

# EMBALSES Y TRASVASES, NECESARIOS E IMPRESCINDIBLES PARA LA VERTEBRACIÓN HÍDRICA DE ESPAÑA



Autor: **Francisco Javier Flores Montoya**

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado jubilado

Vicepresidente de SEPREM

# ABRIR UN GRIFO Y TENER AGUA BUENA REQUIERE

- ❖ ALMACENARLA
- ❖ TRANSPORTARLA
- ❖ TRATARLA

¿Qué infraestructuras ha habido y hay que construir para conseguirlo?

Embalses, conducciones, bombeos, plantas depuradoras, plantas de tratamiento

**¿CON QUÉ COSTE, CÓMO Y QUIÉN HA FINANCIADO Y CÓMO Y QUIÉN PAGA?**

**¿A QUÉ PRECIO?**

**¿CUÁNTA AGUA HAY?**

**¿DÓNDE?**

**¿CON QUÉ CALIDAD?**

**¿CON QUÉ GARANTÍA?**

¿Qué hace falta para conseguir tener el agua necesaria en la cantidad, con la calidad y garantía adecuadas y a un precio competitivo?

1. VOLUNTAD DE CONSEGUIRLO
2. UN ESTADO CON VISIÓN DE FUTURO QUE FACILITE EL MARCO LEGAL
3. UN PLAN DE OBRAS PÚBLICAS HIDRÁULICAS

# Es necesaria la Gestión Integrada de las cuencas hidrográficas

OBJETO: maximizar el bienestar social y económico resultante, de manera equitativa sin comprometer la persistencia de los ecosistemas naturales y la biodiversidad.

## EL AGUA HAY QUE LLEVARLA A DONDE SE NECESITA

Factores a tener en cuenta :

- el **valor** del agua y su **productividad**
- los **costes** de: su captación, almacenamiento, garantizar su calidad según uso, su transporte y su tratamiento previo a su retorno al medio receptor.
- el **precio** que se debe pagar para recuperar los costes según el uso.

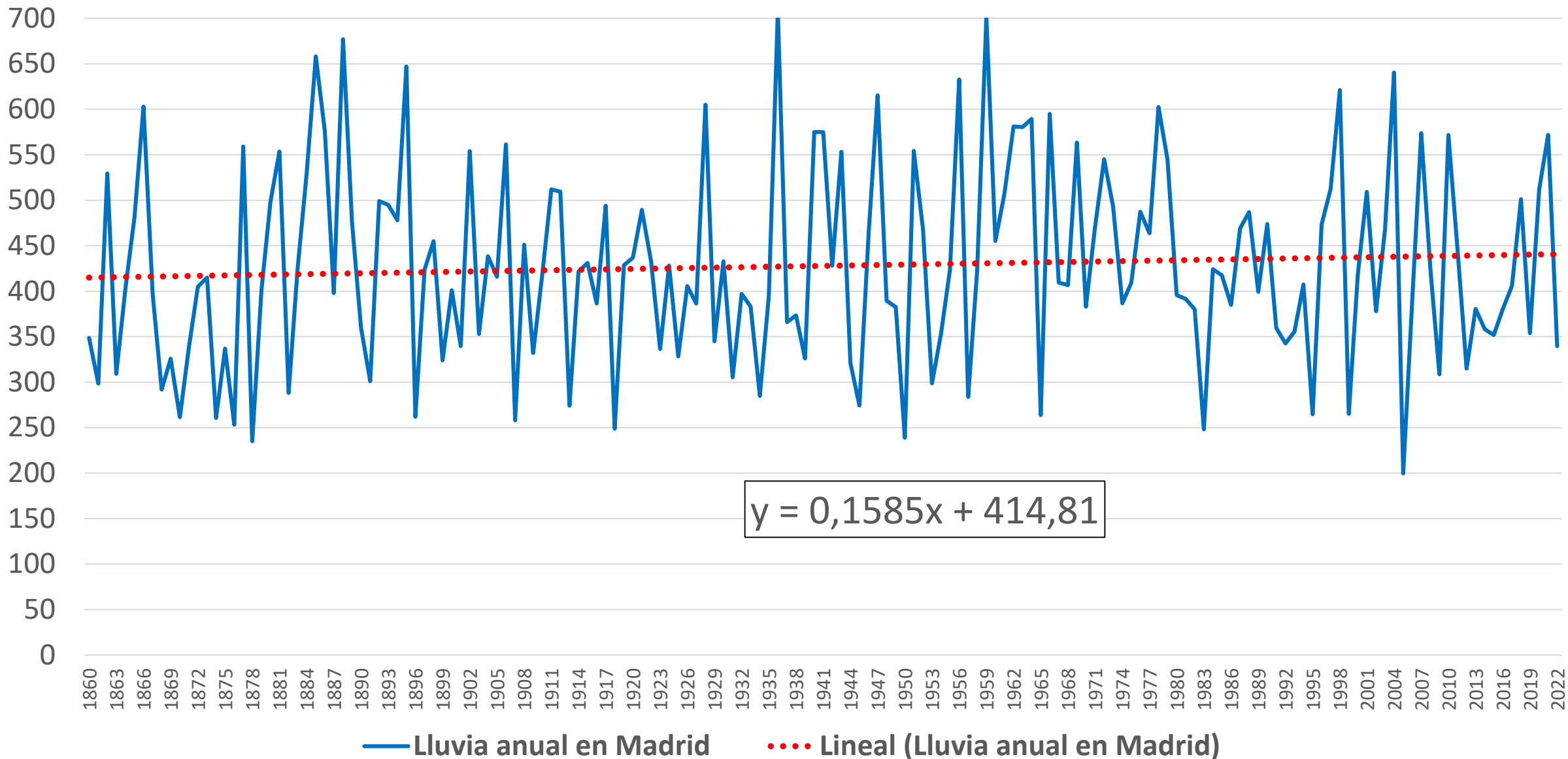


## CONCLUSIONES:

- En España hay agua suficiente aprovechable, además de en toda la cornisa cantábrica, en los tramos finales de los ríos Duero, Tajo y Ebro, e incluso en el tramo internacional del Guadiana, para satisfacer el crecimiento razonable de las demandas de agua en un horizonte de 30 años (plazo de recuperar costes).
- Es necesario cambiar las reglas de explotación teniendo en cuenta la energía.
- Los embalses existentes y las infraestructuras de transporte además de almacenar el agua deben servir para producir y almacenar energía.
- Las centrales hidroeléctricas existentes deberán triplicar sus horas de utilización actual (1.800) transformándolas en reversibles y reduciendo: la importación de combustibles, los precios de la energía, el **coste del transporte de agua** y además, **dar seguridad a la red eléctrica**.
- Con energía renovable, capacidad de almacenamiento y el cambio de reglas de explotación se puede llevar el agua **desde donde no se aprovecha** a donde **se necesita** (zonas deficitarias) y más produce (modificación de concesiones).

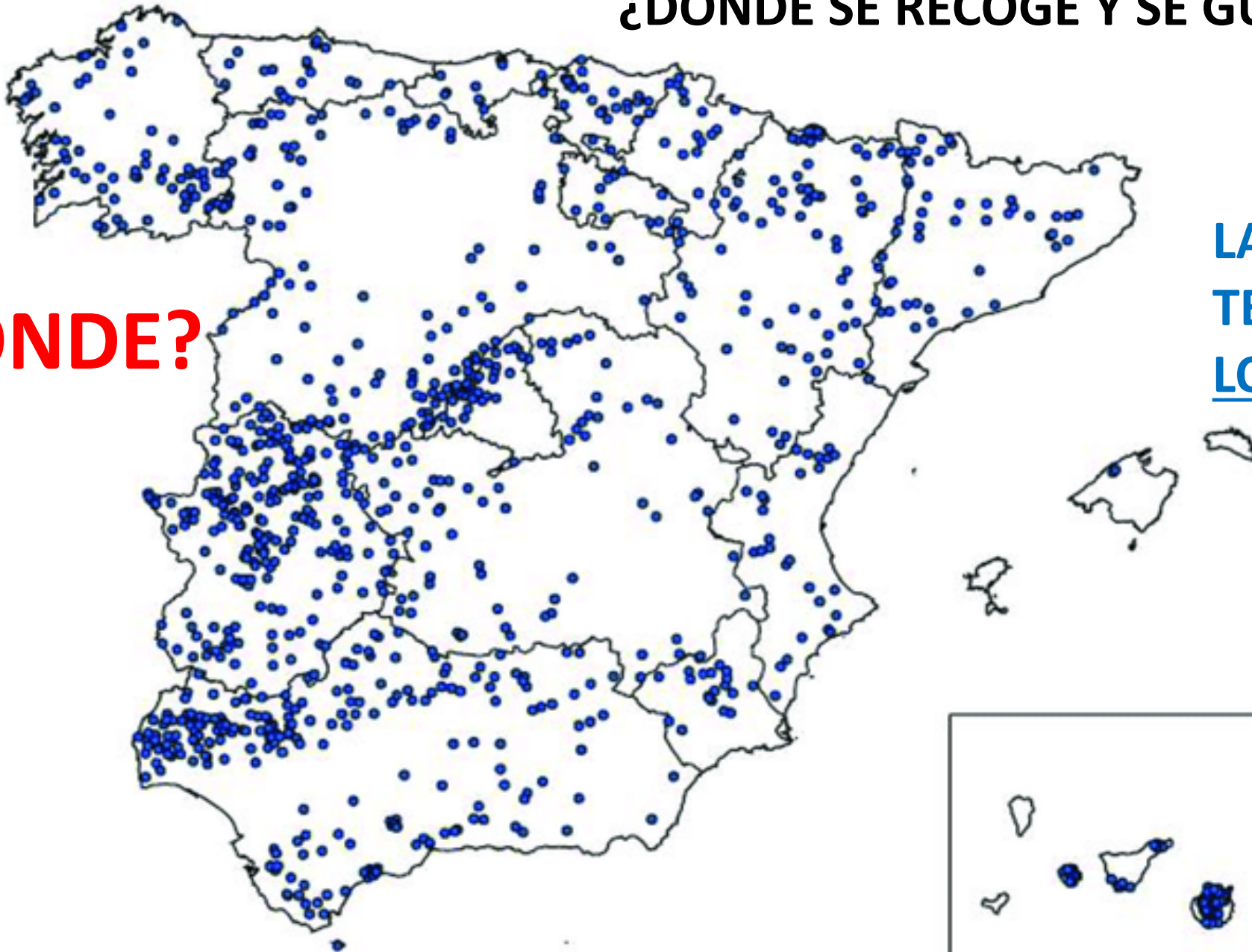
# EL AGUA NO VA A FALTAR

## Lluvia anual en Madrid 1860 -2022



# ¿DÓNDE SE RECOGE Y SE GUARDA EL AGUA?

¿DÓNDE?



