



Ciclo de 20

MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

AGUASRESIDUALES.INFO



MasterClass 12

“Reutilización del agua:
logros y perspectivas.”

Rafael Mujeriego Sahuquillo

Presidente de la Asociación Española de
Reutilización Sostenible del Agua - ASERSA
Catedrático de Ingeniería Ambiental - UPC



21
Abril

Ciclo de 20
MasterClass

AGUASRESIDUALES.INFO

Puntos principales

- El lugar de la regeneración del agua en la **Master Class Series**
- Los retos actuales de la gestión integrada del agua
- La contribución de la reutilización del agua como estrategia de gestión
- Visión técnica de la reutilización y su terminología
- Evolución normativa sobre la calidad del agua: proteger la salud pública
- Iniciativas regionales para desarrollar nuevas fuentes de agua
- Propuestas finales para estimular la reflexión crítica, el debate y sobre todo la acción innovadora y vanguardista en el ciclo hidrológico

Agua residual o *agua usada*

Agua residual, usada

- urbana
- agrícola
- ganadera
- industrial

Con contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos y en suspensión
- biodegradables y refractarios
- parásitos, bacterias, virus
- el Covid-19
-

La depuración del agua usada

Agua residual, usada

- urbana
- agrícola
- ganadera
- industrial

Con contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos y en suspensión
- biodegradables y refractarios
- parásitos, bacterias, virus
- el Covid-19
-



Depuración Secundaria

- Aerobia,
- anaerobia
- nutrientes
- técnica - natural
- tiempo: h, días
- energía (neta)

Efluente depurado

Agua residual, usada

- urbana
- agrícola
- ganadera
- industrial

Con contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos y en suspensión
- biodegradables y refractarios
- parásitos, bacterias, virus
- el Covid-19
-

Depuración Secundaria

- Aerobia,
anaerobia
nutrientes
técnica - natural
- tiempo: h, días
 - energía (neta)

Efluente secundario:

- normas de calidad para satisfacer *el vertido al medio receptor*
- Con contaminantes:
- orgánicos e inorgánicos
 - disueltos
 - microorganismos
 -

Objetivo normativo

Clean Water
Act 1972

Agua residual,

- urbana
- agrícola
- ganadera
- industrial

Con contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos y en suspensión
- biodegradables y refractarios
- parásitos, bacterias, virus
- el Covid-19
-

Depuración Secundaria

- Aerobia,
anaerobia
nutrientes
técnica - natural
- tiempo: h, días
 - energía (neta)

Efluente secundario:

- normas de calidad para satisfacer *el vertido al medio receptor*
- Con contaminantes:
 - orgánicos e inorgánicos
 - disueltos
 - microorganismos
 -

Objetivo normativo

Clean Water Act 1972

Agua residual,

- urbana
- agrícola
- ganadera
- industrial

Con contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos y en suspensión
- biodegradables y refractarios
- parásitos, bacterias, virus
- el Covid-19
-

Plan Saneamiento Catalunya 1980

Depuración Secundaria

- Aerobia,
anaerobia
nutrientes
técnica - natural
- tiempo: h, días
 - energía (neta)

Efluente secundario:

- normas de calidad para satisfacer *el vertido al medio receptor*

Con contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos
- microorganismos
-

Objetivo normativo

Clean Water Act 1972

Agua residual,

- urbana
- agrícola
- ganadera
- industrial

Con contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos y en suspensión
- biodegradables y refractarios
- parásitos, bacterias, virus
- el Covid-19
-

Plan Saneamiento Catalunya 1980

Depuración Secundaria

- Aerobia,
- anaerobia
- nutrientes
- técnica - natural
- tiempo: h, días
- energía (neta)

Directiva 91/271/CEE

Efluente secundario:

- normas de calidad para satisfacer el *requisito al medio*

Contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos
- microorganismos
-

Objetivo normativo

Clean Water Act 1972

Agua residual,

- urbana
- agrícola
- ganadera
- industrial

Con contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos y en suspensión
- biodegradables y refractarios
- parásitos, bacterias, virus
- el Covid-19
-

Plan Saneamiento Catalunya 1980

Depuración Secundaria

- Aerobia,
- anaerobia
- nutrientes
- técnica - natural
- tiempo: h, días
- energía (neta)

Directiva 91/271/CEE

Efluente secundario:

- normas de calidad para satisfacer el *requisito al medio*

Contaminantes:

- orgánicos
- disueltos
- microorganismos
-

Plan Saneamiento Murcia 2001

Recuperación de recursos

Agua residual, usada

- urbana
- agrícola
- ganadera
- industrial

Con contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos y en suspensión
- biodegradables y refractarios
- parásitos, bacterias, virus
- el Covid-19
-

Depuración Secundaria

- Aerobia,
anaerobia
nutrientes
técnica - natural
- tiempo: h, días
 - energía (neta)

Efluente secundario:

- normas de calidad para satisfacer *el vertido al medio receptor*
- Con contaminantes:
 - orgánicos e inorgánicos
 - disueltos
 - microorganismos
 -

Recursos

Nutrientes
Energía
Minerales
.....

Recuperación de recursos

Agua residual, usada

- urbana
- agrícola
- ganadera
- industrial

Con contaminantes:

- orgánicos e inorgánicos
- disueltos y en suspensión
- biodegradables y refractarios
- parásitos, bacterias, virus
- el Covid-19
-

Depuración Secundaria

- Aerobia, anaerobia
nutrientes
técnica - natural
- tiempo: h, días
 - energía (neta)

Efluente secundario:

- normas de calidad para satisfacer *el vertido al medio receptor*
- Con contaminantes:
 - orgánicos e inorgánicos
 - disueltos
 - microorganismos
 -

Recursos

Nutrientes
Energía
Minerales
.....

Biogás

Conocido ≈ 1950
Aplicado ≈ 2015

El recurso por excelencia: AGUA

Agua residual, usada

- Urbana
- agrícola
- ganadera
- industrial

Con contaminantes:

- Orgánicos e inorgánicos
- Disueltos y en suspensión
- Biodegradables y refractarios
- Parásitos, bacterias, virus
- el Covid-19
-

Depuración secundaria

- Aerobia, anaerobia
- nutrientes
- técnica - natural
- tiempo: h, días
- energía (neta)

Efluente secundario:

- Normas de calidad para satisfacer *el vertido al medio receptor*
- Con contaminantes:
 - orgánicos e inorgánicos
 - disueltos
 - Microorganismos
 -

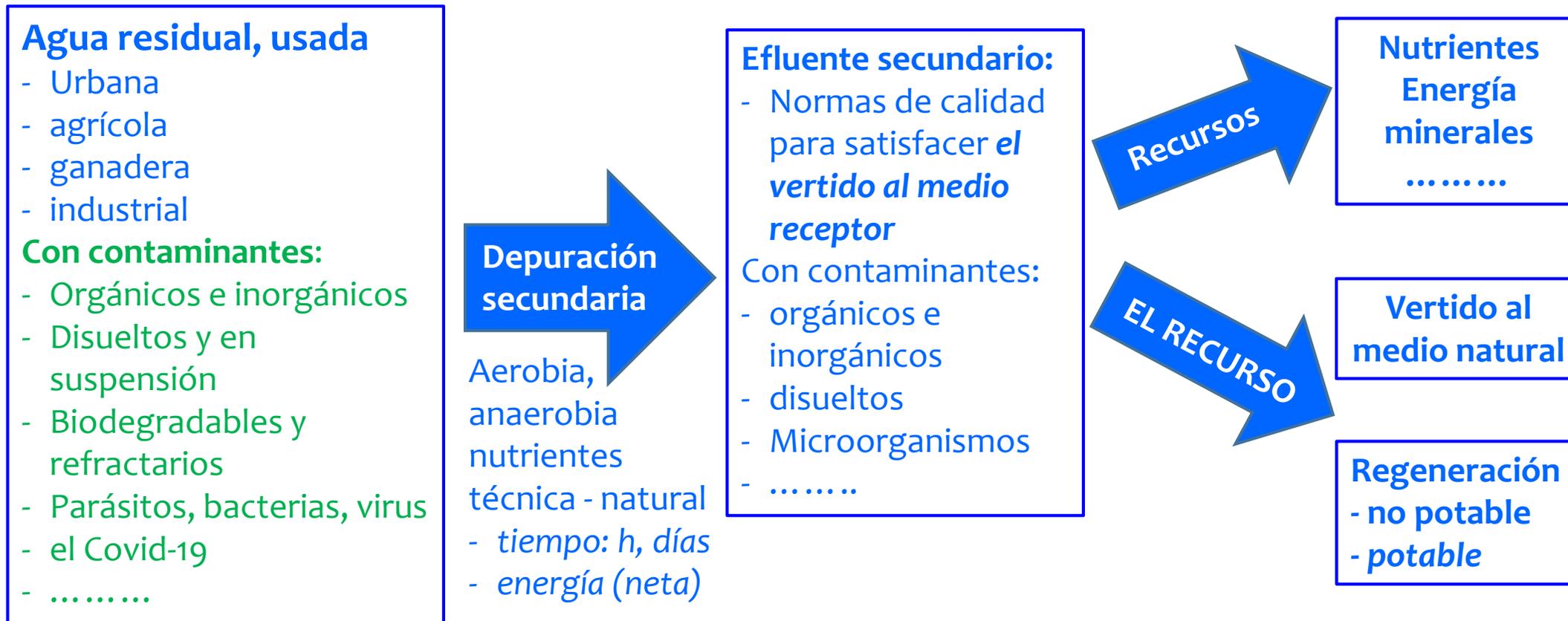
Recursos

Nutrientes
Energía
Minerales
.....

