



Sistema de predicción hidrológica estacional de España. SEHYP-ES-System

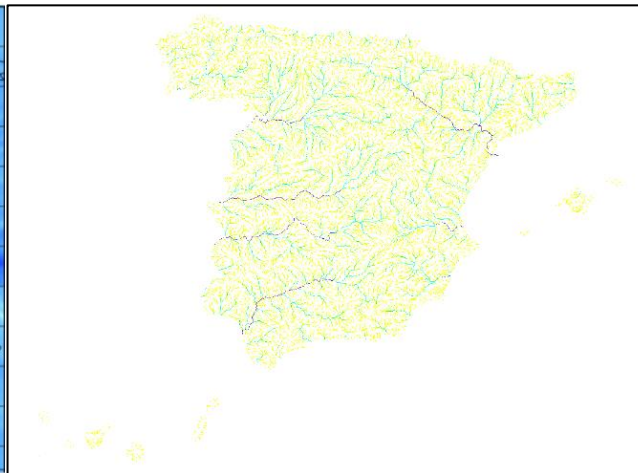
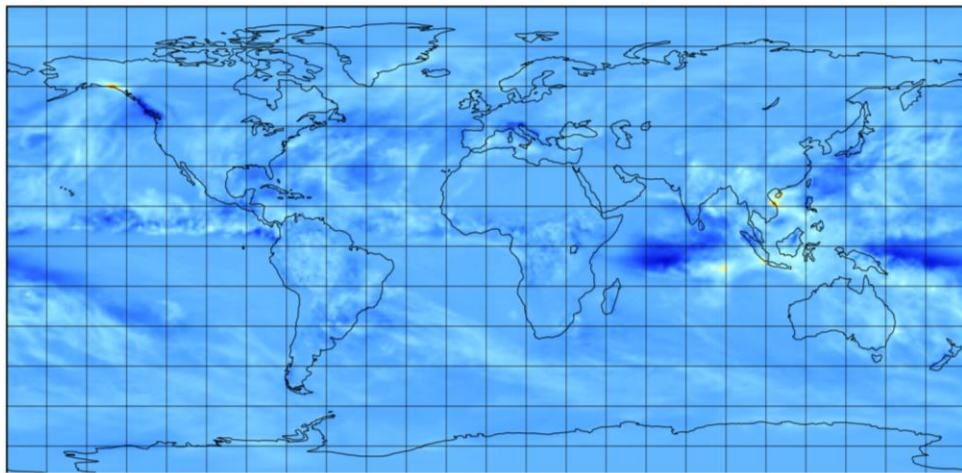
Miguel Ángel Pérez Martín

Profesor Titular de Universidad. Universitat Politècnica de València

Bloque 3. Mesa de experiencias. Avances de la investigación y la innovación para la integración del cambio climático en la planificación hidrológica.

ECMWF- System 5

Hidrología: modelo Patrical



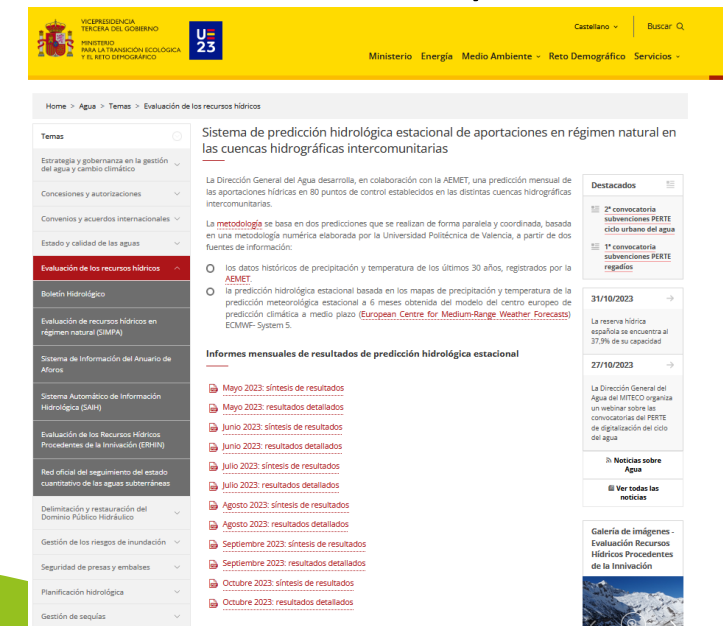


- En los últimos años se han producido importantes avances en la predicción climática estacional.
- La predicción es detectar desviaciones climáticas respecto la media a medio plazo. Diferente de la previsión meteorológica diaria o horaria a 2-3 semanas.
- La predicción permite disponer de valiosa información de las condiciones hidrológicas futuras, ventana de 6 meses o hasta el final del año hidrológico.
- Es un **elemento** más de **apoyo en la toma de decisión en la gestión del agua**.
- **Operativa desde 2023**. Ha detectado con antelación situación húmeda en la vertiente atlántica y de sequía en la vertiente mediterránea de 2024.

Publicada mensualmente

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/prediccion-estacional/sistema-prediccion-hidrologica-estacional-ch-intercomunitarias.html>

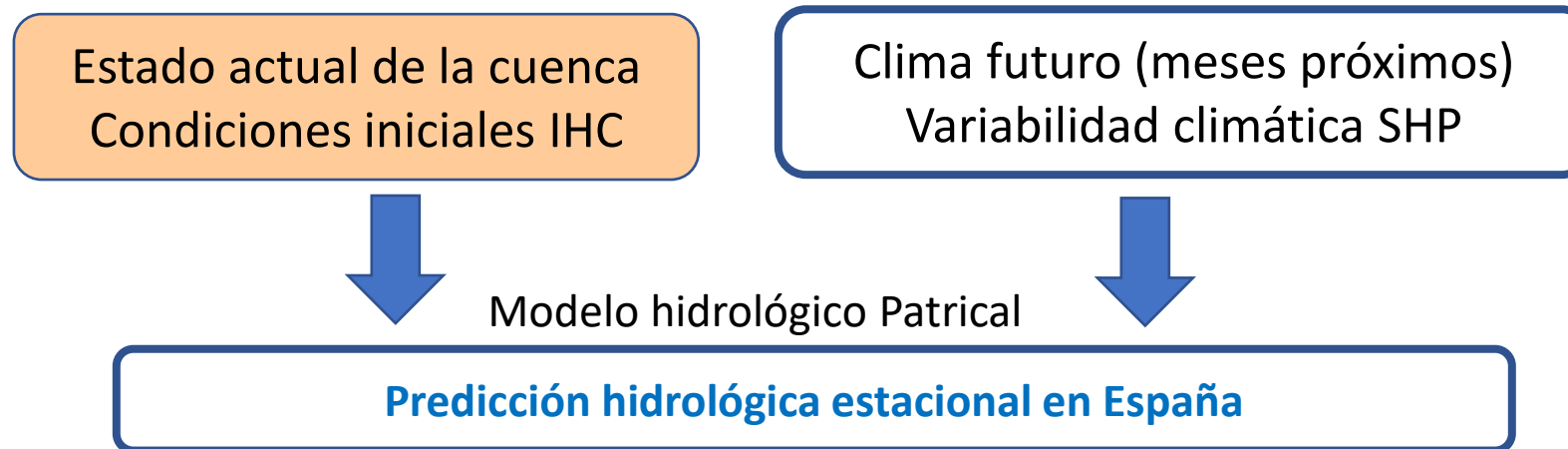
Agradecimientos: profesor QJ Wang, The University of Melbourne (Australia); Teodoro Estrela, Confederación Hidrográfica del Júcar - Dirección General del Agua - Universitat Politècnica de València





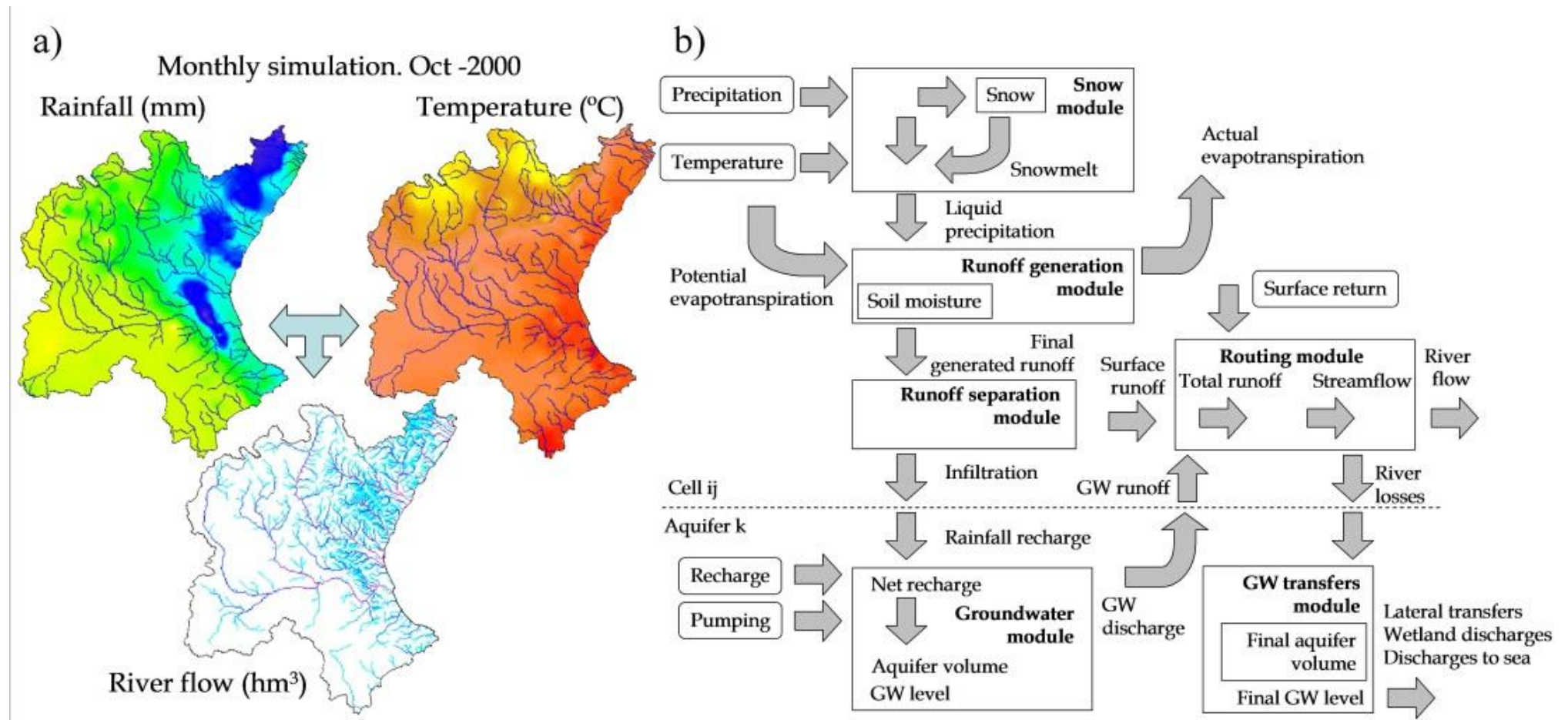
Predicción hidrológica estacional, está formada por dos partes fundamentales.

- **Condiciones hidrológicas iniciales**, obtenidas por simulación a partir de los datos de lluvia y temperatura registrados.
- **Lluvias y temperaturas futuras**. Dos casos: 6 meses y hasta final de año hidrológico.