**LA DISTRIBUCIÓN  
TERRITORIAL DE  
LOS EMBALSES**

# LOS RECURSOS DE ESPAÑA EN VALORES MEDIOS

Ámbito de planificación	Superficie (km <sup>2</sup> )	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL mm/m <sup>2</sup>	VOLUMEN ESCORRENTIA hm <sup>3</sup>	POBLACIÓN	ESCORRENTIA/HABITANTE M <sup>3</sup> /HABITANTES
<b>Norte I</b>	<b>17.600</b>	<b>1.284</b>	<b>12.689</b>	<b>830.998</b>	<b>15.270</b>
<b>Norte II</b>	<b>17.330</b>	<b>1.405</b>	<b>13.881</b>	<b>1.691.640</b>	<b>8.206</b>
<b>Norte III</b>	<b>5.720</b>	<b>1.606</b>	<b>5.337</b>	<b>1.925.548</b>	<b>2.772</b>
<b>Duero</b>	<b>78.960</b>	<b>625</b>	<b>13.660</b>	<b>2.244.140</b>	<b>6.087</b>
<b>Tajo</b>	<b>55.810</b>	<b>655</b>	<b>10.883</b>	<b>7.864.244</b>	<b>1.384</b>
<b>Guadiana I</b>	<b>53.180</b>	<b>521</b>	<b>4.414</b>	<b>1.804.693</b>	<b>2.446</b>
<b>Guadiana II</b>	<b>7.030</b>	<b>662</b>	<b>1.061</b>	<b>370.451</b>	<b>2.864</b>
<b>Guadalquivir</b>	<b>63.240</b>	<b>591</b>	<b>8.601</b>	<b>5.132.643</b>	<b>1.676</b>
<b>Sur</b>	<b>17.950</b>	<b>530</b>	<b>2.351</b>	<b>2.538.134</b>	<b>926</b>
<b>Segura</b>	<b>19.120</b>	<b>383</b>	<b>803</b>	<b>1.993.352</b>	<b>403</b>
<b>Júcar</b>	<b>42.900</b>	<b>504</b>	<b>3.432</b>	<b>5.190.657</b>	<b>661</b>
<b>Ebro</b>	<b>85.560</b>	<b>682</b>	<b>17.967</b>	<b>3.248.363</b>	<b>5.531</b>
<b>Galicia Costa</b>	<b>13.130</b>	<b>1.577</b>	<b>2.787</b>	<b>2.055.252</b>	<b>1.356</b>
<b>C.I. Cataluña</b>	<b>16.490</b>	<b>734</b>	<b>12.250</b>	<b>6.899.643</b>	<b>1.775</b>
<b>Baleares</b>	<b>5.010</b>	<b>595</b>	<b>661</b>	<b>1.113.114</b>	<b>594</b>
<b>Canarias</b>	<b>7.440</b>	<b>302</b>	<b>409</b>	<b>2.126.769</b>	<b>192</b>
<b>Total</b>	<b>506.470</b>	<b>684</b>	<b>111.186</b>	<b>47.029.641</b>	<b>2.364</b>

# LAS DEMANDAS

DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS	Uso Agrario hm <sup>3</sup>	Abastecimiento hm <sup>3</sup>	Uso Industrial hm <sup>3</sup>	Otros usos consuntivos hm <sup>3</sup>	TOTAL
Ebro	<b>8.379</b>	383	<b>217</b>		<b>8.979</b>
Duero	<b>3.485</b>	263	46	8	<b>3.802</b>
Guadalquivir	<b>3.328</b>	400	43		<b>3.771</b>
Júcar	<b>2.385</b>	<b>482</b>	<b>153</b>	14	<b>3.034</b>
Guadiana	<b>2.019</b>	167	82	3	<b>2.271</b>
Tajo	<b>1.973</b>	<b>864</b>	61	<b>39</b>	<b>2.937</b>
Segura	<b>1.487</b>	194	10	<b>41</b>	<b>1.732</b>
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	<b>926</b>	367	29	<b>35</b>	<b>1.357</b>
Cuencas Internas de Cataluña	<b>377</b>	<b>531</b>	100		<b>1.008</b>
Tinto, Odiel y Piedras	<b>359</b>	56	50	2	<b>467</b>
Miño-Sil	<b>307</b>	93	21	1	<b>422</b>
Guadalete y Barbate	<b>288</b>	117	12	9	<b>426</b>
Canarias	<b>226</b>	205	13	25	<b>469</b>
Baleares	<b>103</b>	139	3	8	<b>253</b>
Cantábrico Occidental	<b>73</b>	265	<b>128</b>	3	<b>469</b>
Galicia-costa	<b>30</b>	220	90	1	<b>341</b>
Cantábrico Oriental	<b>3</b>	227	36	1	<b>267</b>
TOTAL DEMANDA DE AGUA	<b>25.748</b>	4.973	1.094	190	<b>32.005</b>

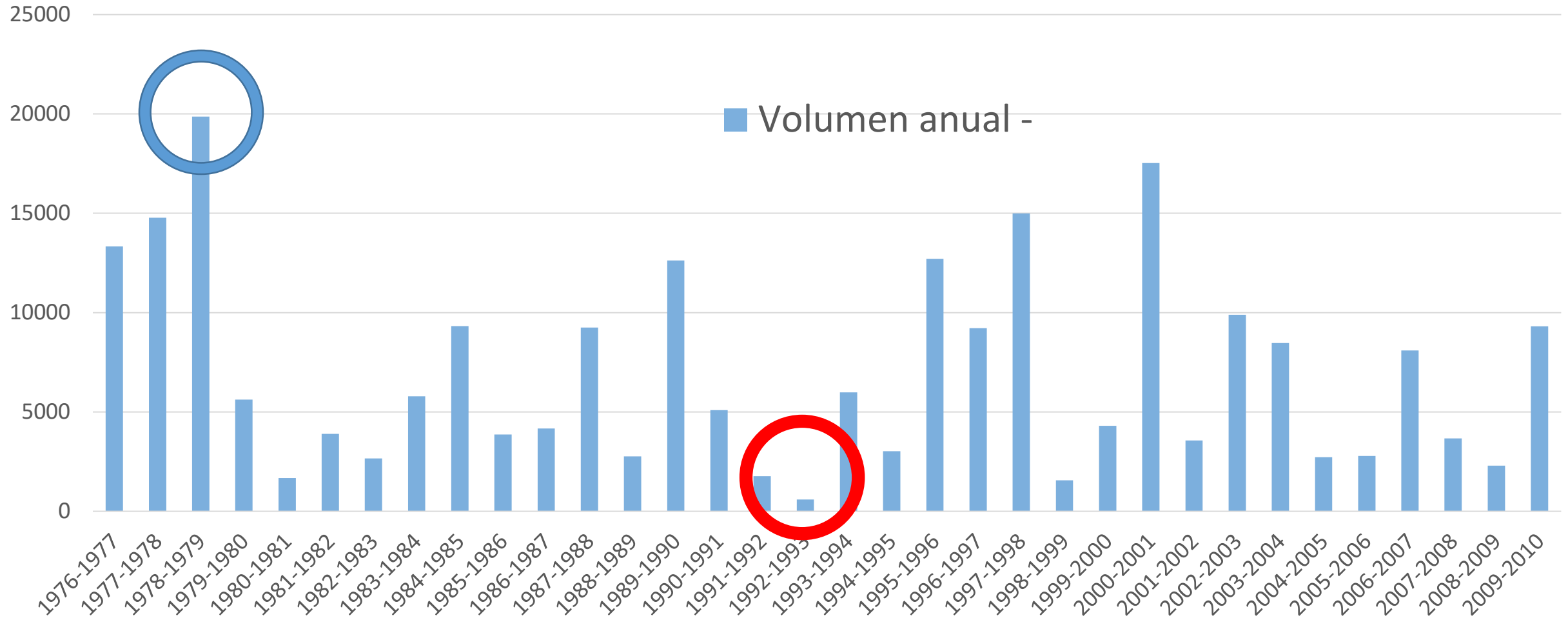
# ¿CON QUÉ GARANTÍA?

## Factores a tener en cuenta de los ríos españoles

- Irregularidad espacial y temporal de la lluvia y las aportaciones
- Estiajes pronunciados en los que la capacidad de asimilación es muy baja para cualquier contaminante.
- Los recursos disponibles globales en régimen natural eran aproximadamente el 5 % de las aportaciones medias, con gran variabilidad espacial y temporal.
- Sin embalses de regulación, el techo poblacional sería < > 10% del actual
- Sin embalses de regulación, las dotaciones sería entre 5 y 10 litros/hab/día
- Actualmente, los vertidos son los únicos caudales continuos de muchos cauces

# Cómo es la irregularidad interanual de nuestros ríos

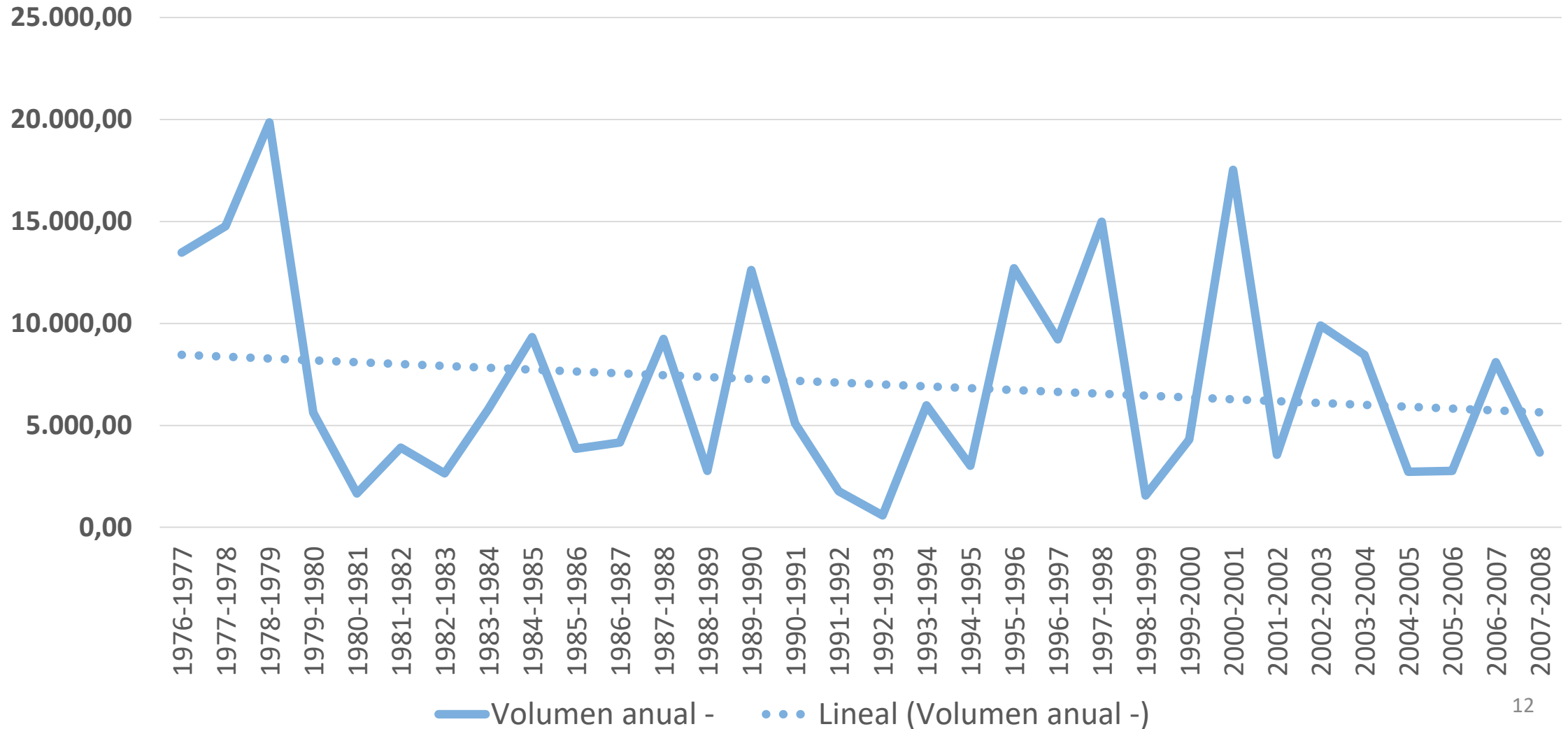
Las salidas anuales del río Tajo desde Cedillo han oscilado entre 20.000 y 500 hm<sup>3</sup>