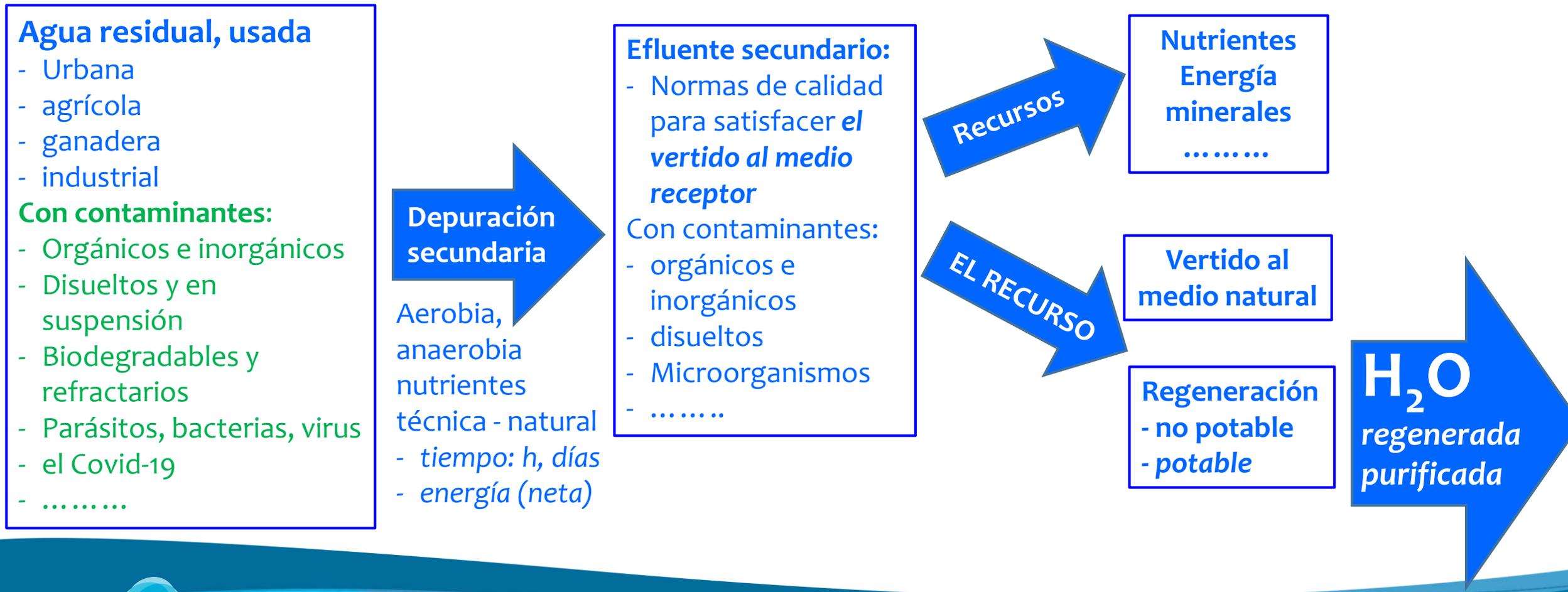
EL RECURSO

Vertido al medio natural

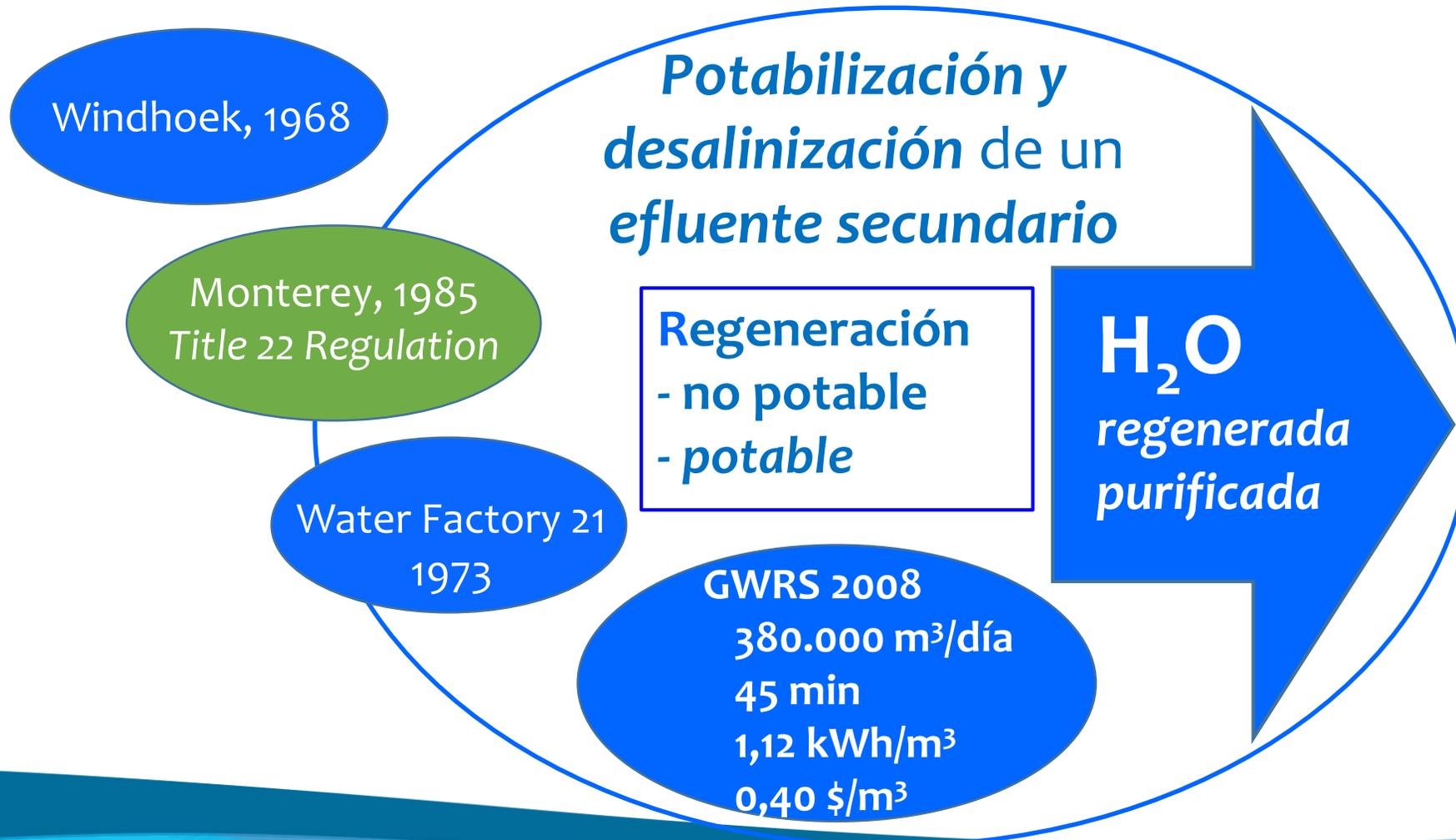
Alternativa: regeneración del agua



Potencial del agua regenerada



Nuevo objetivo: *agua regenerada*



Agua regenerada (“purificada”)



¡ No me lo puedo creer !