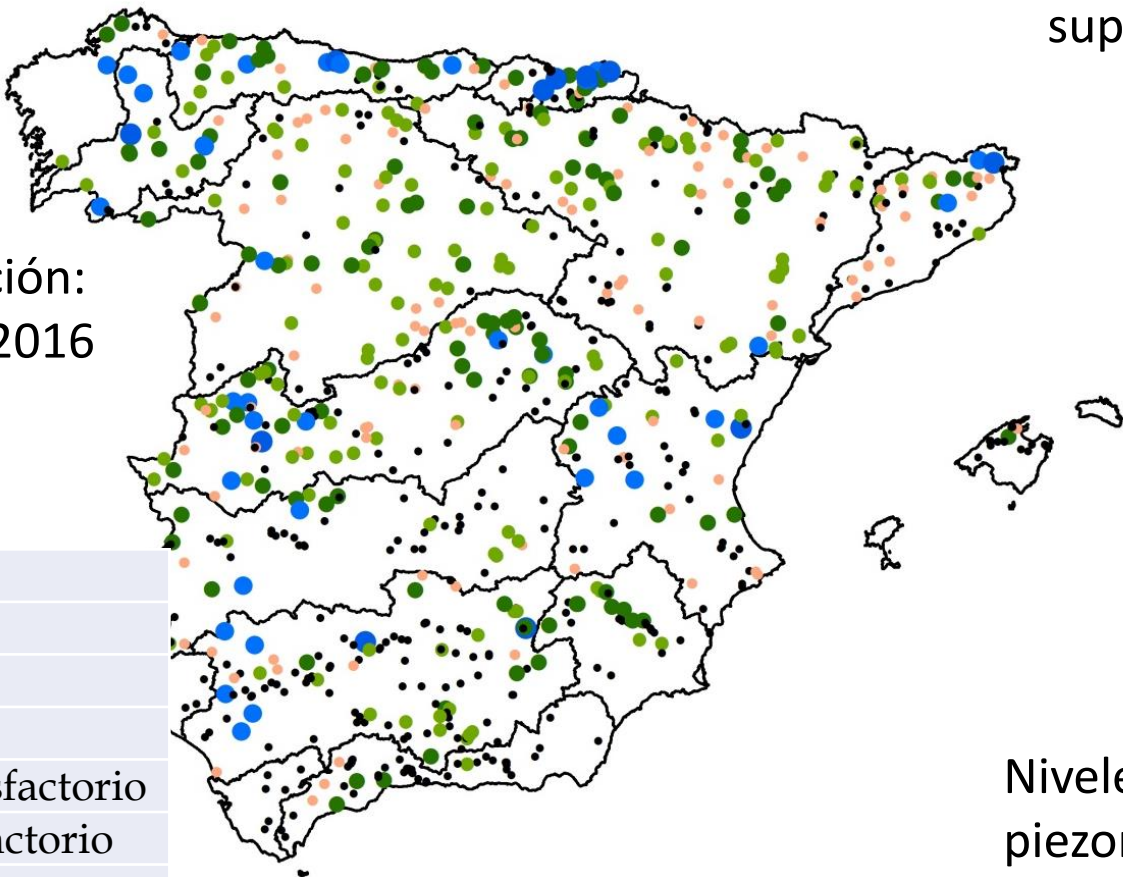
Modelo distribuido de balance de agua
(1km x 1km) de paso de tiempo mensual



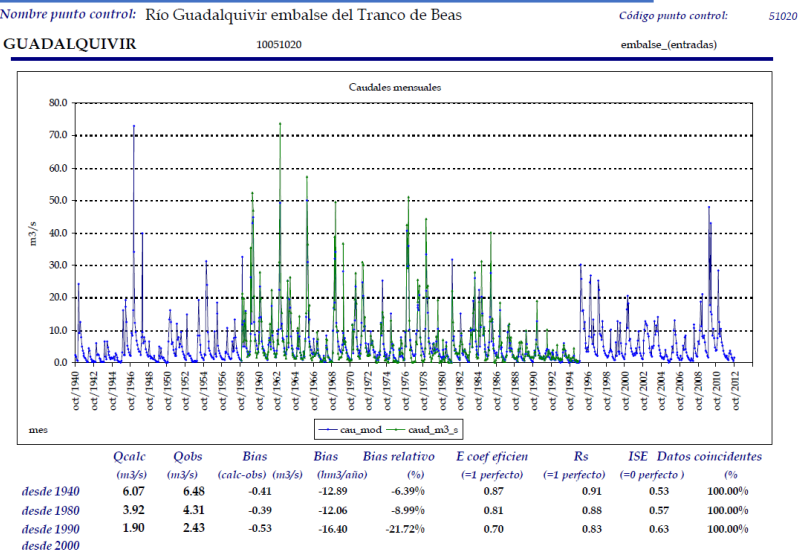


Periodo calibración:
Oct 1940 – Sep 2016

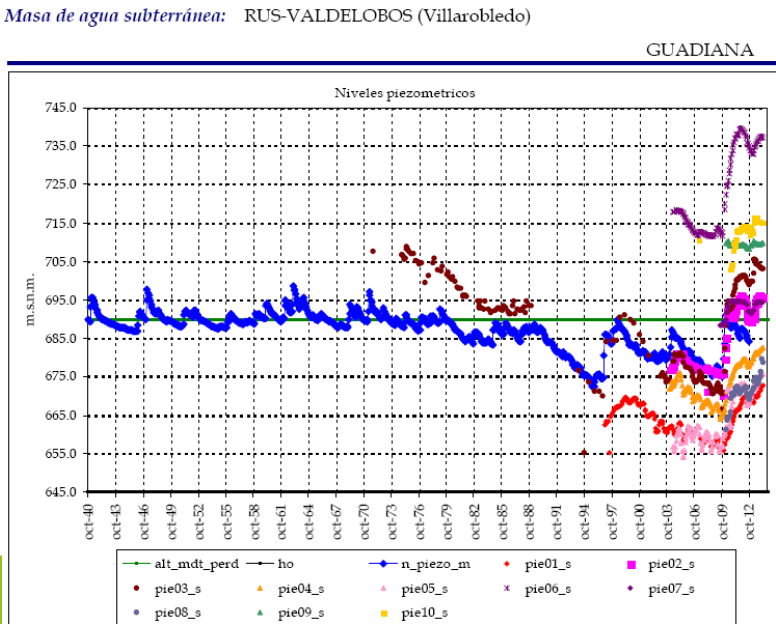
- Ajuste
- Muy bueno
- Bueno
- Satisfactorio
- Cercano a satisfactorio
- Lejos de satisfactorio
- Mal Ajuste



Caudales superficiales



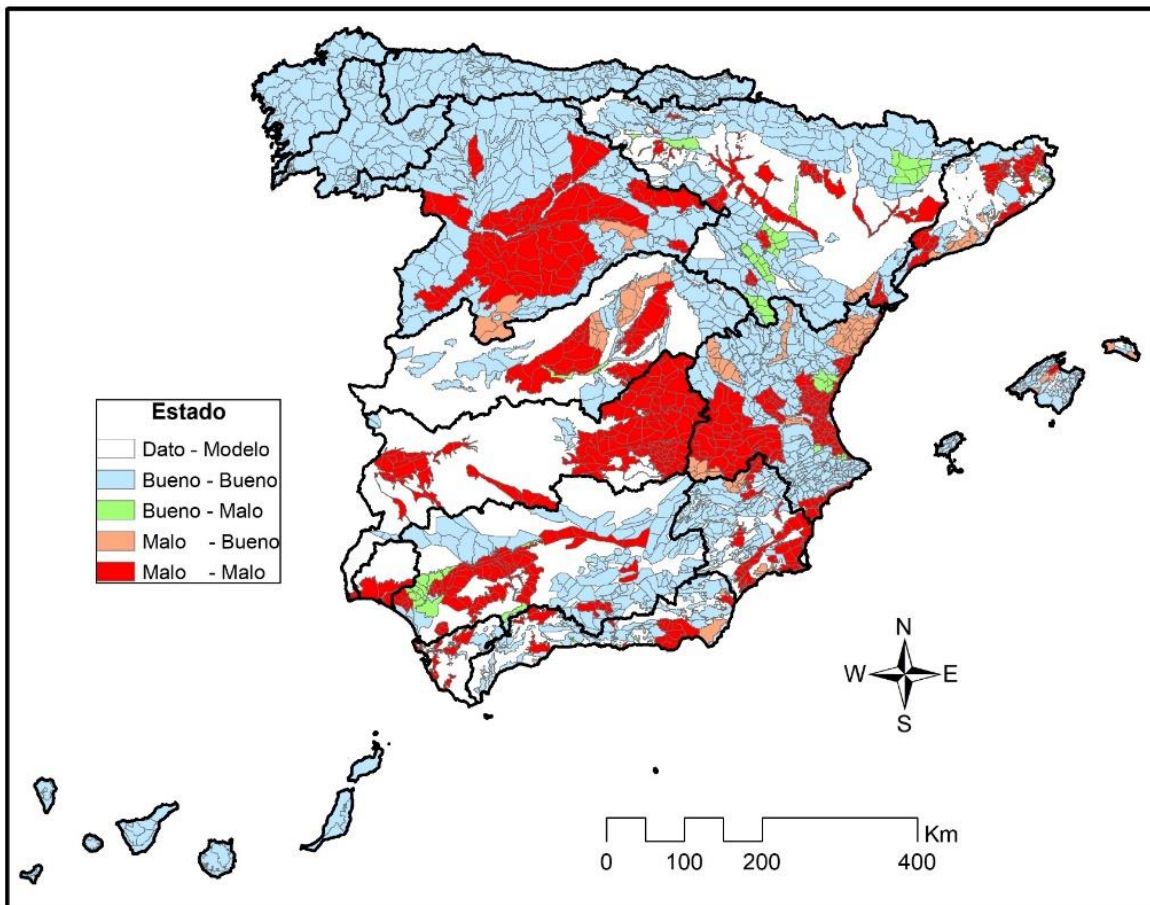
Niveles piezométricos



Calibración cantidad y calidad (Nitrato)



Modelo hidrológico calibrado en cantidad (caudales y niveles piezométricos) y calidad del agua (nitrato). Utilizado en planificación hidrológica de España por más de 10 años



Nitrato NO_3

Validación de los resultados del modelo con las declaraciones de mal estado por nitrato.

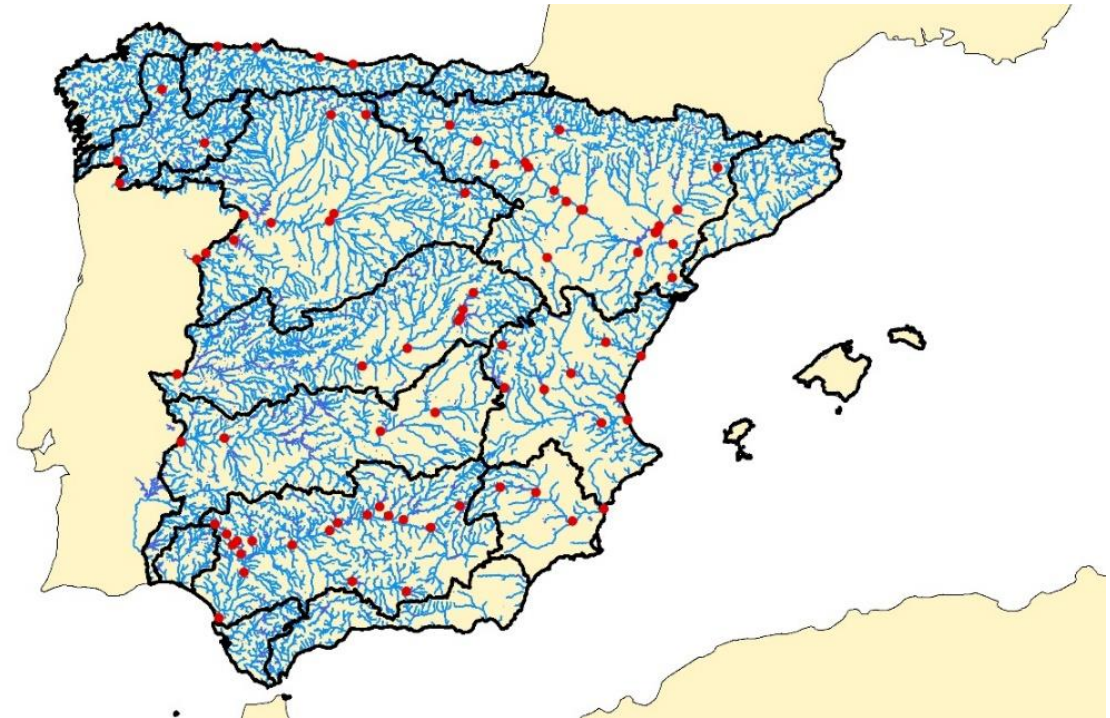
Perez-Martin, Miguel A.; Estrela, Teodoro; del-Amo, Patricia. 2016. Measures required to reach the nitrate objectives in groundwater based on a long-term nitrate model for large river basins (Jucar, Spain). *Science of the Total Environment* Volume: 566 Pages: 122-133. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.206>