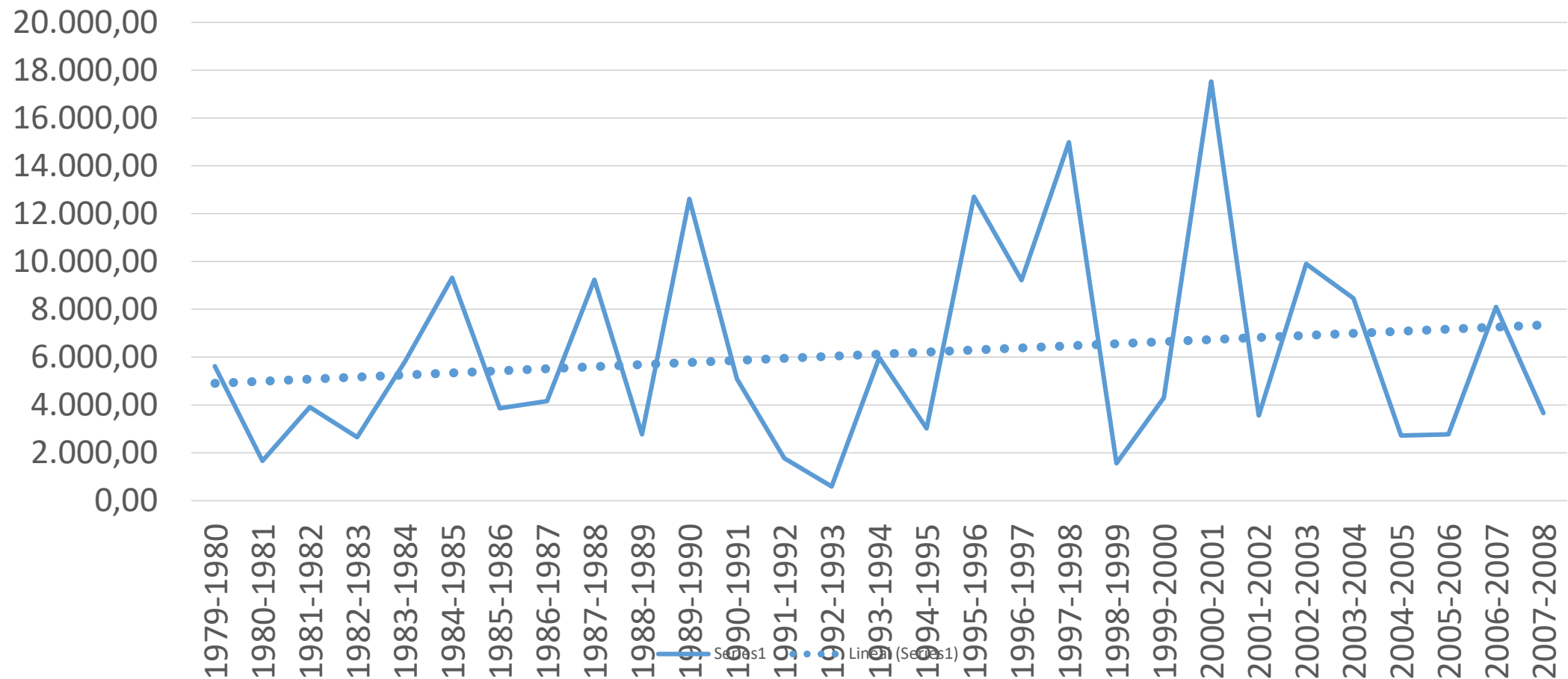
# Cómo es la irregularidad interanual de nuestros ríos

Volumen anual entradas en Cedillo desde el inicio de la explotación del embalse en 1976



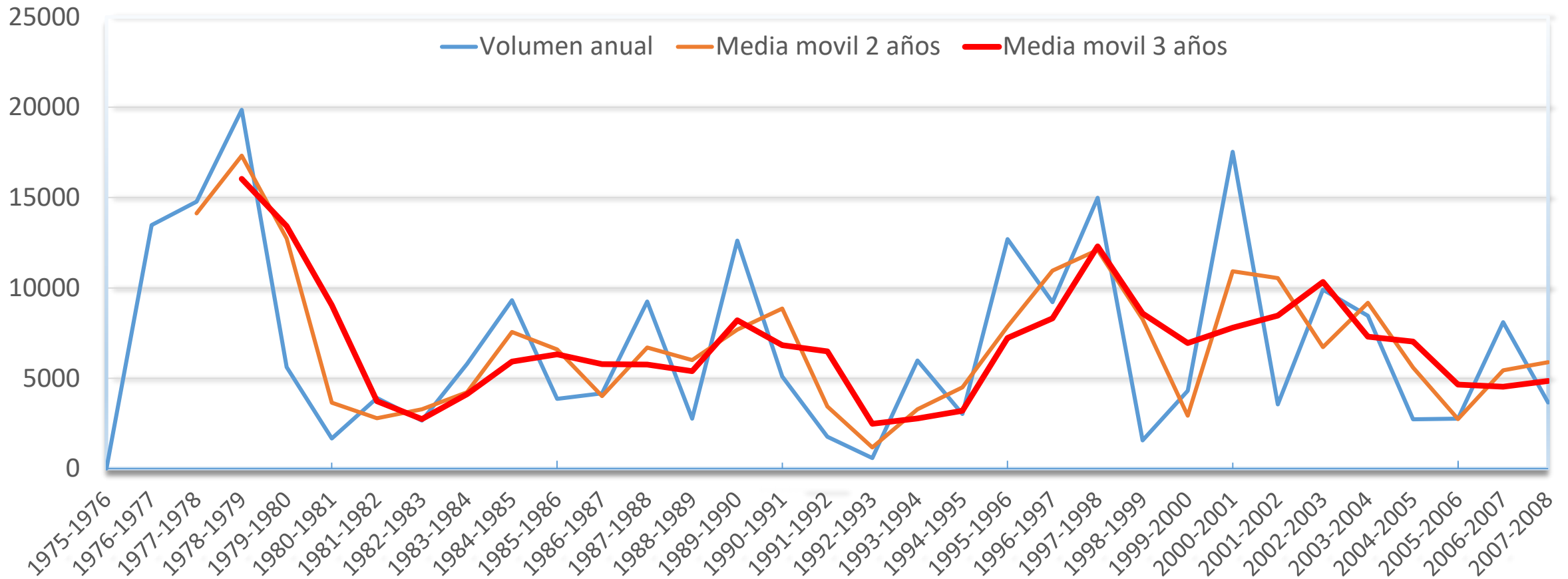
# Cómo es la irregularidad interanual de nuestros ríos

Volumen anual entradas en Cedillo desde 1979/80 desde el inicio de la explotación del ATS en el año 1980



# Cómo es la irregularidad interanual de nuestros ríos

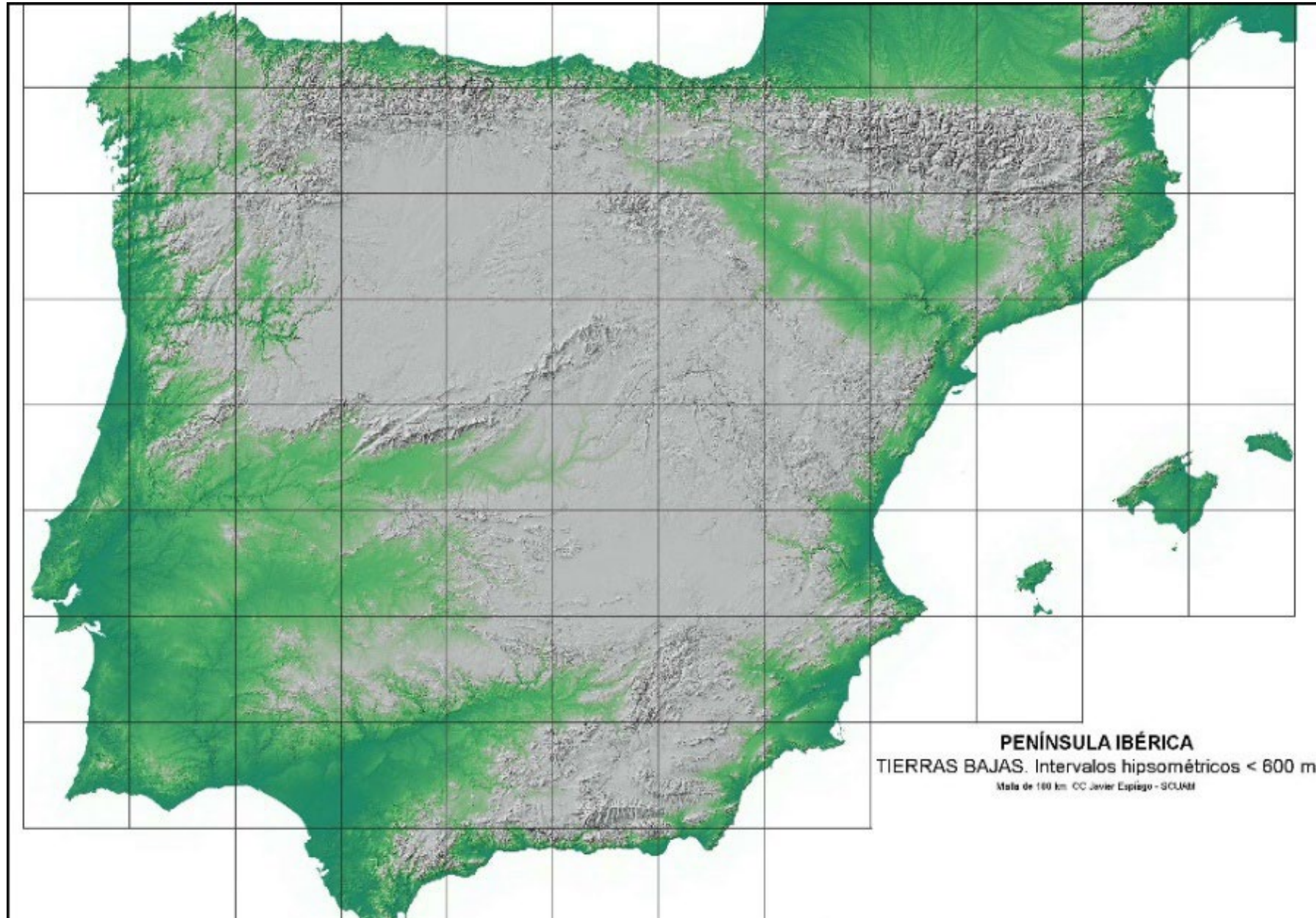
Entradas en Cedillo en hm<sup>3</sup>



# Cómo es la irregularidad interanual de nuestros ríos

PRINCIPALES CICLOS SECOS EN LA CUENCA		
Período	Duración (años)	Ap. media (hm <sup>3</sup> )
1.943/44 – 1.944/45	2	3.594
1.947/48 – 1.949/50	3	7.138
1.952/53 – 1.954/55	3	9.026
1.973/74 – 1.975/76	3	7.450
1.979/80 – 1.982/83	4	<b>6.304</b>
1.990/91 – 1.994/95	<b>5</b>	<b>6.403</b>
1.998/99 – 1.999/00	2	<b>6.292</b>

