

OPERACIONES DE GESTIÓN Y USO EFICIENTE DEL AGUA

Jornada sobre

HIDROEFICIENCIA

26 de Junio de 2018



Fundación de
la Energía de
la Comunidad
de Madrid



Comunidad
de Madrid

Alfredo Iglesias López

Dr. Ingeniero de Minas

Dr. Académico Correspondiente
de la RADE

Profesor “Ad honorem
Universidad Politécnica
de Madrid. ETSIM

(aiglesias4722@gmail.com)

TEMAS A COMENTAR

- ✓ **El ciclo hidrológico y los problemas del uso del agua en España**
- ✓ **Las aportaciones**
- ✓ **La regulación**
- ✓ **La gestión**



USO CONJUNTO
(Utilización conjunta de
aguas superficiales y
Subterráneas)

eficiencia

nombre femenino

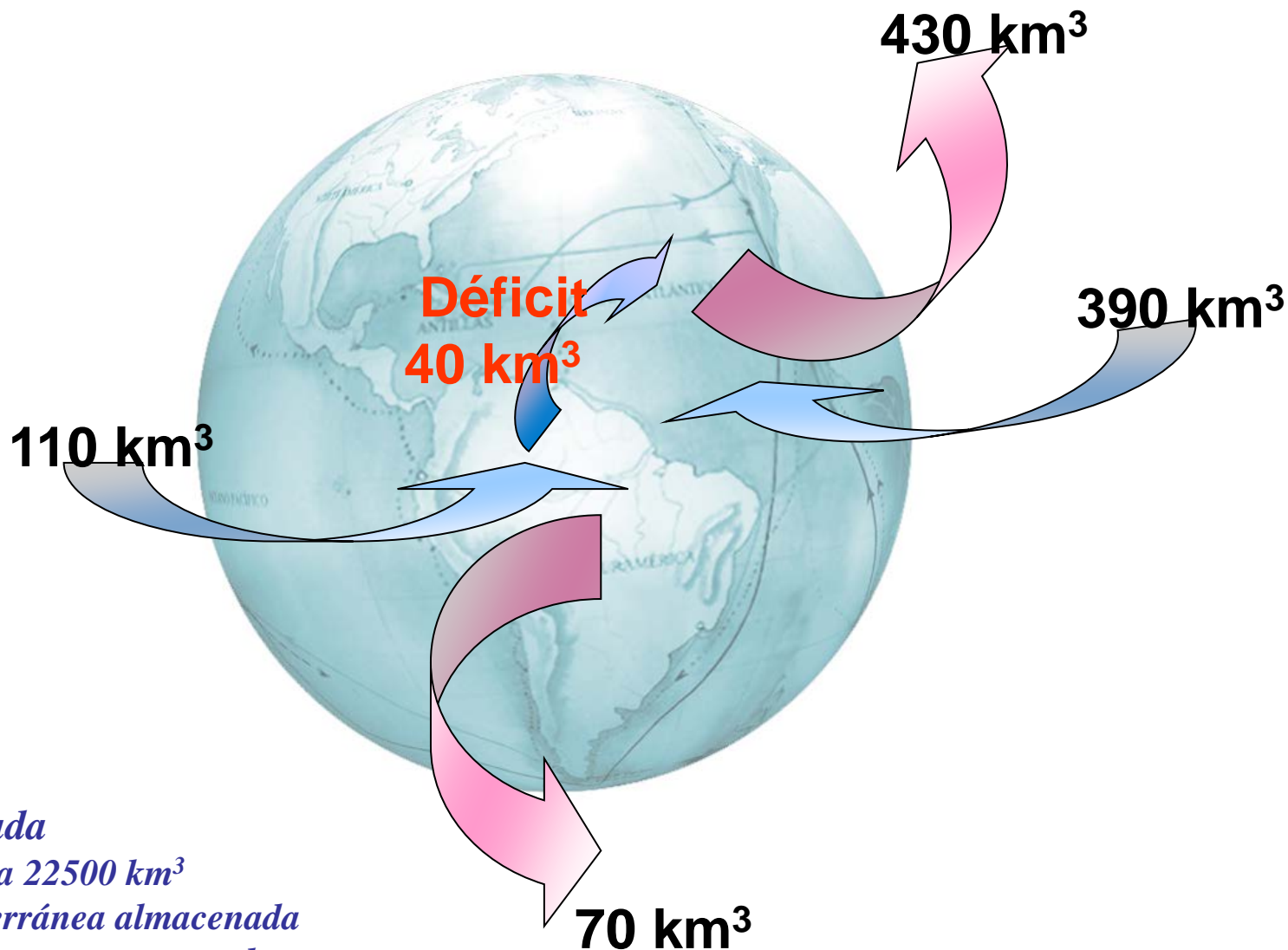
1. Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado.
(*Real Academia Española*)
2. Capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función.



hidroeficiencia

Capacidad para disponer y manejar los medios necesarios para cumplir adecuadamente con la satisfacción de las necesidades hídricas (en cantidad, calidad, espacio y tiempo).

BALANCE HÍDRICO DEL PLANETA



Parte habitada

La escorrentía 22500 km³

El agua subterránea almacenada en los 30 primeros metros es de 45.000 km³ (15 años de necesidades totales humanidad)

***Cifras en miles**



Escorrentía total 115 km³

Superficial 90 km³

Subterránea 25 km³

**Escorrentía media de los
meses de estío de 9 a 12 km³**

AGUA + REGULACIÓN

=

RIQUEZA

**FALTA DE AGUA O
FALTA DE REGULACIÓN**

=

POBREZA

PROBLEMAS DEL USO DEL AGUA EN ESPAÑA

EL CLIMA:

**Factor de desarrollo y
factor de agresión**

PRECIPITACIONES:

**Bajas y anárquicas en tiempo y
espacio**

ESTRUCTURA ECONÓMICA:

**Fuerte participación agrícola
y turística**

DOTACIONES DE LOS CULTIVOS:

Altas

ESCORRENTÍAS DE ESTÍO:

Bajas

EL DESARROLLO ECONÓMICO:

Rápido

EL PODER:

**Caos, freno, confusión
y “sobreexplotación”**

EJEMPLO TÍPICO

ESCORRENTÍA TOTAL

USOS TOTALES

CUENCA NORTE

39.000 hm³/año

930 hm³/año

CUENCA SEGURA

900 hm³/año

1.300 hm³/año

ALGUNAS COMPARACIONES

	MUNDO	ESPAÑA
SUPERFICIE CULTIVADA	4.000 M ha	21 M ha
SUPERFICIE REGABLE	1.000 M ha	5 M ha
SUPERFICIE REGADA	250 M ha (25%)	2.5 M ha (55%)

	FRANCIA	ESPAÑA
USOS TOTALES (1975)	15 km³	25 km³
USOS AGRÍCOLAS	5.2 km³	21.5 km³
ESCORRENTÍA TOTAL	180 Km³	110 km³
CAPACIDAD DE EMBALSE	7 km³	40 km³

✓ APORTACIÓN

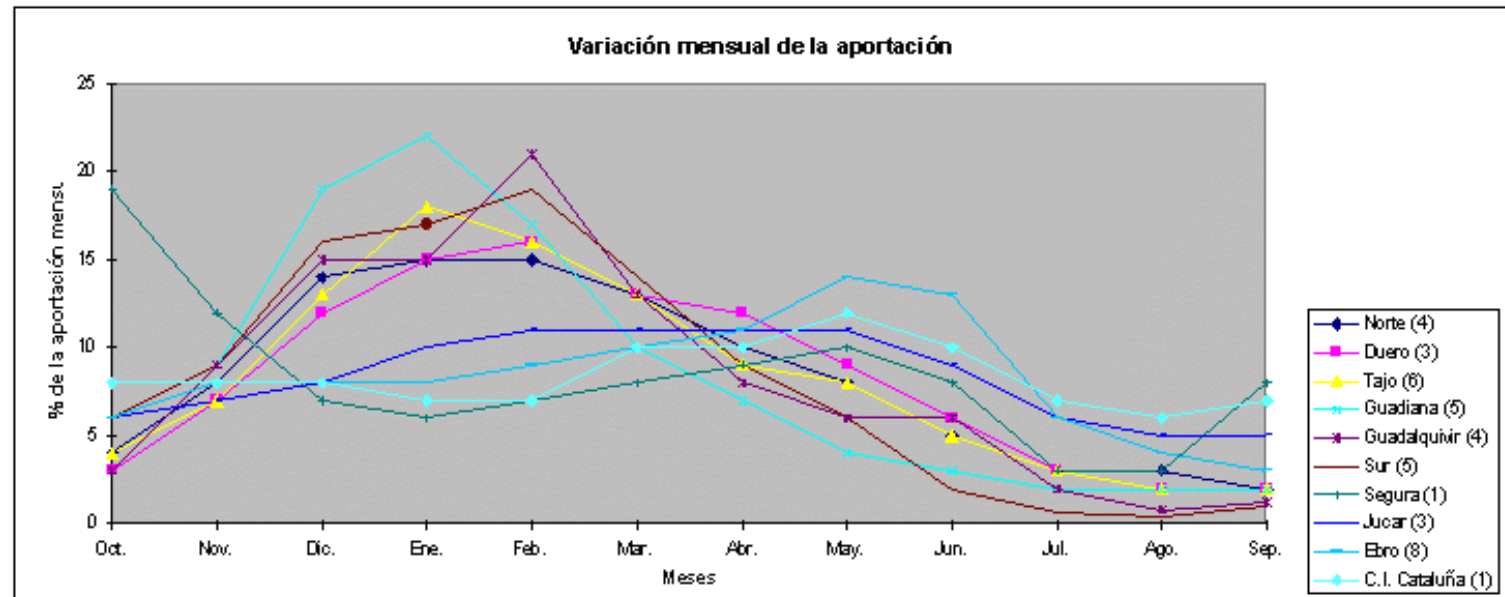
APORTACIÓN: Volumen total de agua contabilizable en un punto concreto de una cuenca, se denominará también APORTACIÓN TOTAL ò ESCORRENTÍA TOTAL. Es la suma de dos componentes APORTACIÓN SUPERFICIAL y APORTACIÓN SUBTERRÁNEA o bien ESCORENTÍA SUPERFICIAL y ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA.

DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA APORTACIÓN

Cuenca	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Cv (*)
Norte (4)	4	8	14	15	15	13	10	8	5	3	3	2	0.57
Duero (3)	3	7	12	15	16	13	12	9	6	3	2	2	0.6
Tajo (6)	4	7	13	18	16	13	9	8	5	3	2	2	0.64
Guadiana (5)	3	9	19	22	17	10	7	4	3	2	2	2	0.83
Guadalquivir (4)	3	9	15	15	21	13	8	6	6	2	0.8	1.2	0.75
Sur (5)	6	9	16	17	19	14	9	6	2	0.6	0.4	1	0.78
Segura (1)	19	12	7	6	7	8	9	10	8	3	3	8	0.49
Jucar (3)	6	7	8	10	11	11	11	11	9	6	5	5	0.28
Ebro (8)	6	8	8	8	9	10	11	14	13	6	4	3	0.38
C.I. Cataluña (1)	8	8	8	7	7	10	10	12	10	7	6	7	0.2

(3) Nº de ríos utilizados

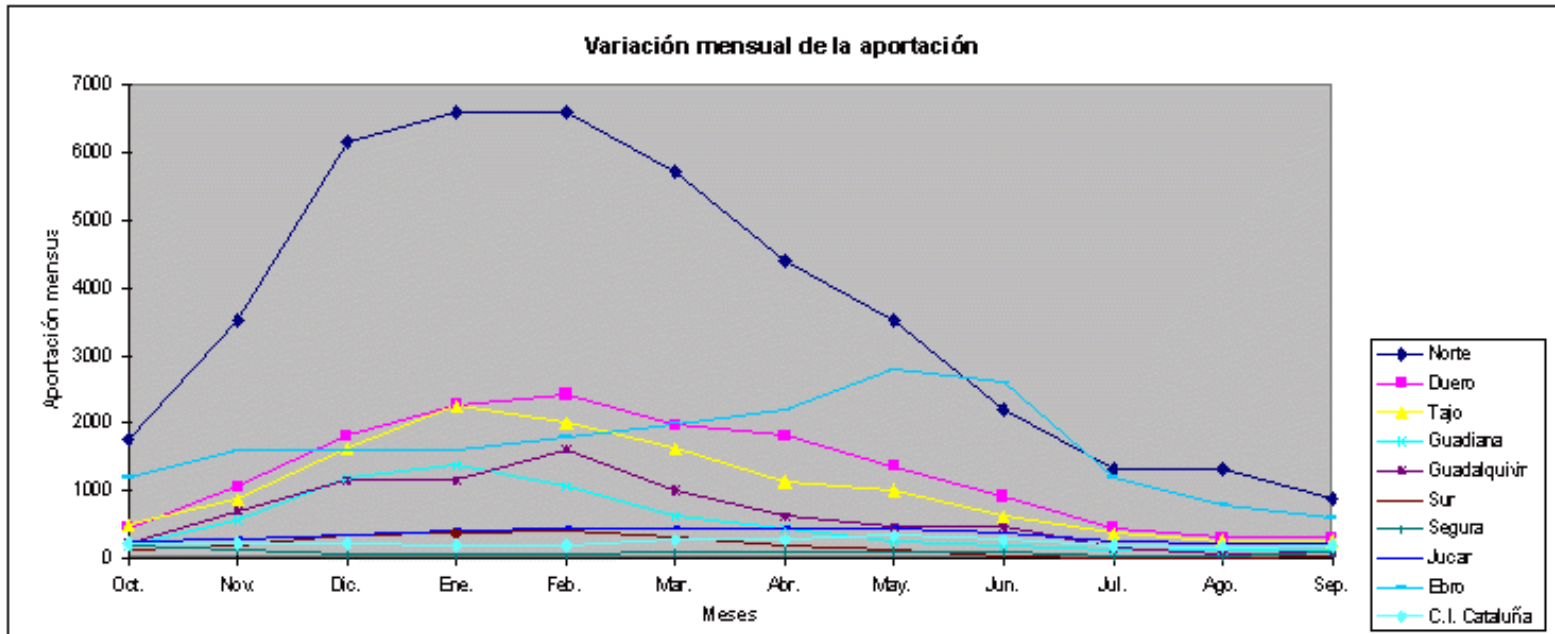
(*) Coeficiente de variación $Cv = DEST / MEDIA$



APORTACIONES MENSUALES ESTIMADAS (HORIZONTE ACTUAL)

Cuenca	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Total Anual
Norte	1762	3523	6166	6606	6606	5725	4404	3523	2202	1321	1321	881	44041
Duero	455	1062	1820	2275	2427	1972	1820	1365	910	455	303	303	15168
Tajo	500	876	1626	2252	2002	1626	1126	1001	626	375	250	250	12511
Guadiana	187	562	1187	1375	1062	625	437	250	187	125	125	125	6248
Guadalquivir	232	695	1158	1158	1621	1004	618	463	463	154	62	93	7720
Sur	130	196	348	369	413	304	196	130	43	13	9	22	2173
Segura	190	120	70	60	70	80	90	100	80	30	30	80	998
Jucar	249	290	332	415	456	456	456	456	373	249	207	207	4147
Ebro	1198	1597	1597	1597	1796	1996	2196	2795	2595	1198	798	599	19961
C.I. Cataluña	222	222	222	194	194	277	277	333	277	194	166	194	2772

Totales **5124** **9142** **14525** **16301** **16648** **14066** **11620** **10416** **7757** **4114** **3272** **2754** **115739**

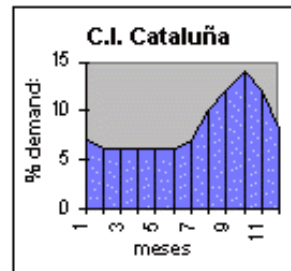
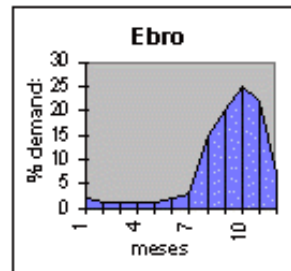
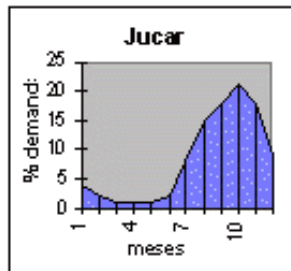
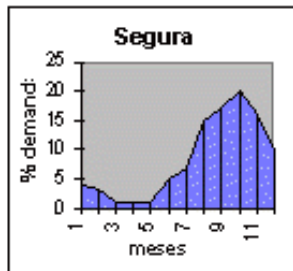
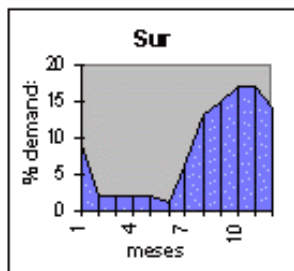
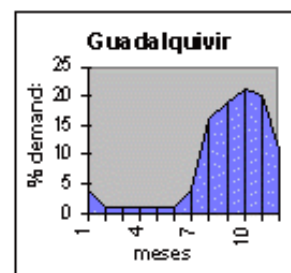
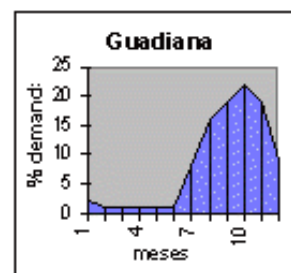
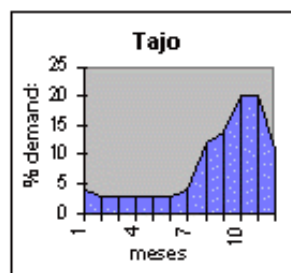
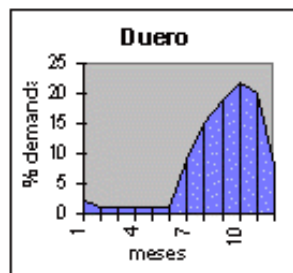
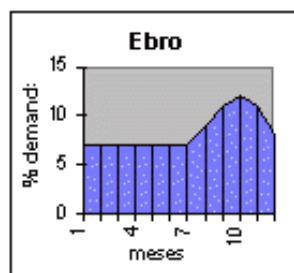


DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA DEMANDA

Cuenca	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.
Norte	7	7	7	7	7	7	7	9	11	12	11	8
Duero	2	1	1	1	1	1	9	15	19	22	20	8
Tajo	4	3	3	3	3	3	4	12	14	20	20	11
Guadiana	2	1	1	1	1	1	8	16	19	22	19	9
Guadalquivir	4	1	1	1	1	1	4	16	19	21	20	11
Sur	9	2	2	2	2	1	6	13	15	17	17	14
Segura	4	3	1	1	1	5	7	15	17	20	16	10
Jucar	4	2	1	1	1	2	8	15	18	21	18	9
Ebro	2	1	1	1	1	2	3	15	20	25	22	7
C.I. Cataluña	7	6	6	6	6	6	7	10	12	14	12	8

Demandas Totales (hm³/a)

100	2852
100	4102
100	3447
100	2554
100	3644
100	1535
100	1861
100	3547
100	11451
100	1302



* Meses de octubre a septiembre

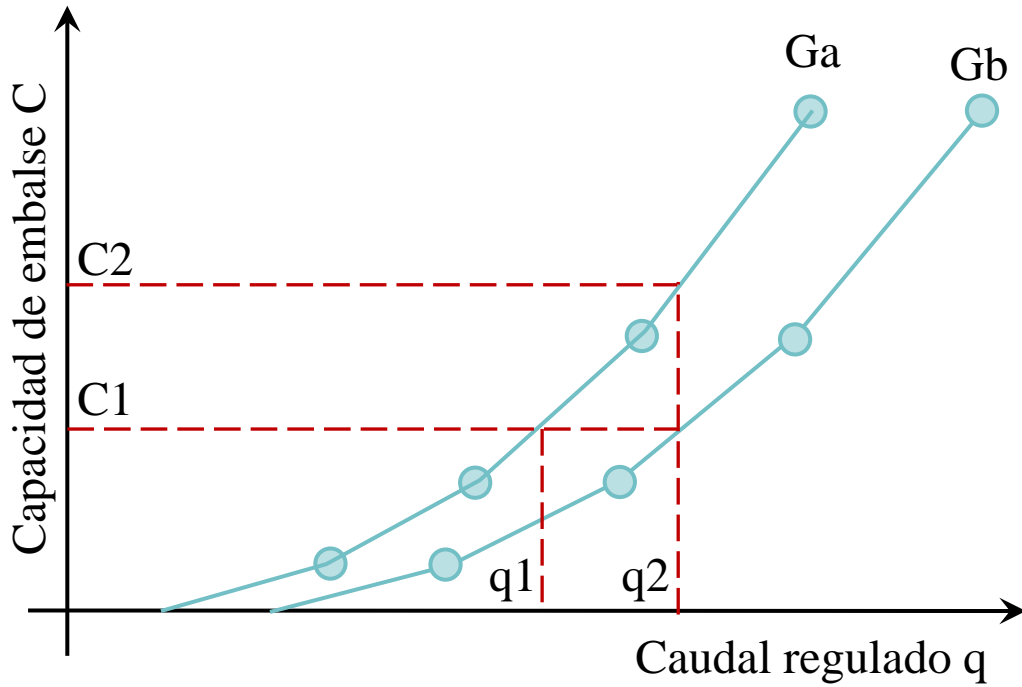
✓REGULACIÓN

REGULACIÓN: Adaptación de las aportaciones a la estructura de las necesidades (demandas) en cantidad, espacio y tiempo.

Caudales continuos en el tiempo implican **REGULARIDAD**.