Pérez-Martín, M.A.; Meenakshi Arora; Teodoro Estrela Monreal, 2024. Defining the Maximum Nitrogen Surplus in Water Management Plans to Recover Nitrate Polluted Aquifers in Spain. *Journal of Environmental Management*. Volume 356, April 2024, 120770. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120770>

Predicción hidrológica estacional en España

Resultados en 3 niveles:

- Toda España
- Demarcaciones
- Puntos específicos



Predicción Hidrológica Estacional



Datos observados año hidrológico en curso:

- Lluvia
- Temperatura

Datos meteorológicos históricos (hasta final año hidrológico):

- Lluvia
- Temperatura

Predicción modelo climático ECMWF (6 meses):

- Lluvia
- Temperatura

Estado actual de la cuenca
Condiciones iniciales IHC

Clima futuro (meses próximos)
Variabilidad climática SHP

Predicción hidrológica estacional en España

Paso 1: Régimen hidrológico histórico. Azul
Paso 2: Condiciones Iniciales IHC. Naranja
Paso 3. SHP base datos histórica. Verde
Paso 4. SHP predicción climática ECMWF. Rojo

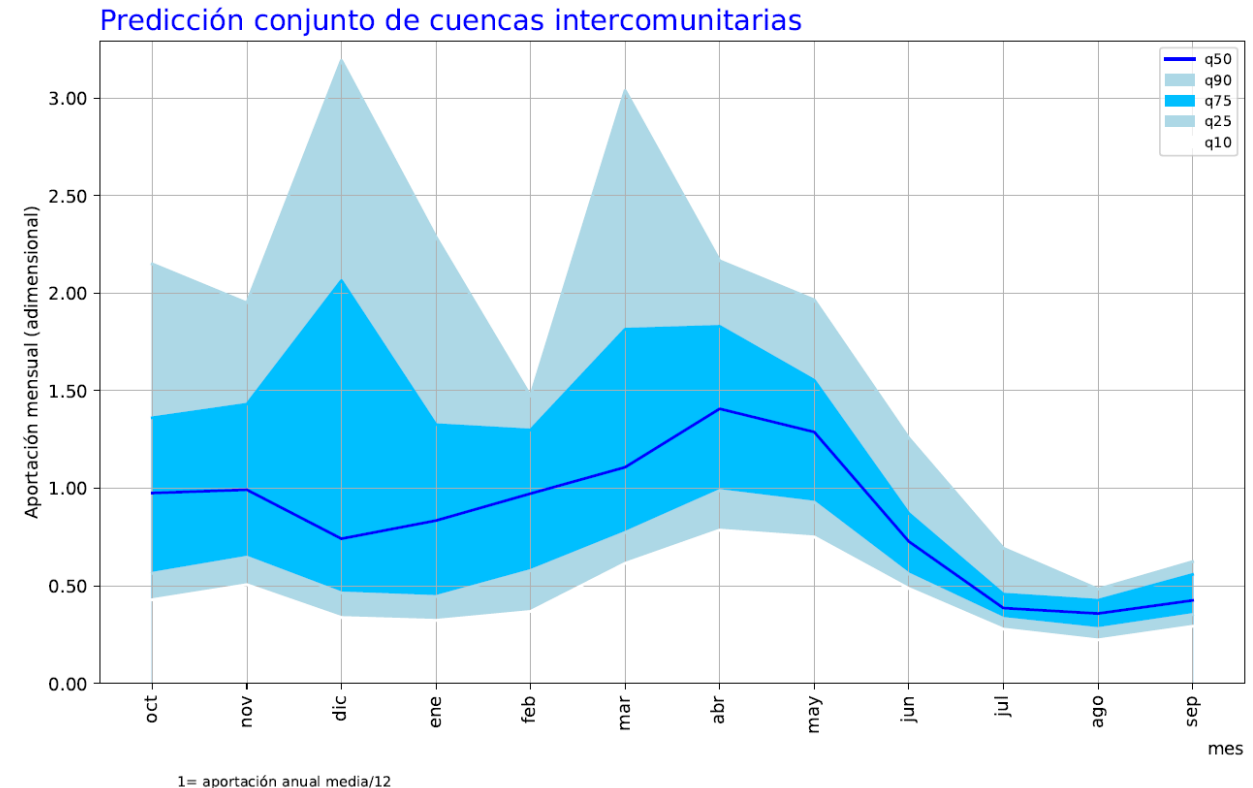
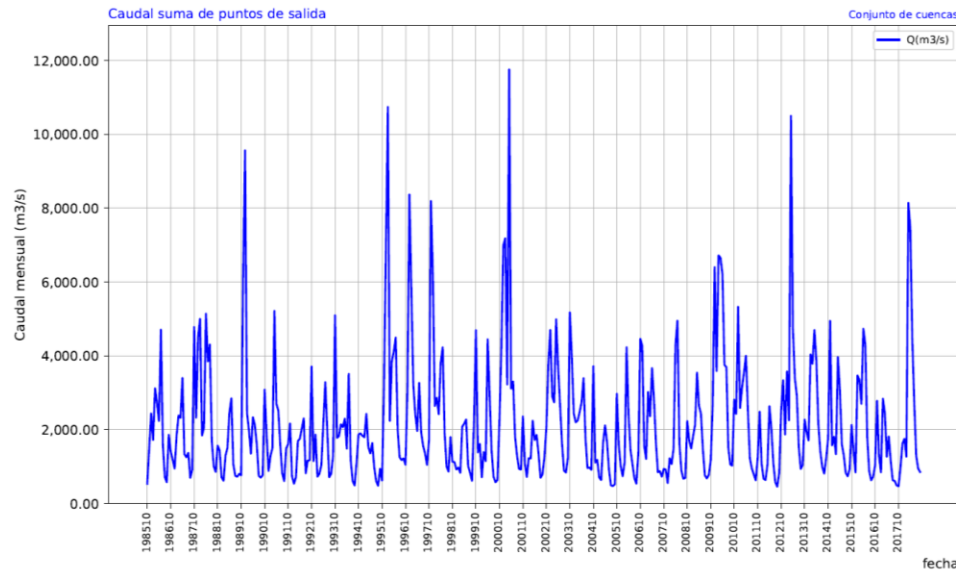
Adaptado de Guidelines on Seasonal Hydrological Prediction (WMO, 2021)

Paso 1: Régimen hidrológico.

Referencia histórica. Azul



Caudales en régimen natural calculados con el modelo hidrológico Patrical a partir de los registros históricos de lluvia y temperatura periodo 1985/86 - 2017/18



Línea azul: mediana $q(p=50\%)$

Area azul oscura intervalo entre $q(p=25\%)$ y $q(p=75\%)$

Area azul clara intervalo entre $q(p=10\%)$ y $q(p=90\%)$

Valor 1.0 es igual al caudal medio mensual.

0.5 indica la mitad del caudal medio

2.0 indica el doble del caudal medio

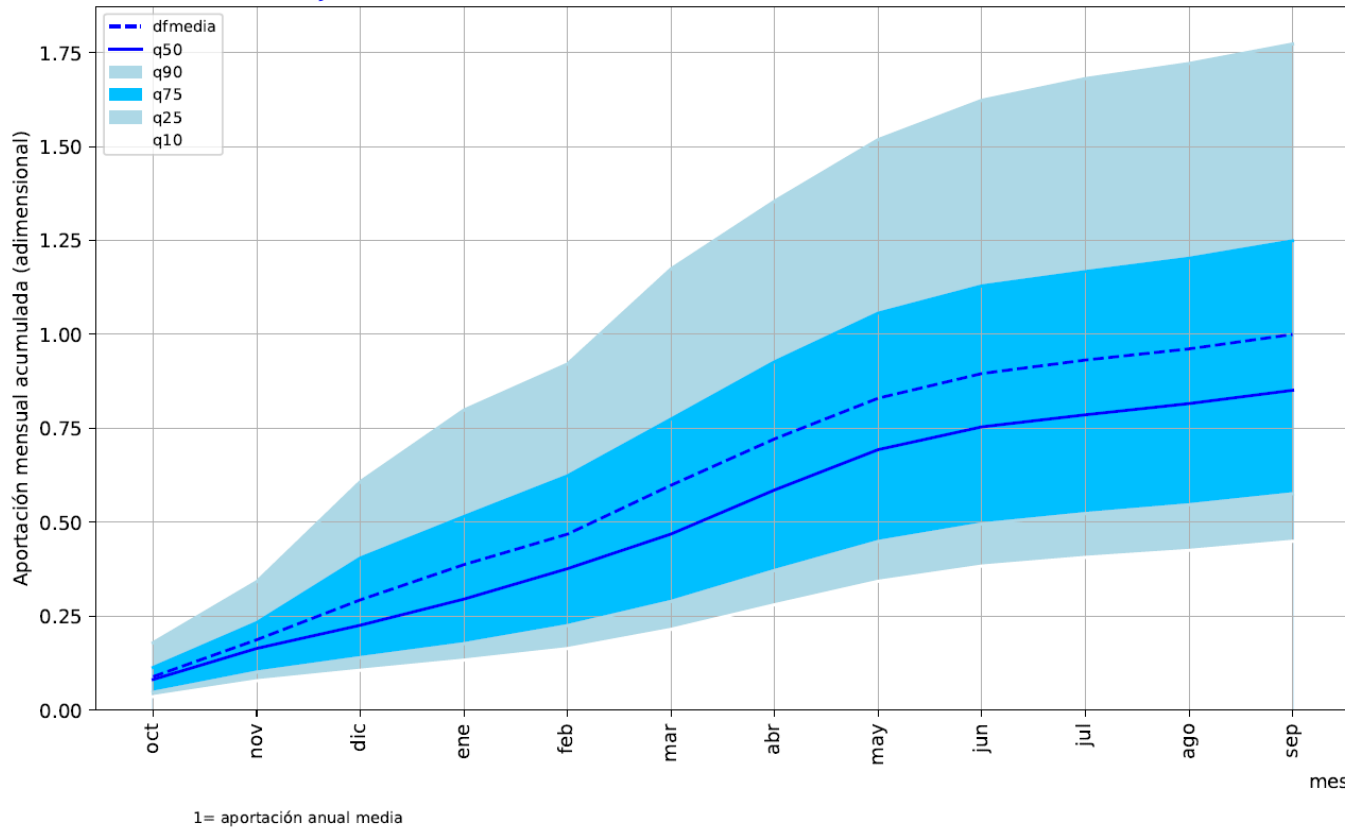
Paso 1: Régimen hidrológico. Azul

Referencia histórica. Acumulado



Aportación acumulada

Predicción conjunto cuencas intercomunitarias:



- Línea azul discontinua: media finaliza en 1
- Línea azul: mediana $q(p=50\%)$
- Área azul oscura intervalo entre $q(p=25\%)$ y $q(p=75\%)$
- Área azul clara intervalo entre $a(p=10\%)$ y $q(p=90\%)$

Valor 1.0 es igual al caudal medio mensual.
0.5 indica la mitad del caudal medio
2.0 indica el doble del caudal medio

- Aportación p50% (mediana) es del orden 0.85 media
- En el caso del Guadalquivir es 0.5

