

# Efectos de los caudales ecológicos sobre los recursos disponibles a nivel general español

Luis Garrote

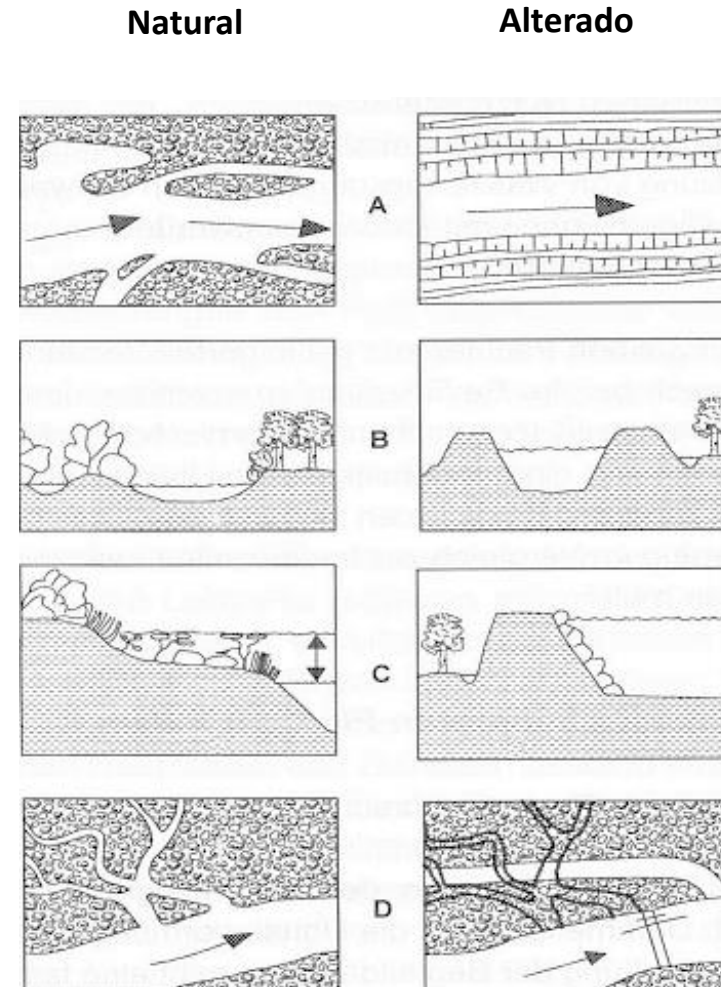


Universidad Politécnica de Madrid

- **Los caudales ecológicos: qué son y cómo se calculan**
  - Por qué es necesario asignar recursos para atender los caudales ecológicos
  - Cómo se determinan los caudales ecológicos
- **Efecto de los caudales ecológicos sobre un sistema sencillo**
  - Estudio específico de la influencia del caudal ecológico en un sistema con dos embalses
- **Efecto de los caudales ecológicos a escala nacional**
  - Resultado de la estimación de la disponibilidad de agua en España
  - Análisis de los valores adoptados de caudal ecológico
  - Efecto de los caudales ecológicos sobre la disponibilidad de agua

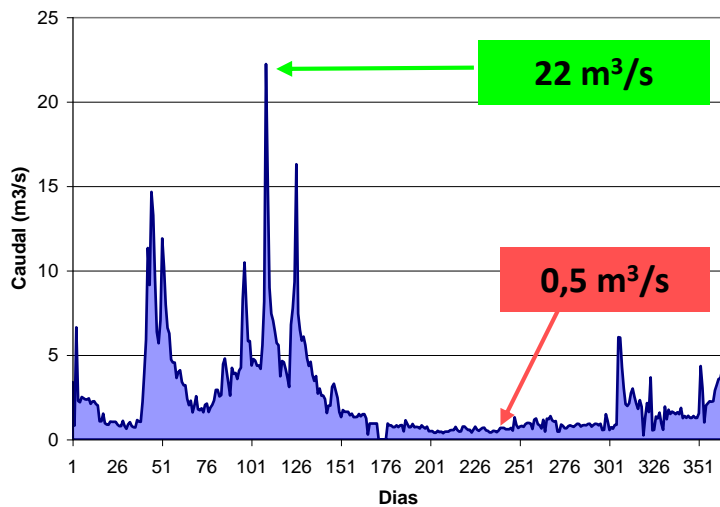
## Intervención humana sobre el ciclo hidrológico

- **Alteración de la morfología fluvial**
  - Islas y cauces trenzados, pérdida de la capacidad de almacenamiento y de llanuras aluviales
- **Cambios en el régimen de caudales**
  - Aumento de la velocidad, cambios en el calado...
- **Interrupción de la conectividad**
  - Tierra-agua, agua arriba-agua abajo...
- **Cambio en el transporte de sedimentos**
  - Erosión, deposición, degradación, morfología fluvial

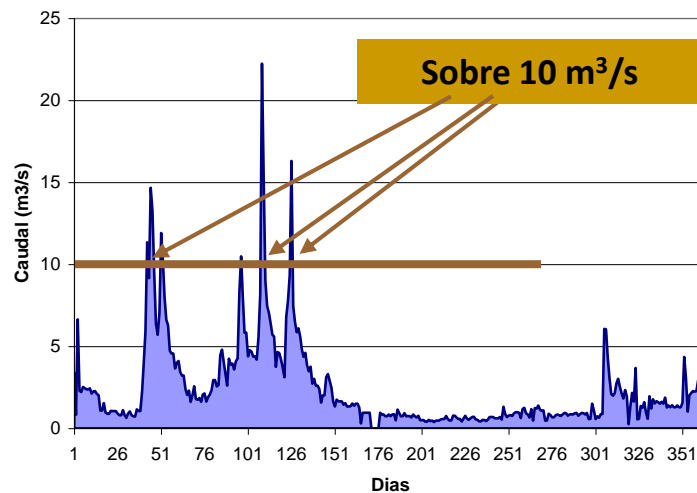


# Intentan preservar aspectos del régimen hidrológico natural

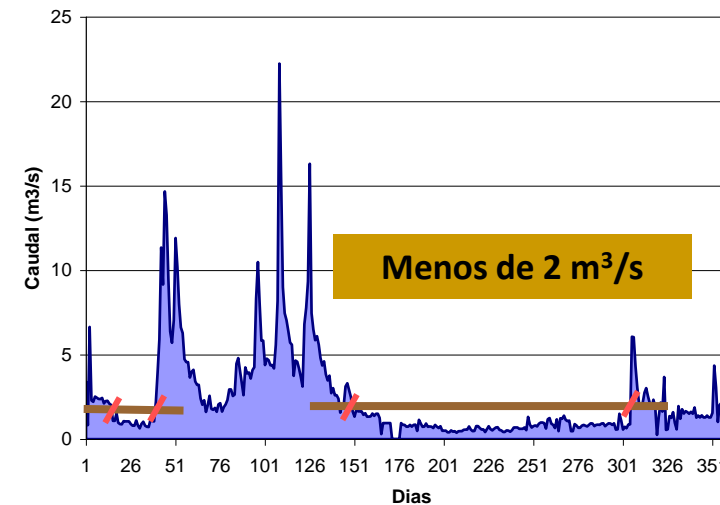
## Magnitud



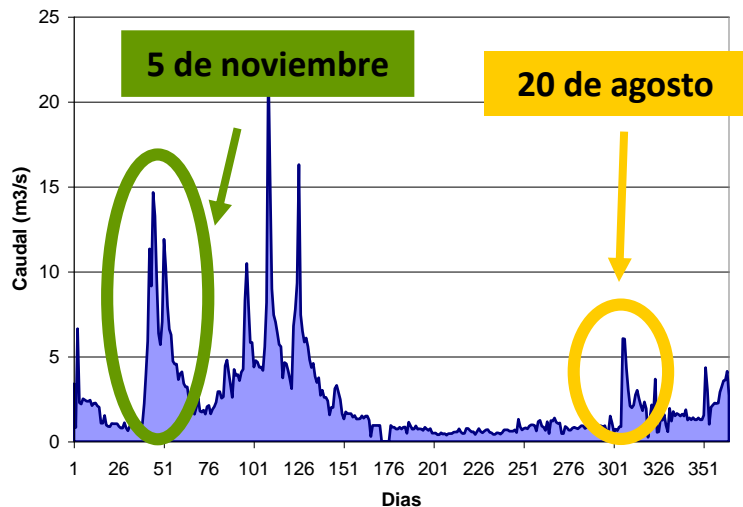
## Frecuencia



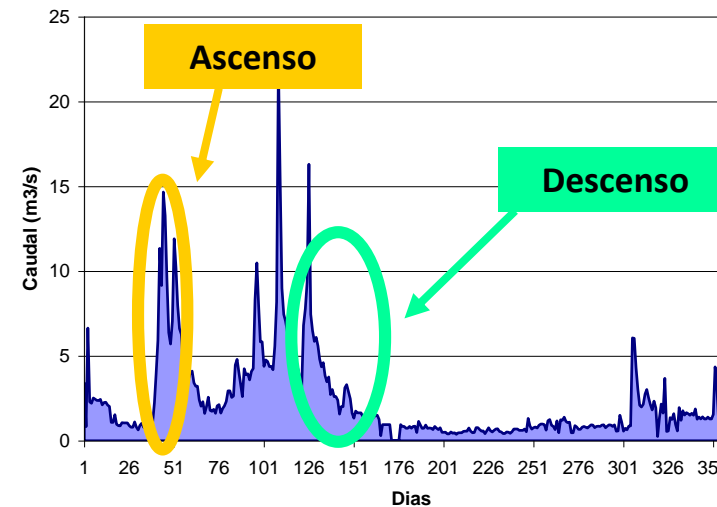
## Duración



## Oportunidad

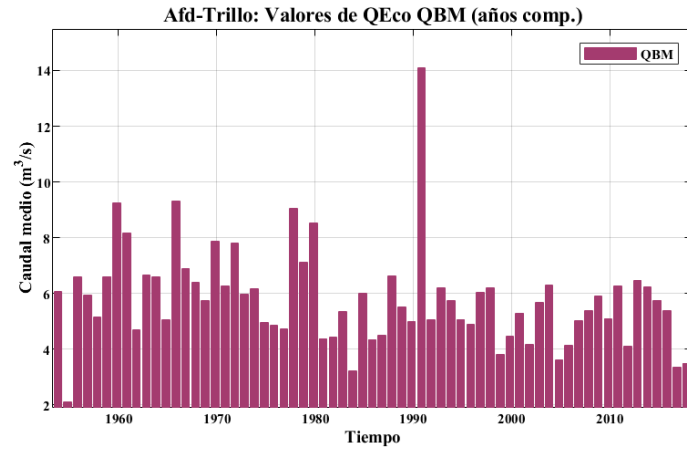


## Tasa de cambio

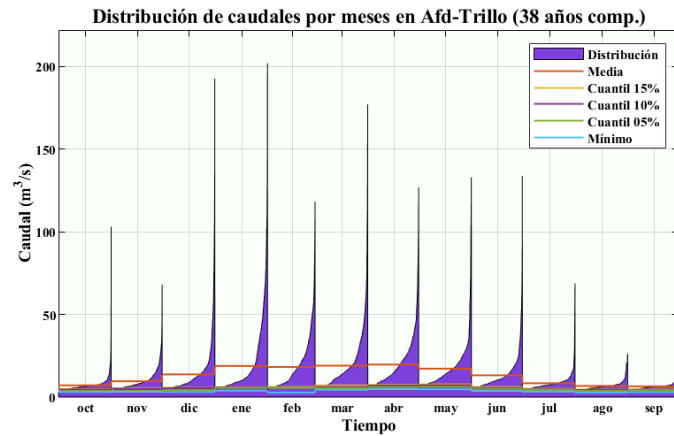


# Métodos de cálculo de caudales ecológicos mínimos

## Métodos hidrológicos

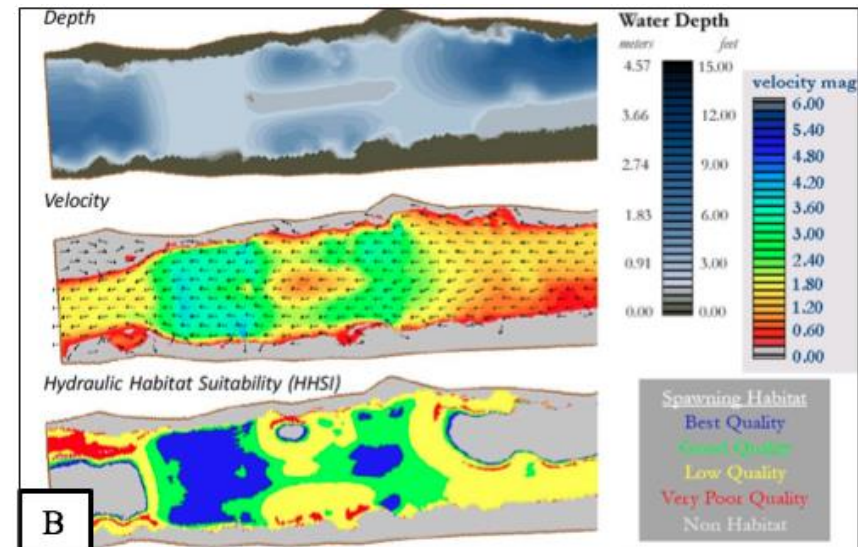
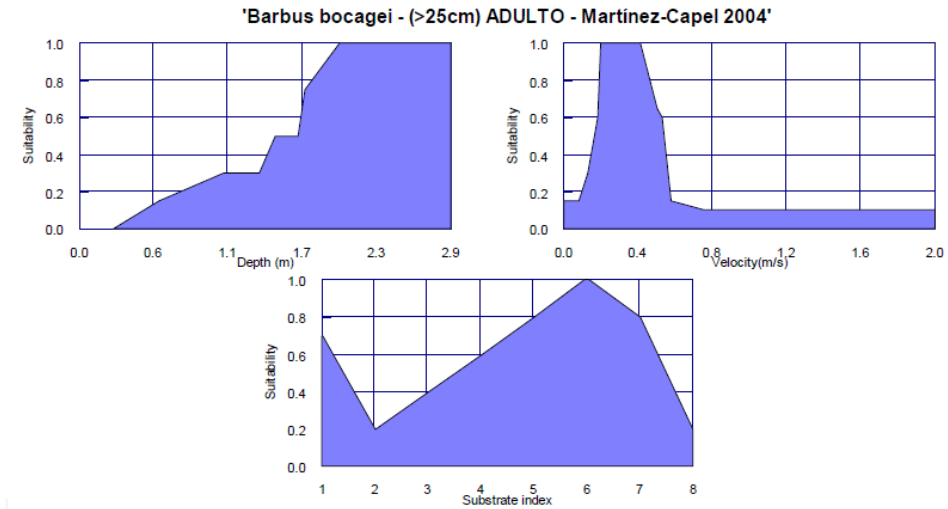