# LOS OBSTÁCULOS DEL TERRITORIO: EL RELIEVE

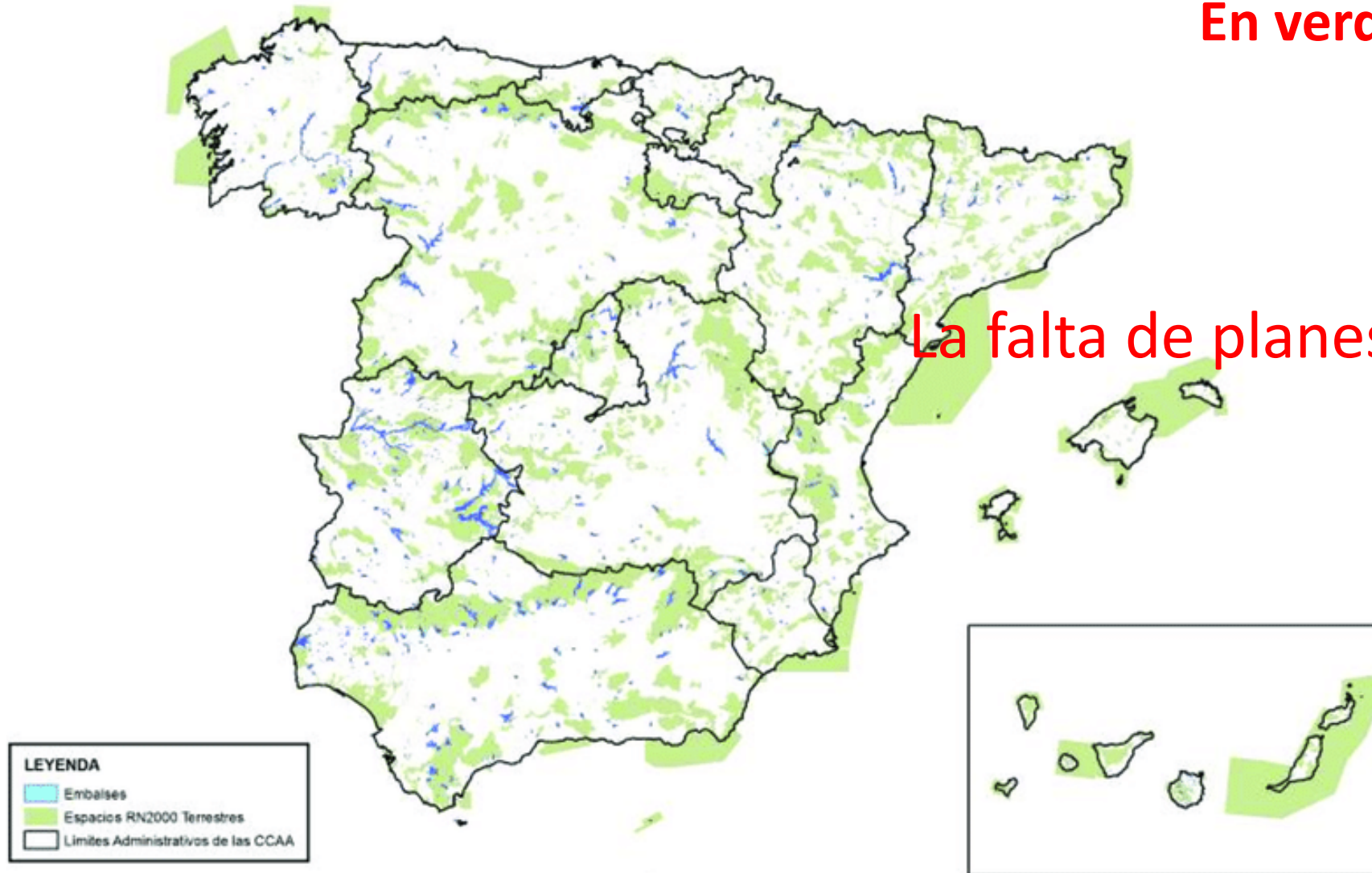


**LA ALTITUD En verde terrenos más bajos de 600 m**



# Obstáculos para las conexiones de sistemas de explotación

MAPA DE EMBALSES Y DE ESPACIOS RED NATURA 2000 DE ESPAÑA



En verde la RED NATURA 2000:

Las zonas protegidas  
Las DIAs

La falta de planes de obras hidráulicas

# Obstáculos para las conexiones ¿LA CALIDAD?

Calidad natural y Calidad después de los usos del agua

## Río Tajo en Aranjuez

1942	Sin regular la Cabecera
1972	Regulado con Entrepeñas y Buendía
2002	Con ATS

Framacia Tesis doctoral de Sara Borrell 1942

Trabajo Carlos Roquero 1972/1973

C. H. Tajo

Año	Variable	Media	Máximo	Minimo
1942	Cloruros	75	188	18
1942	Conductividad	1014	1600	645
1972	Cloruros	70	117	41
1972	Conductividad	1276	1680	1100
2002	Cloruros	207	295	139
2002	Conductividad	2057	2914	1560

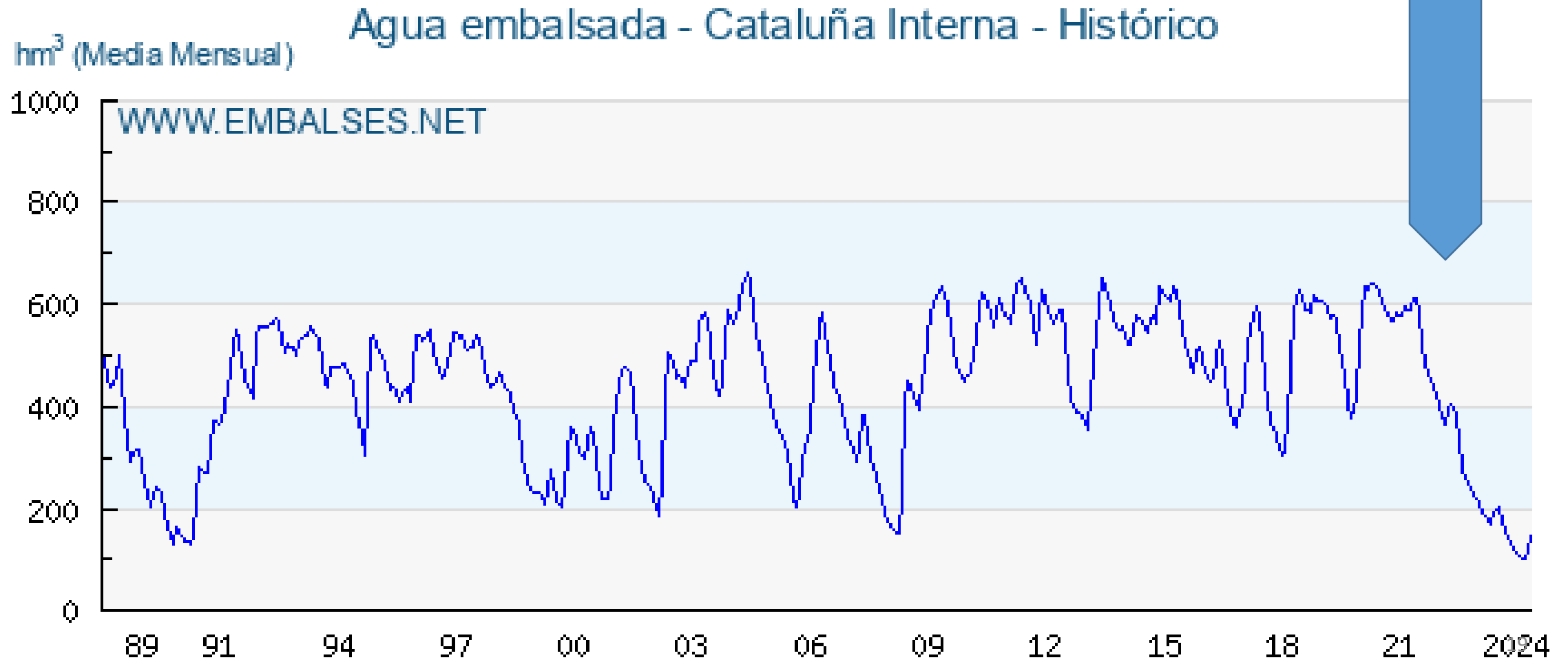
LA CALIDAD PUEDE LIMITAR EL ORIGEN DEL AGUA 18



# OTRO TIPO DE OBSTACULOS

## El efecto de los caudales ecológicos

Ver el efecto de los caudales ecológicos en las cuencas internas de Cataluña



## OBSTÁCULOS REALES PARA LAS CONEXIONES:

### EL COSTE ENERGÉTICO Y EL DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

Pérdidas de carga en el transporte del agua por tubería  
Aumentan con la velocidad y se reducen cuando aumenta el diámetro

Pérdida de carga en metros en **100 km** de tubería en función de la velocidad del agua

hm<sup>3</sup>/año transportables en función de la velocidad del agua y el diámetro tubería

Diámetro en metros	V=1 m/s	V=2 m/s	V=3 m/s	hm <sup>3</sup> /año	hm <sup>3</sup> /año	hm <sup>3</sup> /año
				V=1 m/s	V=2 m/s	V=3 m/s
<b>1</b>	107,31	429,23	965,77	24,77	49,54	74,30
<b>1,5</b>	62,49	249,98	562,45	55,73	111,45	167,18
<b>2</b>	42,59	170,34	383,27	<b>99,07</b>	198,14	297,21
<b>3</b>	24,80	99,20	223,21	<b>222,91</b>	445,82	668,72
<b>3,5</b>	20,19	80,77	181,74	<b>303,40</b>	606,81	910,21
<b>4</b>	16,9	67,6	152,1	396,28	792,56	1188,84

Por encima de 100 hm<sup>3</sup>/año hay que recurrir a grandes diámetros o a emplear largos tramos en canal con pendientes por debajo del uno por diez mil