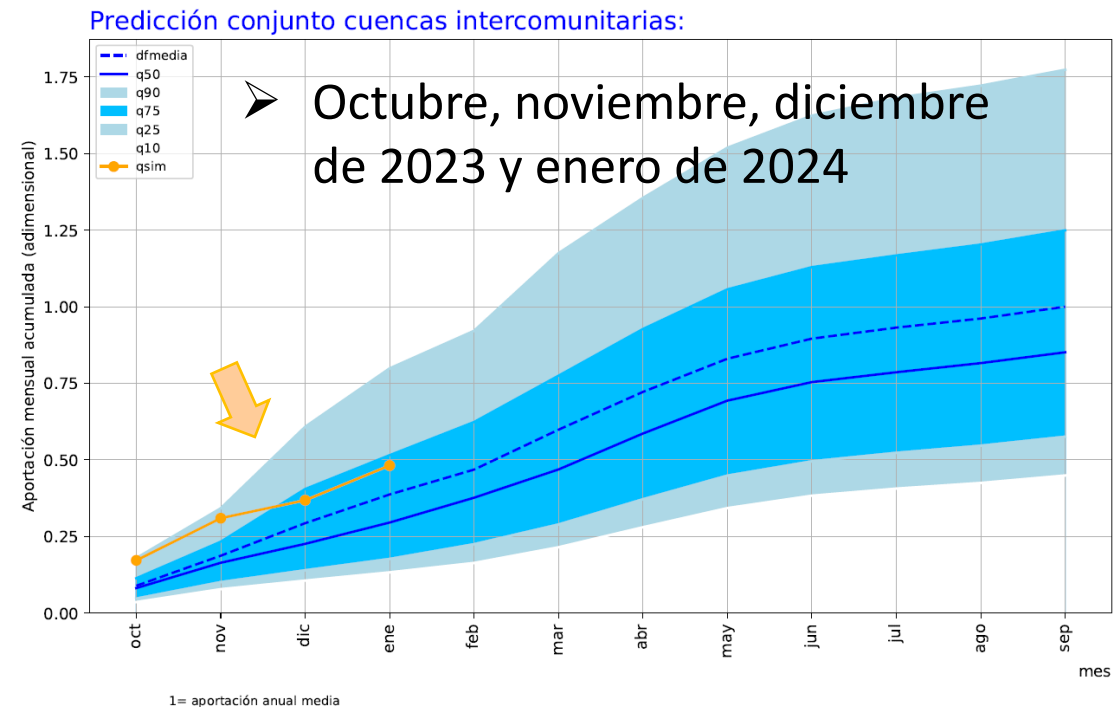
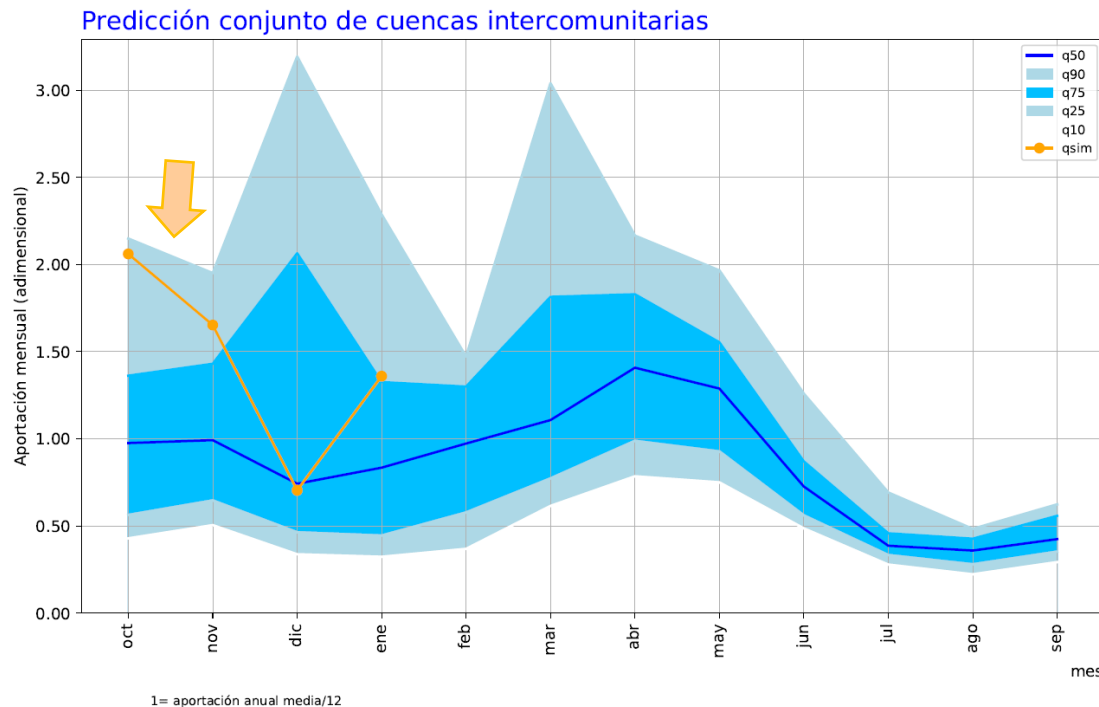
Paso 2: Condiciones iniciales

IHC. Naranja. Ejemplo de 2023/24



Humedad del suelo, volumen almacenado en los acuíferos y volumen en forma de nieve.

Calculado con el modelo Patrical a partir de los datos de la Aemet de los últimos meses. Lluvia (2700 estaciones) y Temperatura (1500 estaciones).



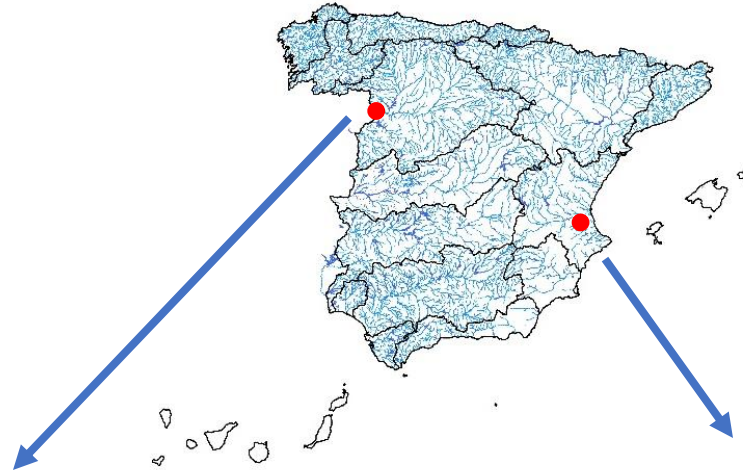
Color naranja: Indica si la situación hidrológica es mejor de lo normal o es peor de lo normal. Condiciona el resto de resultados

Ejemplos. Condiciones Iniciales IHC. Naranja

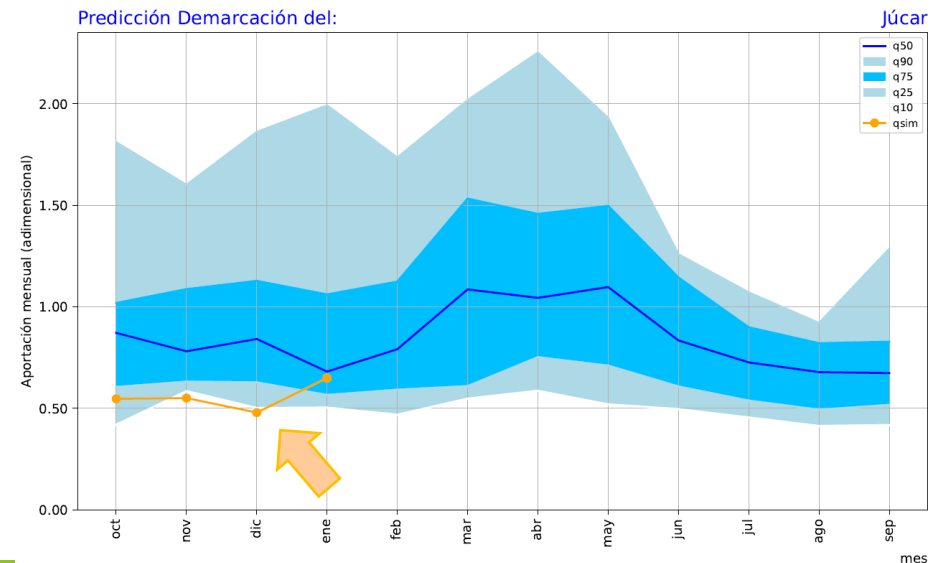
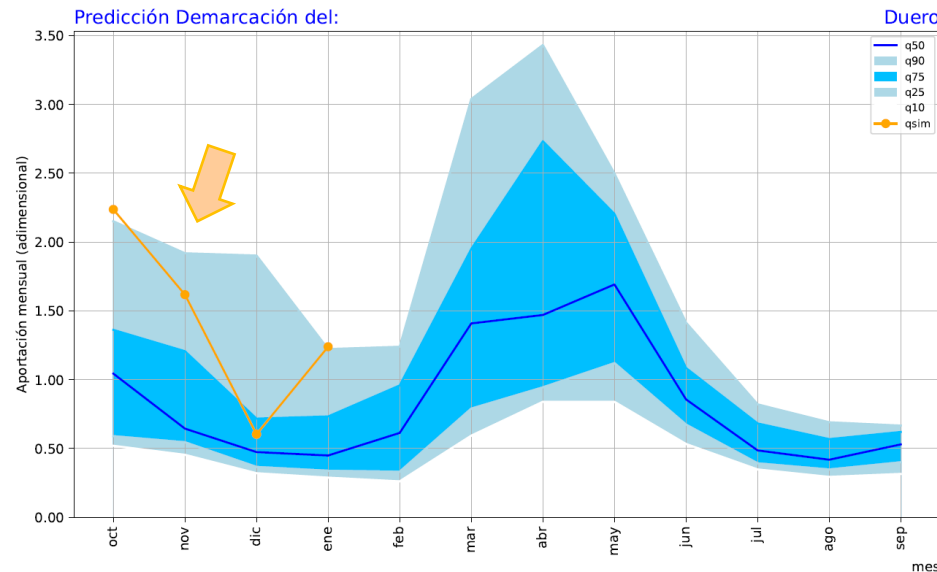


Diferentes condiciones iniciales según la Demarcación

Duero
79.000 km²
Condiciones húmedas



Júcar
42.000 km²
Condiciones secas



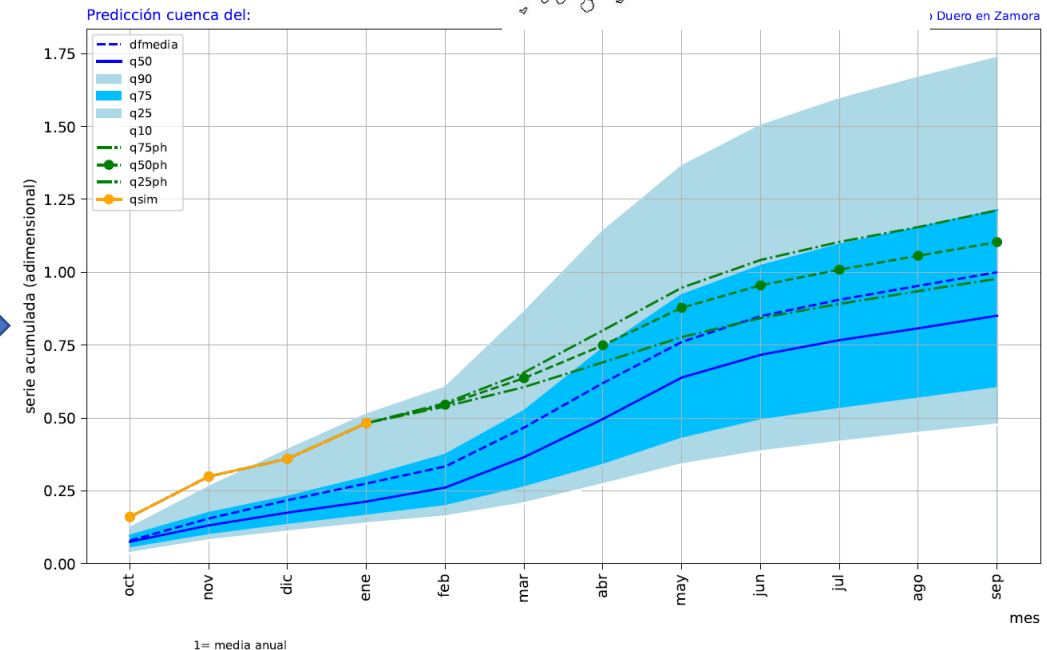
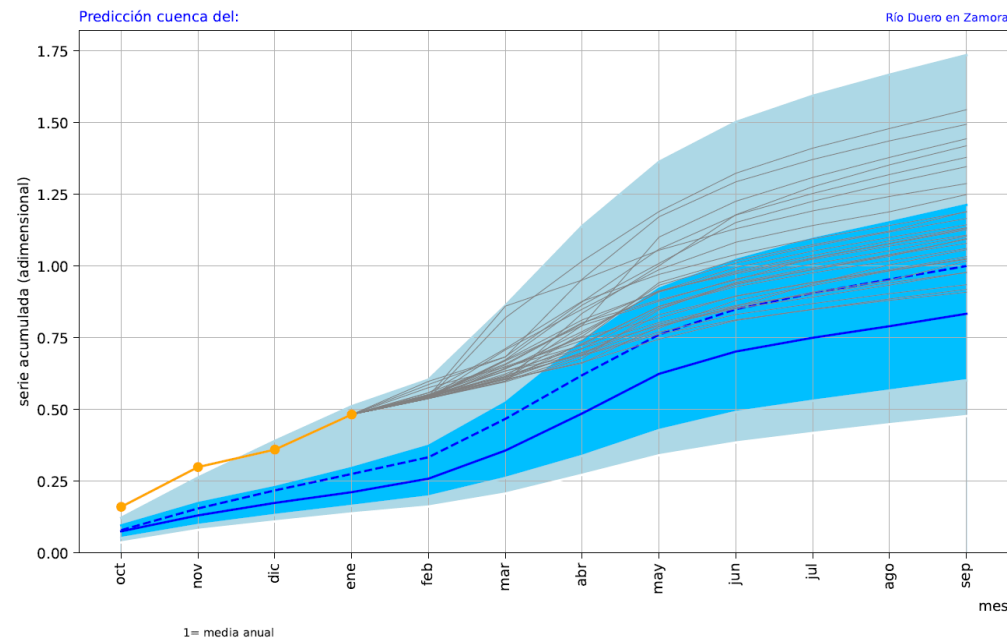
Paso 3. SHP base de datos histórica. Verde