## Medias móviles



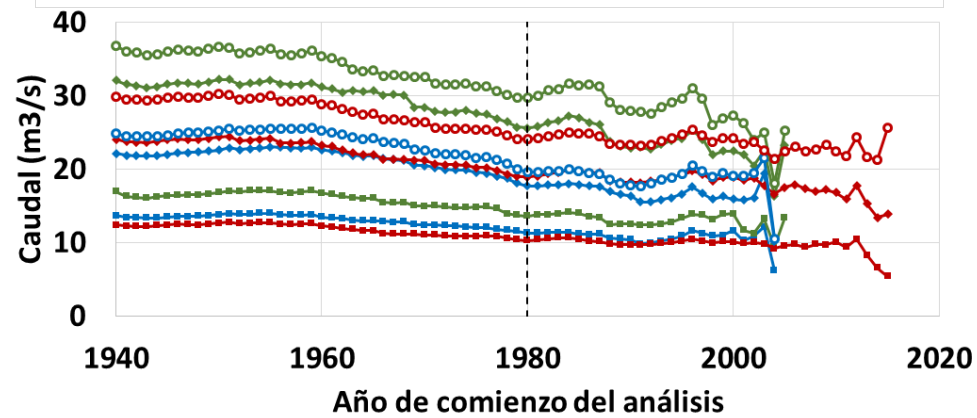
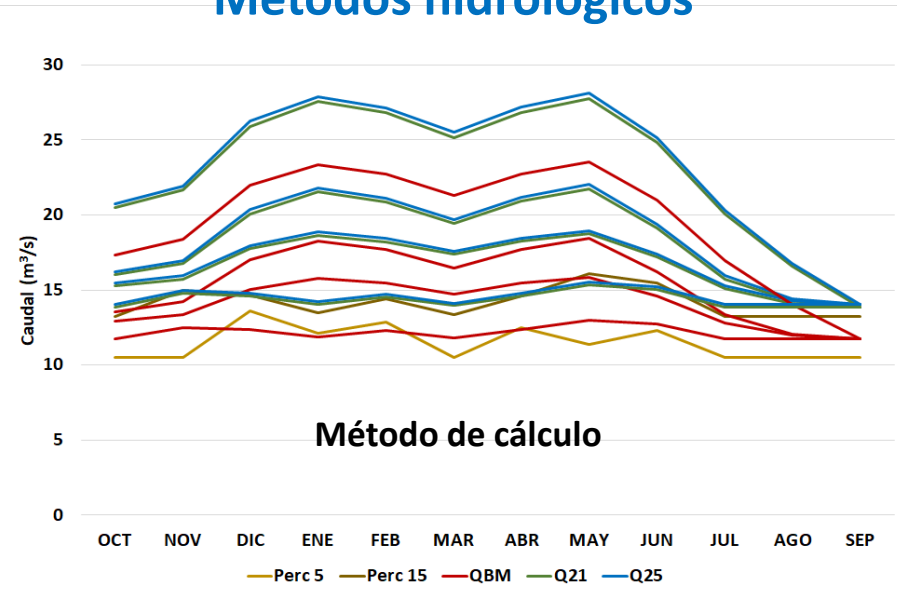
## Percentiles

## Modelación de hábitat



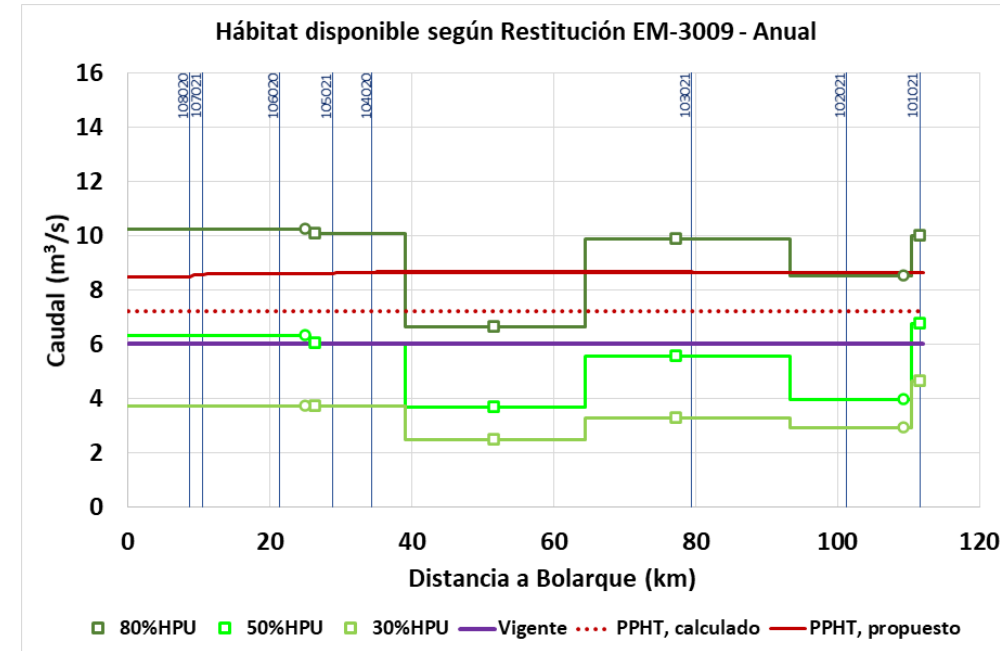
# Producen resultados muy dispares

## Métodos hidrológicos



Serie de datos y periodo de cálculo

## Modelación de hábitat



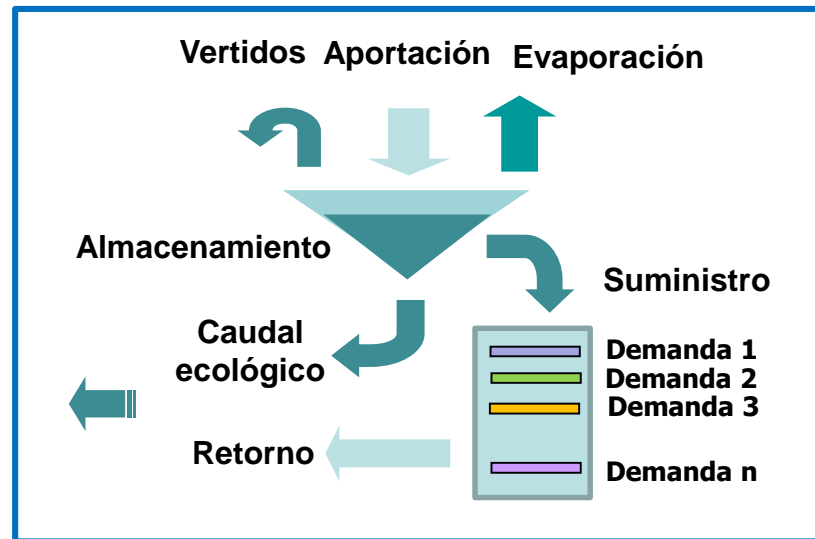
Punto de análisis y criterio de cálculo

Los resultados presentan gran sensibilidad a los criterios de cálculo



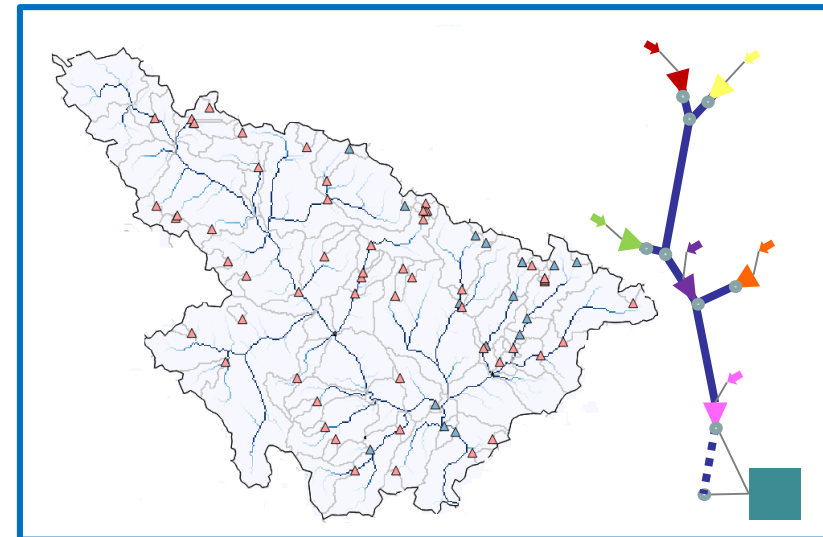
# Análisis del efecto de los caudales ecológicos sobre la disponibilidad

## Análisis en un sistema sencillo



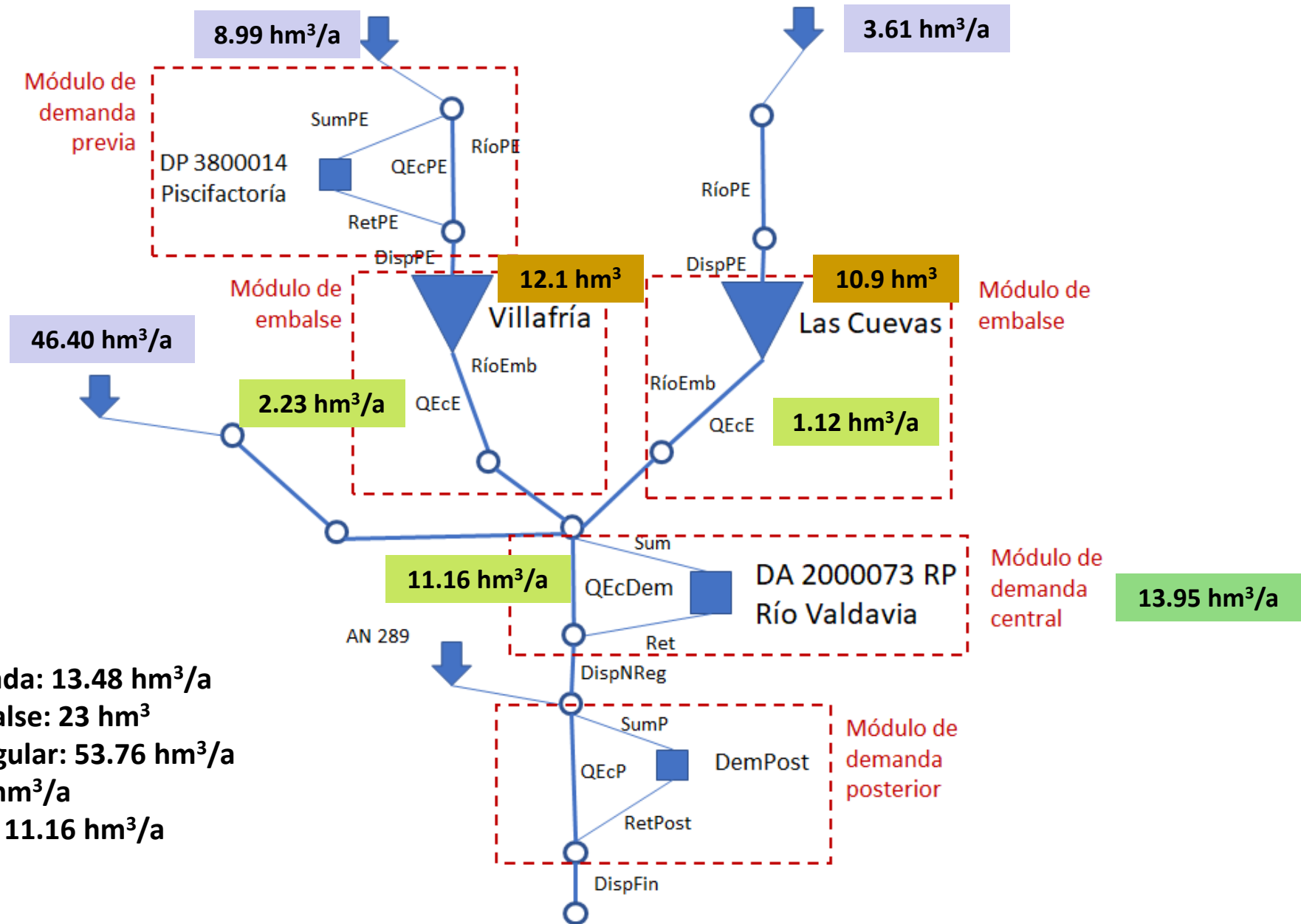
- Análisis en hoja de cálculo
  - Efecto del caudal ecológico sobre la garantía
  - Máxima demanda respetando el caudal ecológico
  - Máximo caudal ecológico respetando la demanda

## Análisis a escala nacional



- Resultados del modelo WAAPA
  - Desarrollado para estimar la disponibilidad de agua superficial
  - Cubriendo todo el territorio nacional
  - Diferentes hipótesis de caudales ecológicos

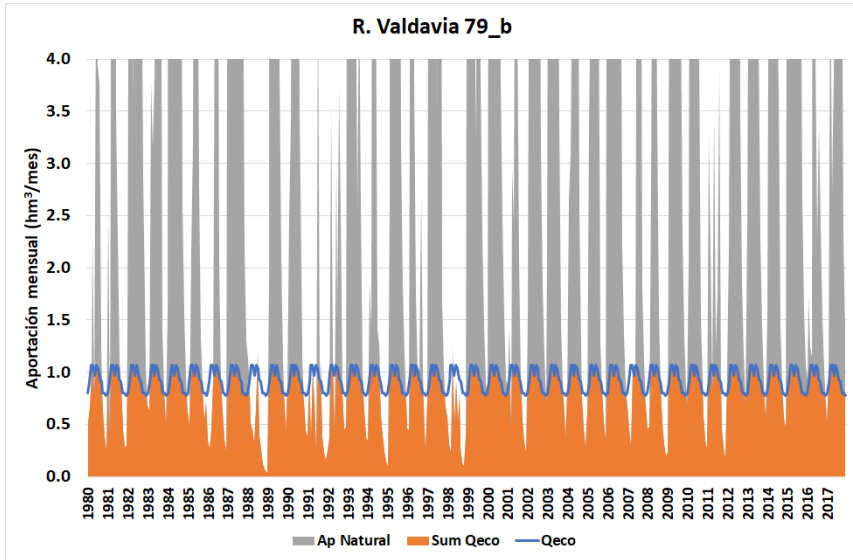
# Ejemplo de un sistema sencillo



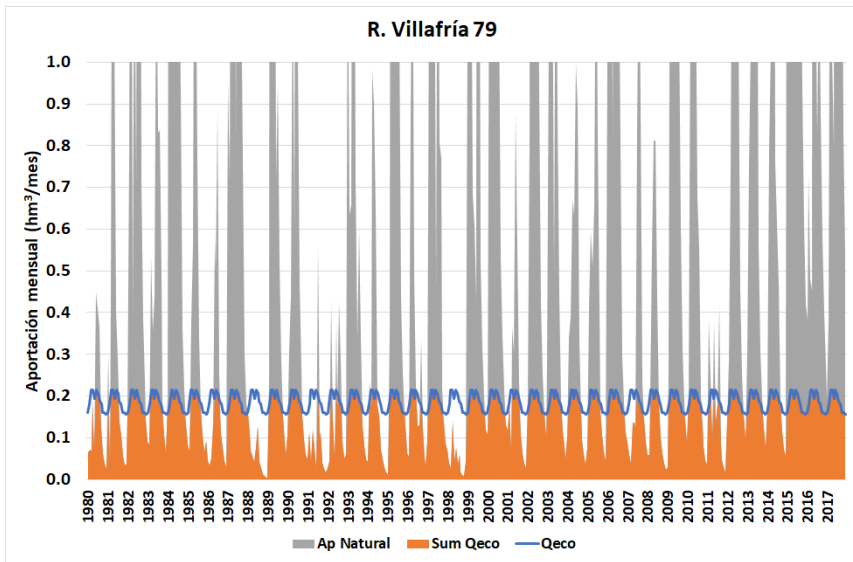
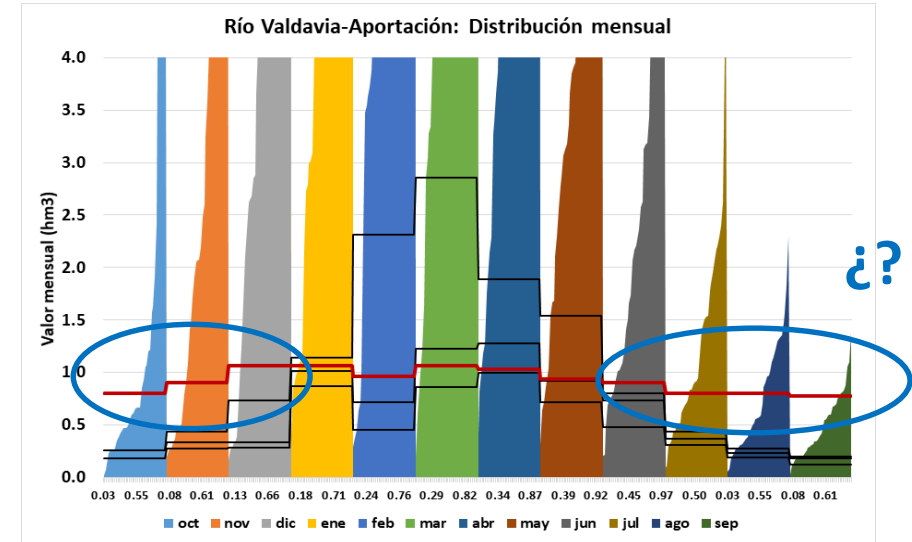
**Aportación regulada: 13.48 hm<sup>3</sup>/a**  
**Volumen de embalse: 23 hm<sup>3</sup>**  
**Aportación sin regular: 53.76 hm<sup>3</sup>/a**  
**Demanda: 13.95 hm<sup>3</sup>/a**  
**Caudal ecológico: 11.16 hm<sup>3</sup>/a**