Caudales acordes con las necesidades implican **REGULACIÓN**.

$$C = q \cdot t - A$$

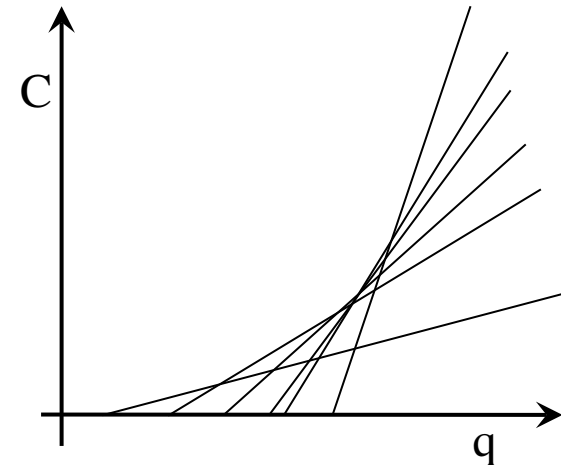


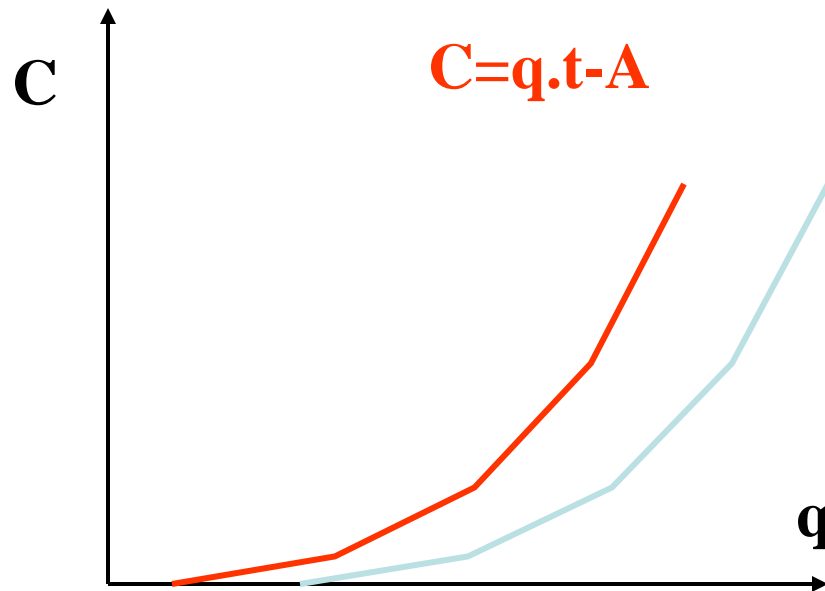
meses

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

años

$$\text{GARANTÍA} = \frac{\text{Periodos suficientes}}{\text{Periodos totales}}$$





$$\text{GARANTÍA} = \frac{\text{Periodos suficientes}}{\text{Periodos totales}}$$

PLANES HIDROLÓGICOS NACIONALES

ABASTECIMIENTO

**GARANTÍAS 0.96 A 0.98. 4 A 2 FALLOS CADA 100 MESES
MES INSUFICIENTE: MENOS DEL 80% DE LA DEMANDA**

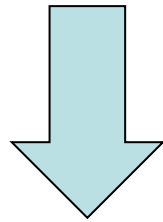
AGRICULTURA + INDUSTRIA

**GARANTÍA 0.85 A 0.90. 1.5 A 1 AÑO FALLIDO DE CADA 10 AÑOS
AÑO INSUFICIENTE
1 MES DISPONIBILIDAD MENOR DE 75% DE LA DEMANDA
3 MESES DISPONIBILIDAD ENTRE 75% Y 80% DE LA DEMANDA**

✓ RECURSOS

RECURSOS: Aportaciones reguladas o volúmenes de agua capaces de cubrir una necesidad en la cantidad requerida y en el momento y lugar que se presenta.

Recursos = Aportaciones reguladas



APORTACIONES Y SU ESTRUCTURA TEMPORAL

DEMANDA EN CANTIDAD Y CALIDAD

ESTRUCTURA TEMPORAL DE LA DEMANDA

SISTEMA DE RECURSOS HIDRÁULICOS

GESTIÓN DEL SISTEMA

CONJUNTO DE
ELEMENTOS DE
REGULACIÓN,
TRANSPORTE
DISTRIBUCIÓN,
ETC.

MANEJO DEL
SISTEMA PARA
EL LOGRO DE
OBJETIVOS
PREFIJADOS

CARACTERÍSTICAS DE LAS FORMACIONES ACUÍFERAS

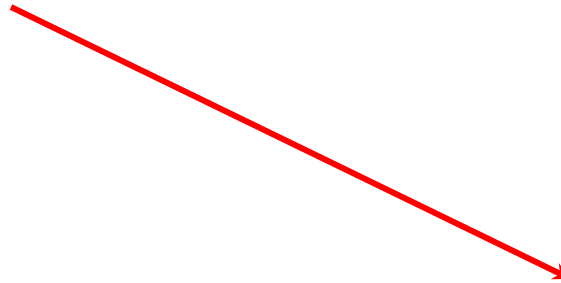
Suministro

Regulación

Distribución

Transporte

Protección de la calidad



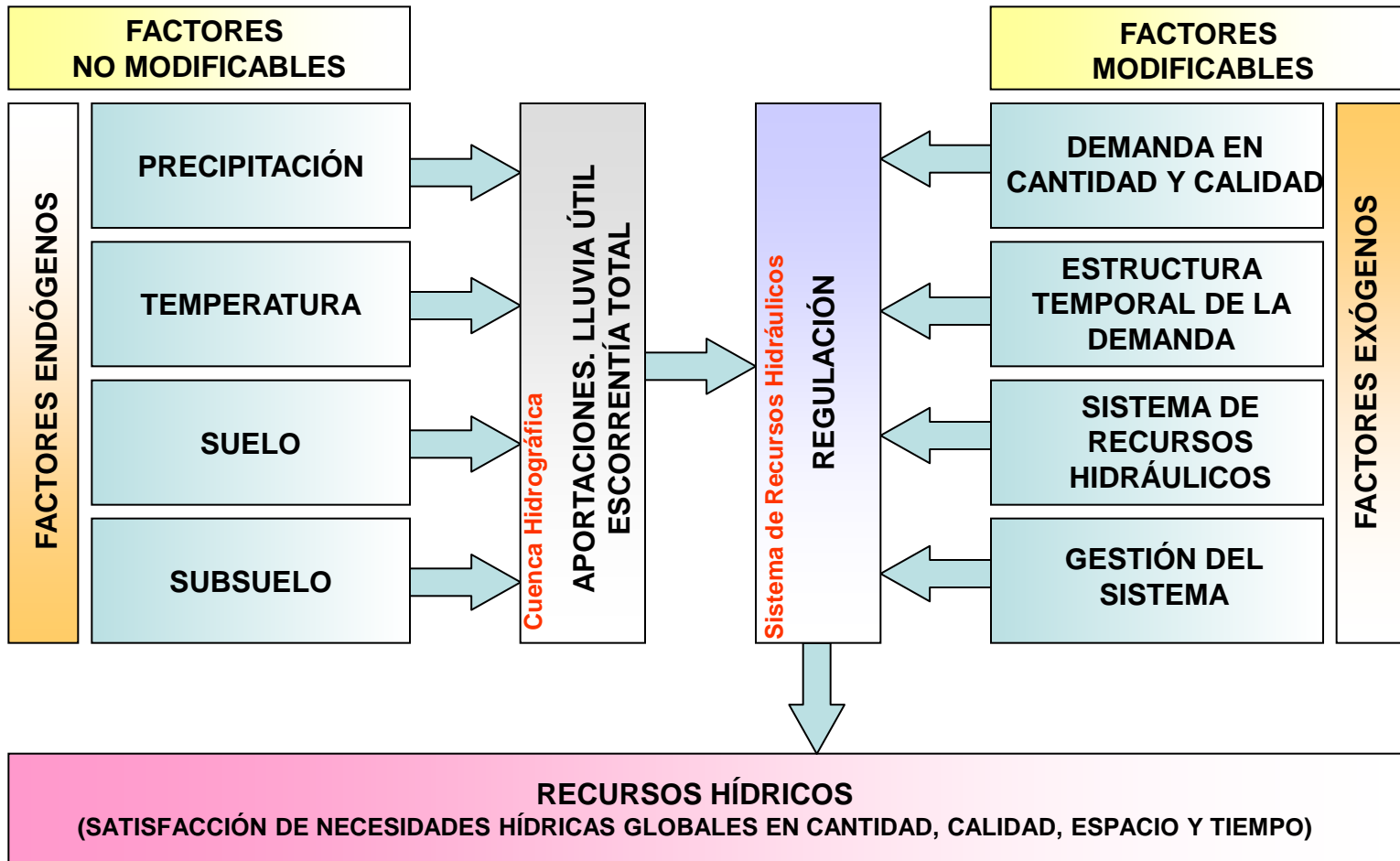
Cantidad

Calidad

Espacio

Tiempo

GENERACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



✓ GESTIÓN

GESTIÓN: Conjunto de acciones a desarrollar e implementar para conseguir adaptar las aportaciones a la estructura de la demanda en cantidad, calidad, espacio y tiempo haciendo uso del Sistema de Recursos Hidráulicos y las herramientas de gestión (control, análisis y simulación)

Operaciones de Gestión:

- **Suministro**
- **Regulación**
 - ❖ **Fuentes**
 - ❖ **Relación río - acuífero**
 - ❖ **Recarga artificial**
- **Lucha contra la sequía**
- **Protección del medio ambiente**
- **Protección de la calidad**
- **Utilización conjunta**

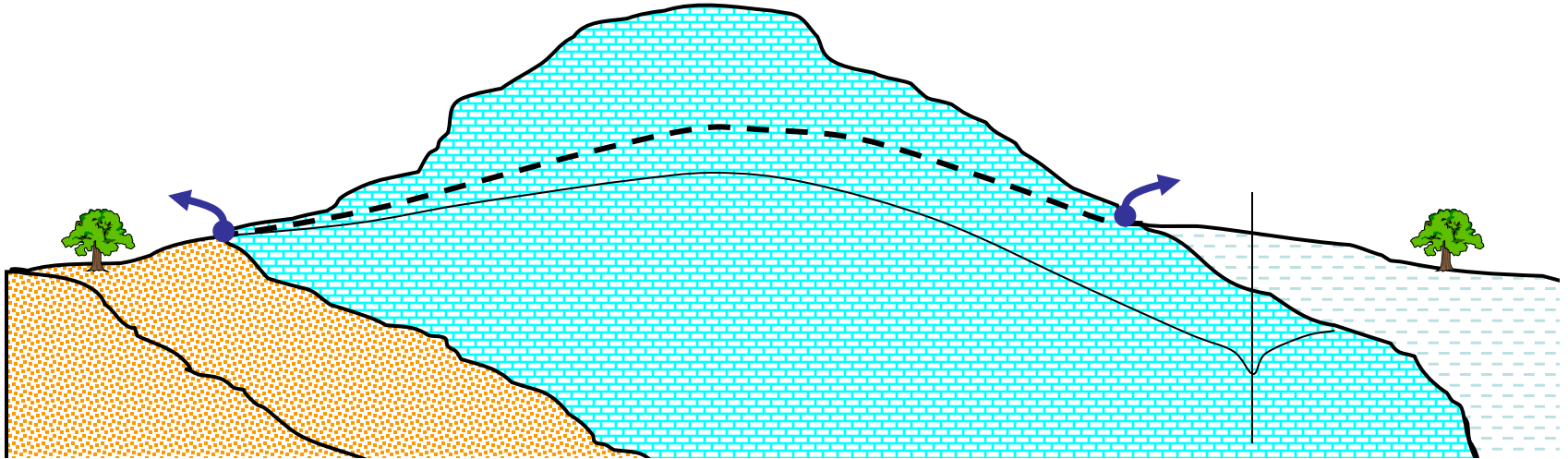
Herramientas de la gestión:

Control

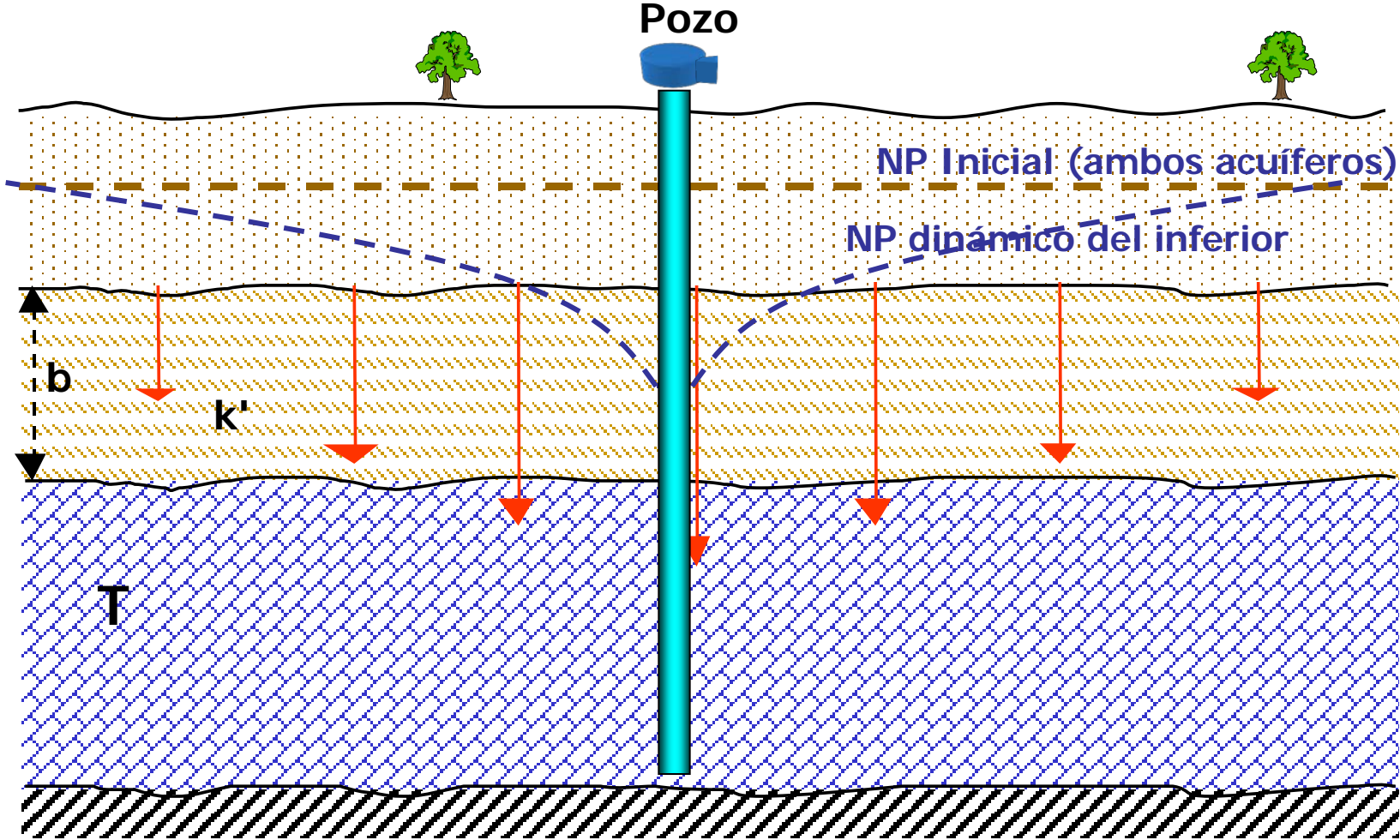
Análisis

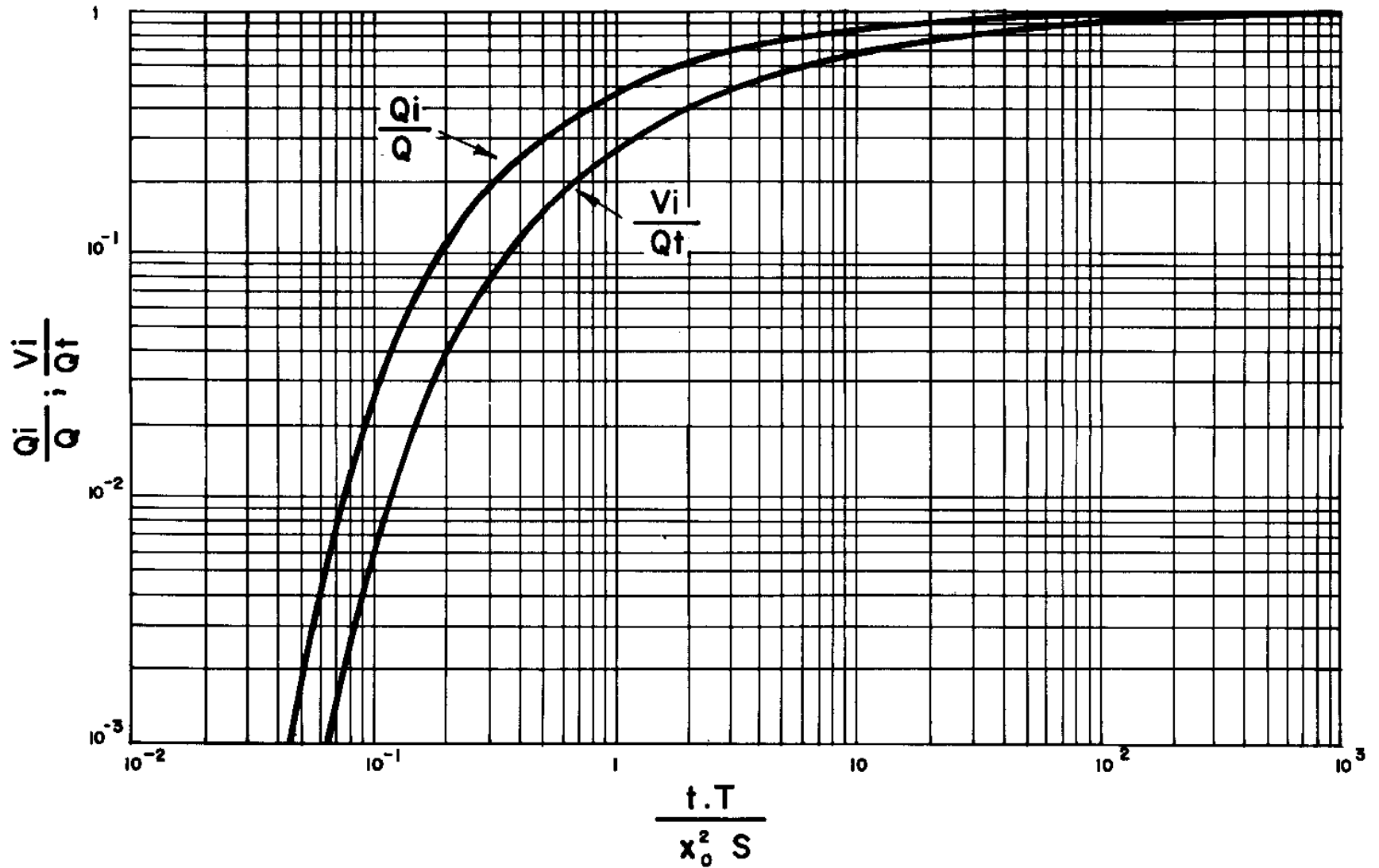
Simulación

REGULACIÓN DE FUENTES



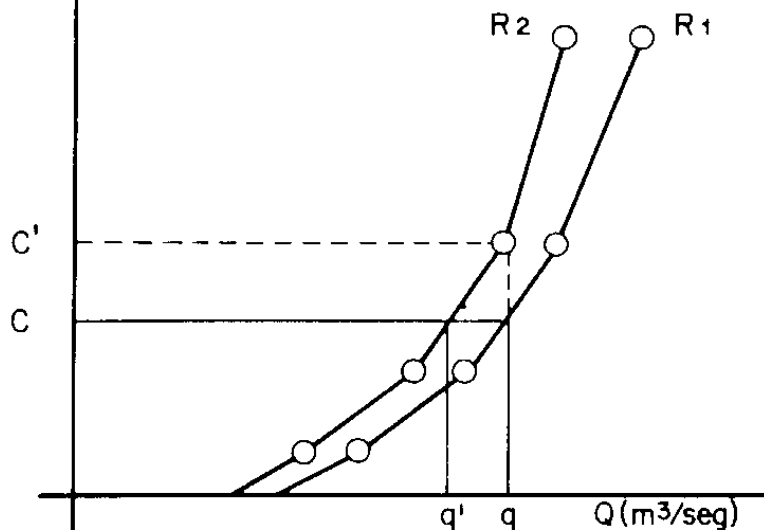
Esquema de bombeo en acuífero semiconfinado





$$C = q \cdot t - A$$

C
(hm³)



R₁ = Curva de regulacion de la serie A en ausencia de bombes y G=100%. Idem. supuestos bombes y G=80%

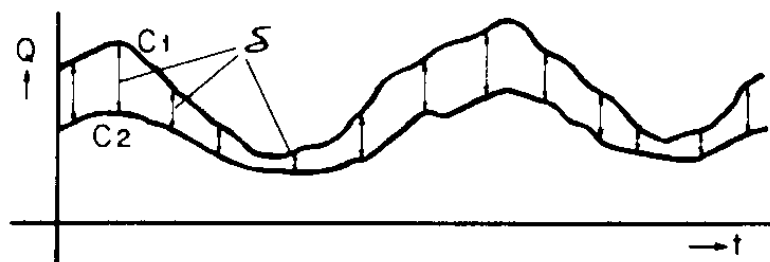
R₂ = Curva de regulacion de la serie A' supuestos bombes y G=100%

SERIE A

meses

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

años



C₁ = Regimen natural de caudales en el rio

C₂ = Regimen de caudales en el rio considerada la influencia de los bombes

S = Diferencias a restar mes a mes a la serie A. La serie que se obtendra A' dara lugar a R₂