Influencia de las condiciones iniciales.

Puede calcularse hasta final del año hidrológico

Conjunto (ensemble) formado por 32 realizaciones (members): precipitación y temperatura de 1985/86, 1986/87, 1987/88, 1988/89, ..., 2017/18.



32 series define el rango de la predicción: P25%, P50% y P75%

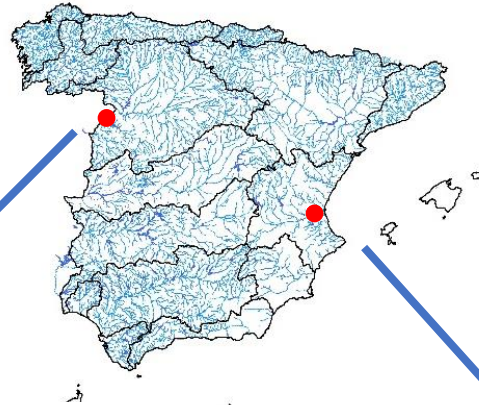
En este caso la predicción indica que el año será superior a la media y lo cuantifica

Muestra el efecto de la condición inicial según la Demarcación

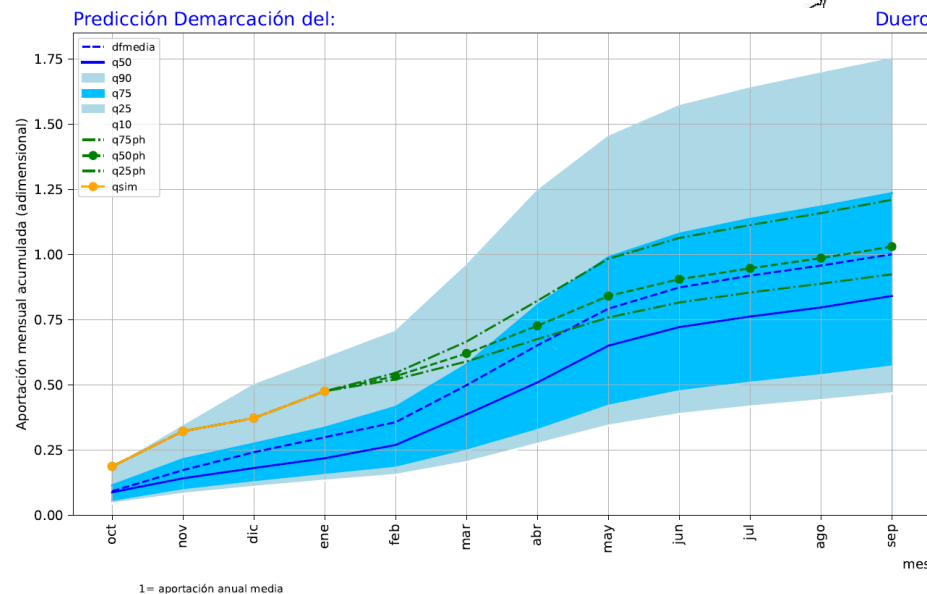


Resultados diferentes según la Demarcación

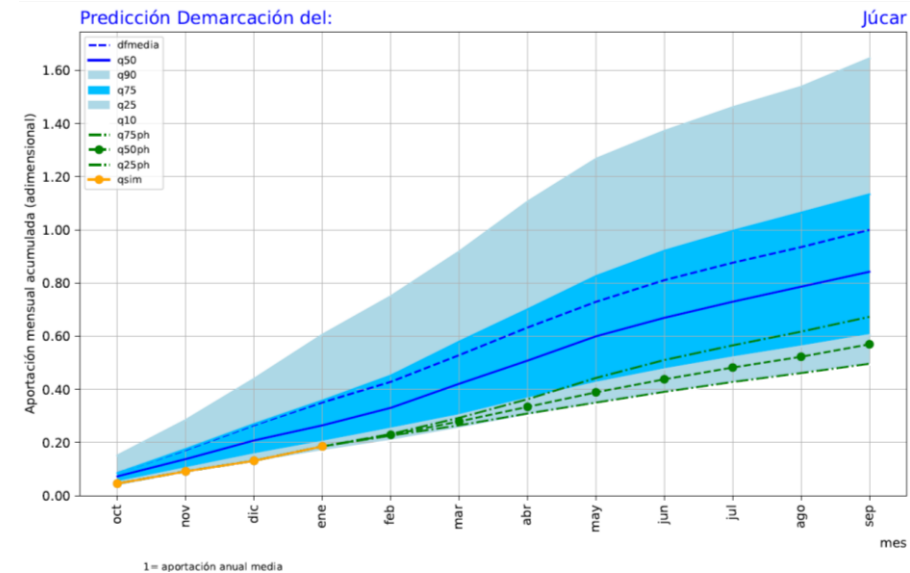
Duero
79.000 km²



Júcar
42.000 km²



P50% predicción $\approx$ superior al caudal medio histórico



P50% predicción $\approx$ 70% caudal medio histórico

Paso 4. Predicción basada en el ECMWF. Rojo

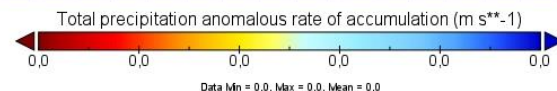
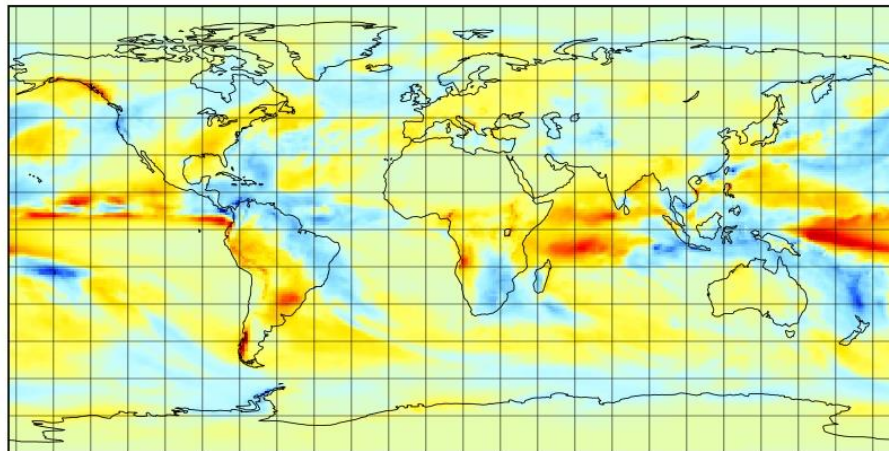


Predicción elaborada con las lluvias y temperaturas del ECMWF. Lluvias y temperaturas hasta los próximo 6 meses. Regionalización (Bias correction) para España

European Commission– Copernicus – ECMWF – Climate Change Service

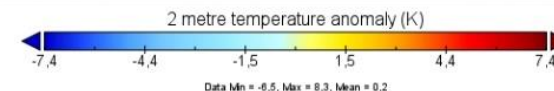
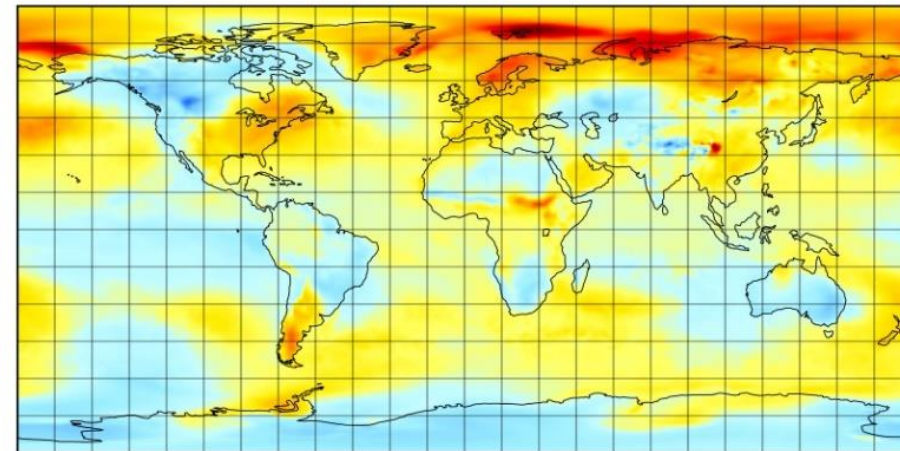
Precipitation

Total precipitation anomalous rate of accumulation



Temperatura

2 metre temperature anomaly



ECMWF System 5

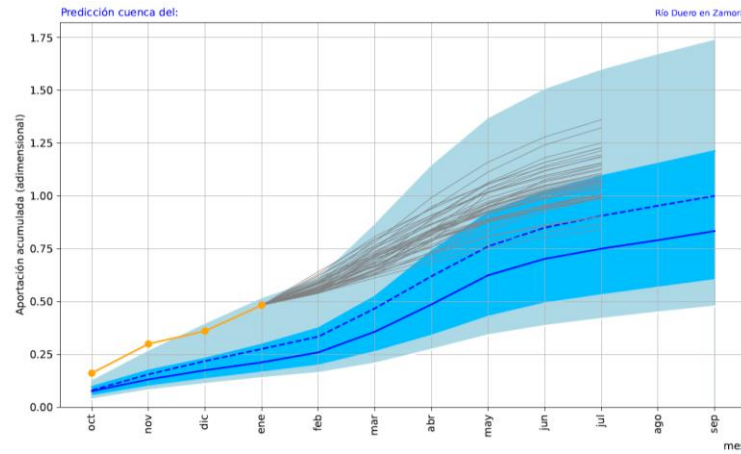
<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/seasonal-monthly-single-levels?tab=form>