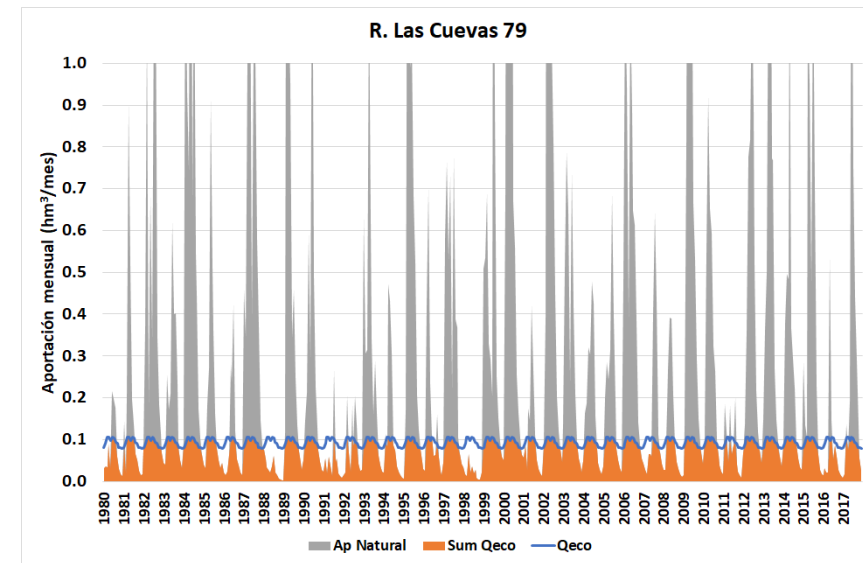
# Valores de caudal ecológico adoptados



Río Valdavia en la toma



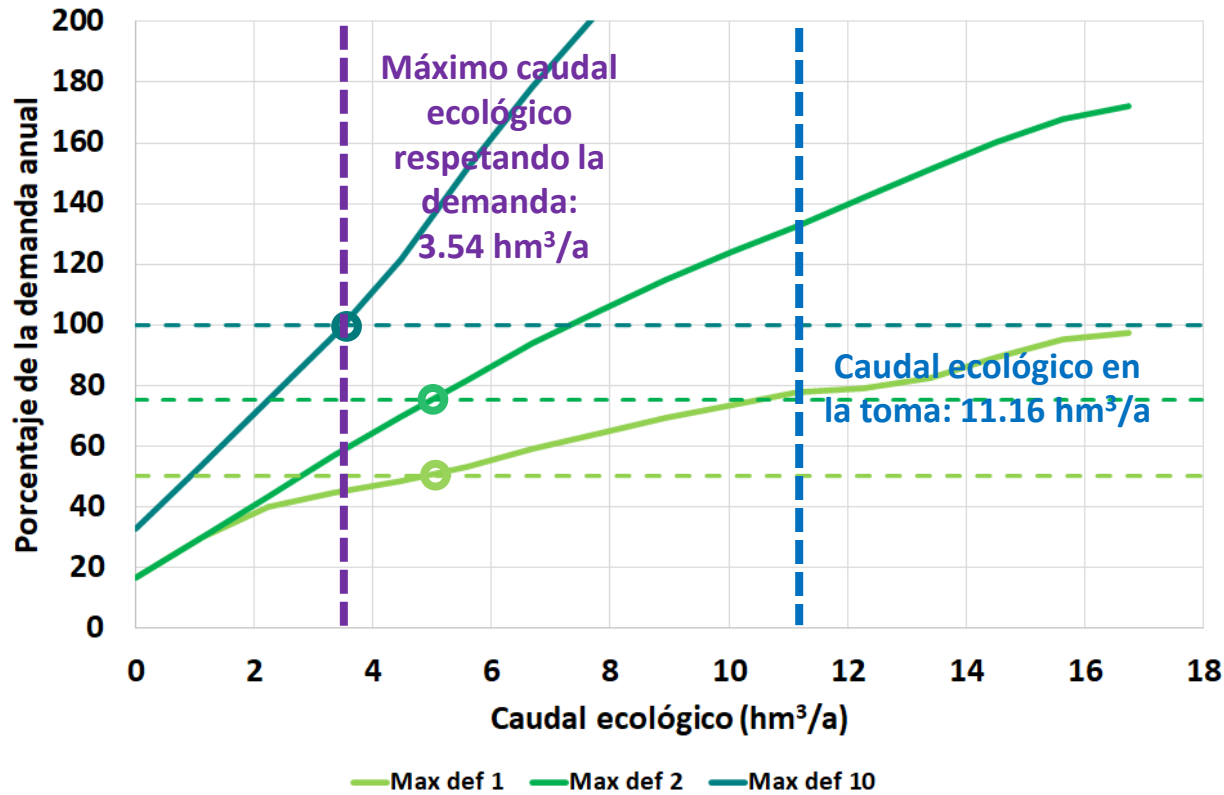
Embalse de Villafría



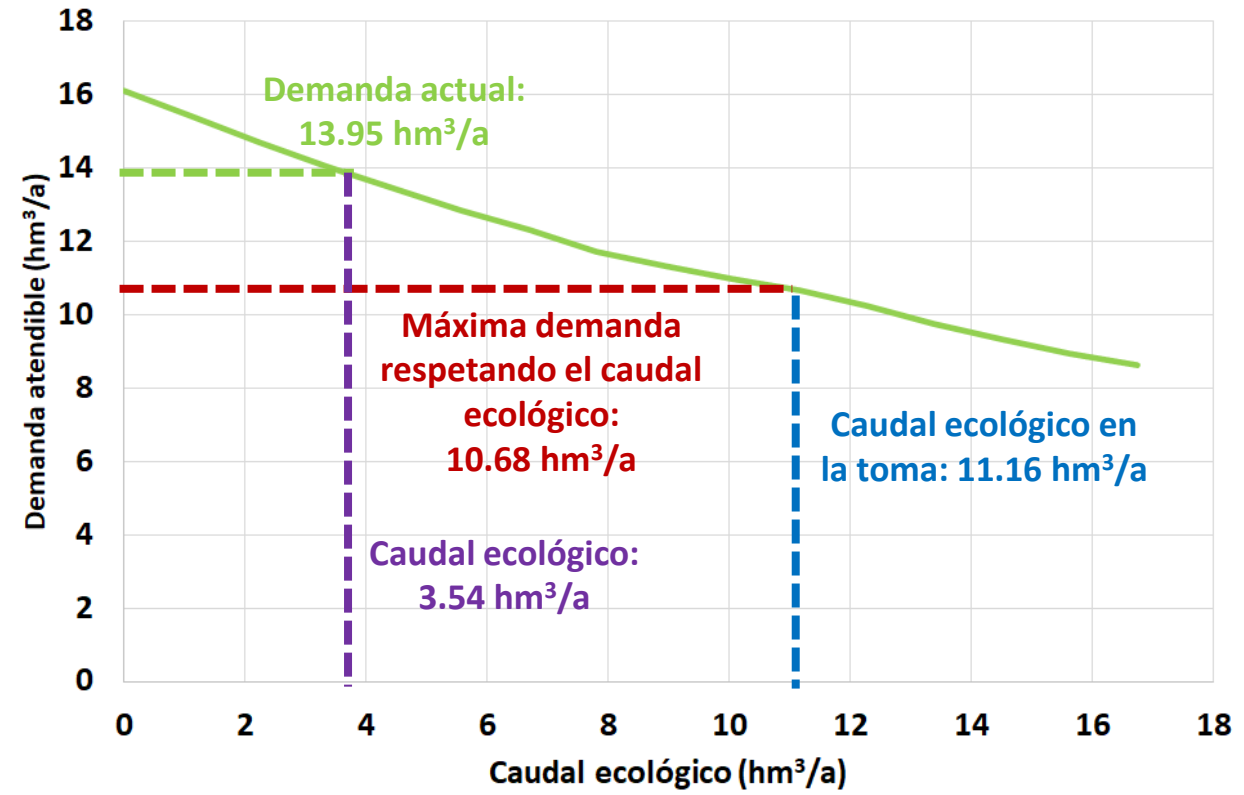
Embalse de Las Cuevas

# Efecto del caudal ecológico sobre la regulación

Déficit con la demanda actual: 13.95 hm<sup>3</sup>/a

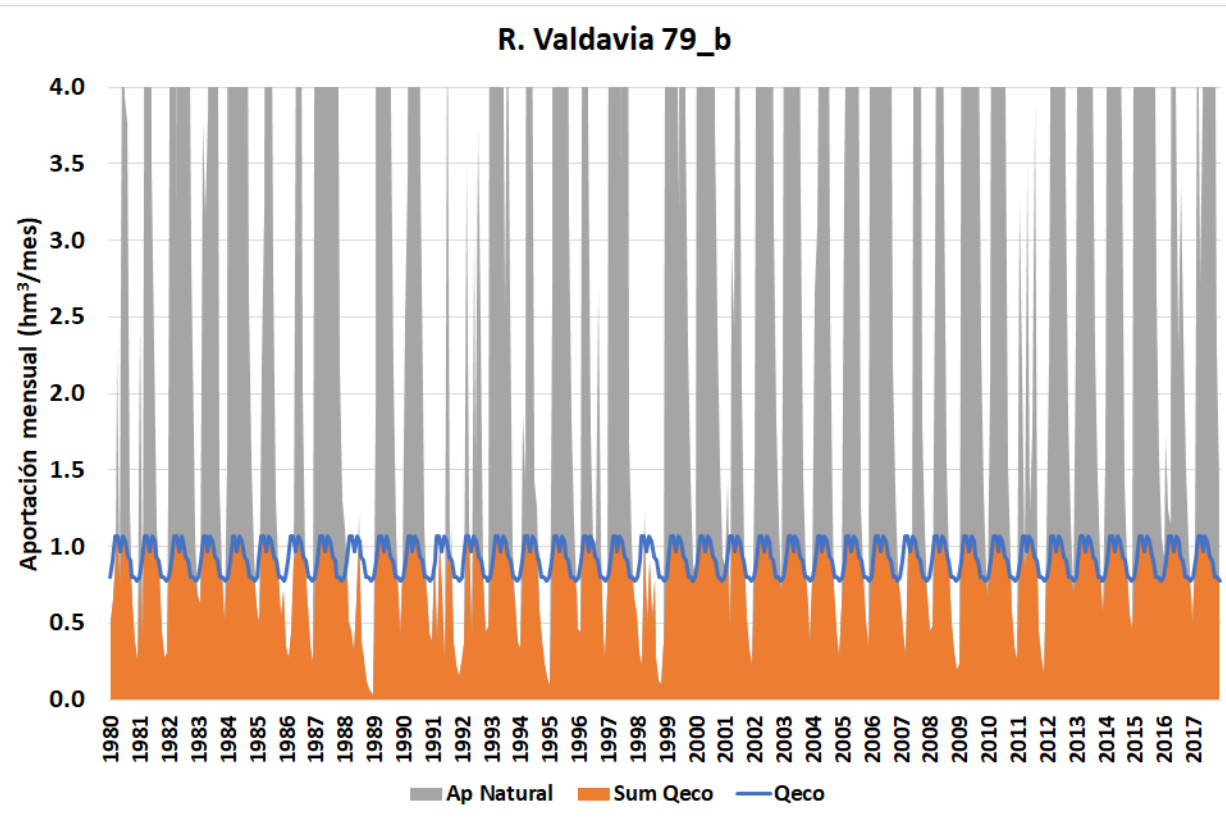


Máxima demanda que se puede atender

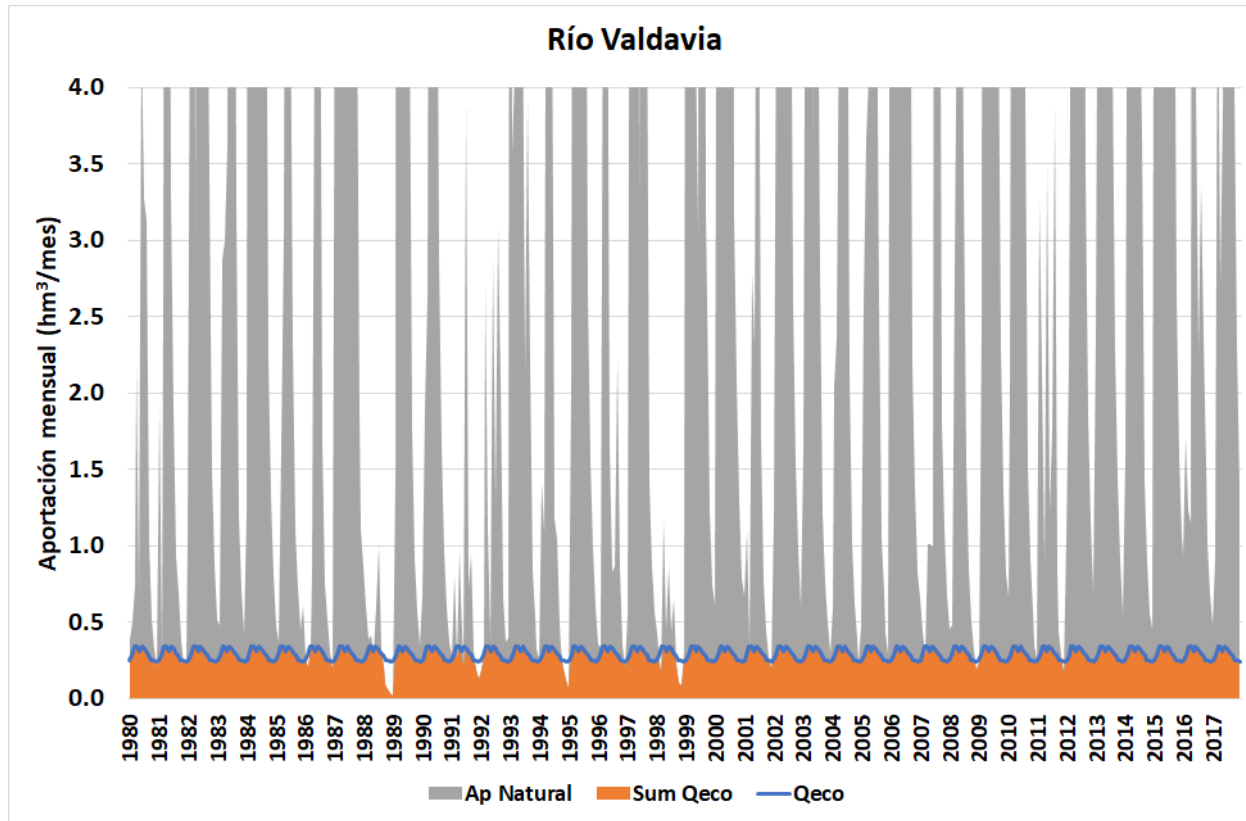


# Valores de caudal ecológico adoptados

## Caudal ecológico adoptado

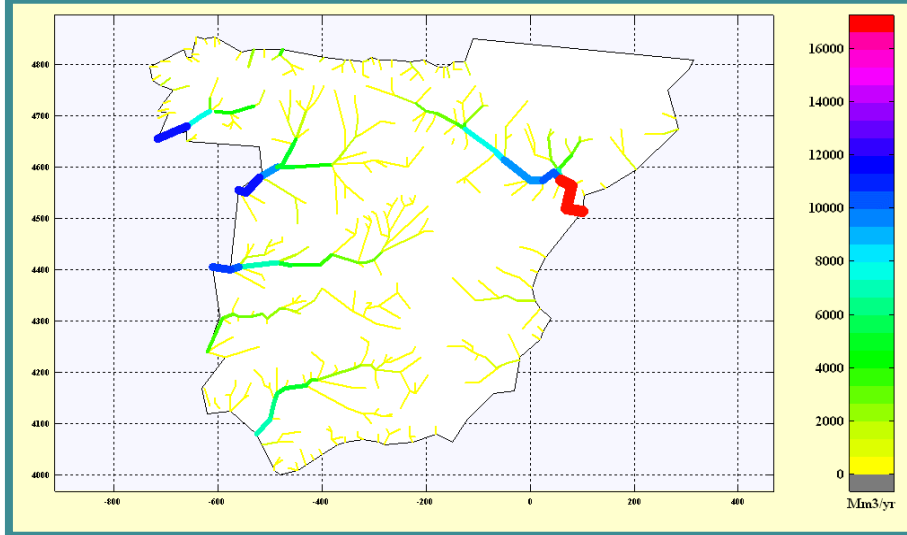


## Caudal ecológico que permite atender la demanda

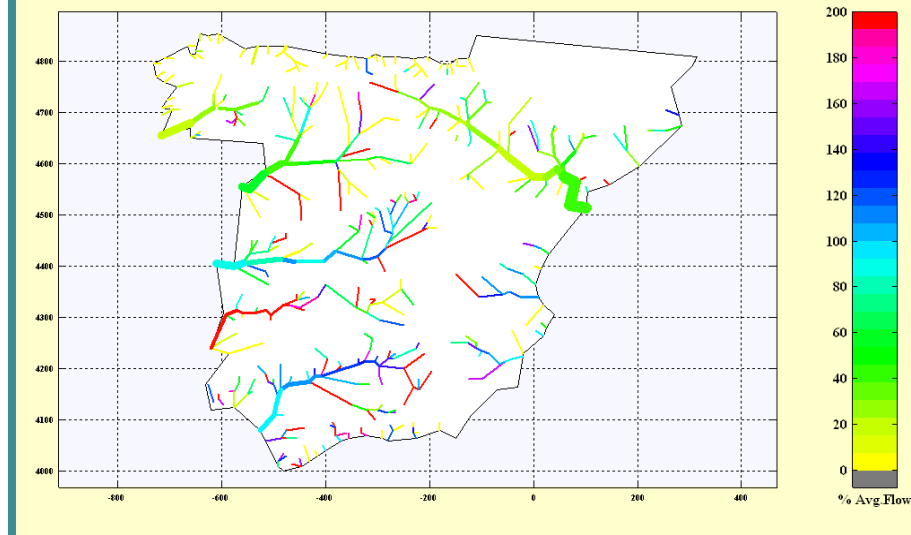


# La disponibilidad de agua en España

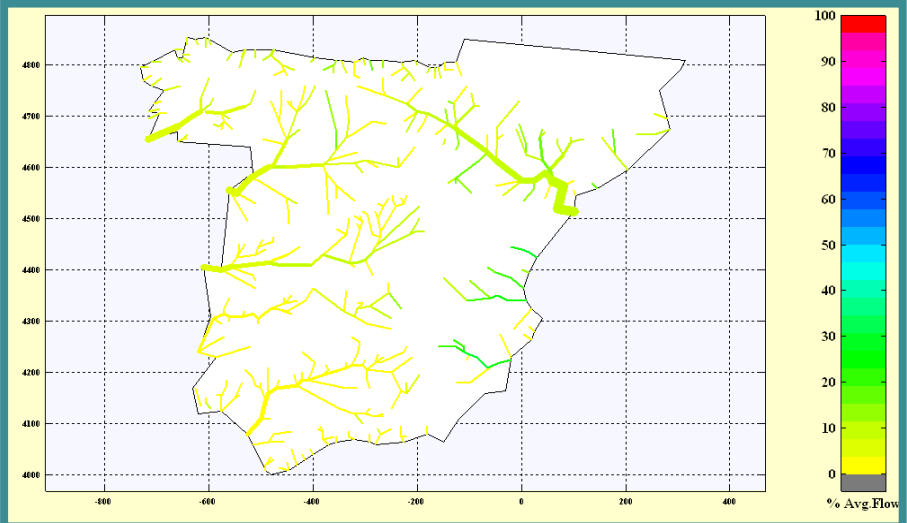
## Aportación media (hm<sup>3</sup>/año)



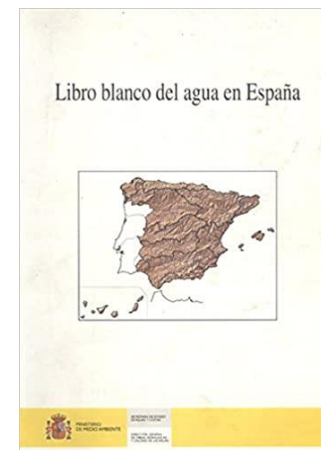
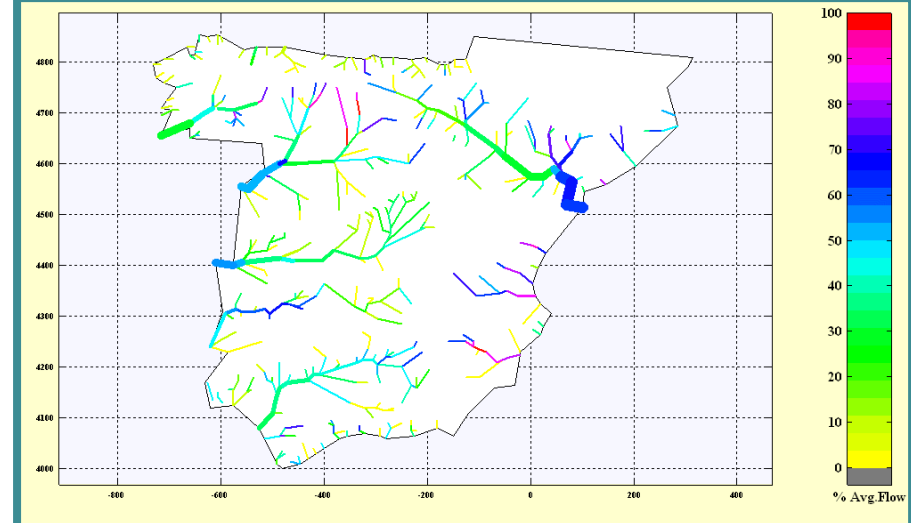
## Capacidad de embalse (% Ap Med)



## Disponible natural (% Ap Med)



## Disponible regulado (% Ap Med)



**Libro  
Blanco  
del  
Agua  
2000**

# Disponibilidad en el Libro Blanco del Agua (2000)

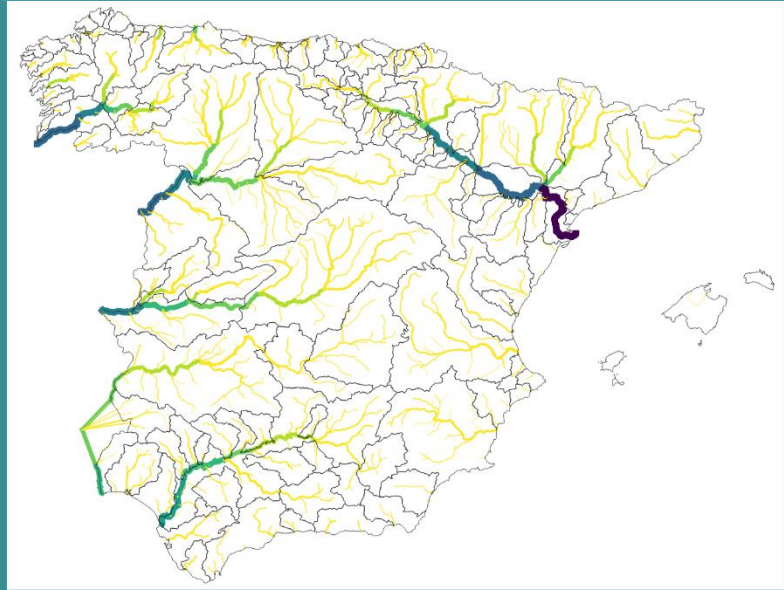
Ámbito	Aport. natural total (hm <sup>3</sup> /año)	Aport. de cálculo (hm <sup>3</sup> /año)	Capacidad de embalse total (hm <sup>3</sup> )	Capacidad de embalse de cálculo (hm <sup>3</sup> )	Regulado demanda uniforme (hm <sup>3</sup> /año)	Regulado demanda uniforme (%)	Regulado demanda variable (hm <sup>3</sup> /año)	Regulado demanda variable (%)