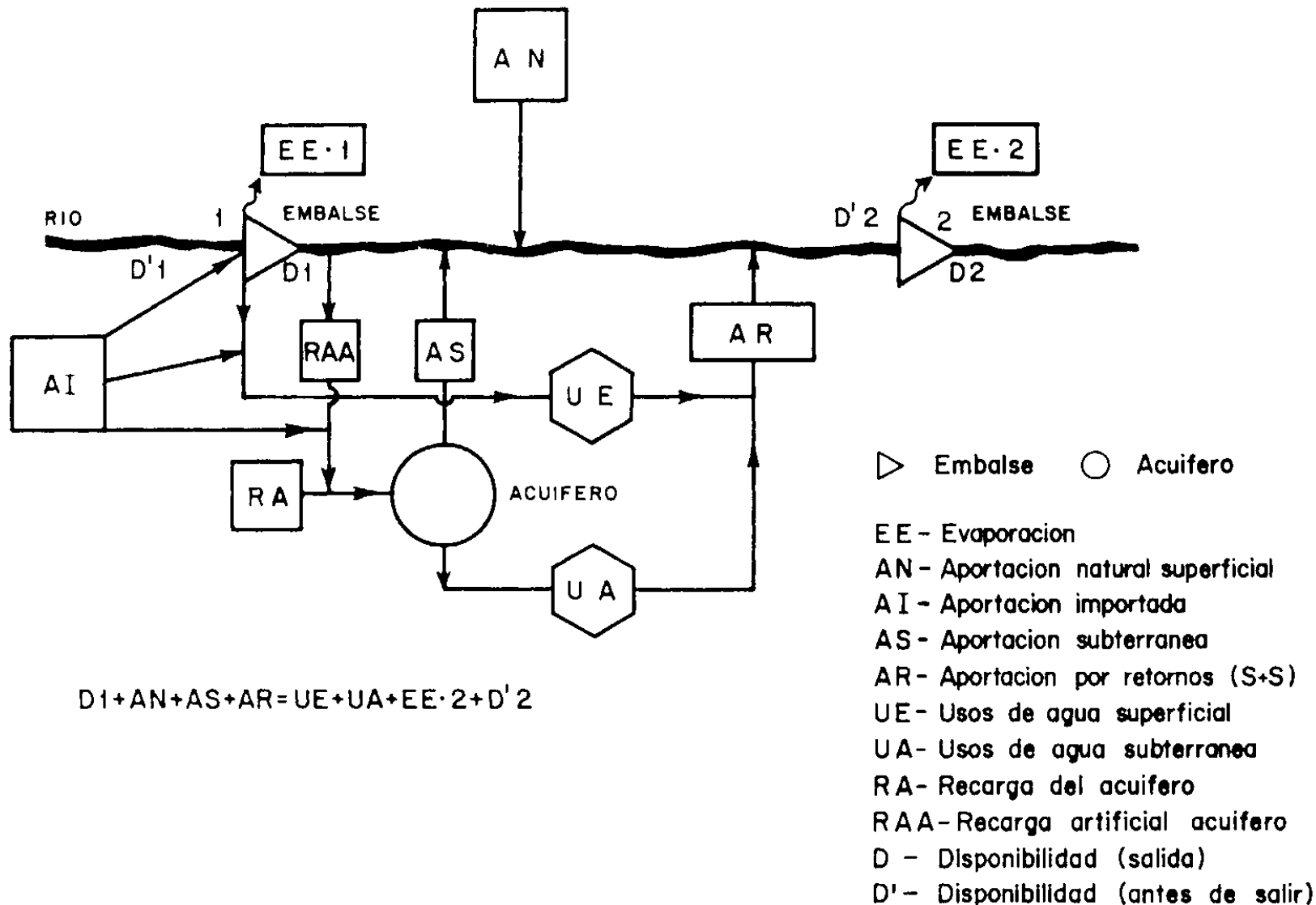


FIG. - 2

OBJETIVOS DE LA RECARGA ARTIFICIAL

- **REGULACIÓN DE APORTACIONES**
- **DEPURACIÓN DE AGUAS**
- **LUCHA CONTRA LA INTRUSIÓN MARINA**
- **EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**
- **LUCHA CONTRA LA SOBREEXPLOTACIÓN**
- **CORRECCIÓN DE DESEQUILIBRIOS EN REGIONES SEMIÁRIDAS**

MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL

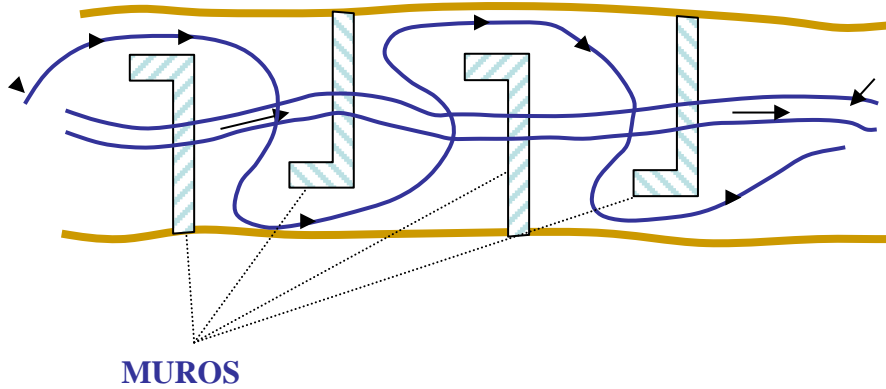
- **RECARGA POR FILTRACIÓN
DESDE LA SUPERFICIE**