El reto actual: *equilibrar*

- precipitaciones
- evaporación
- regulación
- vertido al mar
-

Recursos
disponibles

- superficiales
- subterráneos

- usos

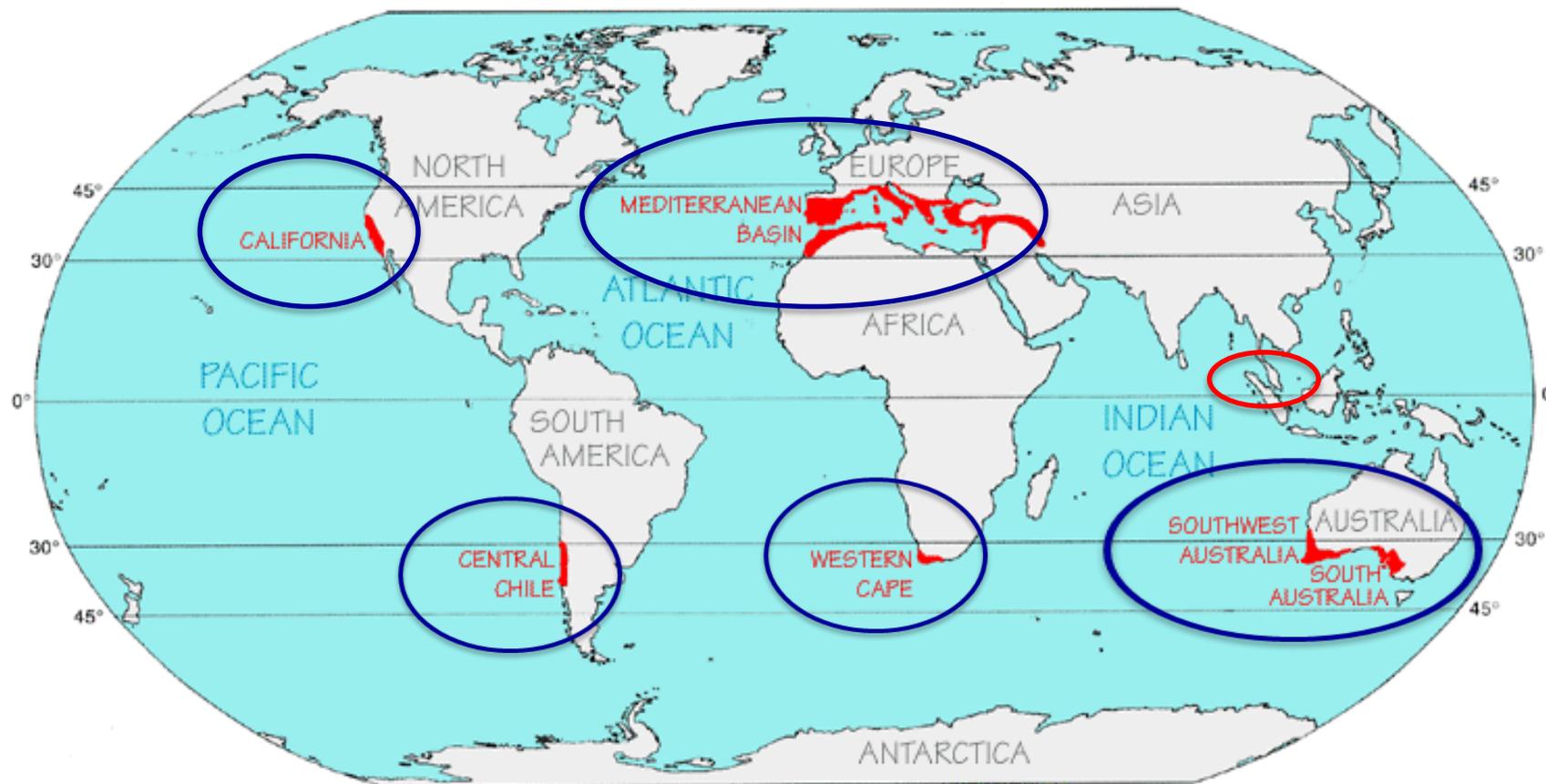
- consumos

- ambientales
- urbanos
- agrícolas
- industriales
- jardinería
- refrigeración
- energía
-

En condiciones muy concretas

- Vivimos en una zona geográfica de **clima mediterráneo**
- Aunque **no somos los únicos** que disfrutan de esas condiciones
- Caracterizada por un ritmo pluviométrico particular
 - Lluvias durante el otoño y la primavera
 - Largos meses de tiempo soleado y seco
 - Episodios de intensas lluvias: **inundaciones**
 - Episodios de escasez de lluvias: **sequías**
- Tendencias incipientes y previsiones de **mayor irregularidad pluviométrica**
- **Cuestionando las estrategias tradicionales** de gestión de la pluviometría, de la regulación y del uso del agua

Las 5 regiones “mediterráneas”



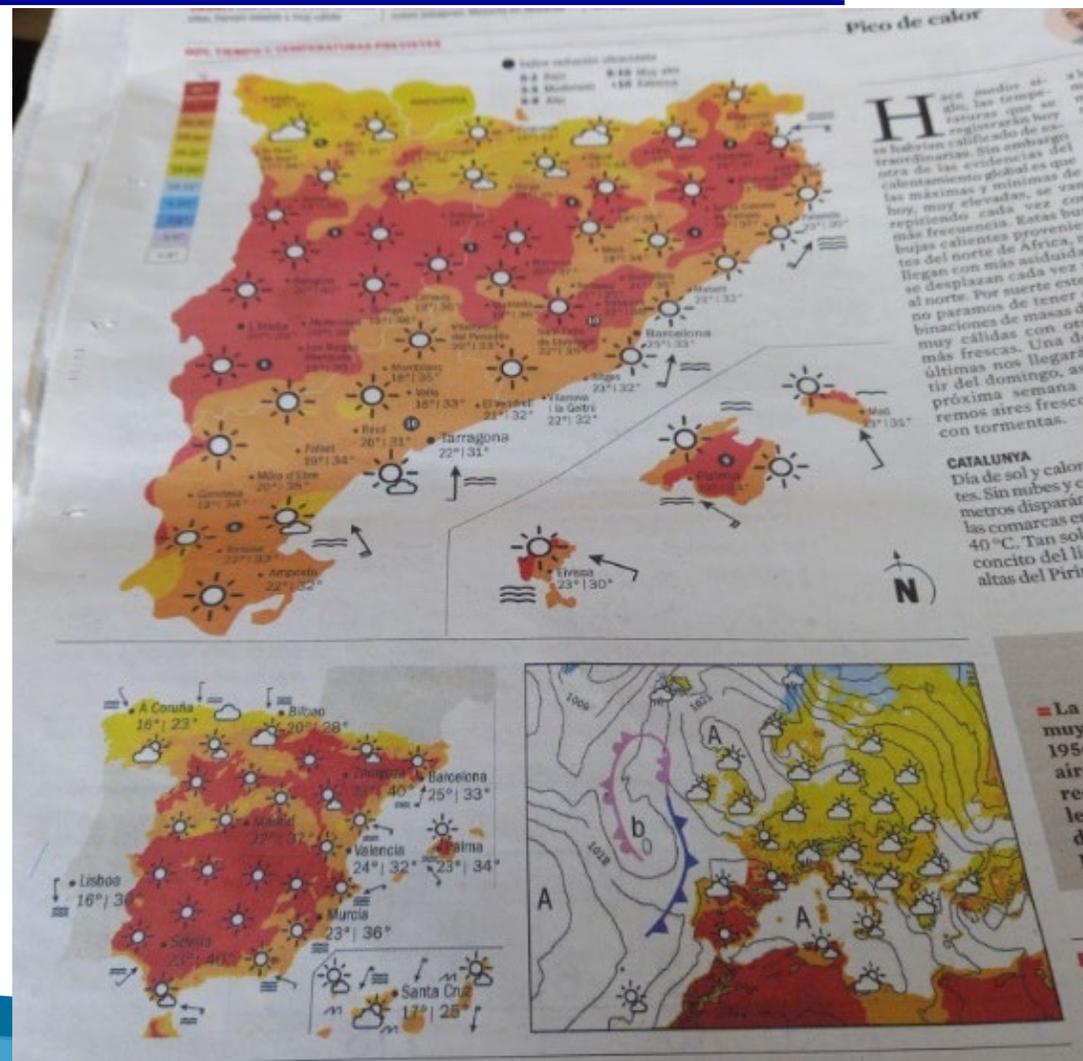
Ecosystems of the World, Vol. II, Mediterranean-Type Shrublands (F. DiCatri, D.W. Goodall and R.L. Specht, Eds.), Elsevier, Amsterdam, 1981. *Gentileza del Prof. X. Martín-Vide*

Esas burbujas calientes...