# **LAS INFRAESTRUCTURAS NECESARIAS: EMBALSES Y CONDUCCIONES**

- LAS CONSTRUIDAS
- A CONSTRUIR
- A MODIFICAR PARA ADAPTAR A LAS NUEVAS NECESIDADES



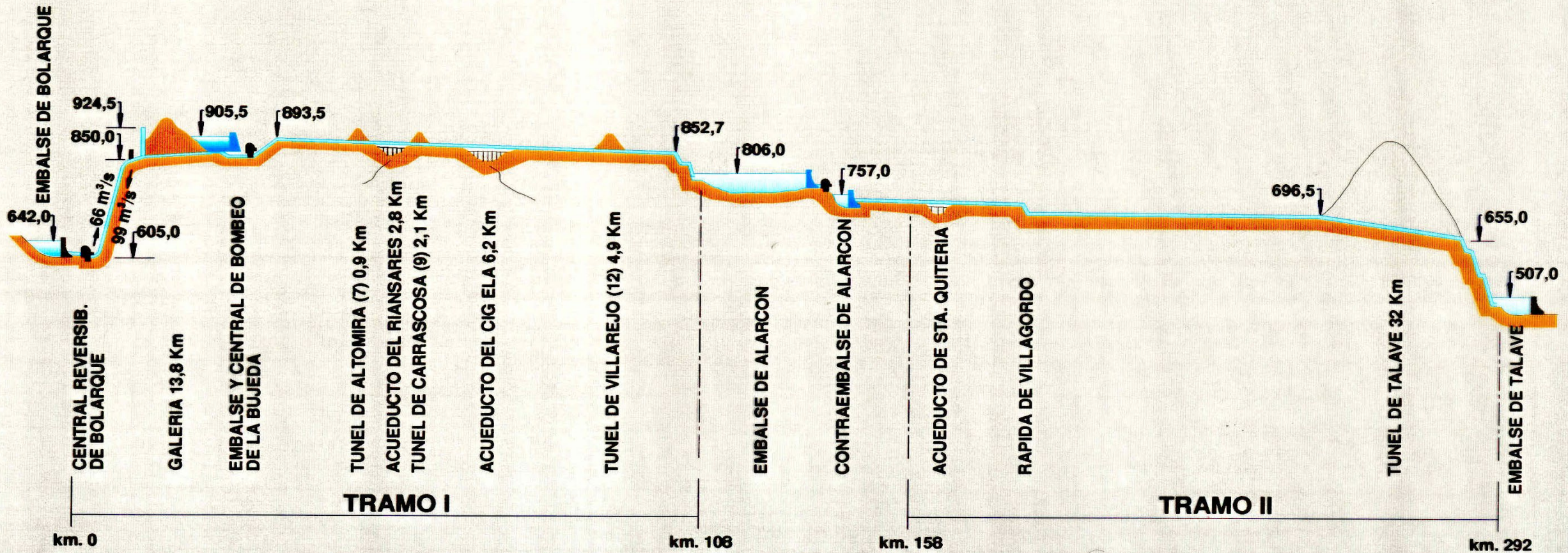






# LAS INFRAESTRUCTURAS CONSTRUIDAS: HAY QUE APRENDER DE ELLAS

**PLANTA GENERAL Y PERFIL  
PLAN GENERALE ET PROFIL LONGITUDINEL  
FLOOR PLAN AND PROFILE**

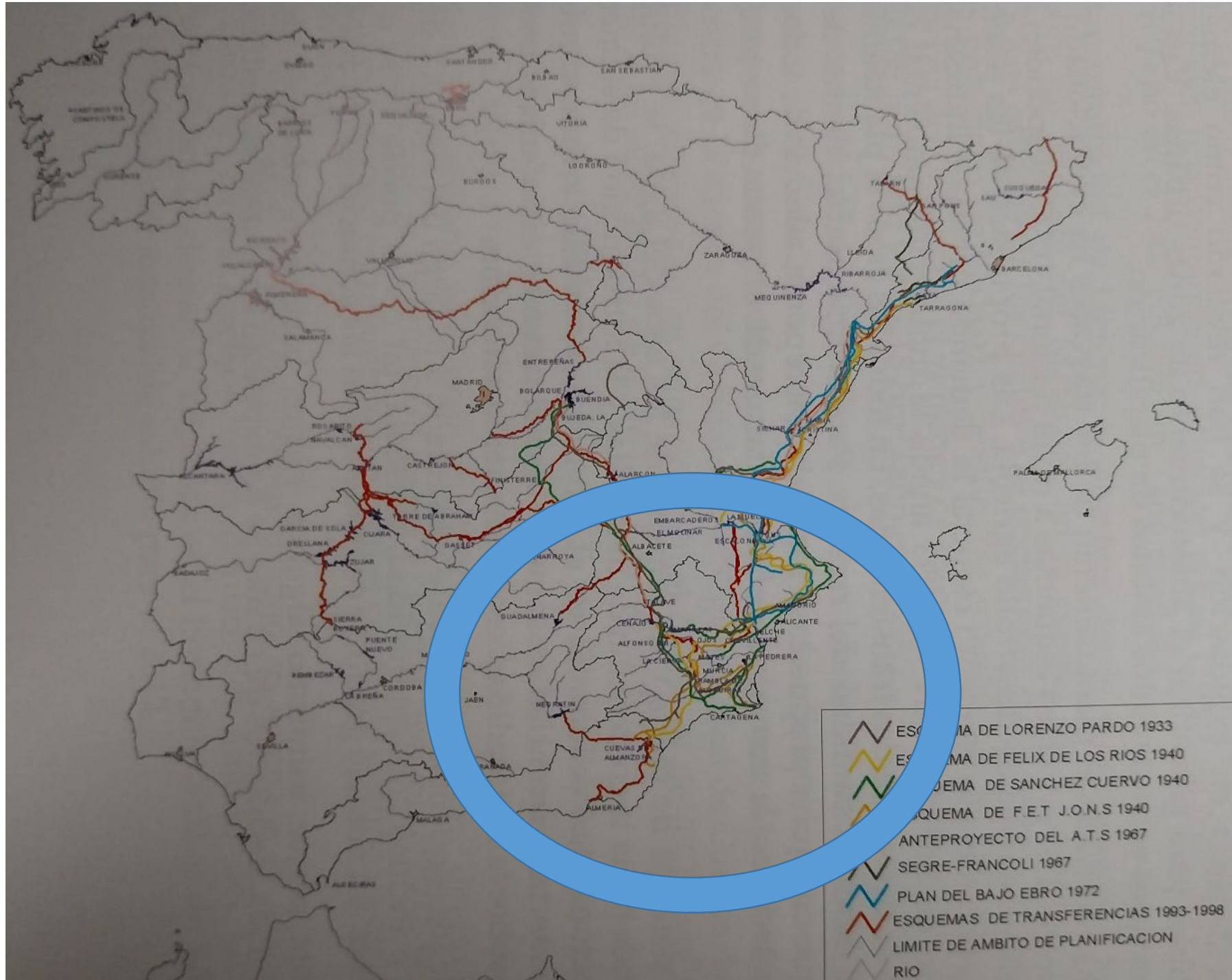




## DESTINO DE LAS AGUAS

### Esquemas de trasvases

- Lorenzo Pardo 1933
- Peña 1940
- Ap. Conjunto ATS 1967
- Segre-Francoli 1967
- Plan Bajo Ebro 1972
- PHN 1993
- PHN 2000





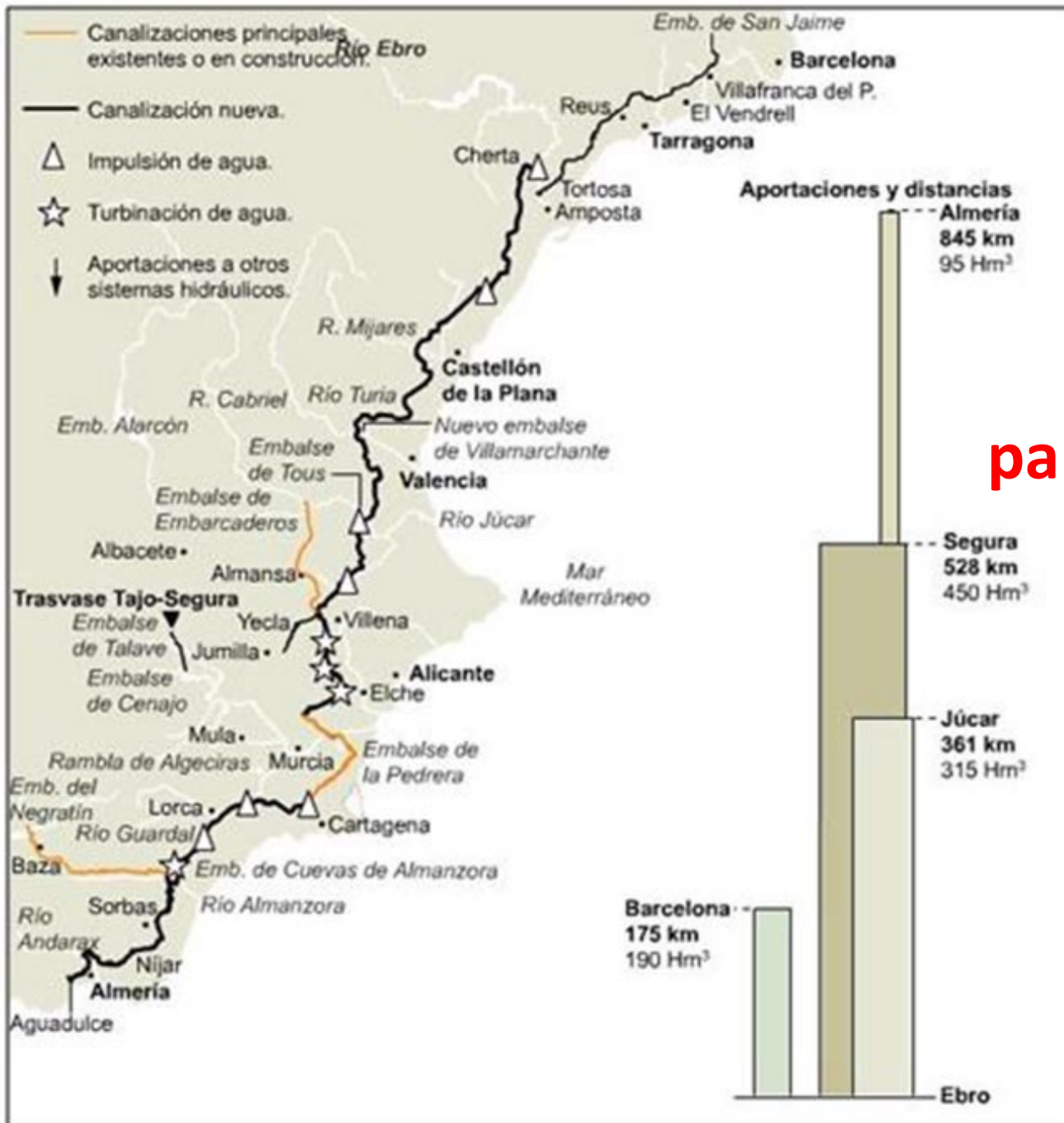
PLAN  
 1993  
 ¿ ?





Propuestas de  
trasvase  
posteriores al  
Anteproyecto de  
ley de PHN 1993





**EL TRASVASE DEL EBRO 2001**  
**Pendiente de construir**  
**Debería replantearse**  
**para tener en cuenta lo hecho**



Ríos vertiente norte  
 Final del Duero y Tormes  
 Final Tajo  
 Final Guadiana  
 Odiel y Tinto  
 Ebro agua abajo  
 Mequinenza  
 Genil  
 Guadalfeo

O C É A N O A T L A N T I C O



**¿DÓNDE HAY ACTUALMENTE EXCEDENTES APROVECHABLES?**

## MAPA DE EMBALSES Y DE ESPACIOS RED NATURA 2000 DE ESPAÑA

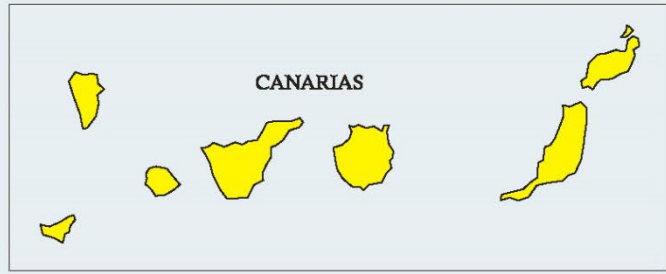
Los círculos marcan grupos de embalses donde hay que actuar prioritariamente  
**Y EXPLOTAR CONJUNTAMENTE**





- Duero-Tajo (Alagón)
- Tajo-Guadiana (Cijara)
- Guadiana(Cijara)-La Mancha
- La Mancha-Alarcón
- Guadiana-Guadalquivir
- Ebro-Cataluña
- Ebro-Levante (Júcar-Segura)
- Ebro-Tajo (212 km)
- Tajo-Sureste

OCÉANO ATLÁNTICO



**LOS CAMINOS DEL AGUA**

## Caso de interés a estudiar (aprovechamiento del Duero-Tormes)

Volumen de embalse Santa Teresa (cota 881)	496 hm <sup>3</sup>
Aportaciones medias en Santa Teresa	732 hm <sup>3</sup>
Cota del embalse a Nivel Máximo Normal	885,70

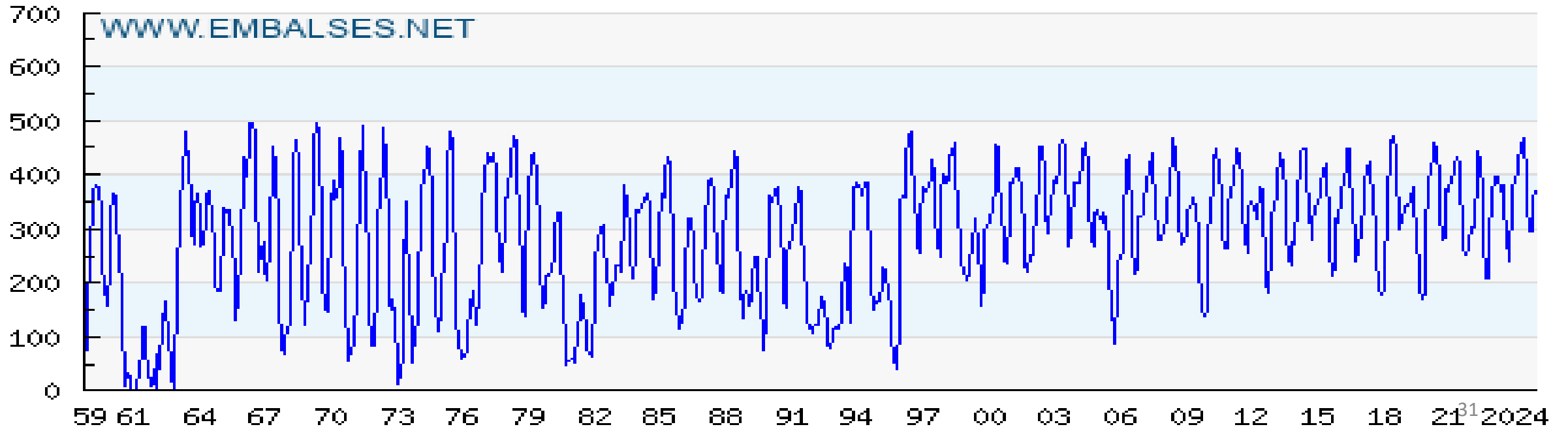
Conexión Río Tormes en el Duero con el río Alagón en el Tajo.