Norte I	12.689	12.603	3.040	2.427	4.735	38	3.937	31
Norte II	13.881	11.799	559	384	2.180	18	1.870	16
Norte III	5.337	4.437	122	79	471	11	353	8
Duero	13.660	12.422	7.667	6.691	5.253	42	6.095	49
Tajo	10.883	10.782	11.135	9.887	4.587	43	5.845	54
Guadiana I	4.414	4.097	8.843	7.550	1.678	41	1.922	47
Guadiana II	1.061	998	776	522	188	19	228	23
Guadalquivir	8.601	7.988	8.867	7.835	2.161	27	2.819	35
Sur	2.351	1.379	1.319	1.042	284	21	359	26
Segura	803	757	1.223	737	519	69	626	83
Júcar	3.432	2.745	3.349	2.417	1.766	64	2.095	76
Ebro	17.967	17.089	7.702	6.860	10.145	59	11.012	64
C. I. Cataluña	2.787	1.722	772	709	615	36	791	46
Galicia Costa	12.250	6.633	688	451	1.372	21	1.223	18
Península	110.116	95.451	56.063	47.591	35.954	38	39.175	41

Tabla 33. Volúmenes regulados en la situación teórica considerada, con las series obtenidas en este Libro

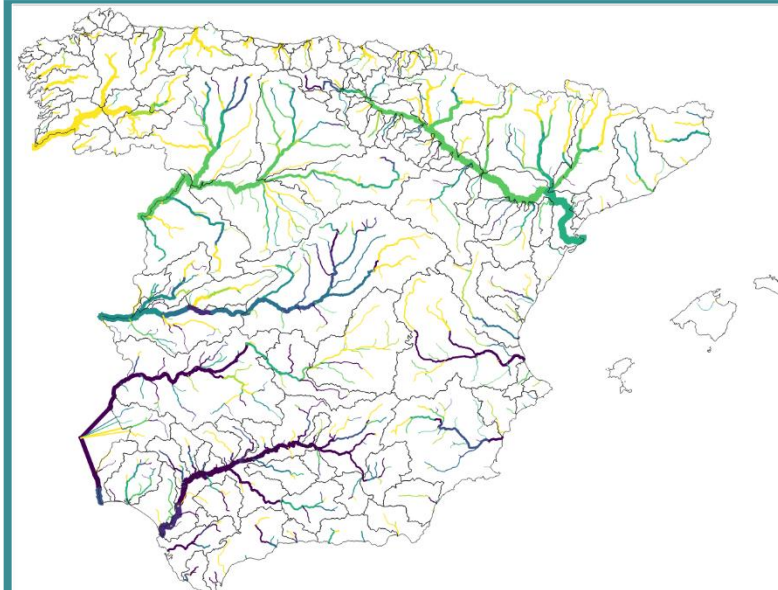
**41%**

# La disponibilidad de agua en España

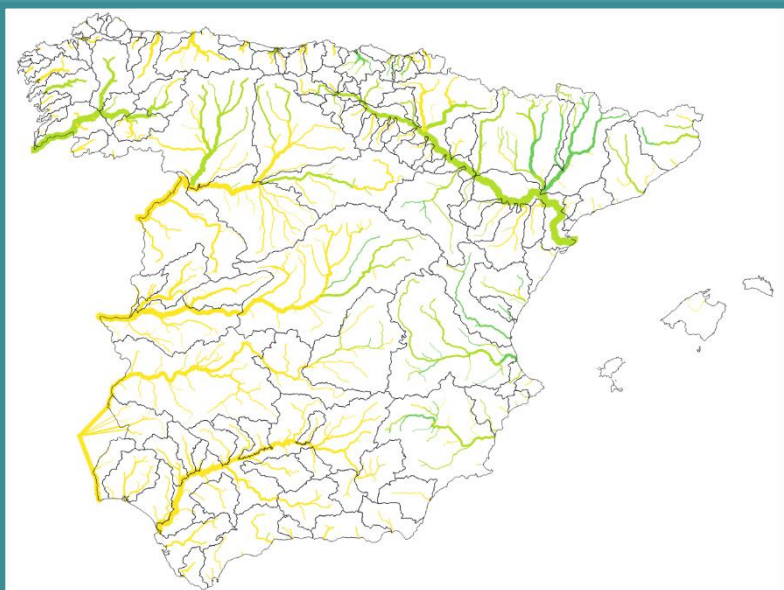
Aportación media (hm<sup>3</sup>/año)



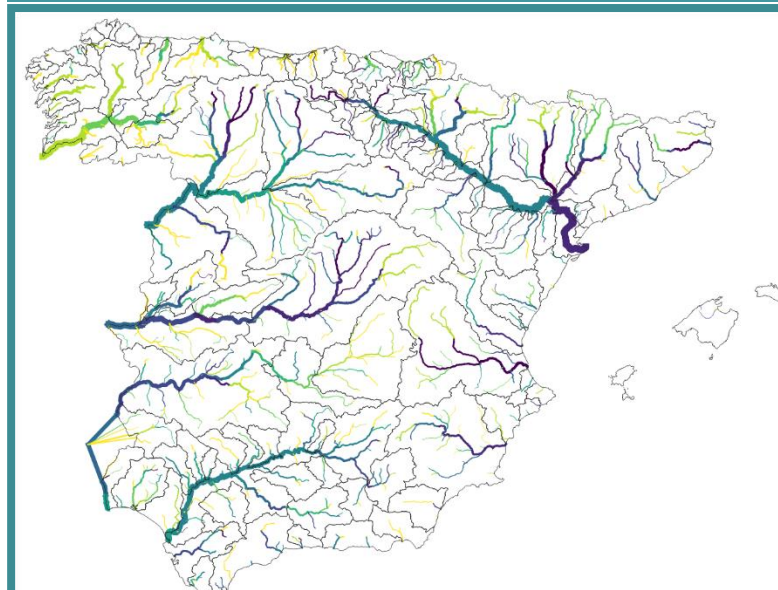
Capacidad de embalse (% Ap Med)



Disponible natural (% Ap Med)



Disponible regulado (% Ap Med)