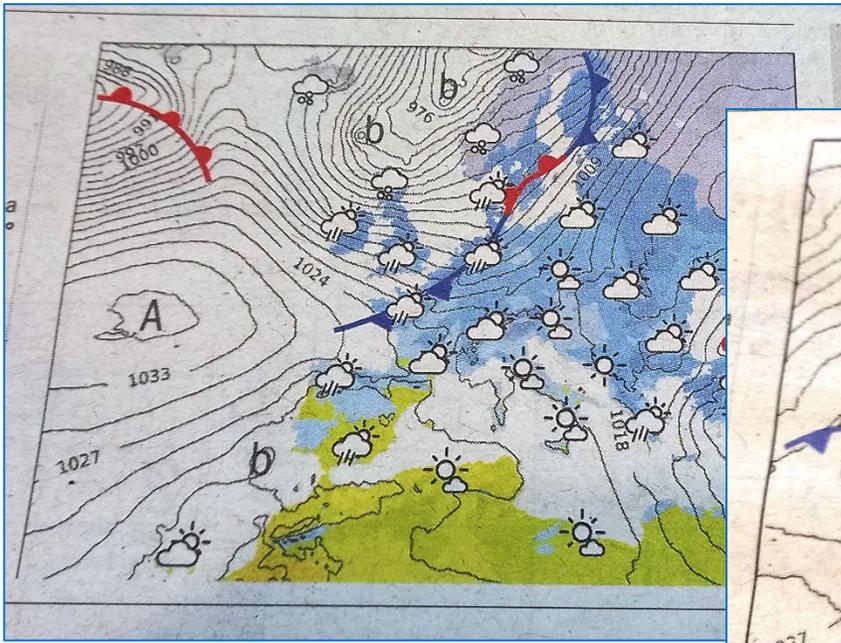
“...provenientes del norte de África, nos llegan con más asiduidad y se desplazan cada vez más al norte”