Influencia del clima predicho. Intervalo de confianza

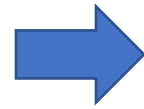


Conjunto (ensemble) formado por 51 realizaciones (members), cada uno se simula

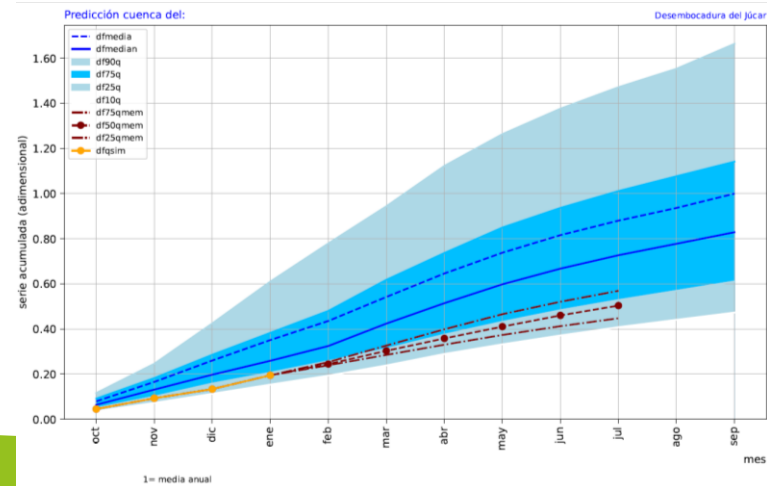
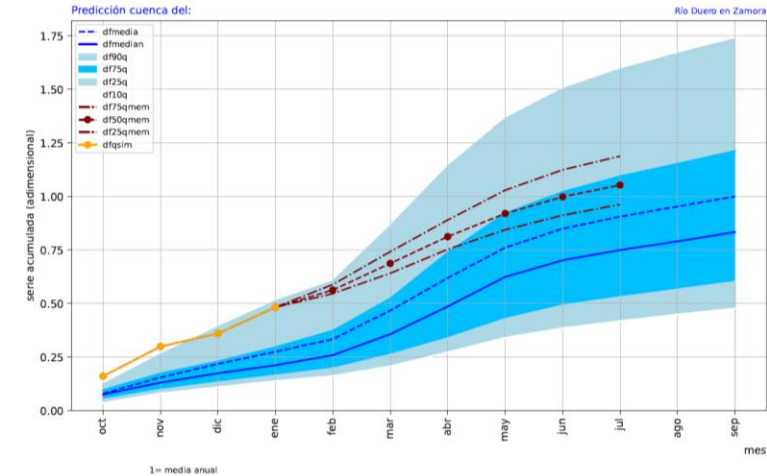
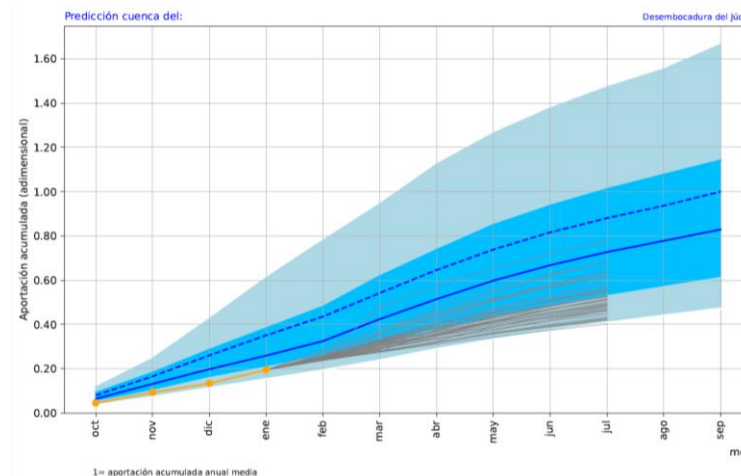
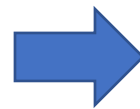
El conjunto permite definir el rango de variación: P25% y P75%



Duero



Júcar

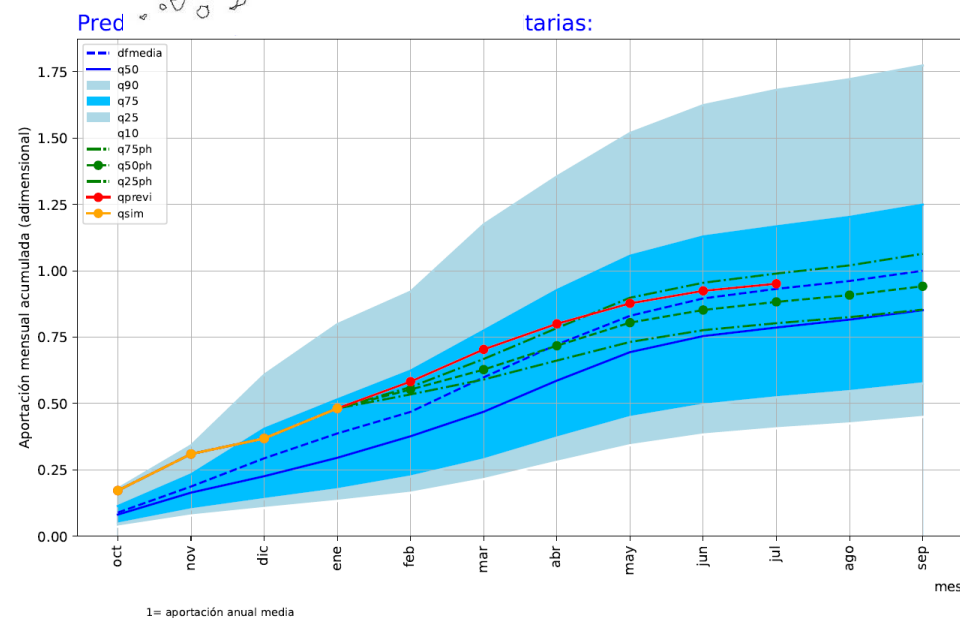
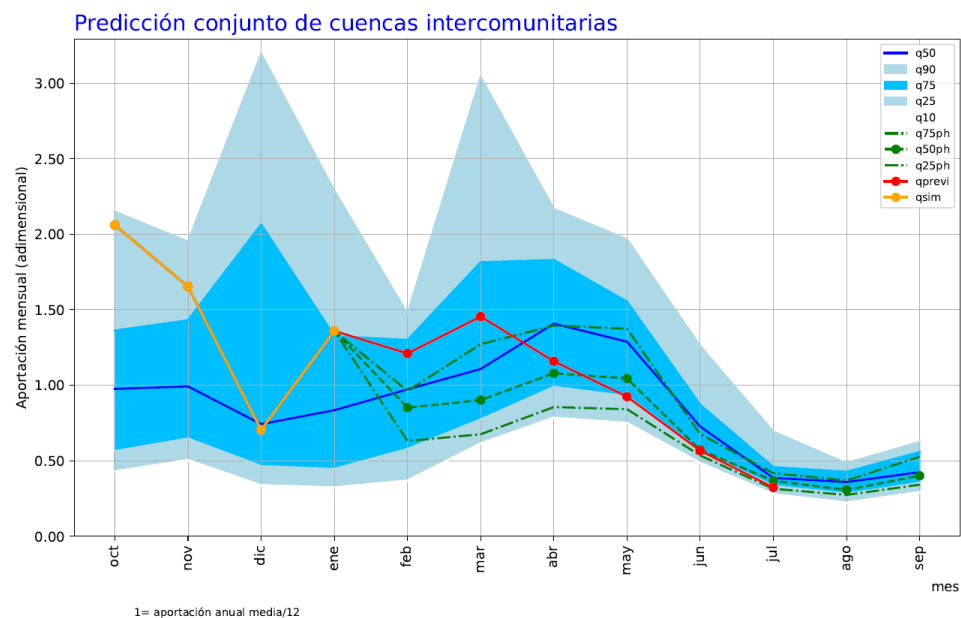


Predicción combinada para toda España



Verde: relacionado con las condiciones iniciales

Rojo: Clima predicho. Predicción con el clima del percentil 50%. 6 meses.

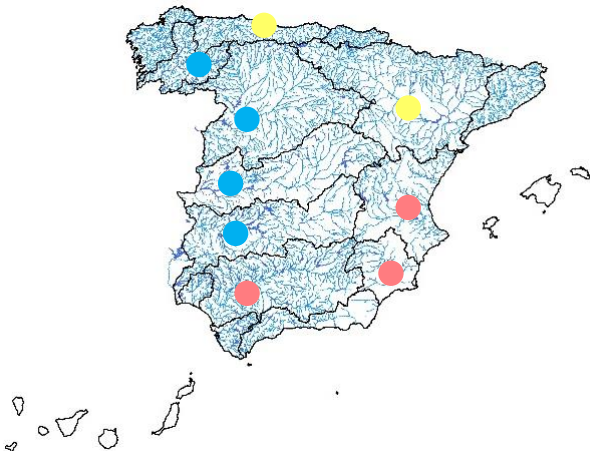


En este caso globalmente, conjunto Demarcaciones Intercomunitarias.

Predicción por encima de la media debido a las condiciones iniciales y además con una climatología favorable futura.

Resultados por Demarcación

Demarcación	Nº Puntos	Oct-Sep	Oct-Sep	Oct-Sep	Peso	Mediana
		P50%	P25%	P75%		
Miño-Sil	4	1.25	1.14	1.40	0.15	0.83
Cantábrico	4	0.92	0.81	1.08	0.12	0.90
Duero	10	1.03	0.92	1.21	0.16	0.83
Tajo	7	1.18	1.06	1.44	0.13	0.62
Guadiana	4	0.73	0.61	0.89	0.05	0.41
Guadalquivir	19	0.29	0.24	0.39	0.10	0.50
Segura	4	0.52	0.44	0.61	0.01	0.77
Júcar	9	0.56	0.49	0.66	0.03	0.81
Ebro	19	0.86	0.77	1.02	0.23	0.87
Total	80	0.92	0.82	1.09	1.00	0.76



1.0 indica aportación anual igual a la media

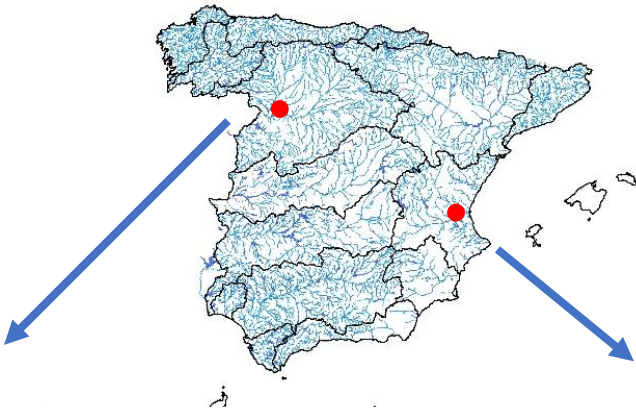
Resultados en los principales puntos definidos

Demarcación	Oct-Sep	Oct-Sep	Oct-Sep	Peso	Nombre del punto	Mediana
	P50%	P25%	P75%			
Segura	0.32	0.22	0.51	0.00	Río Segura embalse de La Fuensanta	0.74
Segura	0.61	0.56	0.70	0.00	Río Mundo embalse de Camarillas	0.83
Segura	0.51	0.45	0.63	0.00	Río Segura en Murcia	0.80
Segura	0.52	0.44	0.61	1.00	Río Segura desembocadura	0.77
Júcar	0.62	0.57	0.76	0.00	Embalse de Arenós	0.88
Júcar	0.43	0.39	0.57	0.15	Río Mijares: delta del Mijares - mar	0.74
Júcar	0.56	0.44	0.79	0.00	Embalse de Benagéber	0.80
Júcar	0.57	0.49	0.72	0.18	Río Turia: nuevo cauce - mar	0.81
Júcar	0.94	0.77	1.12	0.00	Río Júcar: azud de Villalba - río Huécar	0.86
Júcar	0.75	0.59	0.94	0.00	Embalse de Alarcón	0.82
Júcar	0.57	0.50	0.70	0.00	Embalse de Contreras	0.82
Júcar	0.64	0.56	0.73	0.00	Embalse de Tous	0.84
Júcar	0.59	0.51	0.67	0.66	Desembocadura del Júcar	0.83