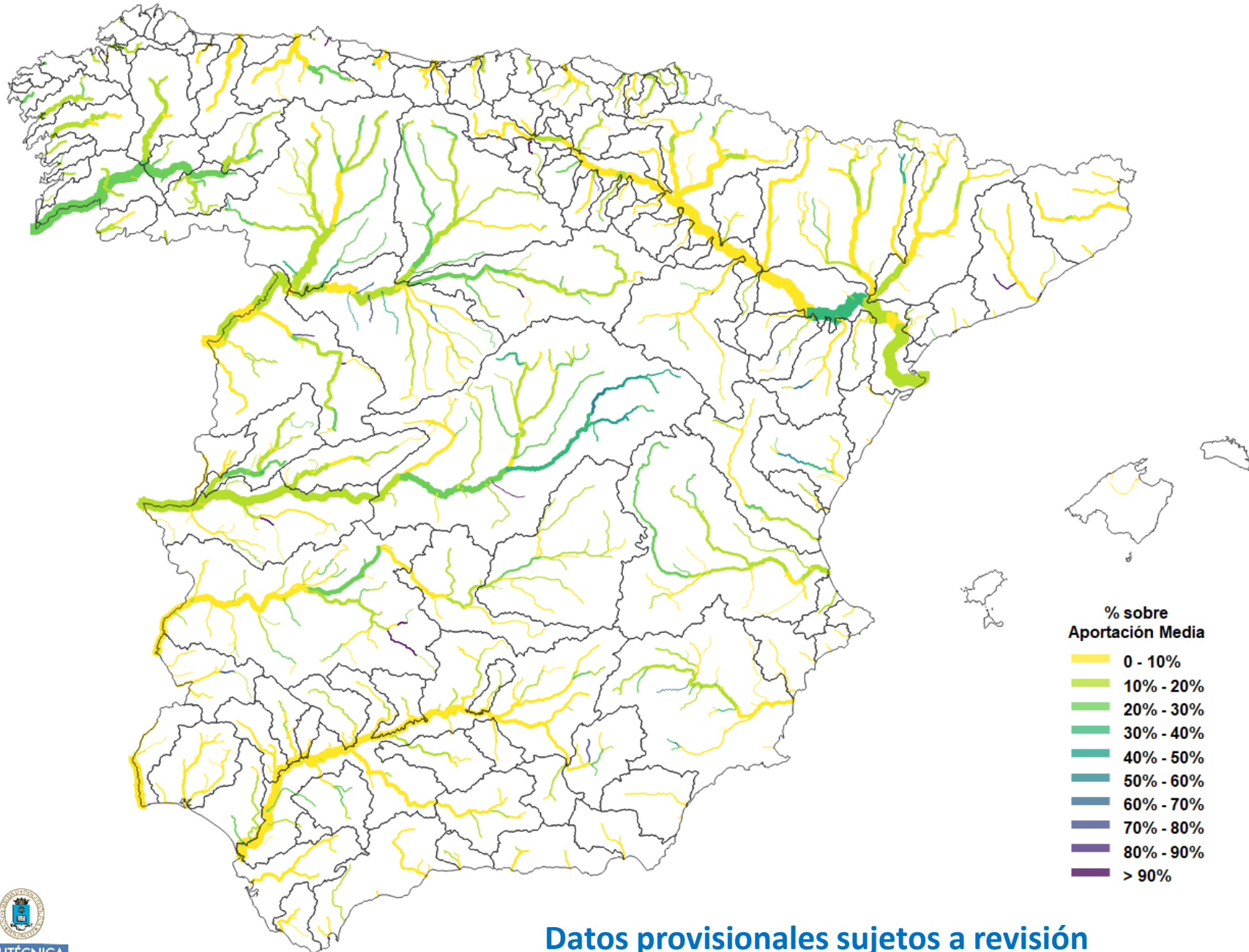
## Proyecto SECA

Aportación  
96,4 km<sup>3</sup>/a

Disponible  
Natural  
8,8 km<sup>3</sup>/a  
9% de la  
Aportación

Disponible  
Regulado  
42,7 km<sup>3</sup>/a  
44% de la  
Aportación

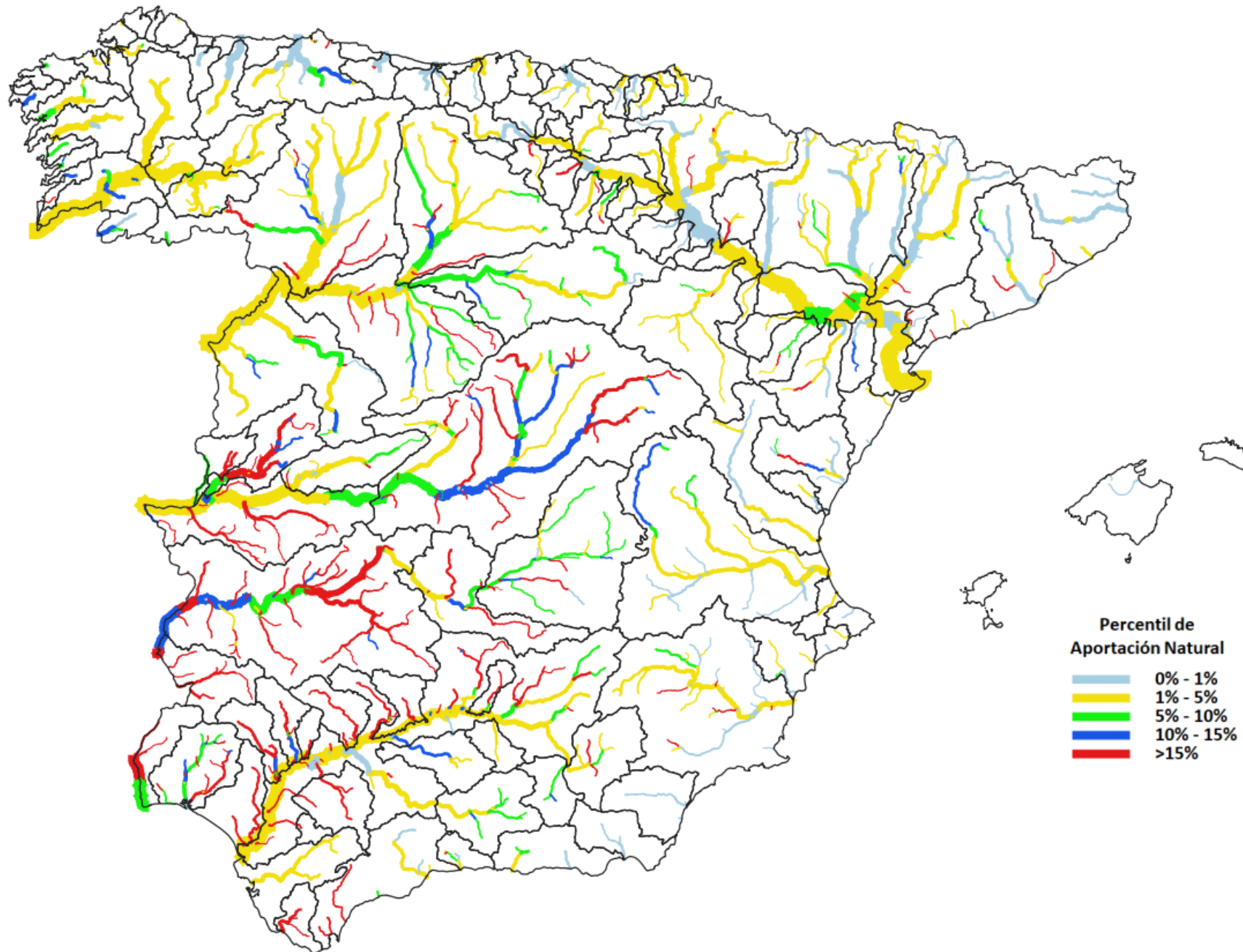
# Caudal ecológico propuesto en los PPHH



Demarcación Hidrográfica	Valor Qeco Real	
	km <sup>3</sup> /a	%Ap
Cantábrico Or.	0.57	14%
Cantábrico Occ.	0.40	4%
Galicia-Costa	1.00	12%
Miño-Sil	2.80	22%
Duero	0.89	8%
Tajo	1.02	11%
Guadiana final	0.35	4%
Tinto, Odiel, Piedras	0.01	1%
Guadalquivir	0.29	4%
Guadalete y Barbate	0.06	7%
C. Med. Andaluzas	0.11	5%
Segura	0.06	8%
Júcar	0.06	2%
Ebro	3.45	22%
C. Internas Cataluña	0.03	1%
Islas Baleares	0.00	0%
<b>Total</b>	<b>11.09</b>	<b>12%</b>

Datos provisionales sujetos a revisión

# Caudal ecológico propuesto en los PPHH

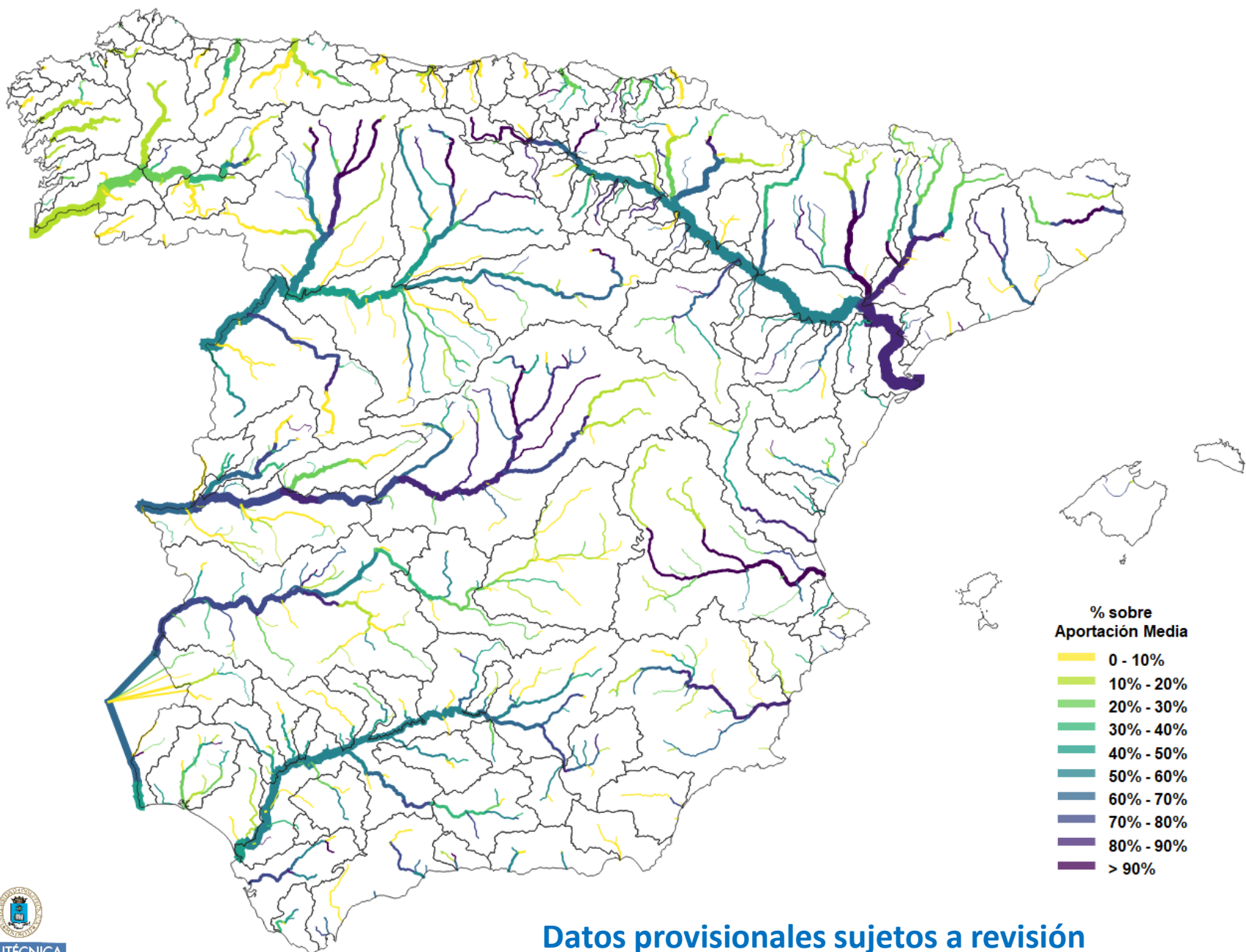


Comparación del caudal ecológico medio anual con el que se obtiene aplicando percentiles sobre las series de SIMPA

**Datos provisionales sujetos a revisión**



# Disponibilidad con caudal ecológico propuesto en los PPHH

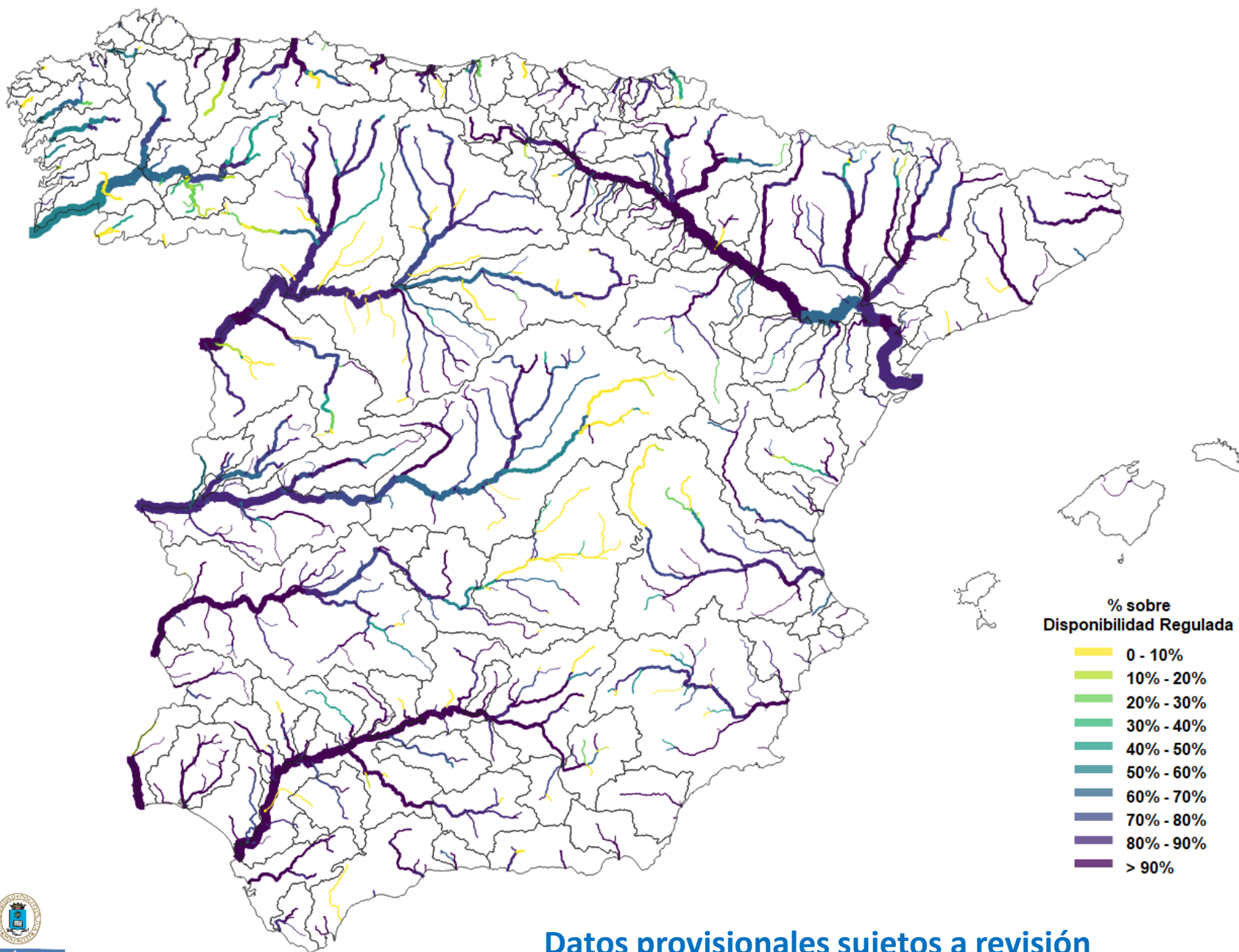


Demarcación Hidrográfica	Disponible Qeco Real	
	km <sup>3</sup> /a	%Ap
Cantábrico Or.	0.69	17%
Cantábrico Occ.	1.30	12%
Galicia-Costa	0.58	7%
Miño-Sil	1.07	8%
Duero	5.26	48%
Tajo	4.91	54%
Guadiana final	3.62	43%
Tinto, Odiel, Piedras	0.17	22%
Guadalquivir	3.00	44%
Guadalete y Barbate	0.50	57%
C. Med. Andaluzas	0.75	34%
Segura	0.64	81%
Júcar	1.93	76%
Ebro	10.36	65%
C. Internas Cataluña	1.18	50%
Islas Baleares	0.02	14%
<b>Total</b>	<b>35.98</b>	<b>37%</b>