A. Rodríguez Picó

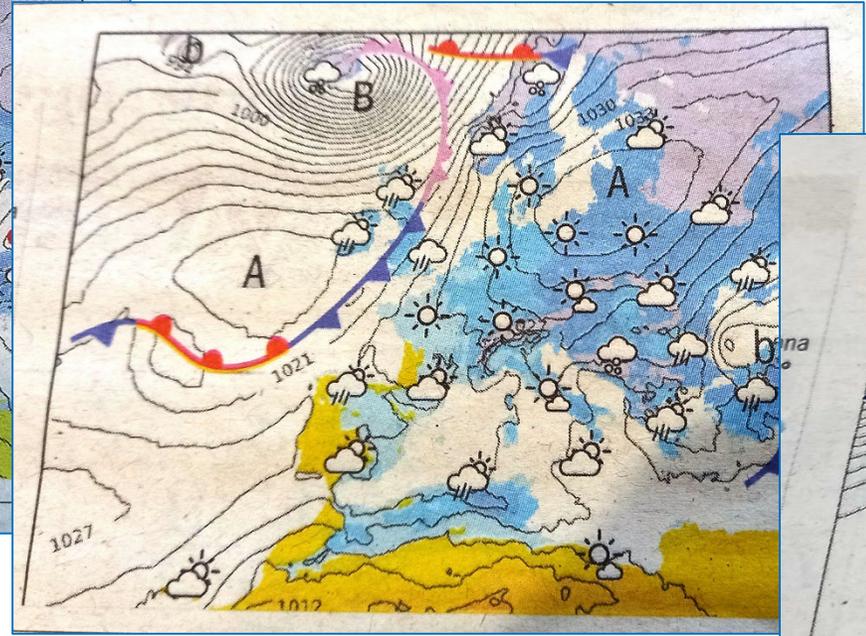
La Vanguardia, 22 julio 2021



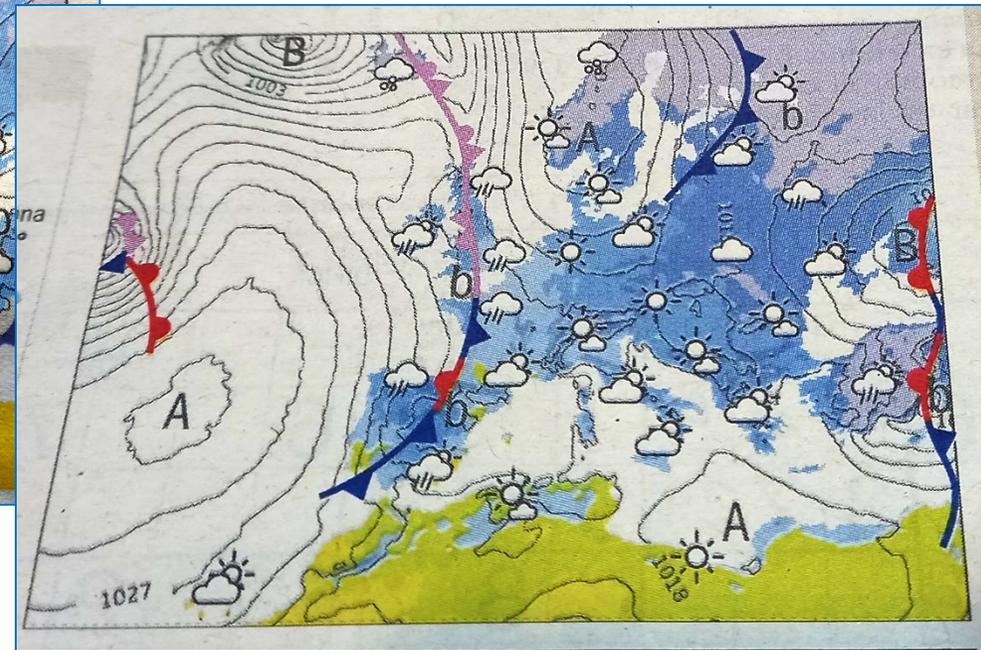
Con anticiclones persistentes



24 febrero 2022



28 febrero 2022

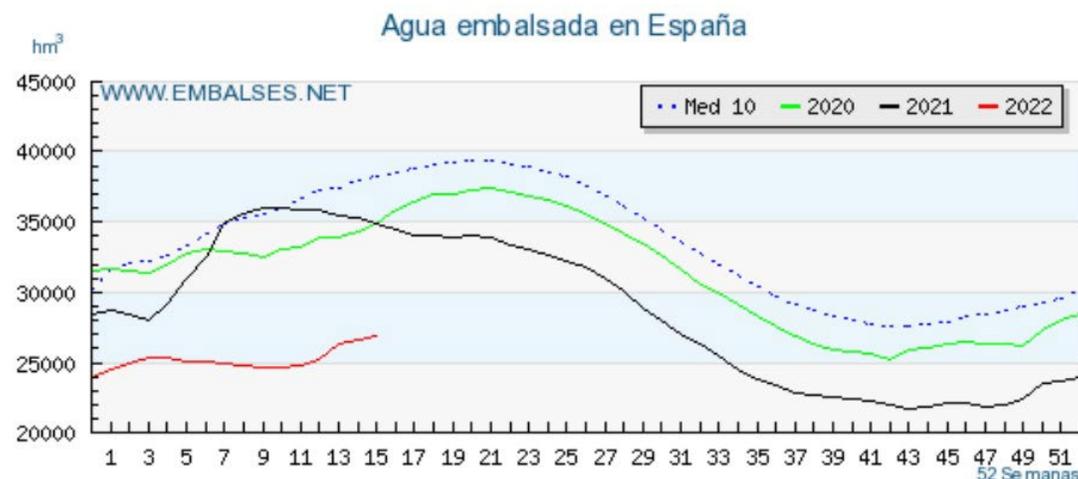


3 marzo 2022

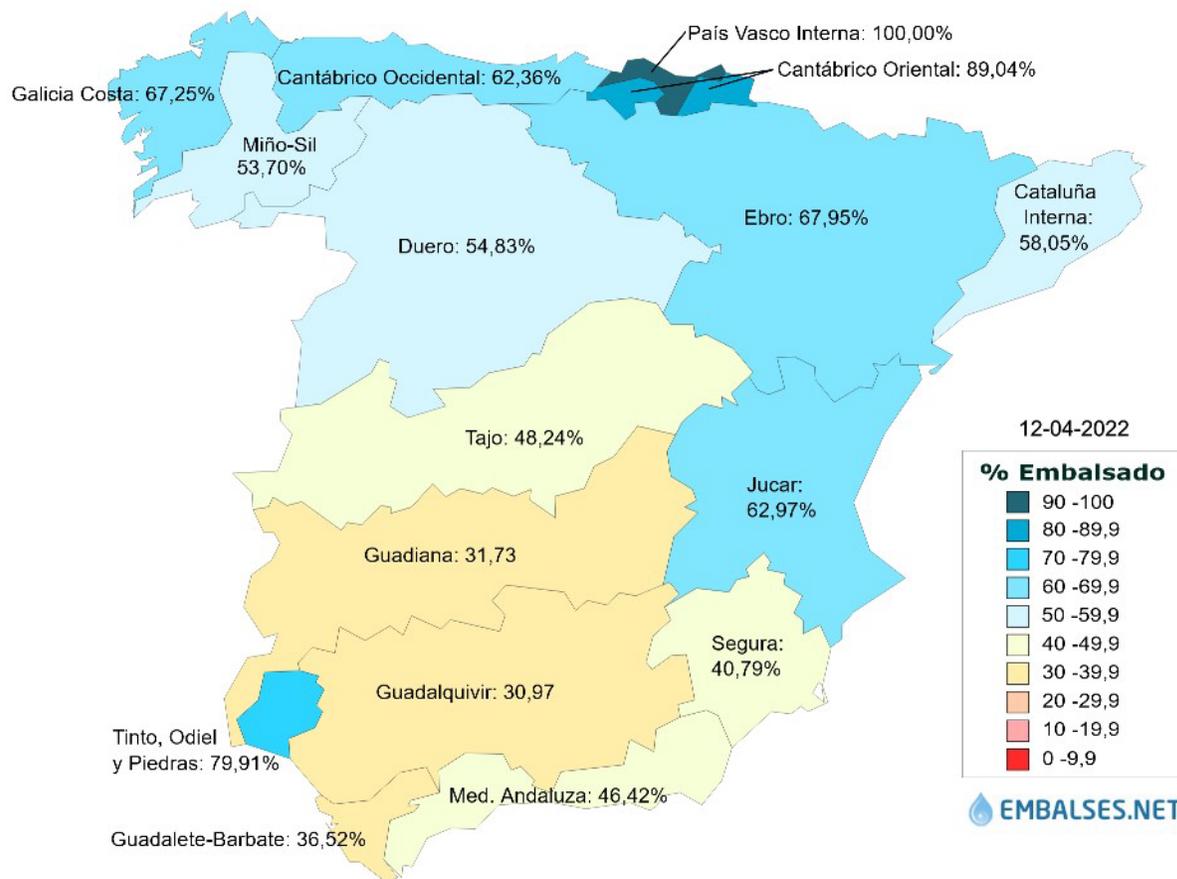
Reservas de agua en España

Agua embalsada en España

Agua embalsada (12-04-2022):	26.834 hm ³	47.80 %
Variacion semana Anterior:	214 hm ³	0.38 %
Capacidad:	56.136 hm ³	
Misma Semana (2021):	34.886 hm ³	62.15 %
Misma Semana (Med. 10 Años):	38.190 hm ³	68.03 %



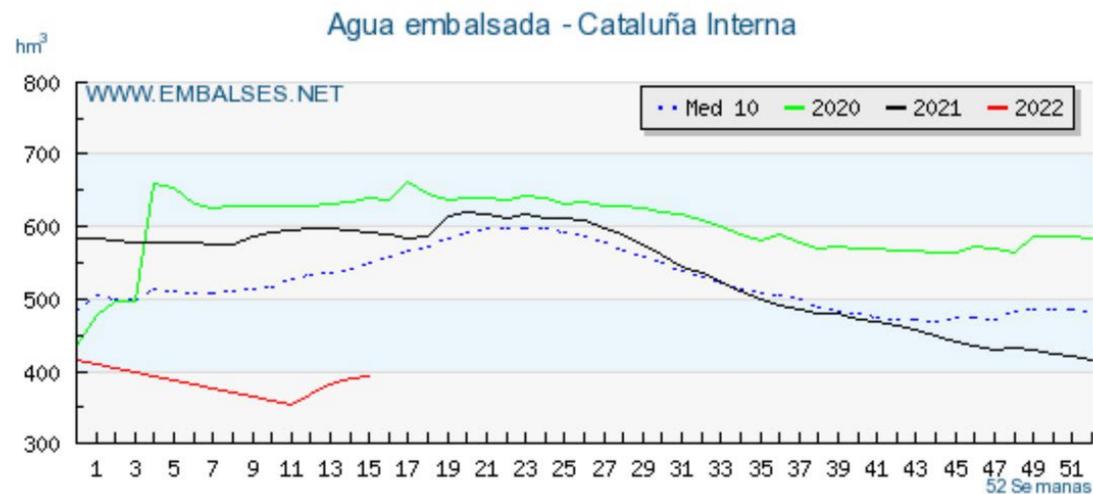
Cuencas hidrográficas



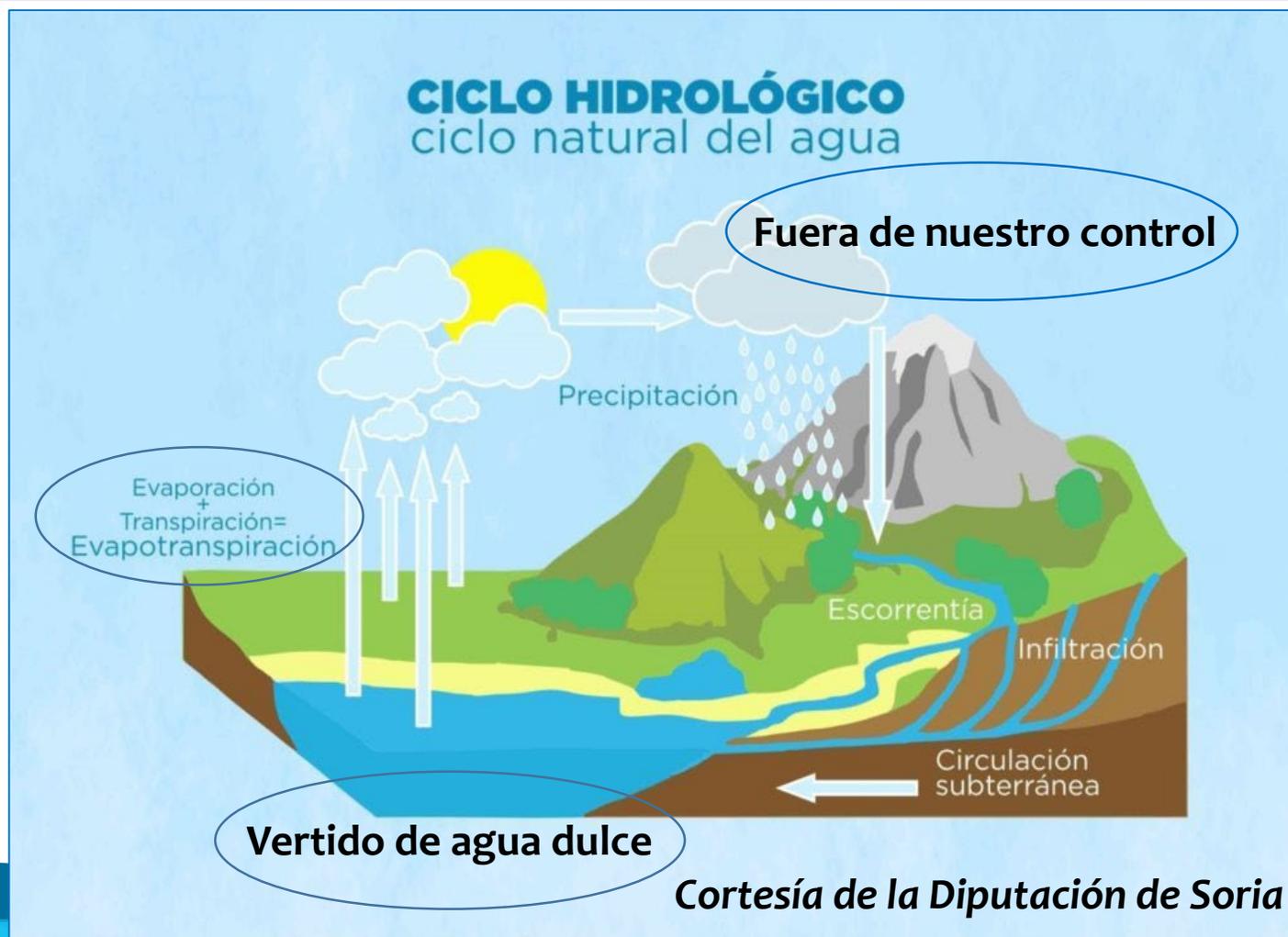
Agua embalsada por cuencas (12-04-2022)