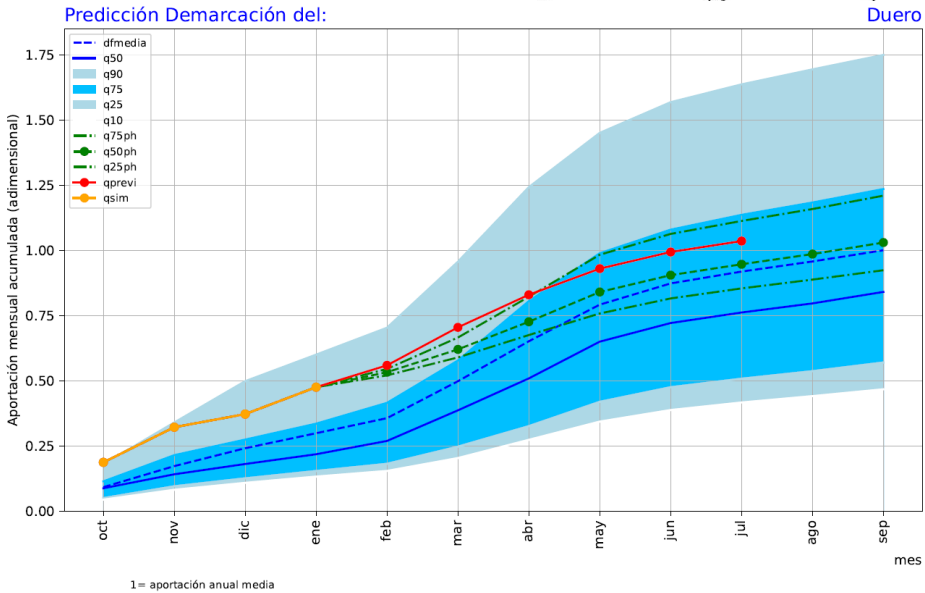
Predicción diferente en cada Demarcación



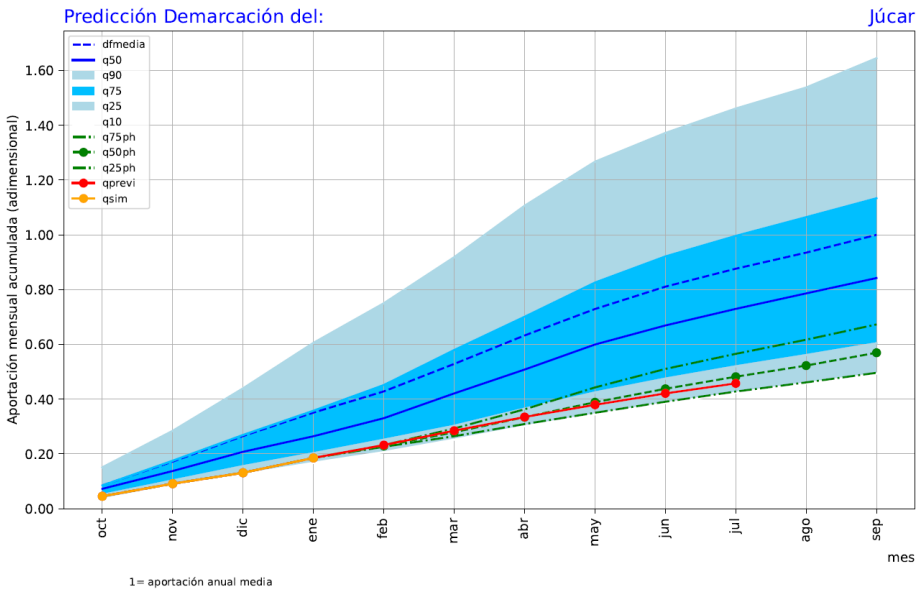
Duero
79.000 km²



Júcar
42.000 km²



Año húmedo (percentil 70-75%)



Año muy seco (percentil 10%-25%)



Evaluación de la fiabilidad de la predicción

Indicadores estadísticos: acumulados
1, 3 y 6 meses

Aplicado a los 80 puntos y globalmente:

- Continuous Rank Probability Score (CRPS)
- Brier Skill Score (BSS)



Fiabilidad de la predicción

Absoluto

Error cuadrático (MSE) entre el q predicho y q observado. Considera la anchura de la predicción

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (f_t - o_t)^2$$

N : numero de realizaciones
 f_t : q predicho
 o_t : q observado

Relativo

$$BS_score = \frac{BS_{qhist} - BS_{qfore}}{BS_{qhist}}$$

$(BSS \leq 1)$

= 1 perfect forecast

> 0 skill

< 0 no skill

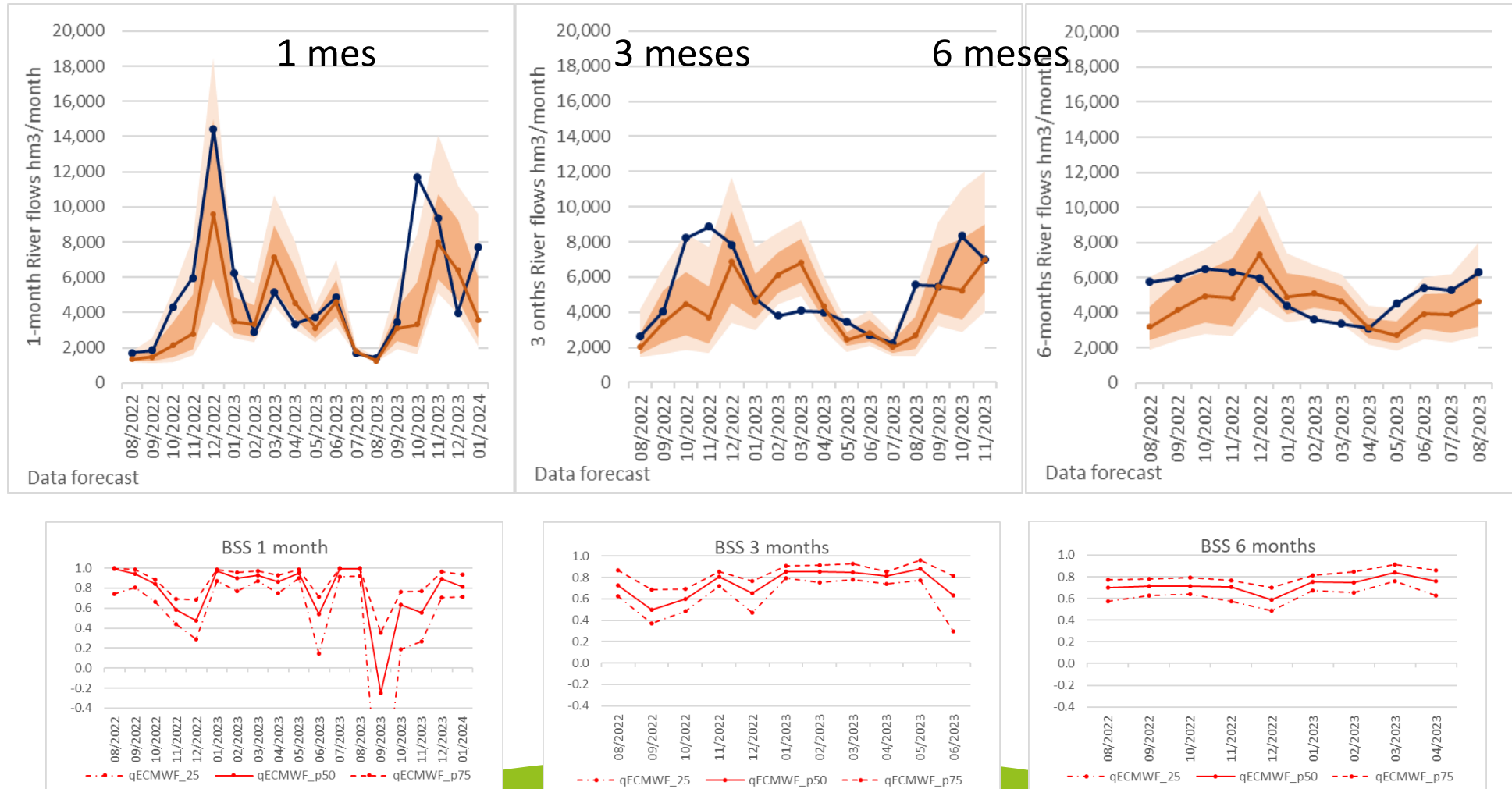
Umbral de buena calidad de la predicción > **0.05**. The Deutscher Wetterdienst
Deutschland Climate Service

https://www.dwd.de/EN/ourservices/seasonals_forecasts/forecast_reliability.html

Evaluación de la predicción ECMWF



ECMWF predicción para 1, 3 y 6 meses. Muy Buena predicción BSS > 0.4 – 0.6



Evaluación con la situación de 2023-2024

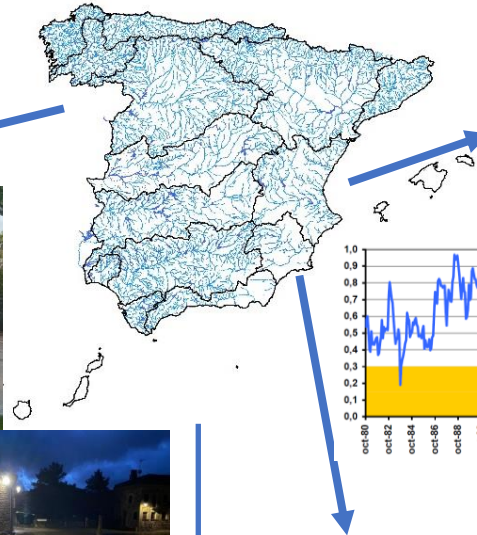


Duero
79.000 km²



Crecida del Duero en Salduero
30/10/2023

Nivel normalidad

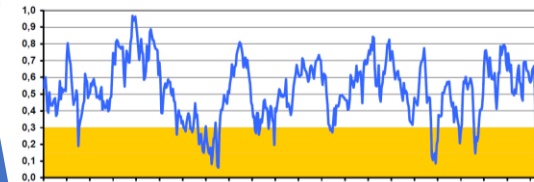


Júcar

- Marzo 2024 declara situación de sequía extraordinaria

Segura

- Febrero 2024: constituye la Comisión permanente de Sequía
- Agosto 2024 declara situación de sequía extraordinaria