Sin embalses hidroeléctricos  
 20% abastecimiento 80% riego  
 Garantía riego IPH 50-75-100

Datos provisionales sujetos a revisión

# Disponibilidad con caudal ecológico propuesto en los PPHH

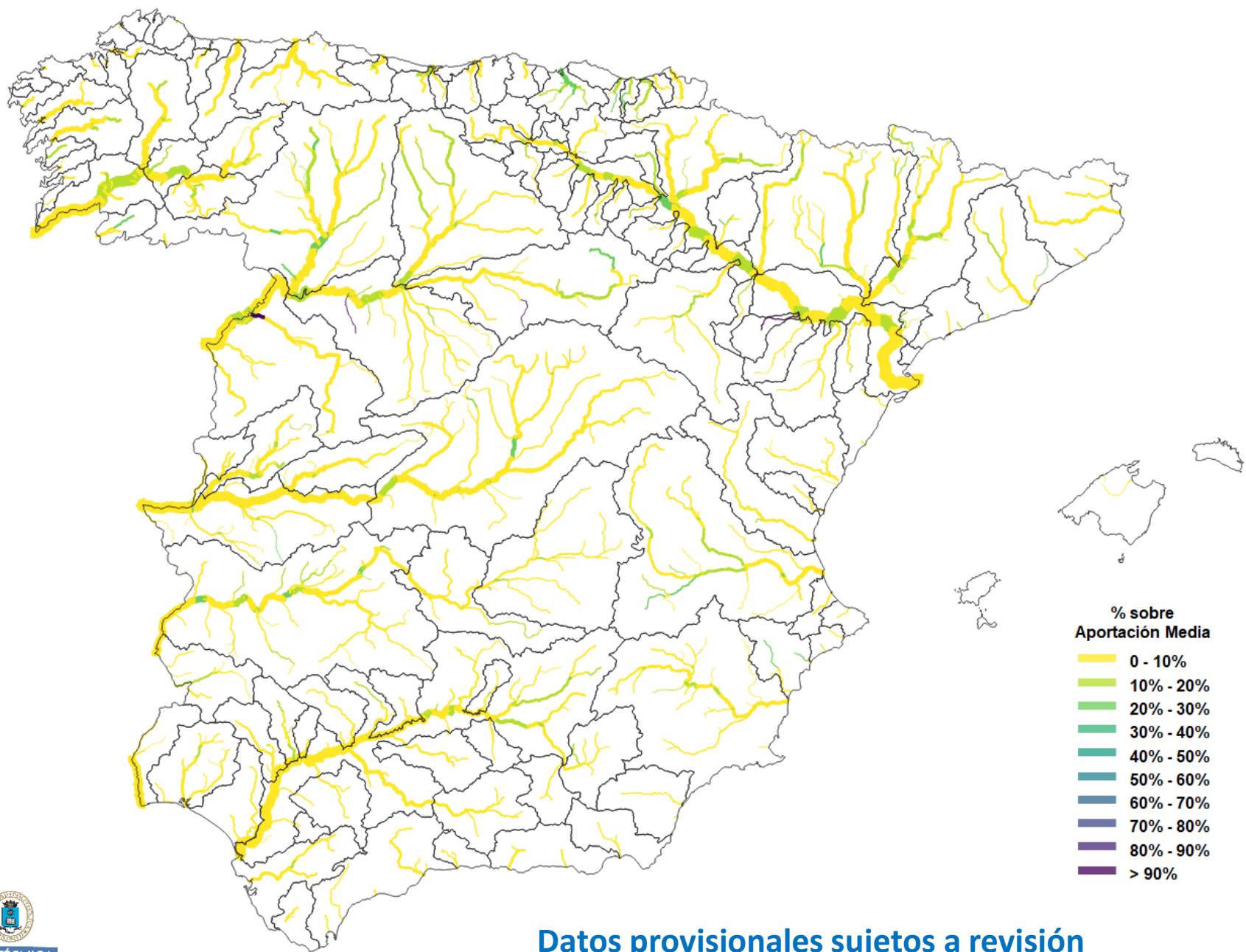


Demarcación Hidrográfica	Disponible Qeco Real	
	km <sup>3</sup> /a	%Dis
Cantábrico Or.	0.69	81%
Cantábrico Occ.	1.30	92%
Galicia-Costa	0.58	65%
Miño-Sil	1.07	52%
Duero	5.26	91%
Tago	4.91	83%
Guadiana final	3.62	93%
Tinto, Odiel, Piedras	0.17	95%
Guadalquivir	3.00	91%
Guadalete y Barbate	0.50	90%
C. Med. Andaluzas	0.75	90%
Segura	0.64	91%
Júcar	1.93	97%
Ebro	10.36	79%
C. Internas Cataluña	1.18	98%
Islas Baleares	0.02	100%
<b>Total</b>	<b>35.98</b>	<b>84%</b>

Sin embalses hidroeléctricos  
 20% abastecimiento 80% riego  
 Garantía riego IPH 50-75-100

Datos provisionales sujetos a revisión

# Disponibilidad natural con caudal ecológico propuesto en los PPHH



Demarcación Hidrográfica	Disp.Natural Qeco Real	
	km <sup>3</sup> /a	%Ap
Cantábrico Or.	0.43	11%
Cantábrico Occ.	0.72	7%
Galicia-Costa	0.34	4%
Miño-Sil	0.22	2%
Duero	0.59	5%
Tajo	0.20	2%
Guadiana final	0.07	1%
Tinto, Odiel, Piedras	0.00	0%
Guadalquivir	0.00	0%
Guadalete y Barbate	0.02	2%
C. Med. Andaluzas	0.06	3%
Segura	0.13	16%
Júcar	0.46	18%
Ebro	1.00	6%
C. Internas Cataluña	0.27	11%
Islas Baleares	0.00	1%
<b>Total</b>	<b>4.51</b>	<b>5%</b>

Sin embalses hidroeléctricos  
 20% abastecimiento 80% riego  
 Garantía riego IPH 50-75-100

Datos provisionales sujetos a revisión

# Resumen de la disponibilidad de agua en España

## Sin Caudal Ecológico

## Con Caudal Ecológico

Demarcación Hidrográfica	Cap. máx. embalse	Vol. regulación	Ap media 80-19	Disponible Natural		Disponible Regulado		Disponible por Regulación		Disp.Natural Qeco Real		Disponible Qeco Real		Disponible por Regulación	
	km <sup>3</sup>	km <sup>3</sup>	km <sup>3</sup> /a	km <sup>3</sup> /a	%Ap	km <sup>3</sup> /a	%Ap	km <sup>3</sup> /a	%Ap	km <sup>3</sup> /a	%Ap	km <sup>3</sup> /a	%Ap	km <sup>3</sup> /a	%Ap
Cantábrico Or.	0.13	0.12	3.98	0.58	15%	0.85	21%	0.27	7%	0.43	11%	0.69	17%	0.27	7%
Cantábrico Occ.	0.56	0.34	10.67	0.83	8%	1.42	13%	0.58	5%	0.72	7%	1.30	12%	0.58	5%
Galicia-Costa	0.70	0.10	8.11	0.70	9%	0.90	11%	0.20	2%	0.34	4%	0.58	7%	0.24	3%
Miño-Sil	3.21	0.43	12.78	1.17	9%	2.05	16%	0.88	7%	0.22	2%	1.07	8%	0.85	7%
Duero	7.82	3.00	10.99	1.06	10%	5.79	53%	4.73	43%	0.59	5%	5.26	48%	4.66	42%
Tajo	11.13	5.87	9.03	0.57	6%	5.94	66%	5.38	60%	0.20	2%	4.91	54%	4.71	52%
Guadiana final	9.63	9.63	8.44	0.12	1%	3.91	46%	3.79	45%	0.07	1%	3.62	43%	3.55	42%
Tinto, Odiel, Piedras	0.35	0.35	0.76	0.00	0%	0.18	23%	0.17	23%	0.00	0%	0.17	22%	0.17	22%
Guadalquivir	8.59	8.58	6.78	0.17	2%	3.28	48%	3.11	46%	0.00	0%	3.00	44%	3.00	44%
Guadalete y Barbate	1.67	1.67	0.89	0.03	4%	0.56	63%	0.52	59%	0.02	2%	0.50	57%	0.48	54%
C. Med. Andaluzas	1.33	1.23	2.20	0.10	4%	0.83	38%	0.73	33%	0.06	3%	0.75	34%	0.69	31%
Segura	1.19	1.10	0.79	0.14	18%	0.70	88%	0.56	70%	0.13	16%	0.64	81%	0.51	65%
Júcar	3.35	3.08	2.55	0.48	19%	1.98	78%	1.50	59%	0.46	18%	1.93	76%	1.47	58%
Ebro	8.03	6.97	15.90	2.58	16%	13.10	82%	10.52	66%	1.00	6%	10.36	65%	9.35	59%
C. Internas Cataluña	0.75	0.75	2.34	0.28	12%	1.20	51%	0.92	39%	0.27	11%	1.18	50%	0.91	39%
Islas Baleares	0.01	0.01	0.14	0.00	1%	0.02	14%	0.02	12%	0.00	1%	0.02	14%	0.02	12%
<b>Total</b>	<b>58.46</b>	<b>43.24</b>	<b>96.36</b>	<b>8.82</b>	<b>9%</b>	<b>42.71</b>	<b>44%</b>	<b>33.89</b>	<b>35%</b>	<b>4.51</b>	<b>5%</b>	<b>35.98</b>	<b>37%</b>	<b>31.47</b>	<b>33%</b>

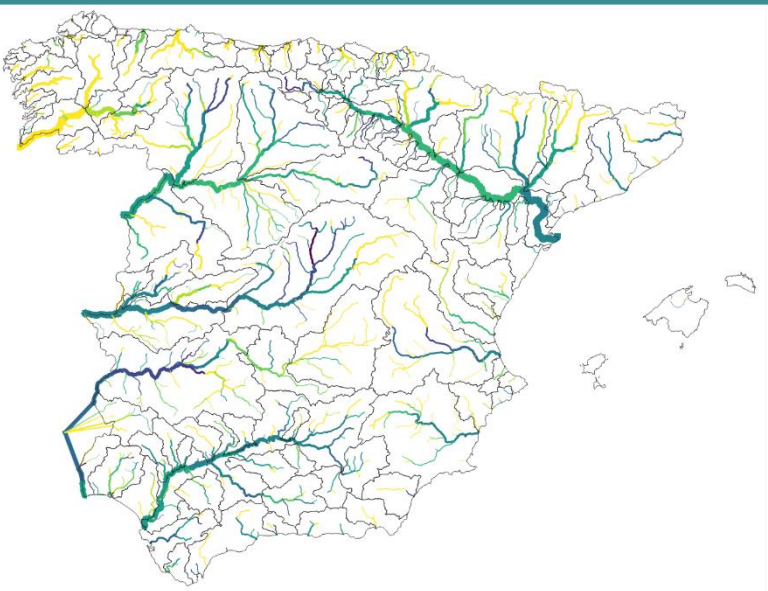
La capacidad de embalse ha incrementado la disponibilidad bruta natural

Sin caudal ecológico: desde 8,82 km<sup>3</sup>/a hasta 42.71 km<sup>3</sup>/a (un 384%)

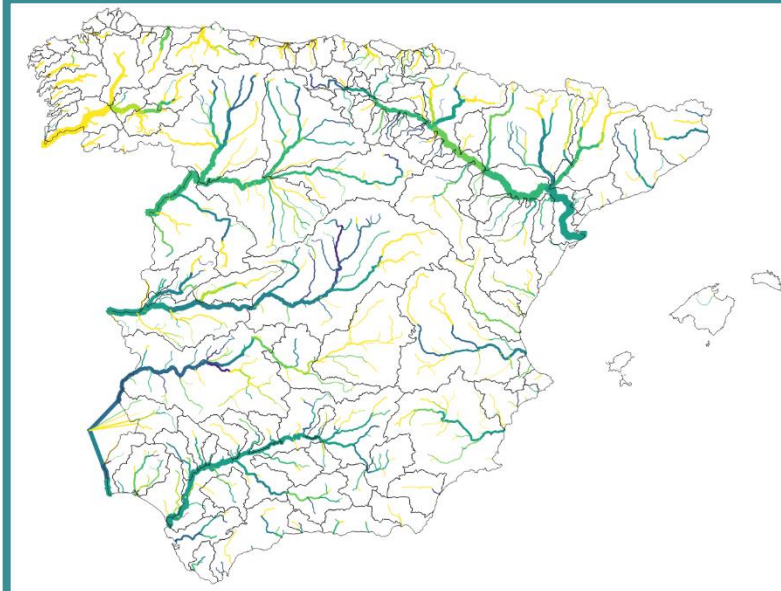
Con caudal ecológico: desde 4,51 km<sup>3</sup>/a hasta 35.98 km<sup>3</sup>/a (un 700%)