Cuencas internas de Catalunya

Cuenca: Cataluña Interna		
Agua embalsada (12-04-2022):	393 hm ³	58.05 %
Variacion semana Anterior:	2 hm ³	0.30 %
Capacidad:	677 hm ³	
Misma Semana (2021):	591 hm ³	87.30 %
Misma Semana (Med. 10 Años):	549 hm ³	81.14 %



El ciclo hidrológico



Estrategias de gestión

- 6 estrategias para satisfacer los consumos con los recursos disponibles
- Tradicionales (*no aportan* recursos netos adicionales)
 1. Preservación y mejora de las fuentes de agua
 2. Ahorro y uso eficiente del agua
 3. Regulación de recursos: embalses y acuíferos
 4. Intercambio y transferencias entre usuarios
- Innovadoras (*pueden aportar* recursos netos adicionales)
 5. *Regeneración y reutilización del agua*
 6. Desalinización de aguas salobres y marinas (legitimada)

Estrategias de gestión

- 6 estrategias para satisfacer los consumos con los recursos disponibles
- Tradicionales (**no aportan** recursos netos adicionales)
 1. Preservación y mejora de las fuentes de agua
 2. Ahorro y uso eficiente del agua
 3. Regulación de recursos: embalses y acuíferos
 4. Intercambio y transferencias entre usuarios (**salvo de otra cuenca**)
- Innovadoras (**aportan** recursos netos adicionales, *en la costa*)
 5. *Regeneración y reutilización del agua*
 6. Desalinización de aguas salobres y marinas (legitimada)

Estrategias de gestión

- 6 estrategias para satisfacer los consumos con los recursos disponibles
- Tradicionales (*no aportan* recursos netos adicionales)
 1. Preservación y mejora de las fuentes de agua
 2. Ahorro y uso eficiente del agua
 3. Regulación de recursos: embalses y acuíferos
 4. Intercambio y transferencias entre usuarios
- Innovadoras (*aportan* recursos netos adicionales, *en la costa*)
 5. **Regeneración y reutilización del agua**
 6. Desalinización de aguas salobres y marinas (legitimada)

Con criterios operativos

- Unas estrategias que deben implantarse:
 - **Planificando** las actuaciones (a medio y largo plazo) con ritmo actual
 - **Diversificando** las fuentes y las estrategias: fiabilidad y resiliencia
 - Equilibrando infraestructuras y gestión: **la gestión suele ser un factor limitante**
 - Aplicando **criterios de sostenibilidad** (ambientales, sociales y económicos)
 - Propiciando una gestión ágil, eficiente y **transparente**
 - Impulsando **la comunicación/información** con todos los usuarios y el público

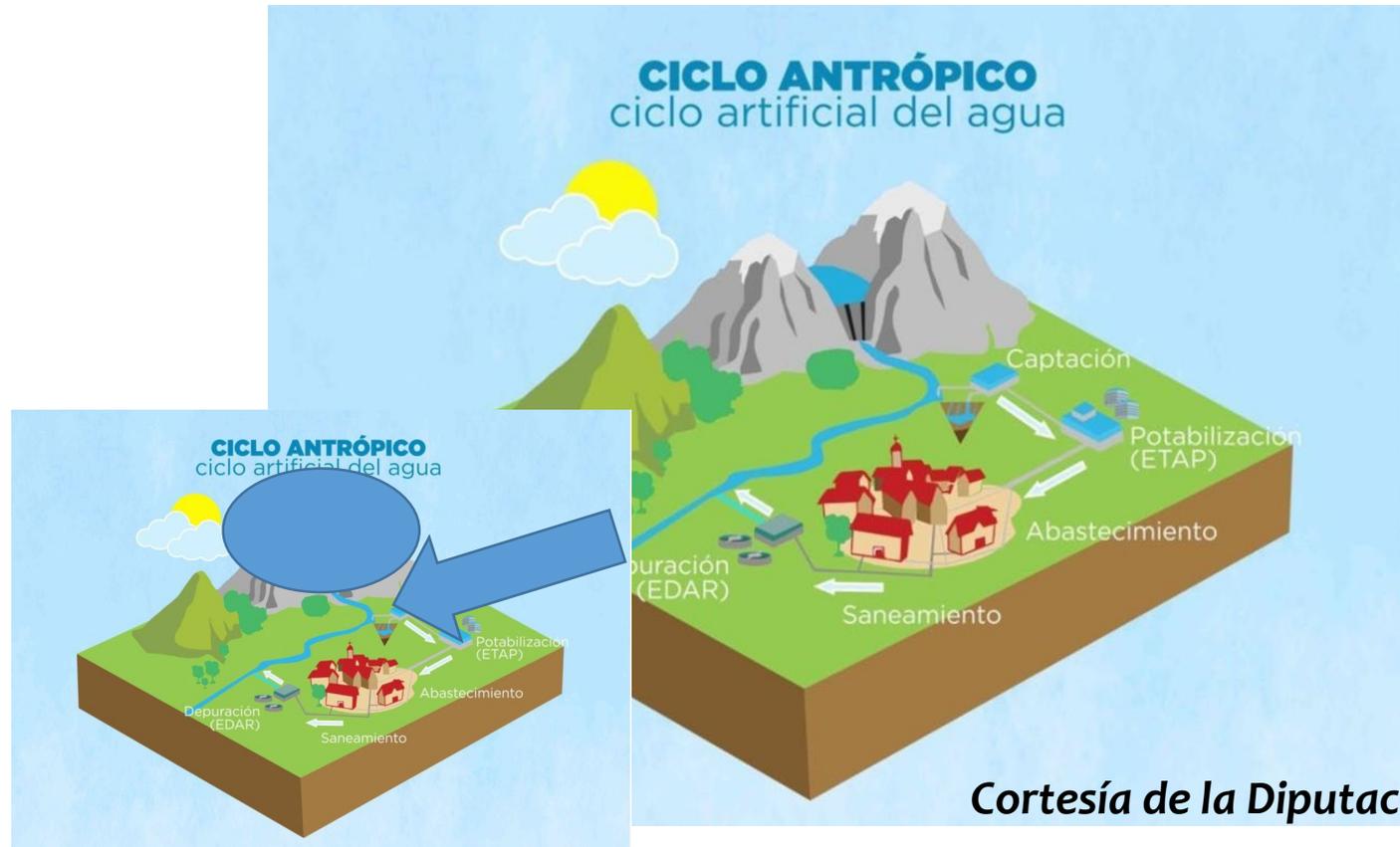
¿No estamos reutilizando ya?

- **Sí**, reutilizamos desde tiempo inmemorial
- El **ciclo del agua es un ejemplo emblemático de la economía circular**
- Reutilización **indirecta, incidental, no planificada, “de facto”**:
 - Vertidos aguas arriba, diluidos y vueltos a captar
 - (Casi) todos **“vivimos...aguas abajo”**
 - **Ocurre en todos los cursos de agua del mundo: en diferentes grados**
- **Legitimada** por la historia, las costumbres, las normas y la legislación

El ciclo urbano del agua



La reutilización *incidental*



Cortesía de la Diputación de Soria

La reutilización *incidental*



Reutilización planificada

- Reutilización **planificada** o simplemente **reutilización**
 - Más reciente, mitad siglo XX
 - Suministrar agua tratada (**regenerada**), mediante una (posible **doble**) red
- Tiene una **larga tradición de éxitos** (Windhoek, 1968),
 - numerosos proyectos emblemáticos en zonas semi-áridas y mediterráneas
 - grandes **realidades** para afrontar la irregularidad pluviométrica
- Se enfrenta al gran reto de su **legitimación: estigmatizada y prohibida**
 - **apoyo normativo** de las autoridades sanitarias y de recursos hídricos
 - **campañas de comunicación:** mejorar su percepción y aceptación públicas

Dos motivaciones básicas

- Disponer de fuentes de suministro “**nuevas, adicionales**”
 - **evitando las pérdidas:** atmósfera (evaporación/evapotranspiración) o **mar**
 - **aumenta la auto-suficiencia, la fiabilidad, la resiliencia, con fuentes locales**
- Mejorar la gestión de las aguas depuradas:
 - ofreciendo **alternativas al vertido al medio acuático**
 - posibilitando el “**vertido cero**” (**promoviendo la economía circular**)
- Son opciones **independientes o sucesivas**