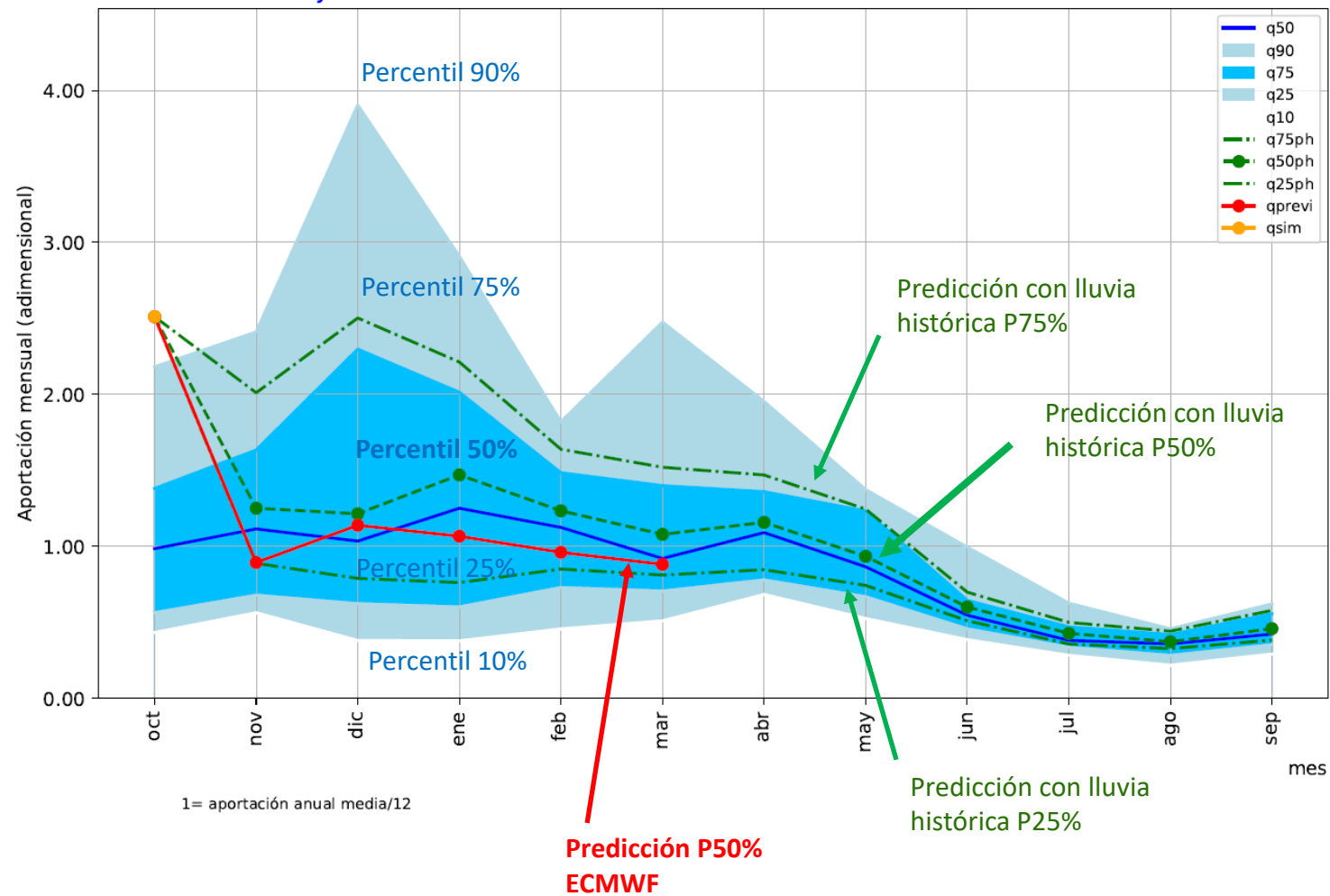


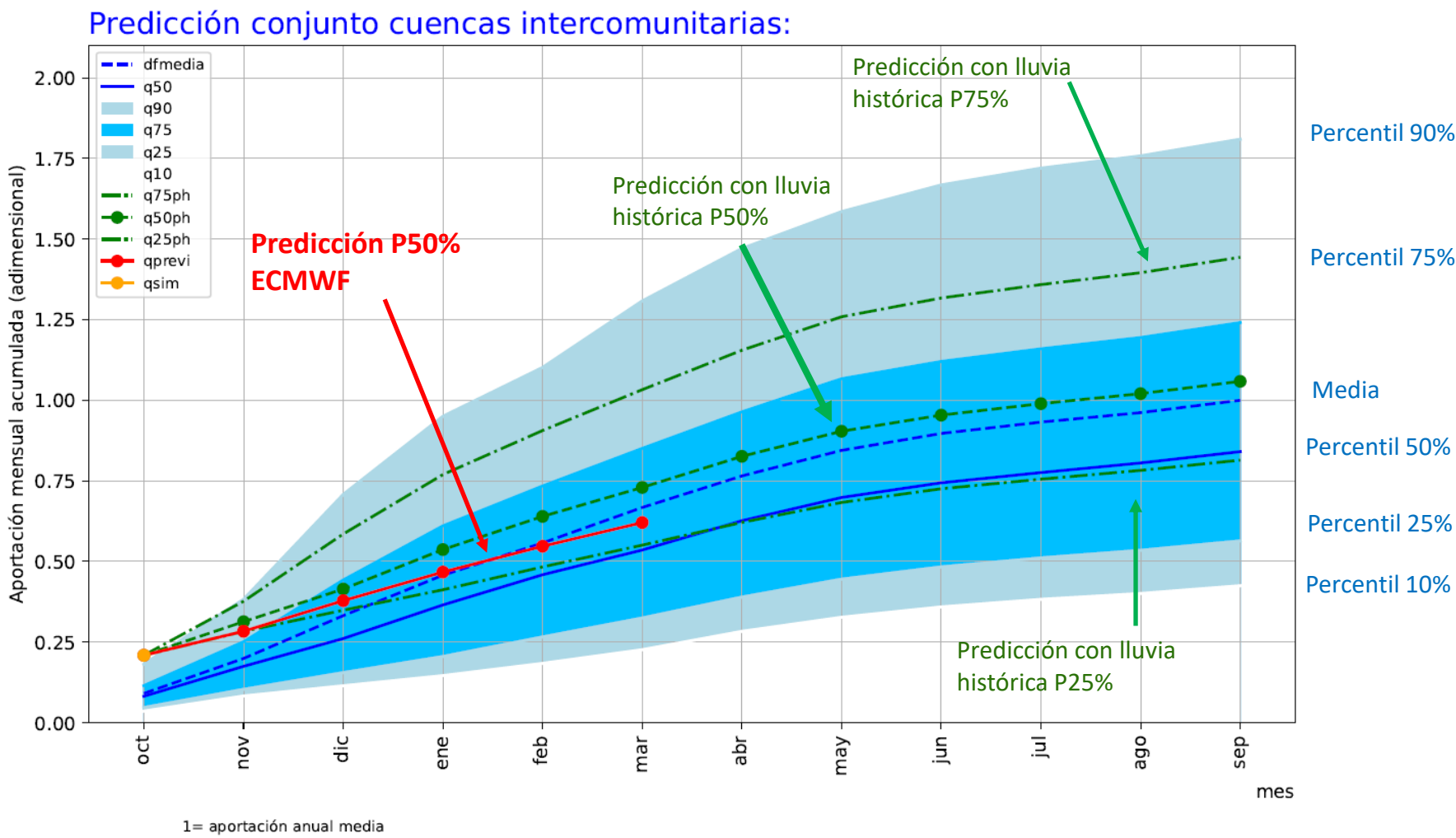


Última predicción disponible
Noviembre de 2024



Predicción conjunto de cuencas intercomunitarias

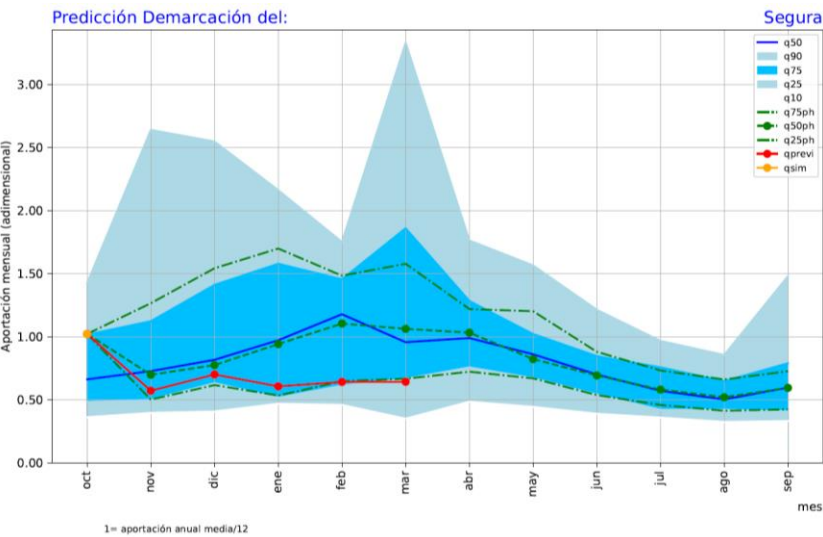




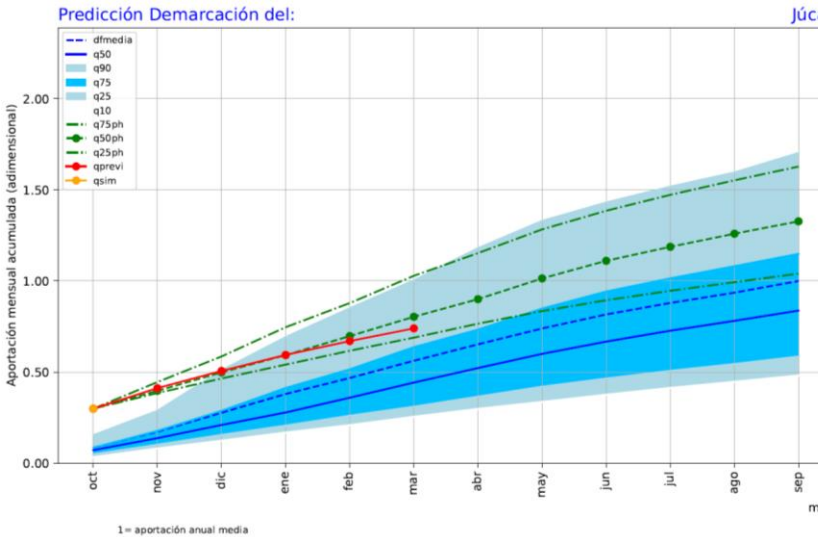
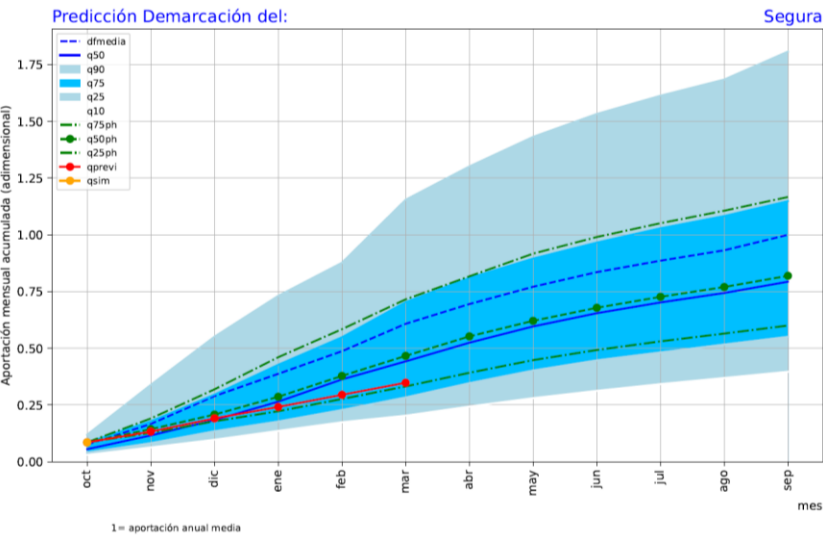
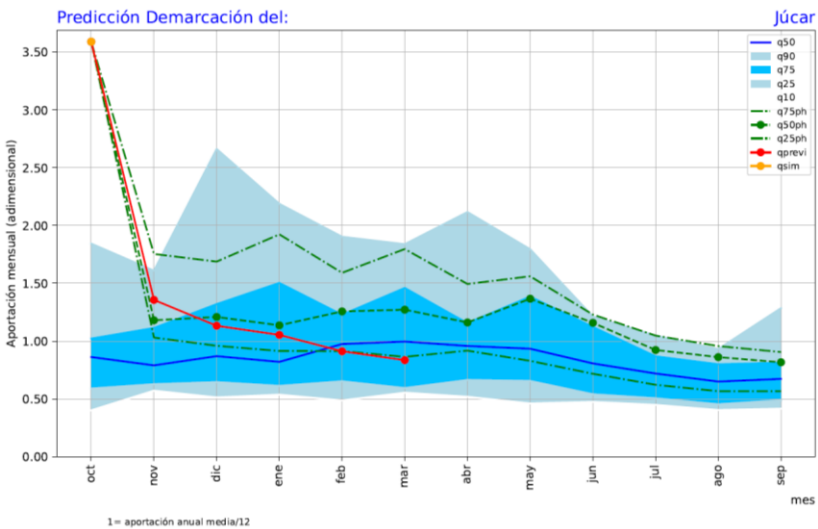
Segura y Júcar predicciones de aportaciones muy bajas Noviembre 2024



Segura



Júcar





Predicción hidrológica estacional en régimen natural **esta operativa para España**. En cualquier punto de la península Ibérica.

Método **combina dos tipos de predicción hidrológica**:

- Basada en los datos de lluvia y temperatura histórico, hasta final del año hidrológico. Define la horquilla de la predicción y acota la predicción.
- Basada en el modelo de clima ECMWF,. Define la zona más probable de la predicción en los siguientes 6 meses.

Método robusto, basado en la horquilla (lluvia histórica) y la zona más probable dentro de la horquilla (lluvia ECMWF).

Experiencia durante la aplicación: hay que **actualizar la predicción cada mes para seguir la evolución**. Ha predicho de forma anticipada la llegada de la sequía en el Segura y en el Júcar y la situación de normalidad en el Duero



¡Gracias por la
atención!