- **Recarga en cauces**
- **Recarga fuera de cauces**

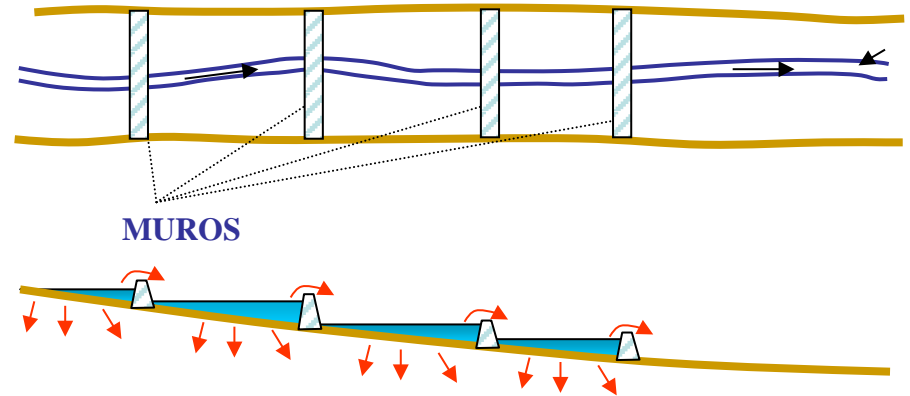
- **RECARGA POR POZOS
DE INYECCIÓN**

- **A cabezal libre**
- **Con cabezal a presión**

SERPENTEOS



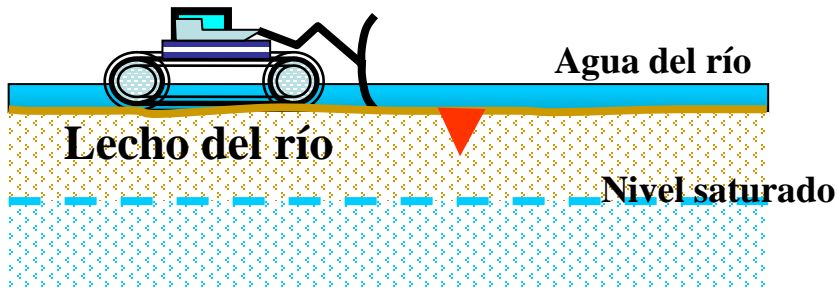
REPRESAS O PEQUEÑAS BALSAS



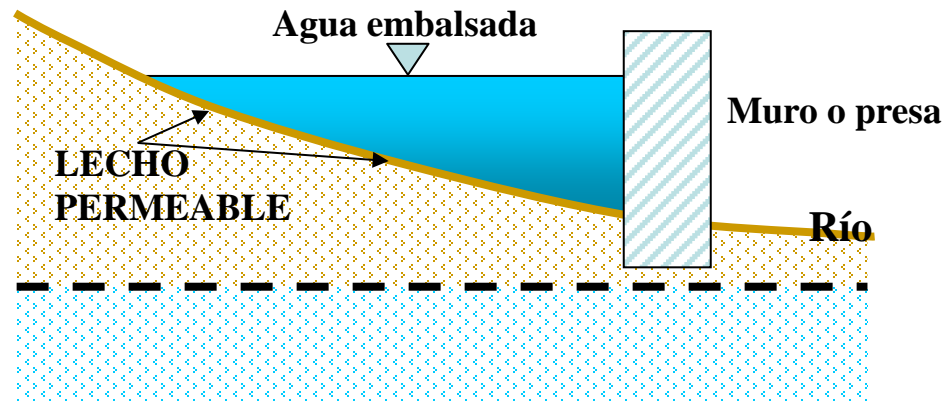
ESCARIFICACIÓN DEL LECHO

Sentido de la corriente →

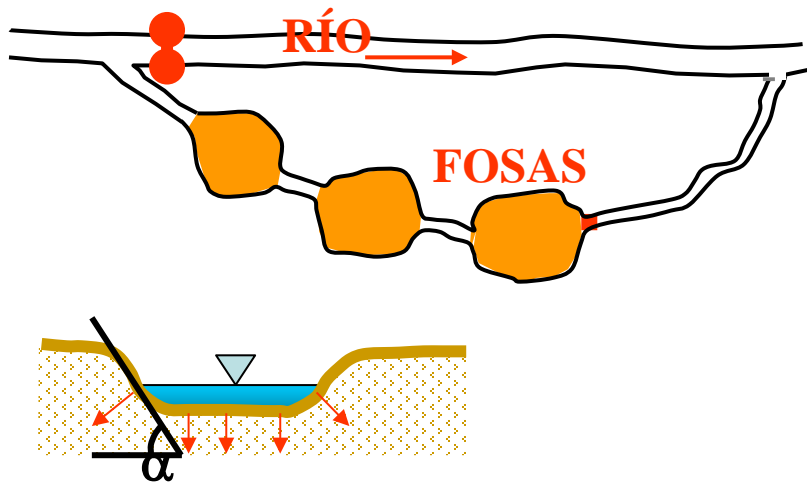
Sentido de la máquina →



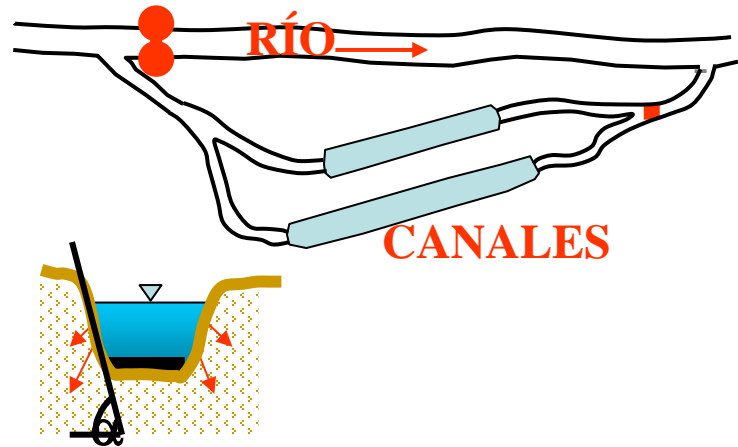
VASOS PERMEABLES



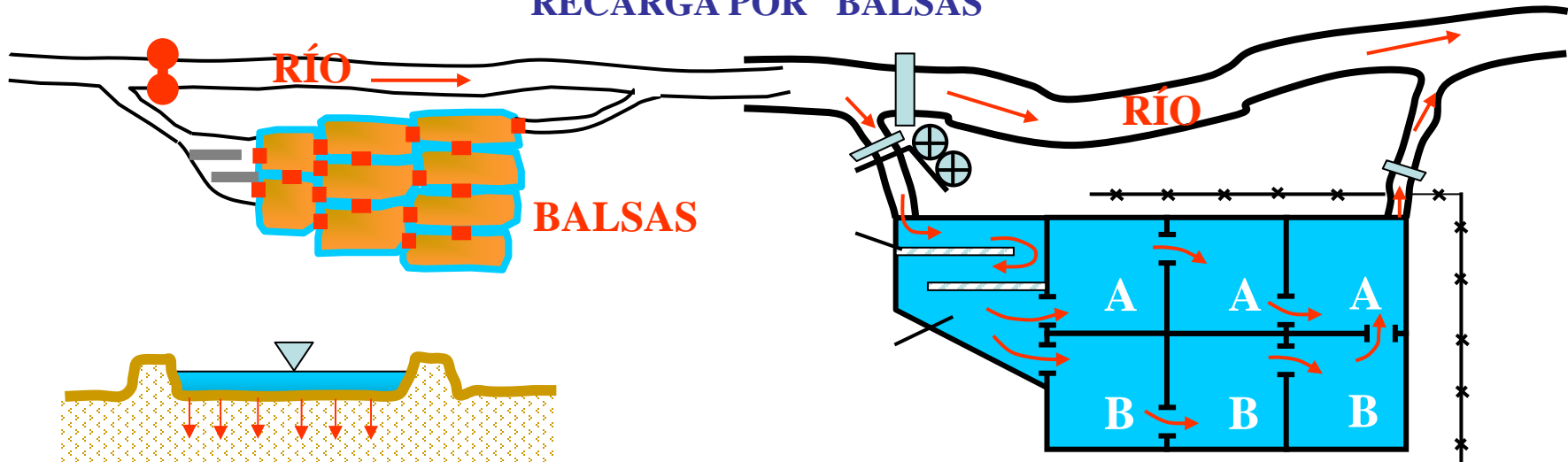
FOSAS DE RECARGA



CANALES DE RECARGA

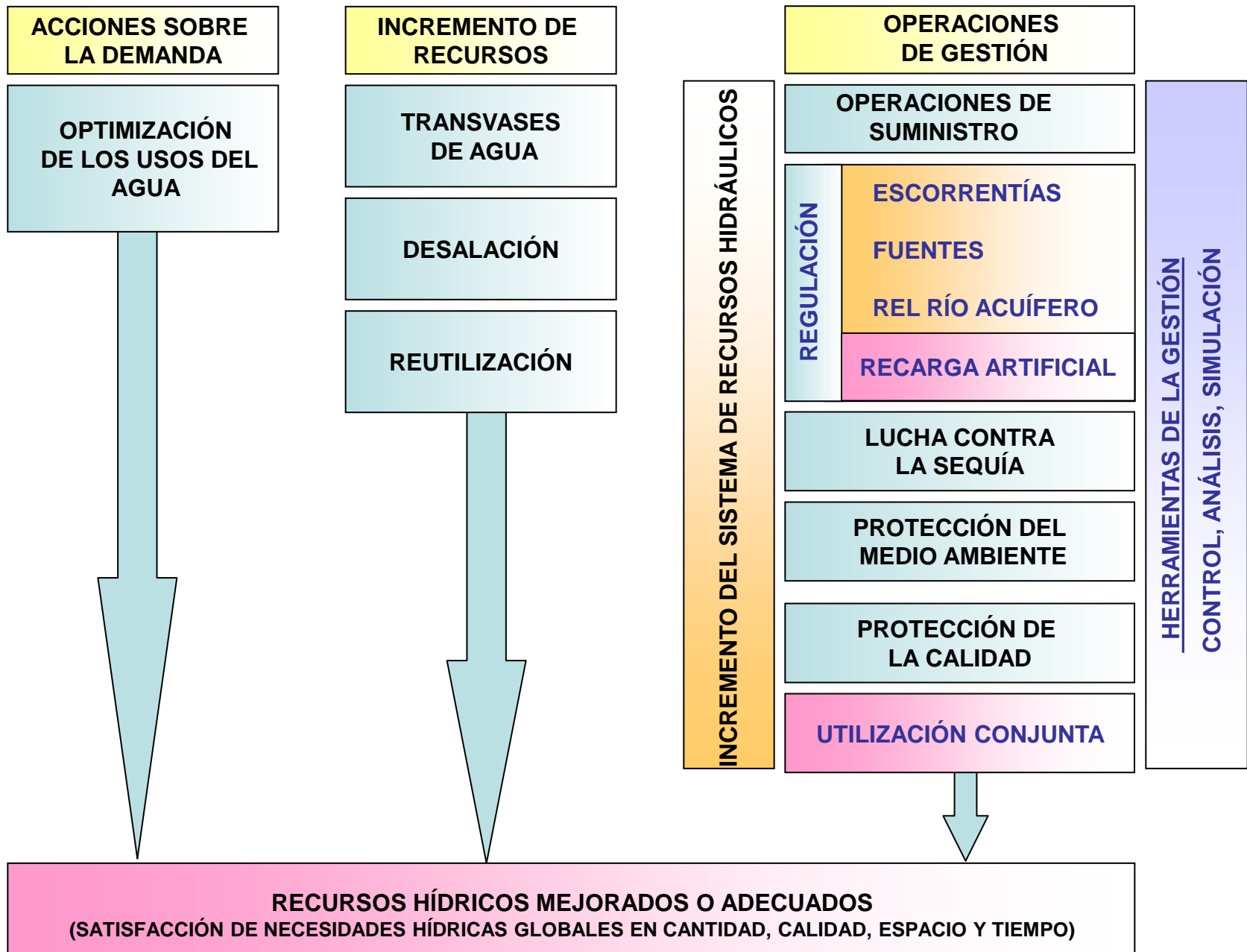


RECARGA POR BALSAS



CARACTERÍSTICAS DE LA SEQUÍA

- **Circunstancia desfavorable**
- **Implica que no existan ni aportaciones ni caudales regulados para satisfacer los usos del agua establecidos**
- **Se presenta de improviso, y una vez se ha declarado, no existe la posibilidad fácil de aliviar sus catastróficas consecuencias en el plazo en el que acontece**
- **La lucha contra la sequía, no puede concebirse si no tiene un carácter totalmente preventivo**
- **Plan de lucha contra la sequía**



MEDIDAS PREVENTIVAS EN GESTIÓN

Dimensionado de embalses con consideración específica de su comportamiento cara a los períodos de sequía.

Trasvase entre cuencas, facilitando la transferencia de agua entre zonas con recursos no usados, a otras de recursos sobreexplotados.

Gestión conjunta de aguas superficiales y subterráneas con vistas a la mejora de la regulación general

Planes más o menos sofisticados de recarga artificial.

MEDIDAS CORRECTORAS EN GESTIÓN

Perforación y puesta en explotación de nuevos pozos, o reapertura de pozos abandonados.

Utilización de agua considerada normalmente como reserva: Agua almacenada bajo los niveles mínimos de los embalses, uso de aguas fósiles, reservas de aguas subterráneas, etc.

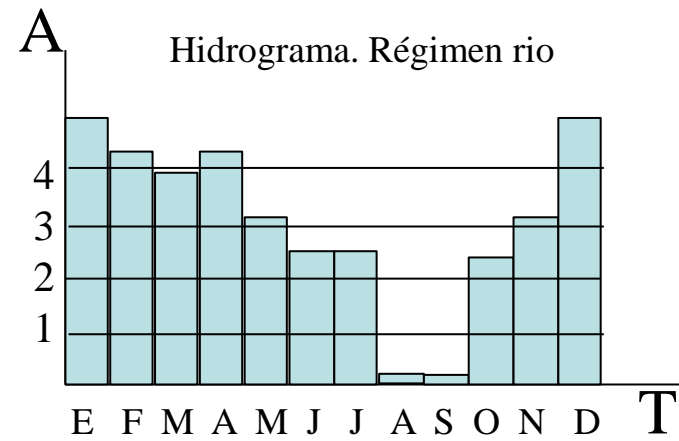
Cambios en las normas de explotación de los embalses y en el orden de prelación de los usos.

Relajación temporal de las normas de la calidad del agua durante la sequía.

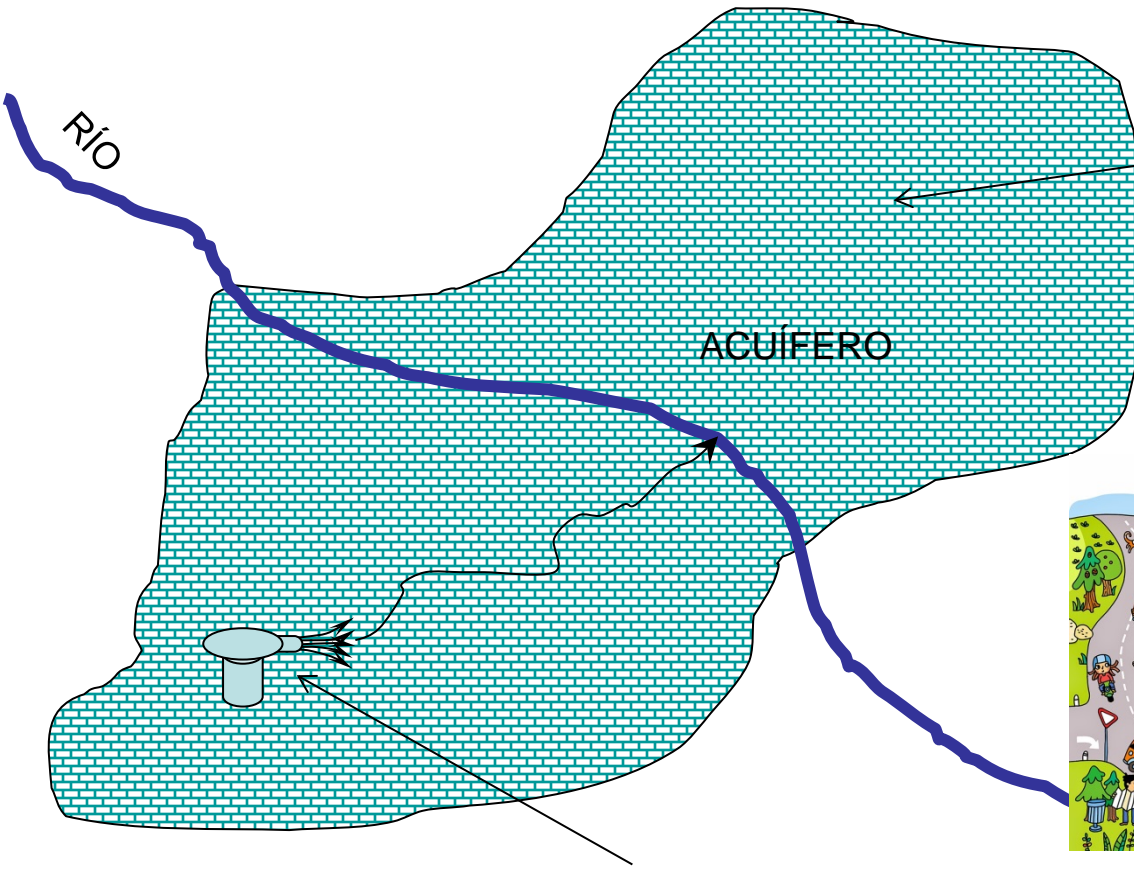
USO CONJUNTO
(Utilización conjunta de
aguas superficiales y
Subterráneas)