Con sus beneficios

- Proporciona **recursos nuevos, alternativos, no convencionales (netos adicionales)** en la costa)
- Es una **f fuente local de agua** (evita los trasvases)
- Amplía **la auto-suficiencia** de los recursos (son recursos propios)
- Ofrece un agua de gran calidad
- Permite una gestión del agua más sostenible
- Asegura una mayor **fiabilidad (garantía) y resiliencia** del suministro

y sus exigencias

- Unas **normas de calidad** para proteger la salud pública y los recursos hídricos:
 - procesos de regeneración: eficientes y fiables (\approx **potabilización**)
 - calidad del agua regenerada
- Una nueva mentalidad: **elaborar un producto**, en lugar de un residuo (EDAR)
- Una (**posible**) doble red de distribución
- **Conseguir su legitimación, su aceptación pública**
- Una **voluntad política** de hacer de la regeneración y la reutilización un elemento básico de la gestión integrada

Una estrategia compleja

- La reutilización tiene **múltiples dimensiones**, pues es:
 - una cuestión (**de excelencia**) técnica (**necesaria, pero no suficiente**)
 - una cuestión de salud pública
 - una cuestión económica y financiera
 - una cuestión reglamentaria
 - una cuestión de gestión institucional
 - una cuestión ambiental
 - una cuestión planificación territorial
 - una cuestión industrial
 - una cuestión sociológica: **aceptación pública** (agua impura)
 - **una cuestión de política de gestión integrada de los recursos**

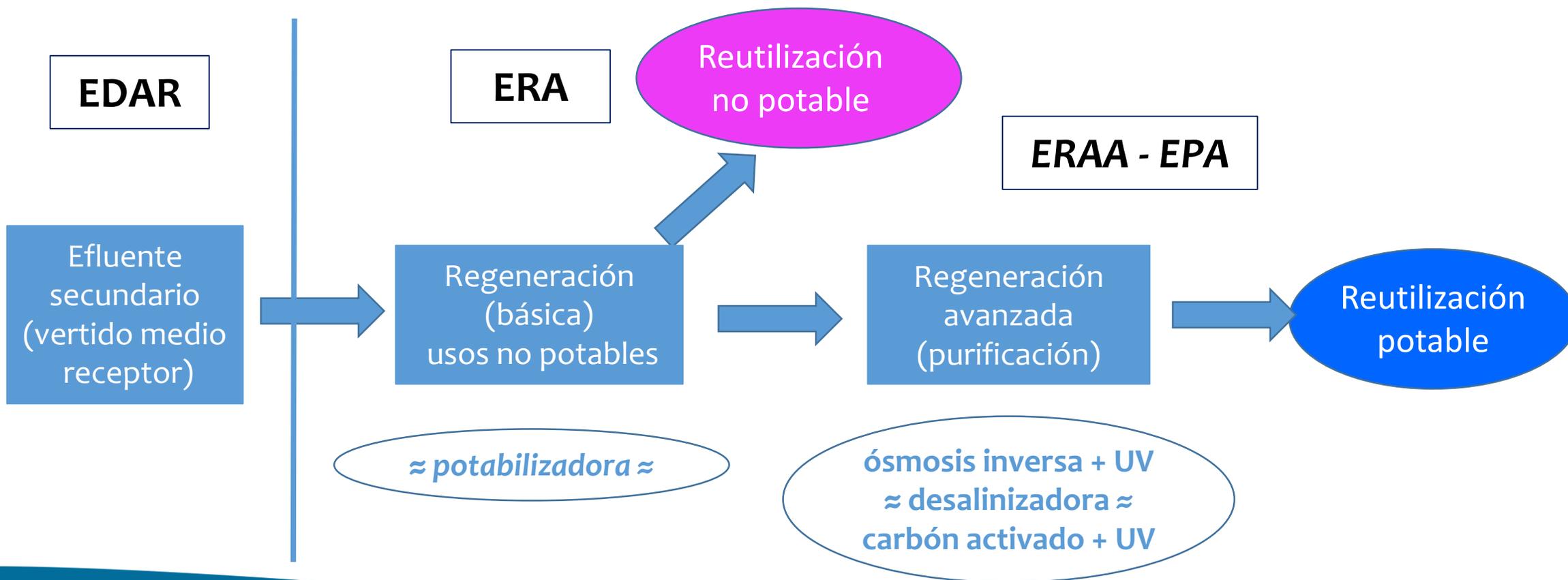
Para diversas aplicaciones

- **Reutilización no potable:**
 - Riego agrícola y de jardinería
 - Preservación y mejora ambiental: humedales
 - Usos recreativos: lagos ornamentales
 - Usos industriales: refrigeración, lavado, agua de proceso
 - Usos urbanos y domésticos: lucha contra incendios, baldeo de calles, lavado de coches, refrigeración, riego, inodoros
- **Reutilización potable:**
 - Recarga de acuíferos: infiltración e inyección
 - Recarga de embalses (o depósitos)
 - Aumento de aguas de abastecimiento

... y aplicaciones potables

- **Reutilización no potable:**
 - Riego agrícola y de jardinería
 - Preservación y mejora ambiental: humedales
 - Usos recreativos: lagos ornamentales
 - Usos industriales: refrigeración, lavado, agua de proceso
 - Usos urbanos y domésticos: lucha contra incendios, baldeo de calles, lavado de coches, refrigeración, riego doméstico, inodoros
- **Reutilización potable:**
 - Recarga de acuíferos: infiltración e inyección
 - Recarga de embalses (o depósitos)
 - Aumento de aguas de abastecimiento: potabilizadora o en red

Esquema operativo



Terminología (*normas vigentes*)

- **Regenerar agua:**
 - Se regenera agua (se adecúa su calidad) para un uso concreto
 - Se realiza en una **estación de regeneración de agua** (ERA)
- **Reutilizar agua:**
 - Se suministra agua regenerada a sus usuarios, mediante:
 - Una red de distribución existente (o una nueva, doble red)
 - Un sistema de regulación de agua
 - Atendiendo ciertos requisitos de utilización
- **Diversos nombres** para este **recurso no convencional:**
 - Reclaimed water; Recycled water (California, Australia); *NEWater* (Singapur) *Purified water* (San Diego)

El agua como fuente de infección



La epidemia de cólera de 1854, en el barrio de Soho, de la ciudad de Westminster, en Londres.

Durante la pandemia de cólera que afectó a todo el mundo **entre 1846 y 1860**

"John Snow memorial and pub".
Licensed under CC BY-SA 2.0 via Commons - Wikipedia

La potabilización del agua

1852 *Ley metropolitana en UK*

asegurar que el abastecimiento de agua fuera “pura y salubre”

aplicar el principio de precaución: ***captar agua de una fuente libre de contaminación (¡apreciable!)***

1862 Pasteur rebatió la “***generación espontánea***”

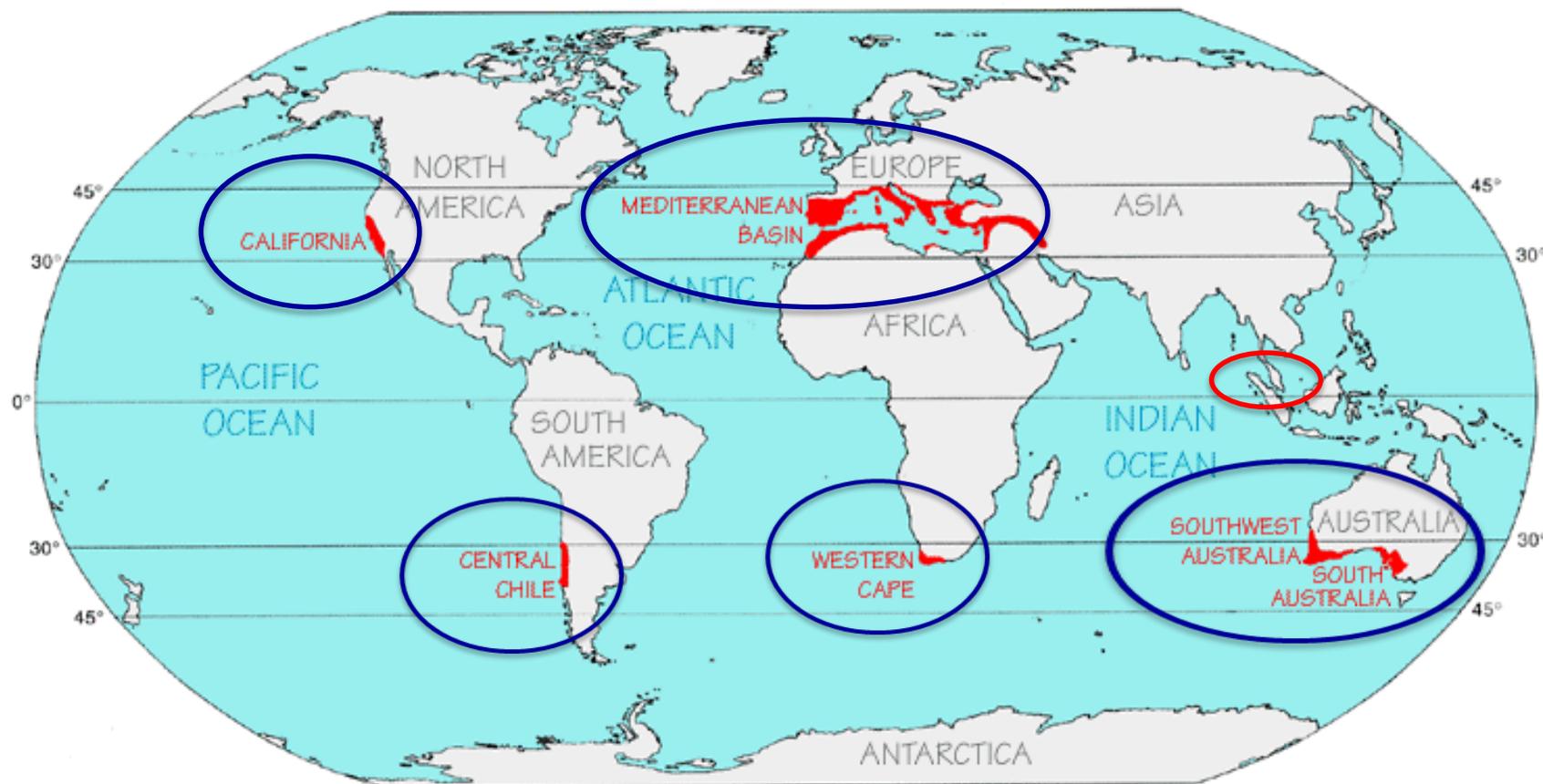
1894 se añade cloro para asegurar que el agua esté “***libre de gérmenes***”