Desde Santa Teresa (cota 880) a Gabriel y Galán (cota 380) hay 40 Km

Desnivel entre E. Santa Teresa y Gabriel y Galán 500 m.

Embalse - Santa Teresa - Histórico

hm<sup>3</sup> (Media Mensual)



# APROVECHAMIENTOS A TRANSFORMAR PARA TRATAR CONJUNTAMENTE COMPLEMENTANDO LOS OBJETIVOS HIDRÁULICOS Y ENERGÉTICOS

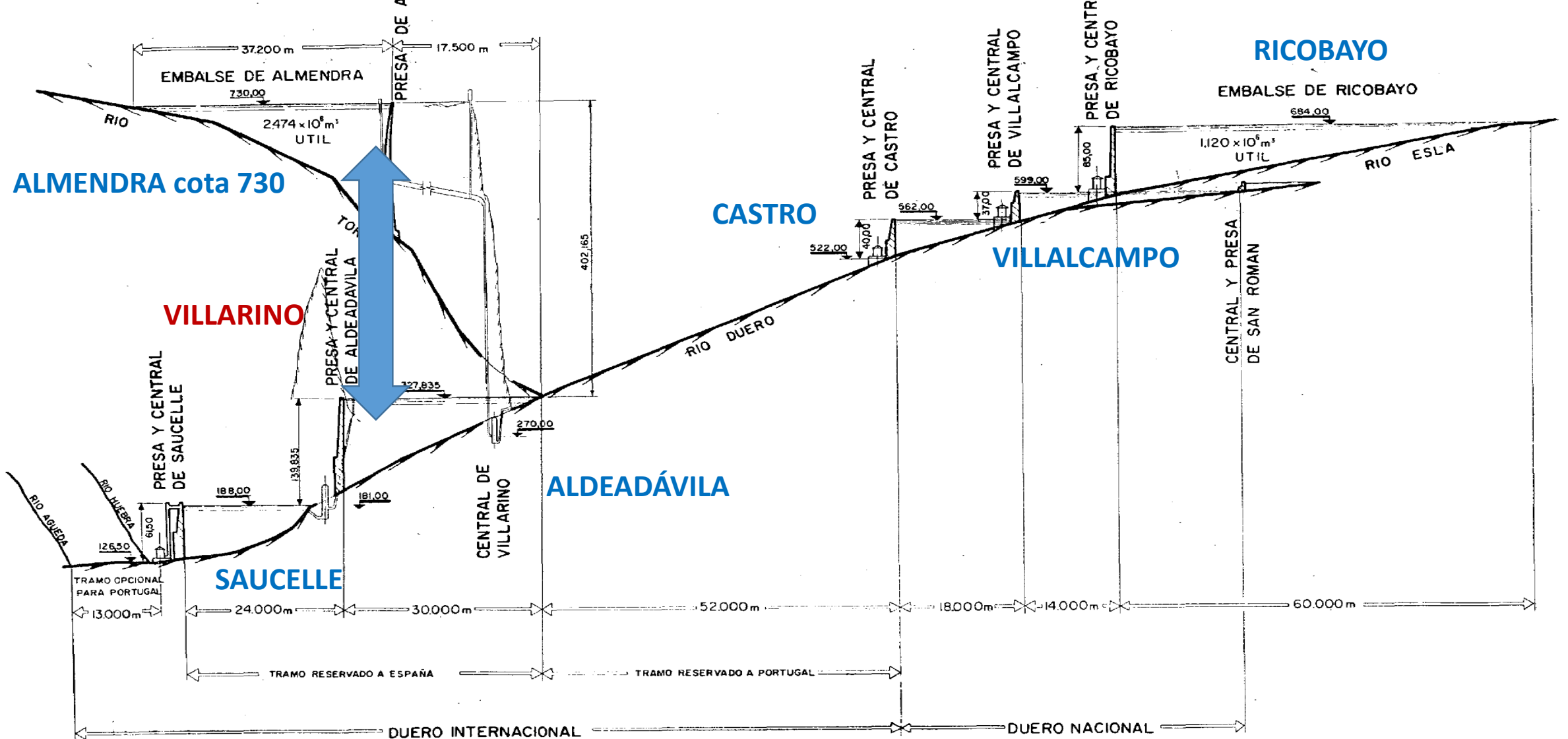


Fig. 3.<sup>a</sup> — Perfi' longitudinal del sistema hidroeléctrico del Duero Inferior.

(Longitudinal profile of the hydroelectric system of the lower Duero.)



# Aldeadávila





# CAMINOS DEL AGUA A CONSTRUIR PARA CONECTAR LAS CUENCAS

Los puntos desde donde derivar el agua, por ser más convenientes, serían:

**3.-Tajo:** (MÁS DE 4.300 hm<sup>3</sup>)

**Tajo –Guadiana:** Desde Azután (cota 354) –Presas del río Huso – Presa de Cijara. Distancia 45 km y desnivel 75 m (senda verde de la Jara (río Huso))

- En el Tajo hay que hacer reversibles las centrales de Azután, Valdecañas (cota 315), Torrejón Tajo (cota 243,50) , Alcántara (cota 212) y Cedillo (cota 115) (Suman un volumen de embalse de 5.157 hm<sup>3</sup> y hay una longitud de embalse de 250 km.)

**Guadiana** De Cijara a **Alarcón (Júcar)** hay 210 km

- Cijara (cota **427,50**), García-Sola (cota **352,26**), Orellana (Cota 318) (Longitud de embalse = 80 km)
- Zújar: Zújar (cota 318) y La Serena (cota **352** y **3.222 hm<sup>3</sup>**) (longitud embalse = 60 km)

Los embalses de Orellana (Guadiana) y del Zújar (río Zújar) están unidos con túnel **4,6 km**

**Guadiana-Guadalquivir** (Desde la Serena y agua abajo de Alqueva) (distintas alternativas)



# Conexión Santa Teresa - Gabriel y Galán



## Duero-Tajo.

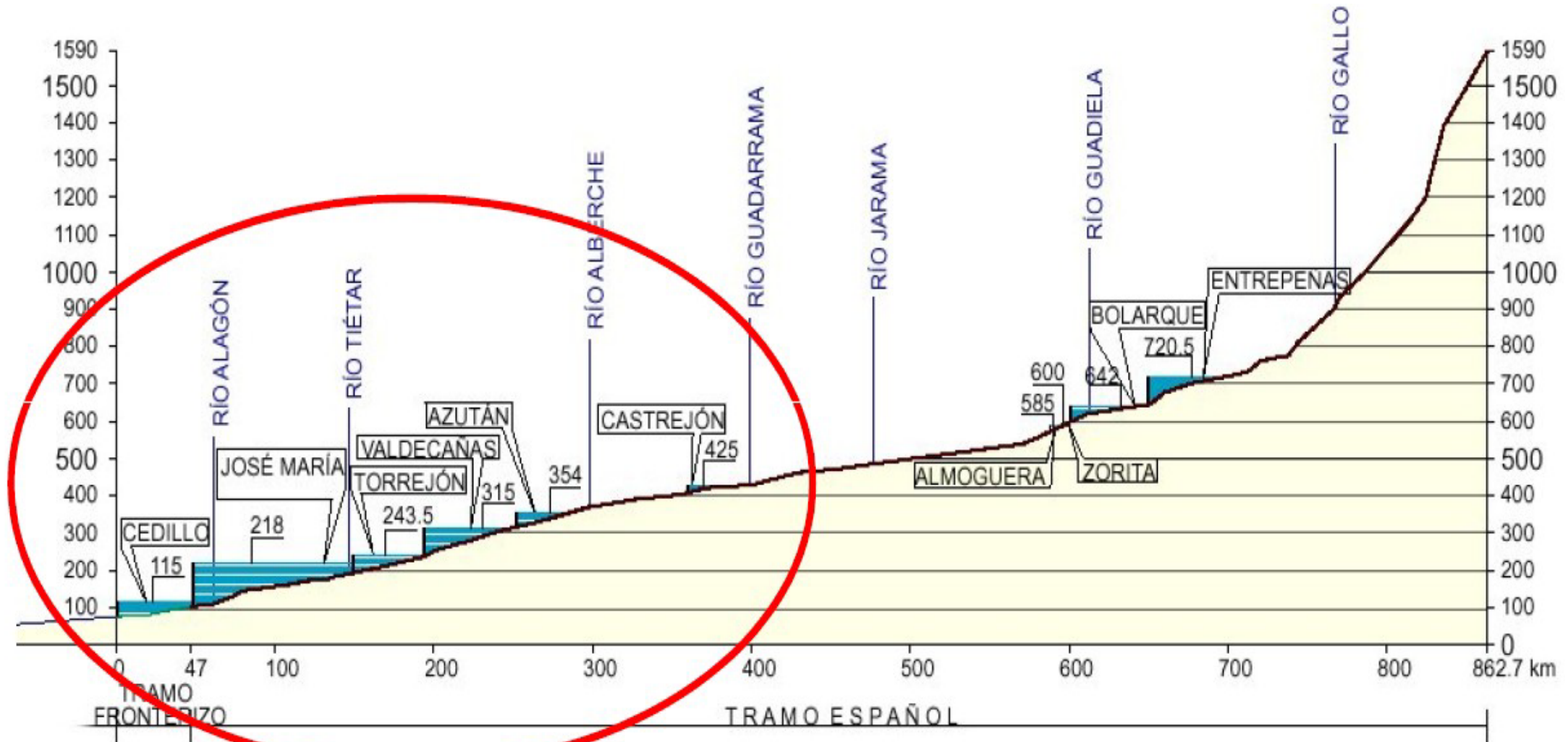
Desde Santa Teresa (cota 883) a Gabriel y Galán (cota 380) hay **40 Km y 500 m de desnivel.**

El cauce a la cota 883 en el Alagón está 18 km de Santa Teresa y a 23 km de la cola de Gabriel y Galán



# APROVECHAMIENTOS A TRANSFORMAR PARA TRATAR CONJUNTAMENTE COMPLEMENTANDO LOS OBJETIVOS HIDRÁULICOS Y ENERGÉTICOS

Cadena de embalses durante casi 300 kms con 5.145 hm<sup>3</sup> capacidad conjunta en el Bajo Tajo