UN EJEMPLO INICIAL

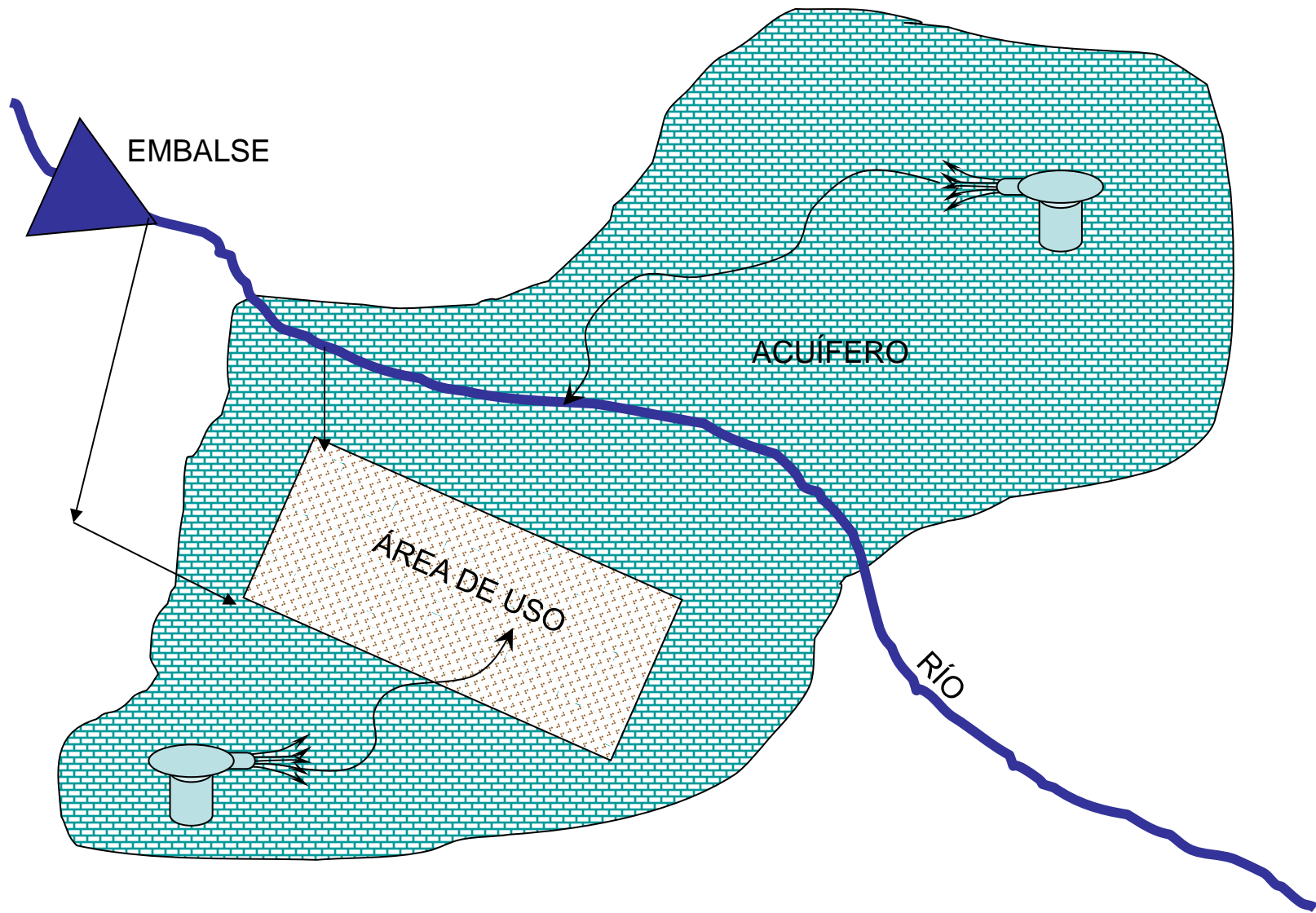
Necesidades ciudad $2\text{m}^3/\text{s} = 63\text{ hm}^3/\text{a}$

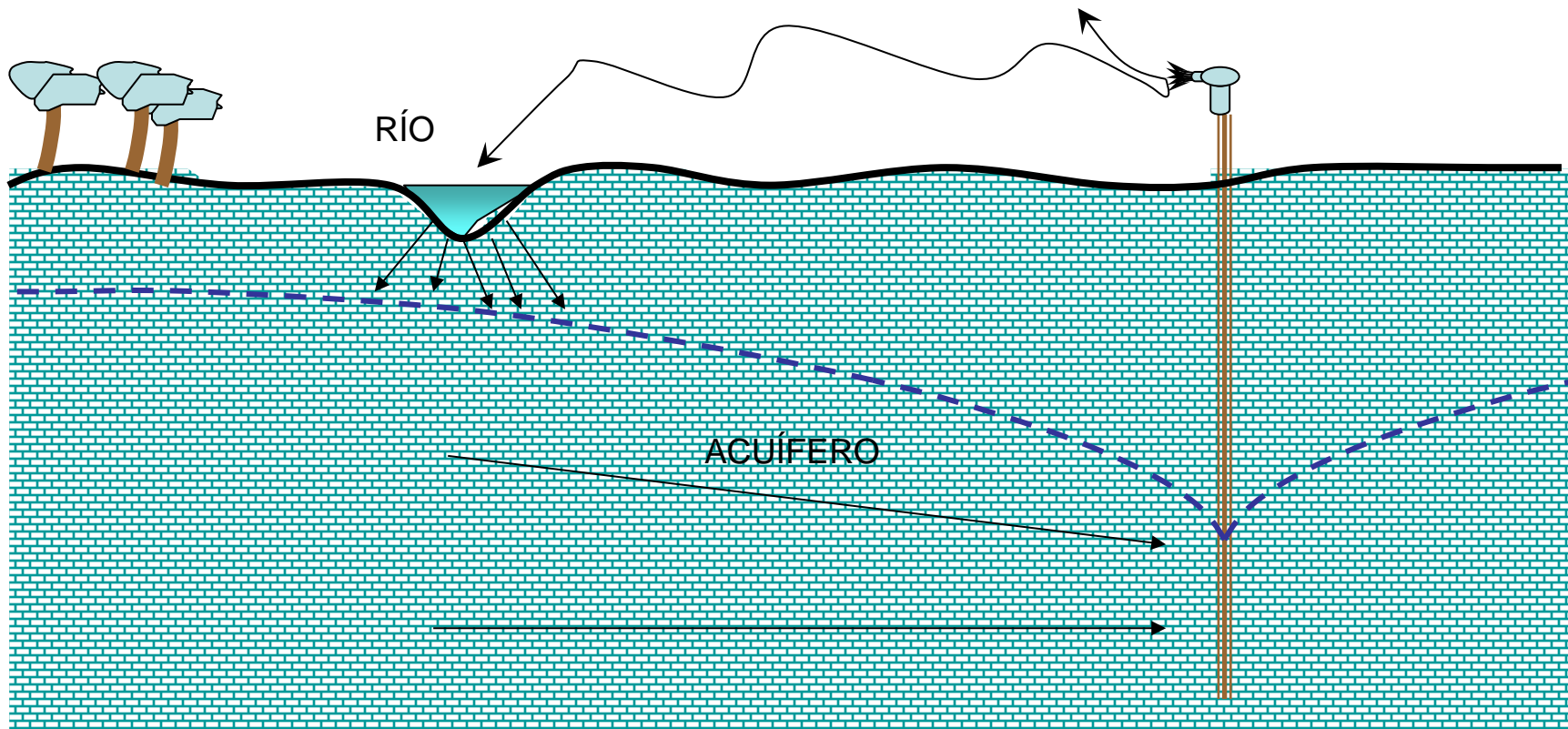


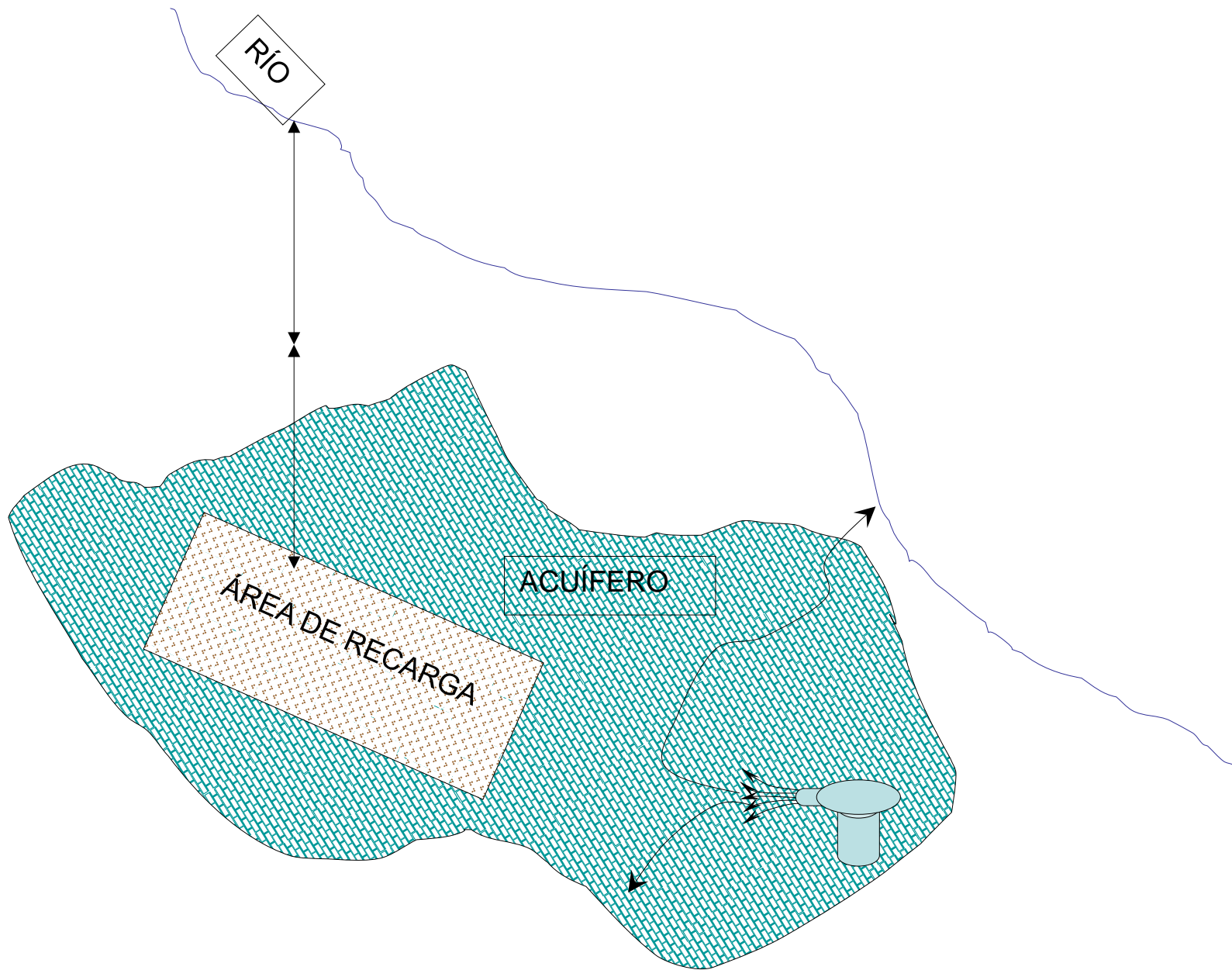
Recarga acuífero $10\text{ hm}^3/\text{a}$