# Comparación de disponibilidad en función del caudal ecológico

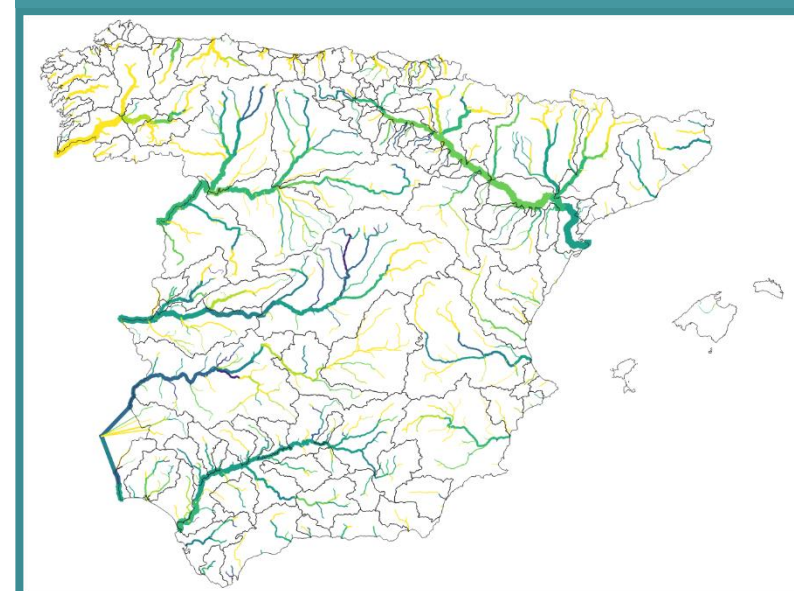
Percentil 5%



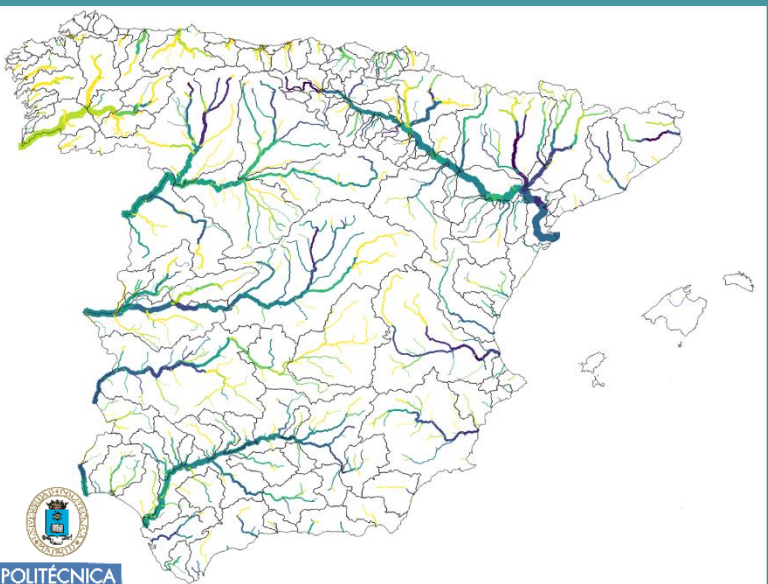
Percentil 10%



Percentil 15%

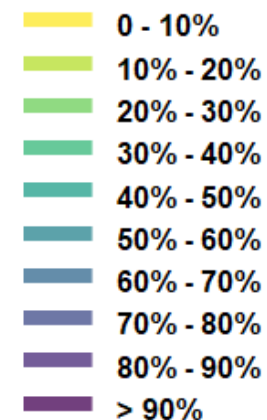


Caudal ecológico propuesto

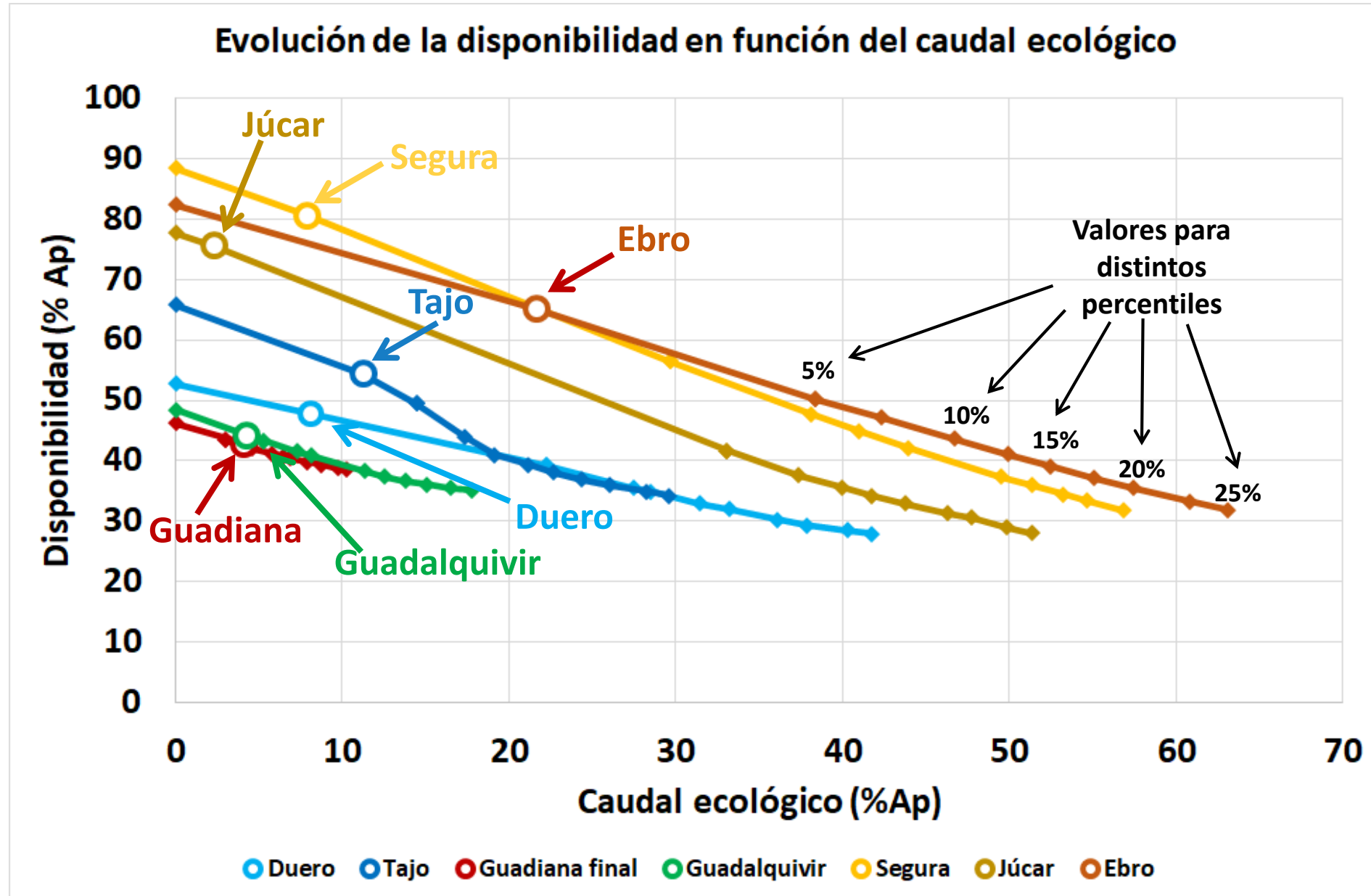


Demarcación Hidrográfica	Disponible Regulado		Disponible Qeco Real		Disponible Qeco 5%		Disponible Qeco 10%		Disponible Qeco 15%	
	km <sup>3</sup> /a	%Ap	km <sup>3</sup> /a	%Ap	km <sup>3</sup> /a	%Ap	km <sup>3</sup> /a	%Ap	km <sup>3</sup> /a	%Ap
Cantábrico Or.	0.85	21%	0.69	17%	0.28	7%	0.24	6%	0.21	5%
Cantábrico Occ.	1.42	13%	1.30	12%	0.65	6%	0.58	5%	0.55	5%
Galicia-Costa	0.90	11%	0.58	7%	0.20	3%	0.18	2%	0.17	2%
Miño-Sil	2.05	16%	1.07	8%	0.97	8%	0.86	7%	0.79	6%
Duero	5.79	53%	5.26	48%	4.31	39%	3.83	35%	3.51	32%
Tajo	5.94	66%	4.91	54%	4.47	50%	3.70	41%	3.44	38%
Guadiana final	3.91	46%	3.62	43%	3.66	43%	3.48	41%	3.41	40%
Tinto, Odiel, Piedras	0.18	23%	0.17	22%	0.17	22%	0.16	21%	0.16	21%
Guadalquivir	3.28	48%	3.00	44%	2.94	43%	2.77	41%	2.54	37%
Guadalete y Barbate	0.56	63%	0.50	57%	0.49	55%	0.47	53%	0.44	50%
C. Med. Andaluzas	0.83	38%	0.75	34%	0.67	31%	0.60	27%	0.56	25%
Segura	0.70	88%	0.64	81%	0.45	56%	0.36	45%	0.30	37%
Júcar	1.98	78%	1.93	76%	1.06	42%	0.91	36%	0.84	33%
Ebro	13.10	82%	10.36	65%	7.99	50%	6.95	44%	6.22	39%
C. Internas Cataluña	1.20	51%	1.18	50%	0.87	37%	0.78	33%	0.73	31%
Islas Baleares	0.02	14%	0.02	14%	0.02	12%	0.02	11%	0.01	10%
<b>Total</b>	<b>42.71</b>	<b>44%</b>	<b>35.98</b>	<b>37%</b>	<b>29.21</b>	<b>30%</b>	<b>25.87</b>	<b>27%</b>	<b>23.87</b>	<b>25%</b>

% sobre Aportación Media

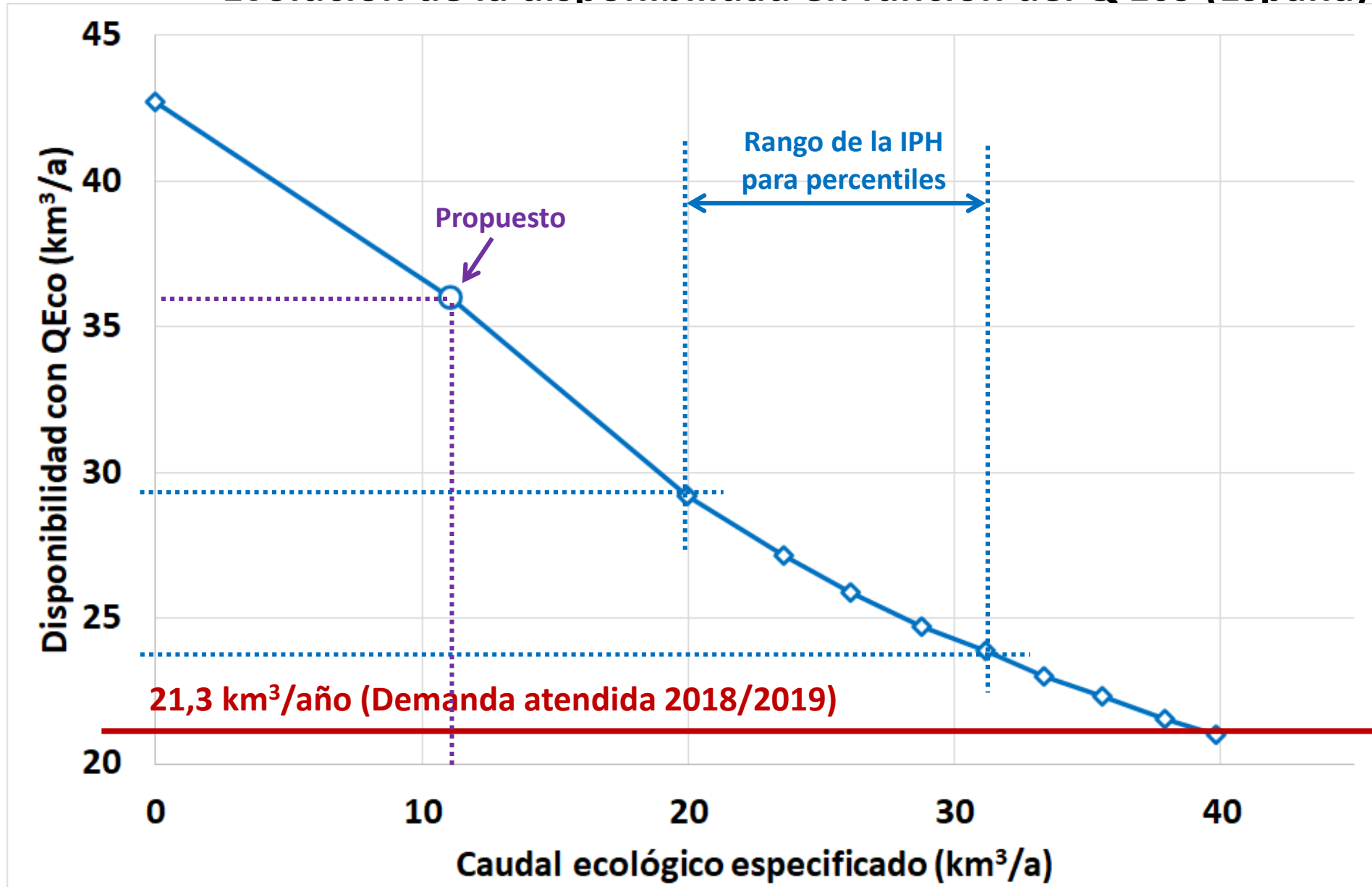


# Comparación entre cuencas



# Disponibilidad en función del caudal ecológico

## Evolución de la disponibilidad en función del Q Eco (España)



Natural  
8,8 km<sup>3</sup>/a

Regulada  
42,7 km<sup>3</sup>/a

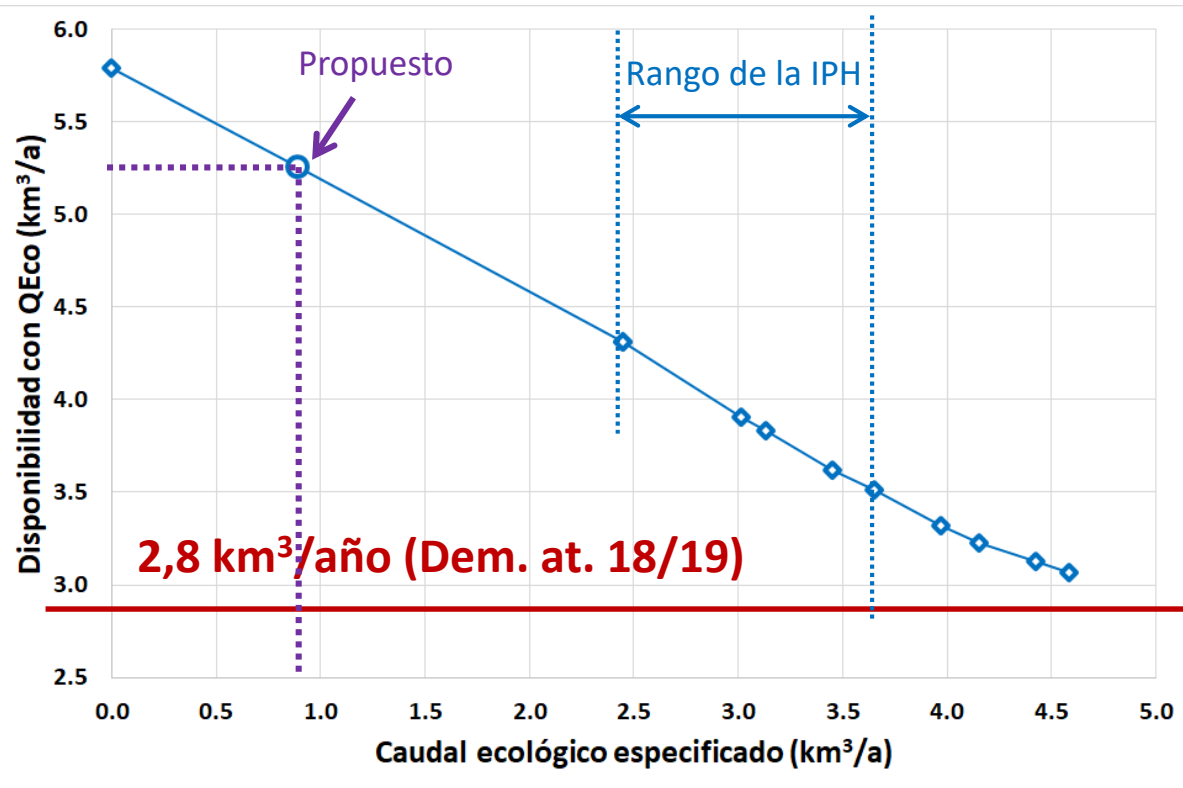
Propuesto  
36,0 km<sup>3</sup>/a  
-16%

