMBIO AMBIENTAL

El cambio ambiental en las cuencas (aforestación, abandono de cultivos, incendios):

- Generan impactos en cauces y caudales
- Puede afectar a la peligrosidad y el riesgo de inundación.

Mayor incidencia en Galicia y regiones Mediterráneas.



- Cuencas pequeñas (< 500 km²): mayor vulnerabilidad en la zona mediterránea por las inundaciones relámpago.
- Cuencas grandes (> 500 km²): Aumento de los daños en nuevas áreas urbanas cercanas a los cauces.

- Resultados variables, con diferentes tendencias según el modelo climático (importancia de incertidumbres y simplificaciones)
- Aumentos en la precipitación suponen aumento del caudal no lineal
- Necesidad de estudios particularizados

RIESGOS

CAUDAL MÁXIMO





Muchas gracias por su
atención