Bombeo de $2\text{ m}^3/\text{s}$ durante 2 meses $\approx 10\text{ hm}^3/\text{a}$

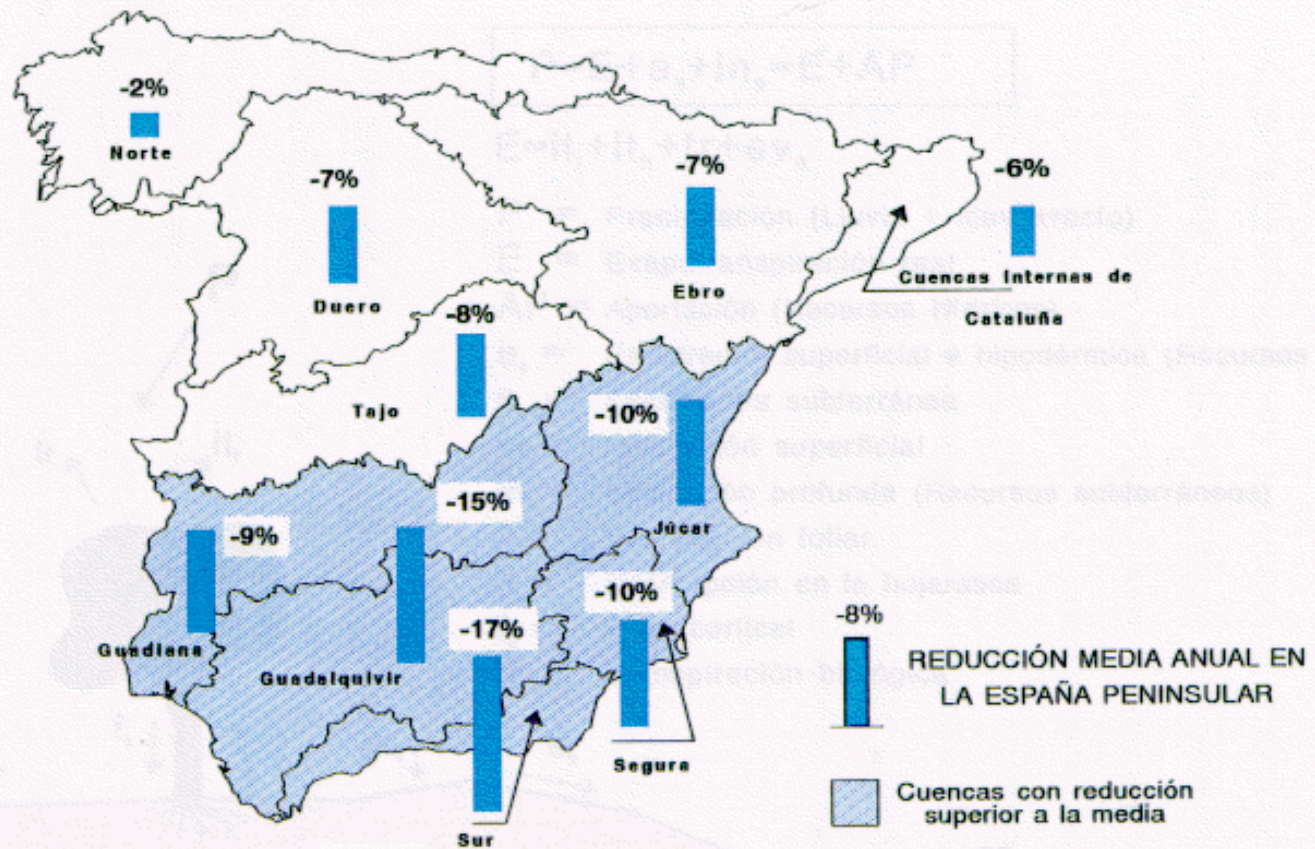






ALGUNA PREVISIÓN SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

REDUCCIÓN ESPERABLE DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL EN LA ESPAÑA PENINSULAR PARA EL 2060 POR EL POSIBLE CAMBIO CLIMÁTICO, POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS



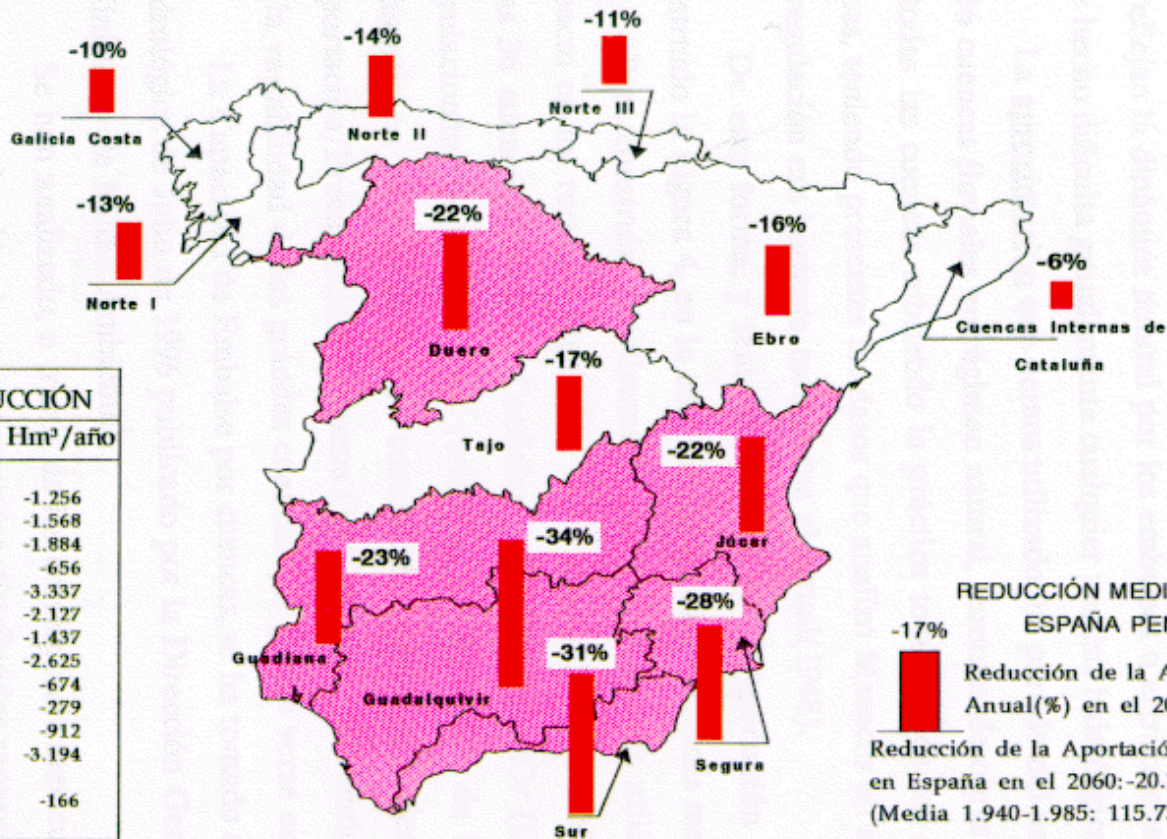
FUENTE: Instituto Nacional de Meteorología, 1.995

APORTACIONES HÍDRICAS EN LAS CUENCAS ESPAÑOLAS

Actuales y estimadas para el año 2060

Cuenca		Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Total Anual	Dif.
Norte	Actual	1762	3523	6166	6606	6606	5725	4404	3523	2202	1321	1321	881	44041	12 %
	2060	1550	3100	5426	5813	5813	5038	3876	3100	1938	1163	1163	775	38756	
Duero	Actual	455	1062	1820	2275	2427	1972	1820	1365	910	455	303	303	15168	22 %
	2060	355	828	1420	1775	1893	1538	1420	1065	710	355	237	237	11831	
Tajo	Actual	500	876	1626	2252	2002	1626	1126	1001	626	375	250	250	12511	17 %
	2060	415	727	1350	1869	1661	1350	935	831	519	312	208	208	10384	
Guadiana	Actual	187	562	1187	1375	1062	625	437	250	187	125	125	125	6248	23 %
	2060	144	433	914	1058	818	481	337	192	144	96	96	96	4811	
Guadalquivir	Actual	232	695	1158	1158	1621	1004	618	463	463	154	62	93	7720	34 %
	2066	153	459	764	764	1070	662	408	306	306	102	41	61	5095	
Sur	Actual	130	196	348	369	413	304	196	130	43	13	9	22	2173	31 %
	2060	90	135	240	255	285	210	135	90	30	9	6	15	1499	
Segura	Actual	190	120	70	60	70	80	90	100	80	30	30	80	998	28 %
	2060	137	86	50	43	50	57	65	72	57	22	22	57	719	
Jucar	Actual	249	290	332	415	456	456	456	456	373	249	207	207	4147	22 %
	2060	194	226	259	323	356	356	356	356	291	194	162	162	3235	
Ebro	Actual	1198	1597	1597	1597	1796	1996	2196	2795	2595	1198	798	599	19961	16 %
	2060	1006	1341	1341	1341	1509	1677	1844	2347	2180	1006	671	503	16767	
C.I. Cataluña	Actual	222	222	222	194	194	277	277	333	277	194	166	194	2772	6 %
	2060	208	208	208	182	182	261	261	313	261	182	156	182	2606	
Totales	Actual	5124	9142	14525	16301	16648	14066	11620	10416	7757	4114	3272	2754	115739	17 %
	2066	4253	7545	11973	13425	13638	11630	9635	8672	6436	3440	2760	2296	95703	

REDUCCIÓN ESPERABLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS MEDIOS EN LA ESPAÑA PENINSULAR PARA EL 2060 POR EL POSIBLE CAMBIO CLIMÁTICO, POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS



REDUCCIÓN POR VERTIENTES

- 17% Vertiente Atlántica (-14.890 Hm³/año)
- 17% Vertiente Mediterránea (5.225 Hm³/año)



REDUCCIÓN MEDIA ANUAL EN LA ESPAÑA PENINSULAR

-17%

Reducción de la Aportación Media Anual en el 2060 vs. 1940-1985

Reducción de la Aportación Media Anual en España en el 2060: -20.115 Hm³/año: -17% (Media 1.940-1.985: 115.739 Hm³/año)

Cuencas con reducción superior a la media

REDUCCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGULADOS POR POSIBLE CAMBIO CLIMÁTICO

(Hoy-2060)

%