Percentil 5%  
29,2 km<sup>3</sup>/a  
-31%

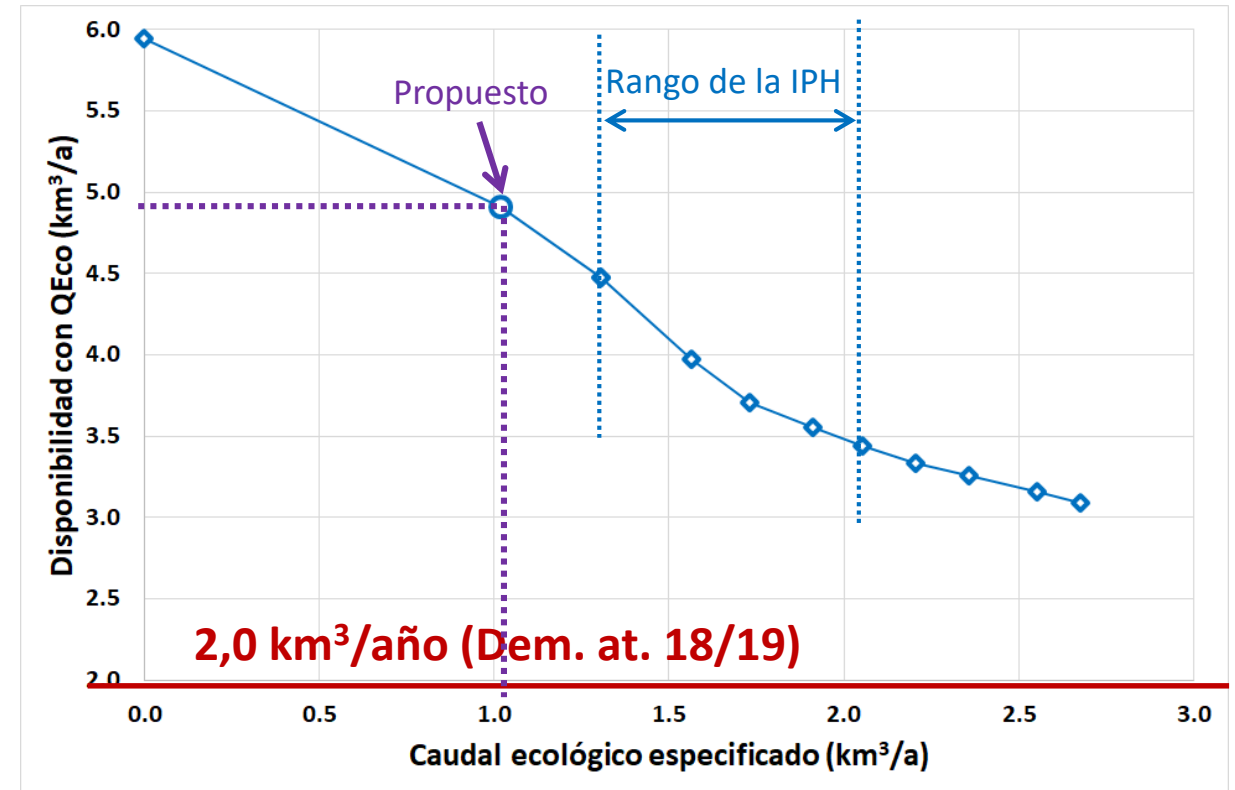
Percentil 15%  
23,9 km<sup>3</sup>/a  
-44%

# Cuencas con cierto margen de gestión

## Duero



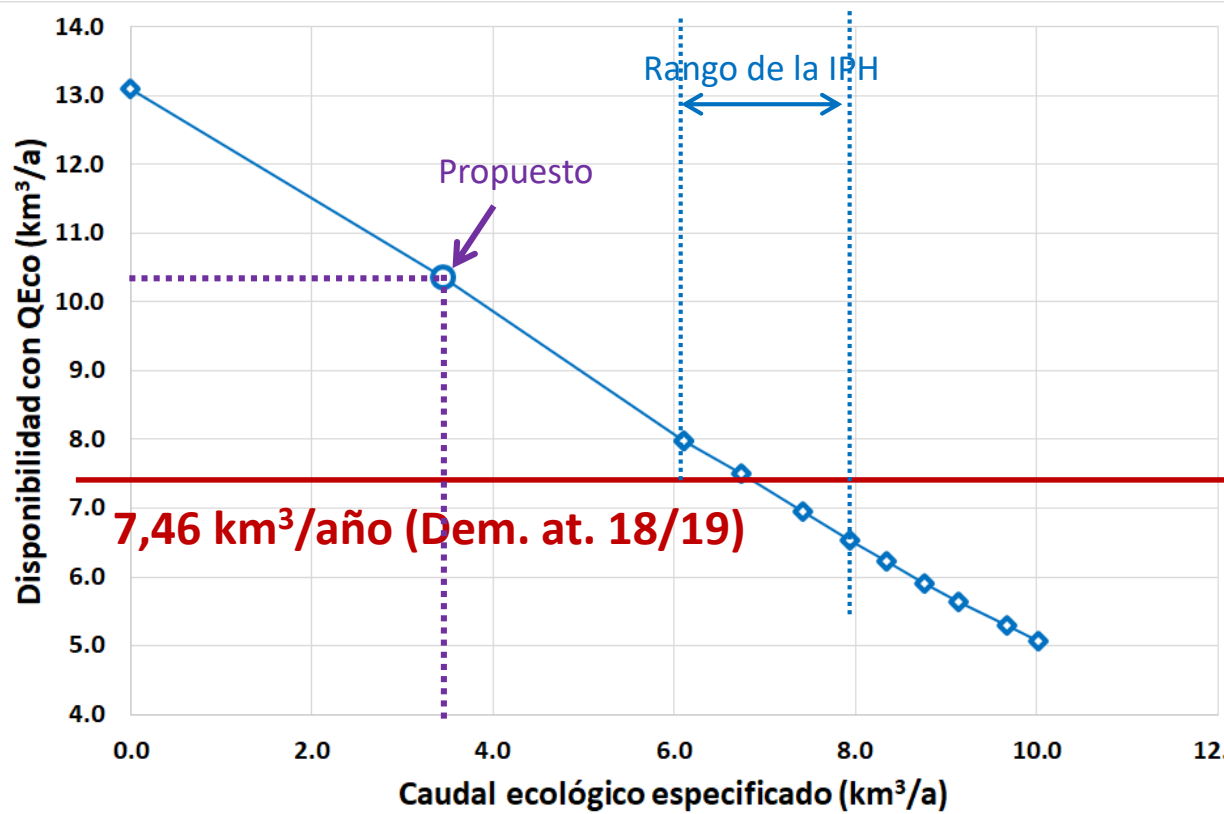
## Tajo



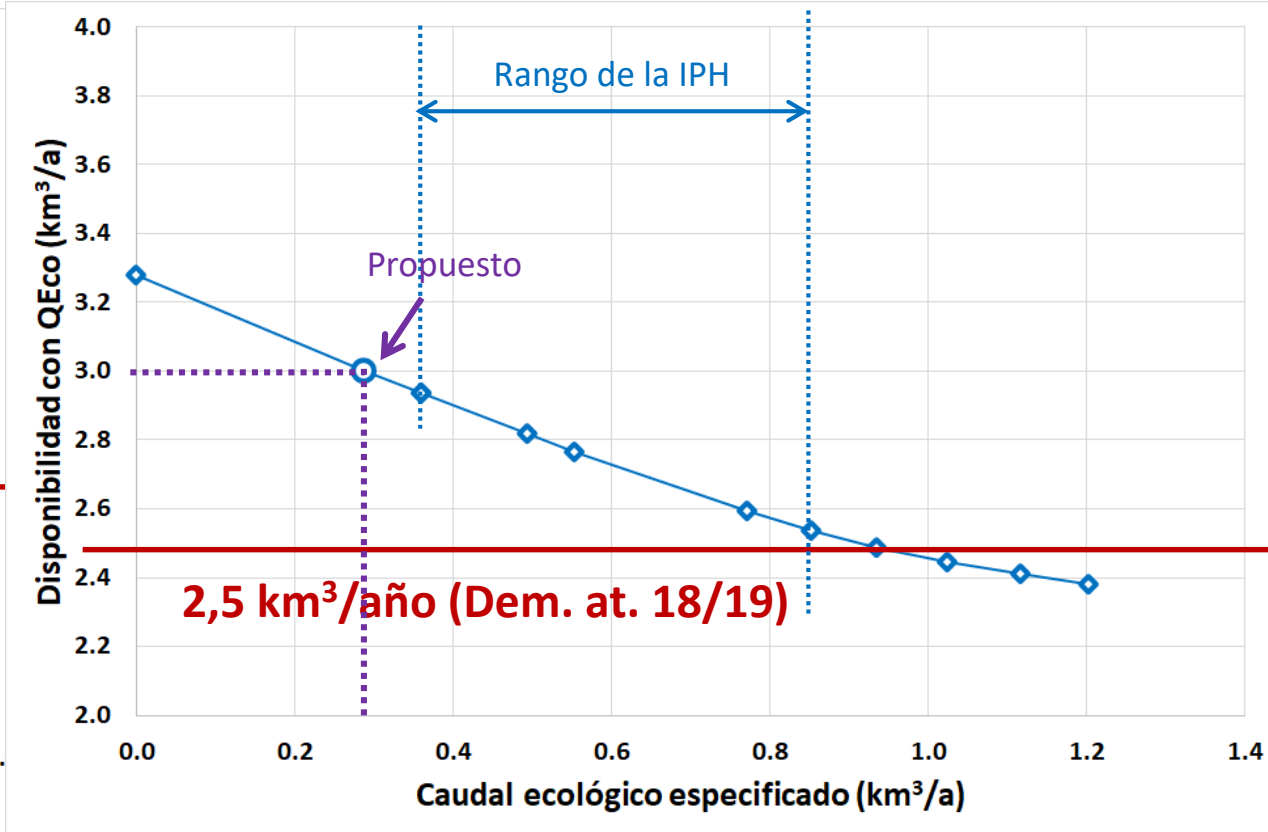
Valores para el conjunto de la demarcación, localmente puede haber problemas



## Ebro

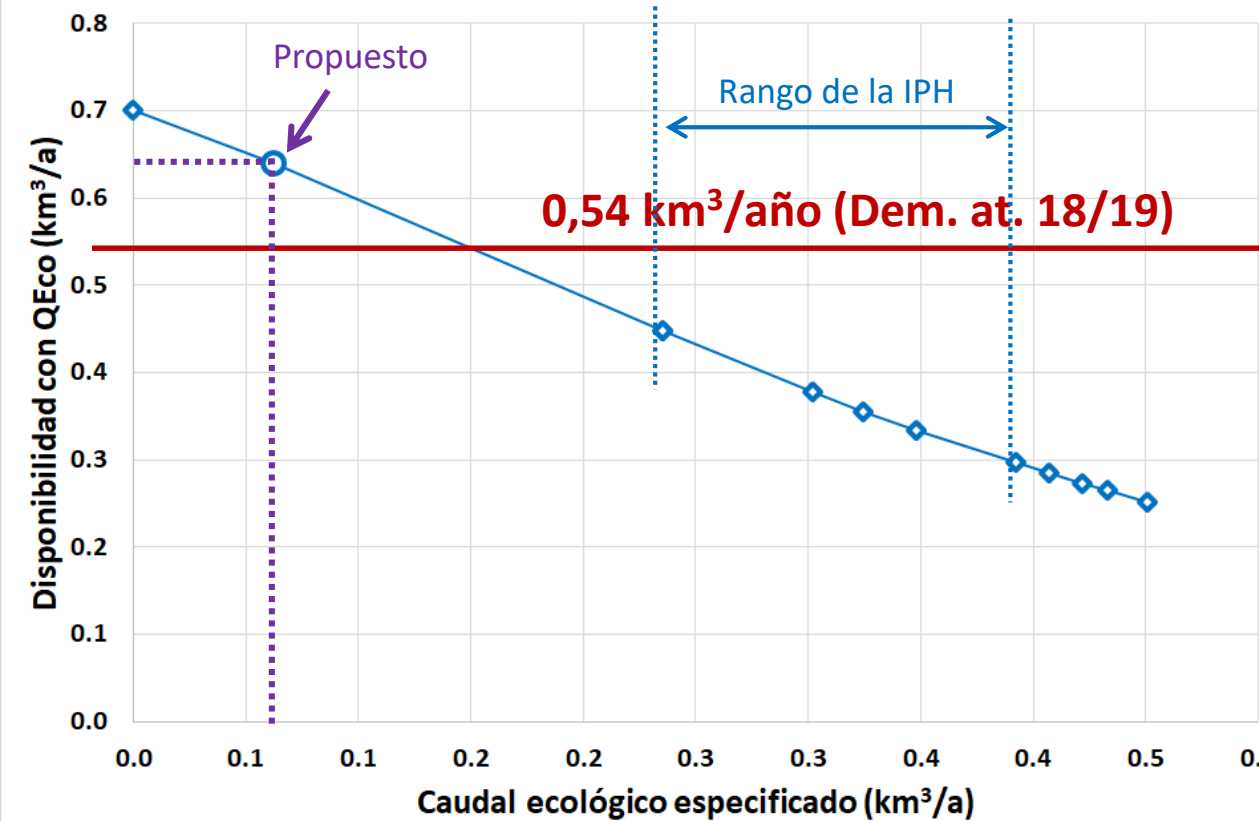


## Guadalquivir

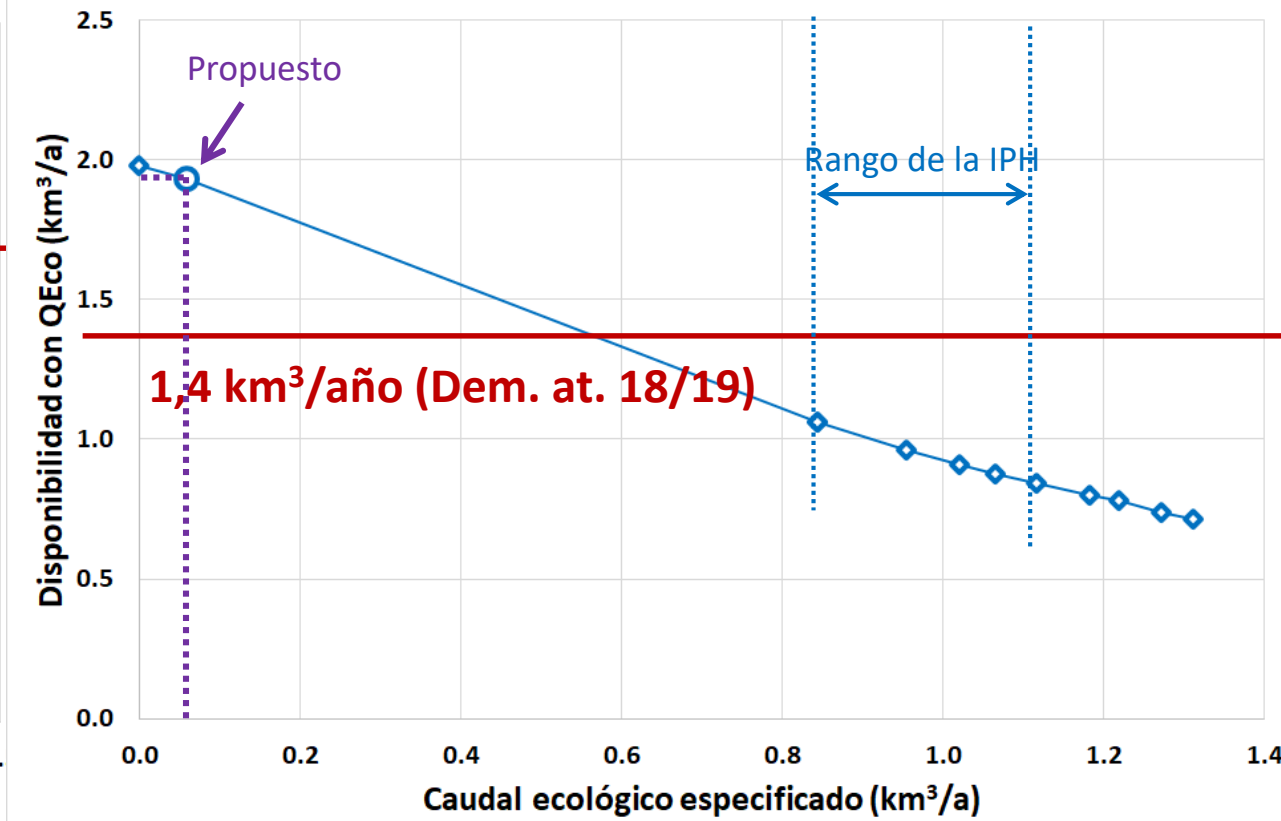


Valores para el conjunto de la demarcación, localmente puede haber problemas más intensos

## Segura



## Júcar



Los caudales ecológicos se han reducido al mínimo para evitar problemas generalizados

- Los métodos de cálculo de caudales ecológicos pueden dar resultados **muy dispares**
- La implantación de los caudales ecológicos supone una **merma en la disponibilidad** potencial de agua para otros usos, siendo algunas regiones especialmente sensibles.
- Conviene realizar análisis de **sensibilidad** del efecto de aplicar/implantar diferentes criterios de caudales ambientales en las diferentes regiones.
- Conviene realizar **estudios desagregados** por cuencas, ya que los valores globales pueden no mostrar problemas/déficit importantes.