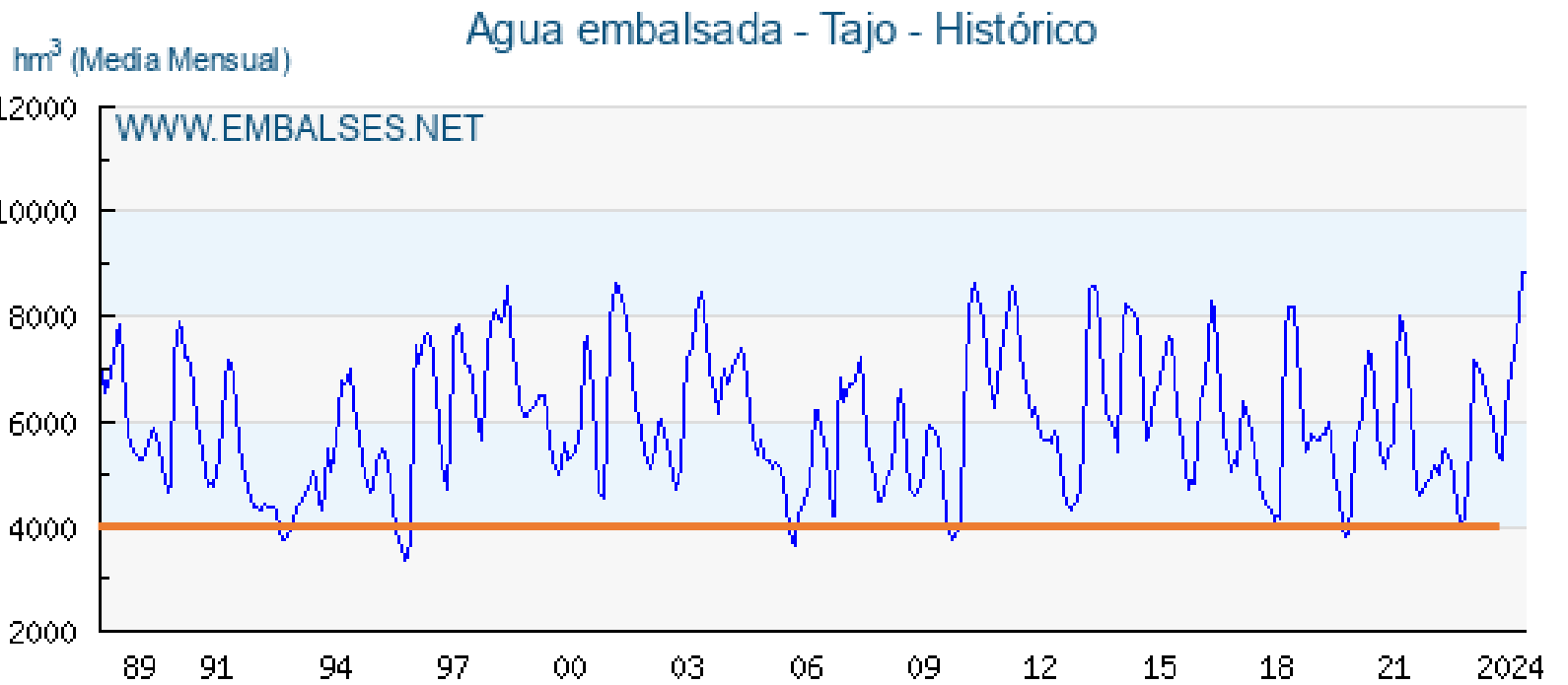




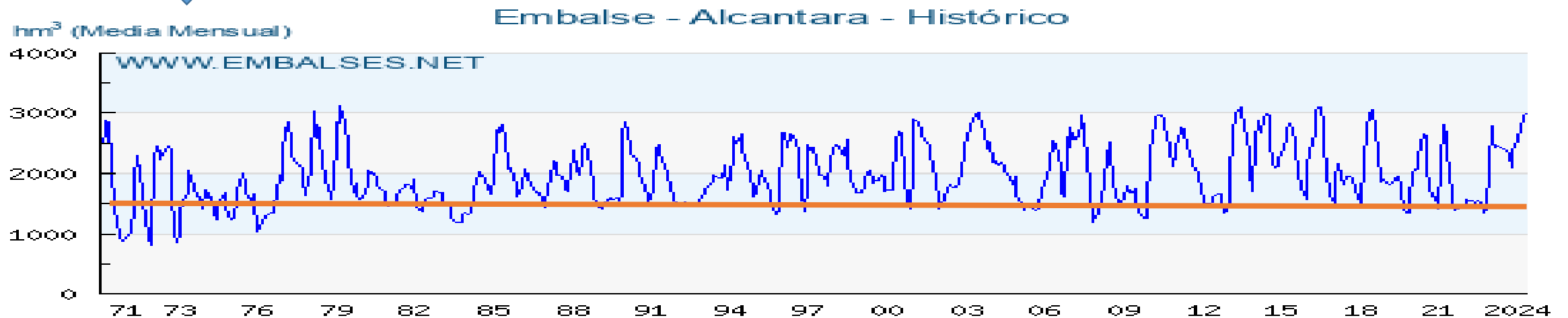




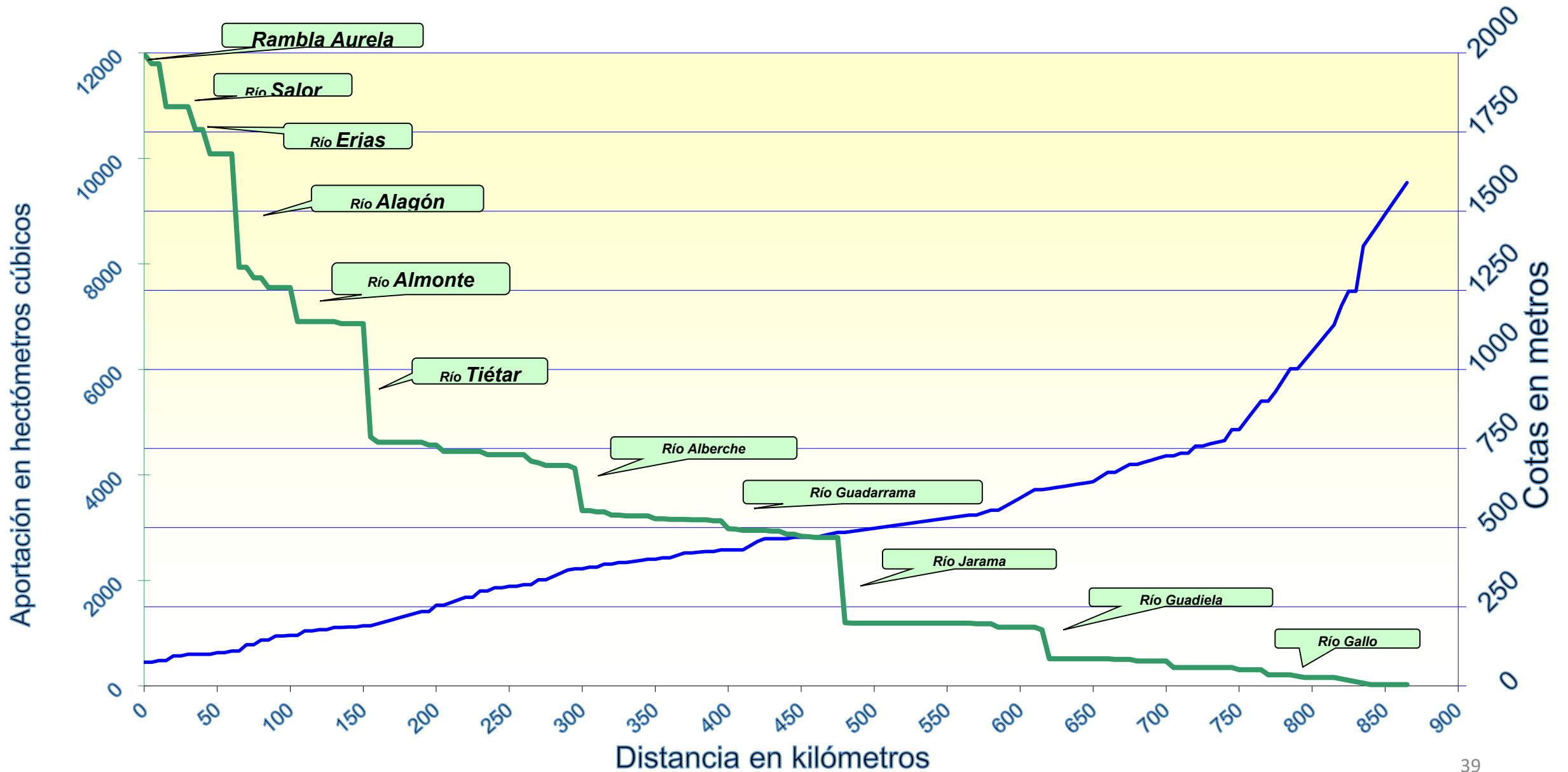
Toda la cuenca del Tajo  
Sin reversibles  $V > 4.000 \text{ hm}^3$



Embalse de Alcántara  
 $V > 1.500 \text{ hm}^3$



# Perfil del cauce principal del río Tajo, sus cotas y sus aportaciones acumuladas





1.900 MW instalados y 5.157 hm<sup>3</sup> de volumen de embalse

Perfil del tramo final del Tajo



ESTE GRUPO DE EMBALSES HAY QUE EXPLOTARLOS CONJUNTAMENTE SOLTANDO DE CEDILLO ESTRICTAMENTE EL CAUDAL ECOLÓGICO DE ALBUFEIRA

# CUENCA DEL TAJO

	Aportaciones Embalse de Cedillo modelo Simpa Serie 1940/2018	Salidas del embalse de Cedillo medidas 1976/2010	CONSUMO Diferencia periodo 1976/2010
Ap media/mes	744,81	586,03	
Ap media/año	<b>8.937</b>	<b>7.032</b>	<b>1.905</b>
Qmedio m <sup>3</sup> /s	283,41	222,99	

AGUA CONSUMIDA BALANCE= CONSUMO (1.643 hm<sup>3</sup>)+ TRASVASE (428 hm<sup>3</sup>) = **2.071 hm<sup>3</sup>**

SALIDA A PORTUGAL ENTRE **7.000 Y 10.000 hm<sup>3</sup>**

**COMPROMETIDO CONVENIO ALBUFEIRA 2.700 hm<sup>3</sup>**

**APROVECHABLE > 4.300 hm<sup>3</sup>**

**¿Dónde?**

# CAMINOS DEL AGUA A CONSTRUIR PARA CONECTAR LAS CUENCAS

Los puntos desde donde derivar el agua, por ser más convenientes, serían:

## 1.-Ebro: (MÁS DE 8.000 hm<sup>3</sup>)

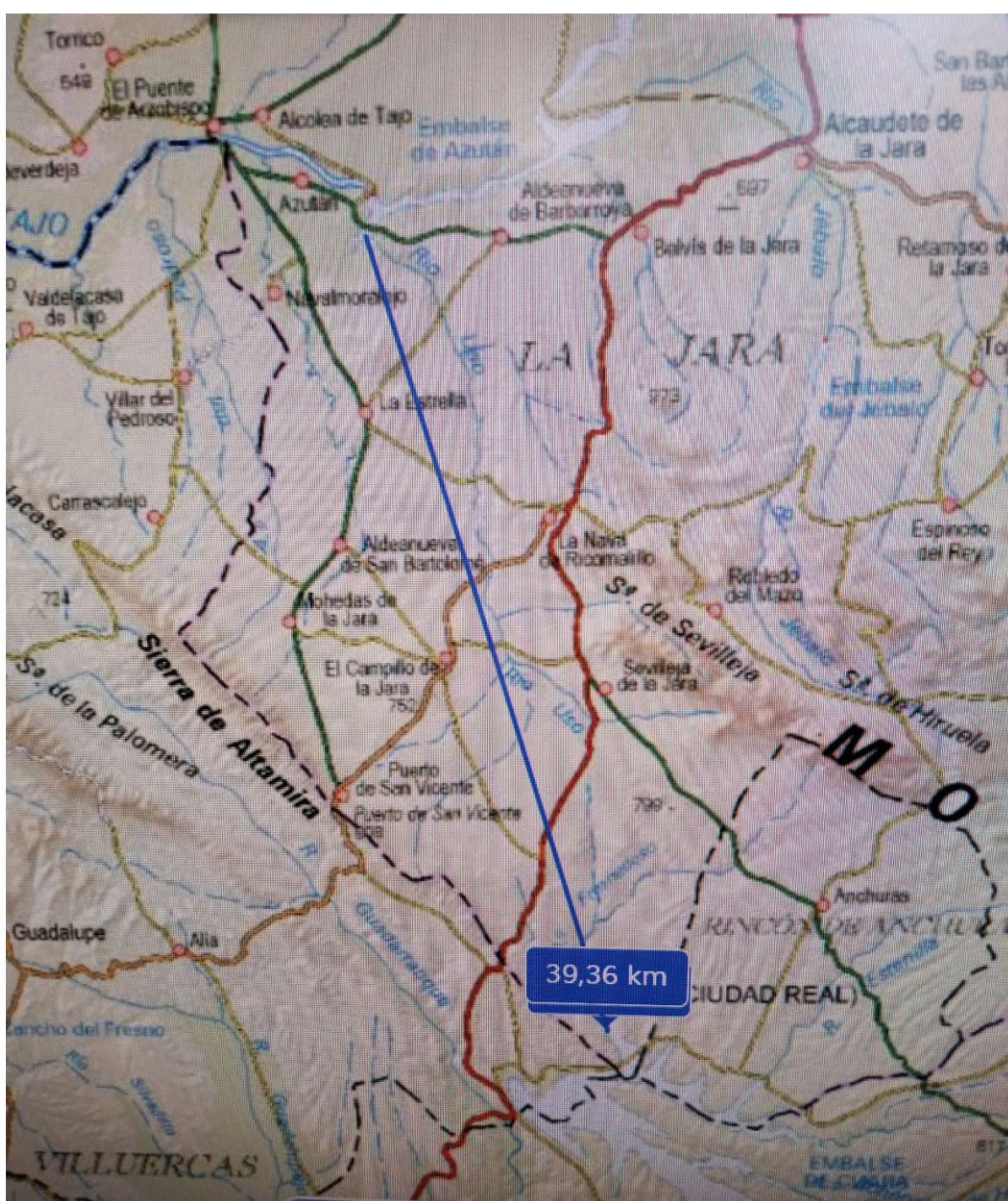
- En el Ebro desde Mequinenza hasta la desembocadura haciendo reversible el salto de Ribarroja para contar con las aportaciones del Segre (Balsa a la cota 450).
- Desde la desembocadura se puede reproducir el trasvase del Ebro del Plan 2001 y
- Desde Mequinenza (cota 121) se puede llevar a la Cabecera del Tajo (150 km).

## 2.-Duero: (MÁS DE 7.000 hm<sup>3</sup>)

- En el Duero desde Villarino (cota 395) a Almendra (cota 730) y desde Almendra a Santa Teresa (cota 883) (Recoge las aportaciones del Esla, Duero y Tormes)
- Duero-Tajo. Desde Santa Teresa (cota 883) a Gabriel y Galán (cota 380) hay 40 Km y 500 m de salto (SIMILAR A SOLTAR EL AGUA POR SAUCELLE).

3.-Tajo: (MÁS DE 4.300 hm<sup>3</sup>) Desde Azután (cota 354) –Presa del río Huso – Presa de Cijara en el Guadiana





## CONEXIÓN AZUTAN –CIJARA

DISTANCIA AZUTAN-CIJARA 40 KM

AZUTAN (Cota 354)

CIJARA (cota **427,50**)

Desnivel 73,5

Camino: cuenca del río HUSO

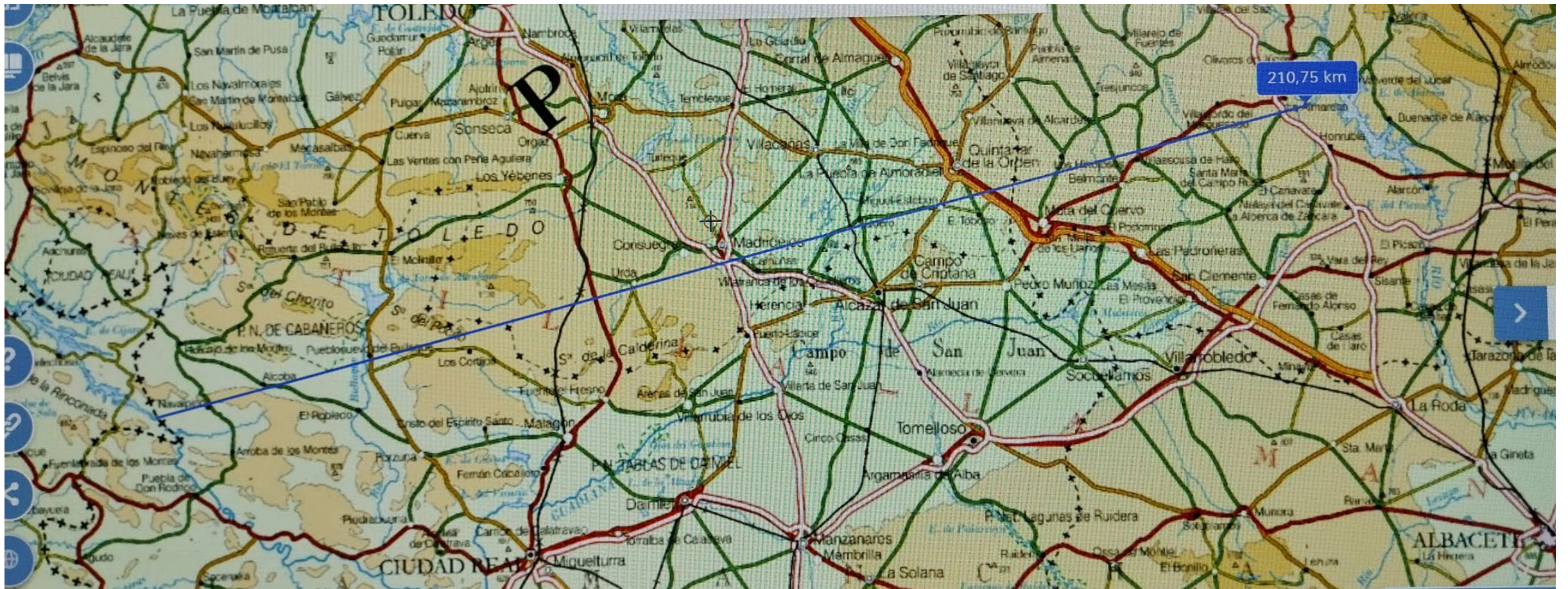
Haría falta construir un embalse

Aprovechar la vía verde de La Jara

con una longitud superior a 40 km

con túneles incluidos





CONEXIÓN CIJARA–ALARCON DISTANCIA 210 KM

CIJARA (cota **427,50**)

ALARCÓN (Cota 787)

DESNIVEL 360 m

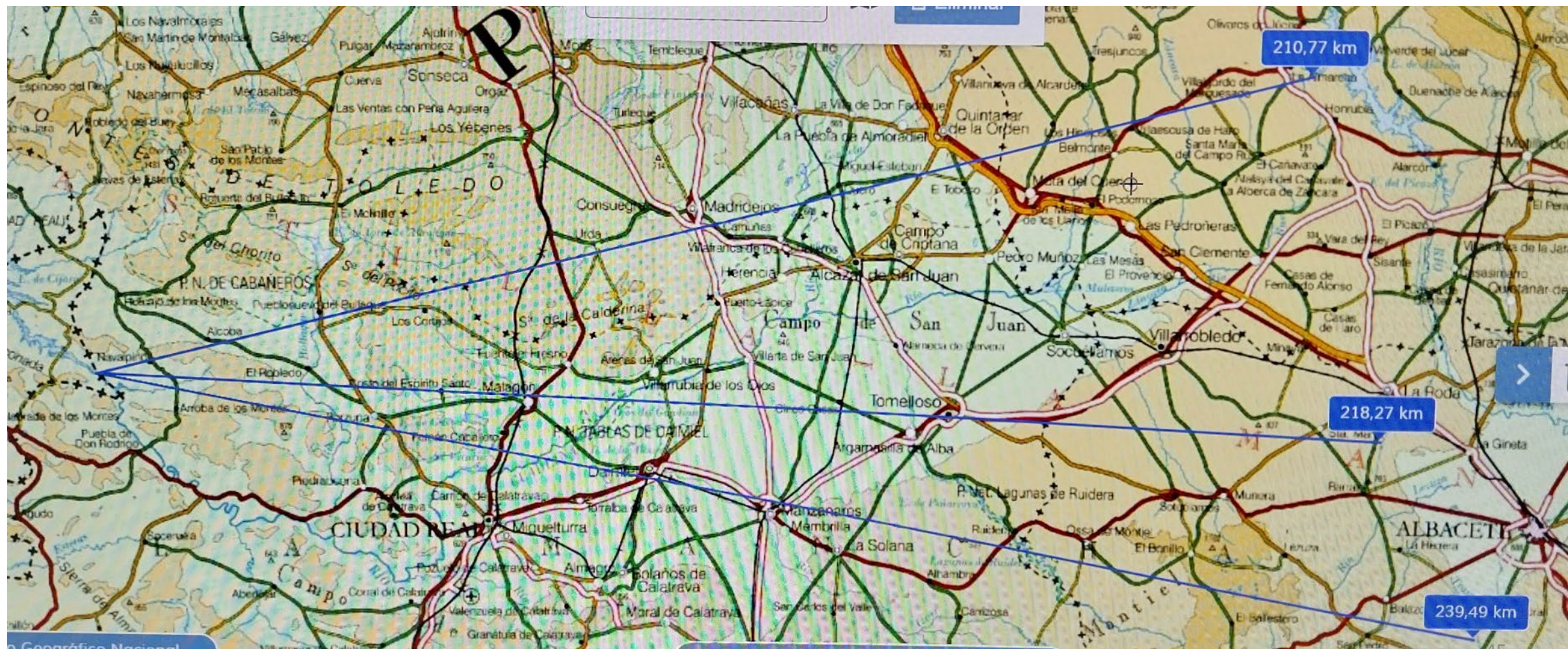


## Distancias desde Cijara cota 422:

Alarcón cota 787 210,77 km

Canal ATS La Roda cota 712 218,27 km

Canal ATS Inicio túnel Talave 707 239,48 km





# ¿CÓMO?

## REFORZANDO LOS SISTEMAS:

Por ejemplo:

conectar embalses que están a la misma o parecida cota para explotarlos conjuntamente



Río	Jarama	Sorbe	Bornova	Cañamares
Embalse	El Vado	Azud del Pozo de los Ramos(recrecer)	Alcorlo	Pálmaces
Volumen	55	1,12	180	31
Cota	923	898	894	885
	8 km	13 km	6,6 km	



# GUADALQUIVIR



Río	Jándula	Rumblar	Guarrizas	Guadalén	Guadalimar	Total
Embalse	Jándula	Rumblar	La Fernandina	Guadalén	Giribaile	
Volumen	322	126	244	183	475	<b>1.070</b>
Cota	352	345	450	350	346	
Distancia km	<b>12</b>	<b>Km</b>	<b>14</b>	<b>Km</b>	<b>5</b>	<b>Km</b>

# HACE FALTA EL PHN

## ESTUDIAR LAS DIVERSAS ALTERNATIVAS TÉCNICAS DE LOS PROYECTOS:

1. CARACTERIZAR Y EVALUAR LOS TIPOS Y DEMANDAS DE AGUA (ABASTECIMIENTOS, REGADÍOS, ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA, LUCHA CONTRA INCENDIOS, INDUSTRIA, TURISMO, USOS RECREATIVOS)
2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN ORIENTADO A CONOCER LAS GARANTÍAS DE LAS DEMANDAS Y LAS POSIBILIDADES DE INTEGRACIÓN INTRA E INTERCUENCAS
3. HORIZONTES TEMPORALES PARA INTERCONECTAR SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN
4. HACER UN PLAN A LARGO PLAZO TENIENDO EN CUENTA LOS BENEFICIOS Y SACRIFICIOS QUE VAN A RECIBIR TODOS Y SUS COMPENSACIONES.
5. ESTUDIAR EL COSTE REAL DEL AGUA



Muchas gracias