1907 primeras ***potabilizadoras con cloración permanente*** en UK y USA

Calidad del agua regenerada

- **1968** Windhoek, Namibia, tratamientos similares a la **potabilización avanzada**
“El valor del agua debe juzgarse por su calidad y no por su historia”
- **1978** California, agua **analíticamente potable** para riego agrícola y jardinería
 - gran éxito en California y Florida para la **reutilización no potable**
 - el proyecto de Vitoria-Gasteiz en 1994 para riego agrícola
 - **el RD 1620/2007 está basado en ese principio**
- **2000** La ampliación a **la reutilización potable: modelos de gestión de riesgos**
 - normativas de **recarga de acuíferos (2014)** y **embalses (2018)** en California
 - el **Reglamento UE 2020/741** (junio de 2023)
 - Un nuevo reto: **adoptar este elemento de gestión** de todos los proyectos

La otra región “mediterránea”

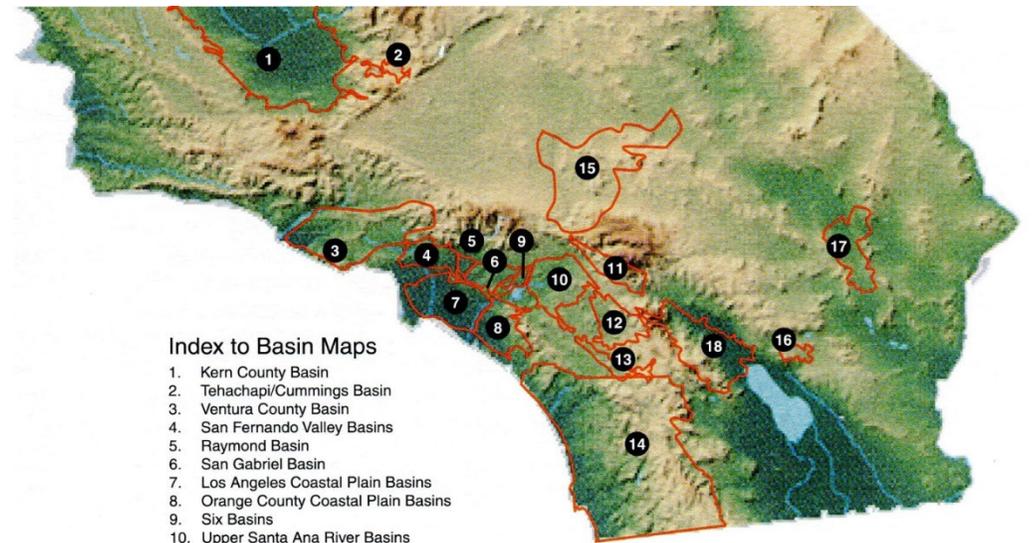


Ecosystems of the World, Vol. II, Mediterranean-Type Shrublands (F. DiCasti, D.W. Goodall and R.L. Specht, Eds.), Elsevier, Amsterdam, 1981. *Gentileza del Prof. X. Martín-Vide*

Iniciativas pioneras



año 2000
1.000 hm³
2.000 millones \$



- Index to Basin Maps**
1. Kern County Basin
 2. Tehachapi/Cummings Basin
 3. Ventura County Basin
 4. San Fernando Valley Basins
 5. Raymond Basin
 6. San Gabriel Basin
 7. Los Angeles Coastal Plain Basins
 8. Orange County Coastal Plain Basins
 9. Six Basins
 10. Upper Santa Ana River Basins
 11. Bunker Hill Basin
 12. San Jacinto Basin
 13. Upper Santa Margarita Watershed Basins
 14. San Diego County Basins
 15. Mojave River Basin
 16. Hayfield Basin
 17. Cadiz Valley Basin
 18. Coachella Valley Basin

Figure 5
 Index Map Showing the Relative Location of Basin Groupings Featured in the Guide

año 2006
capacidad de regulación de + 350 hm³
a 0,85 \$/m³, durante 25 años

Nuevos episodios de sequía

Drought in California from 2000–Present

The U.S. Drought Monitor started in 2000. Since 2000, the longest duration of drought (D1–D4) in California lasted 376 weeks beginning on December 27, 2011, and ending on March 5th, 2019. The most intense period of drought occurred the week of July 29, 2014, where D4 affected 58.41% of California land.

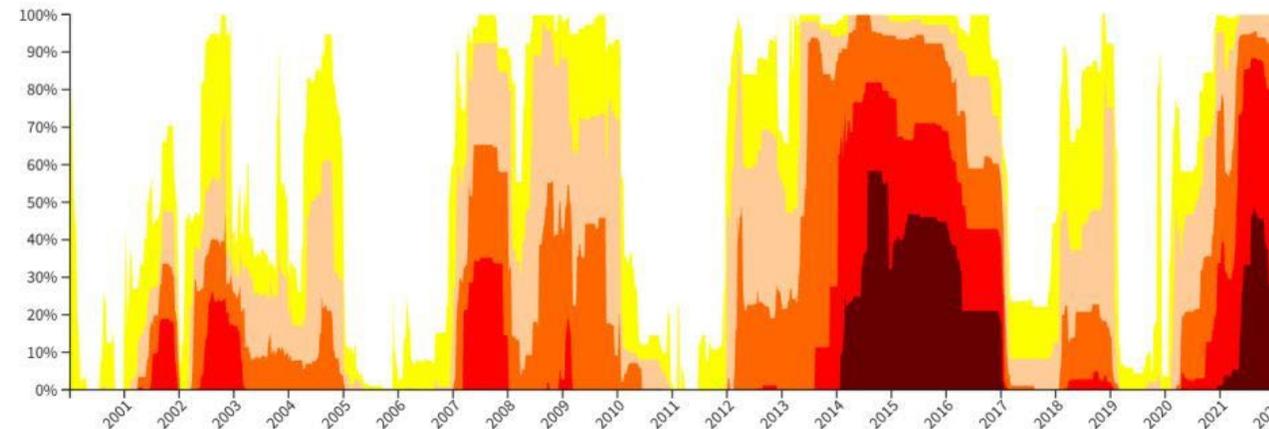
[2000 - Present \(Weekly\)](#) [1895 - Present \(Monthly\)](#) [0 - 2017 \(Yearly\)](#)

[Explore Historical Maps](#)

The U.S. Drought Monitor (USDM) is a national map released every Thursday, showing parts of the U.S. that are in drought. The USDM relies on drought experts to synthesize the best available data and work with local observers to interpret the information. The USDM also incorporates ground truthing and information about how drought is affecting people, via a network of more than 450 observers across the country, including state climatologists, National Weather Service staff, Extension agents, and hydrologists. [Learn more.](#)

Time Period (Years): to [Update Graph](#) [Reset Graph](#)

Latest Available Data: 2022-02-15



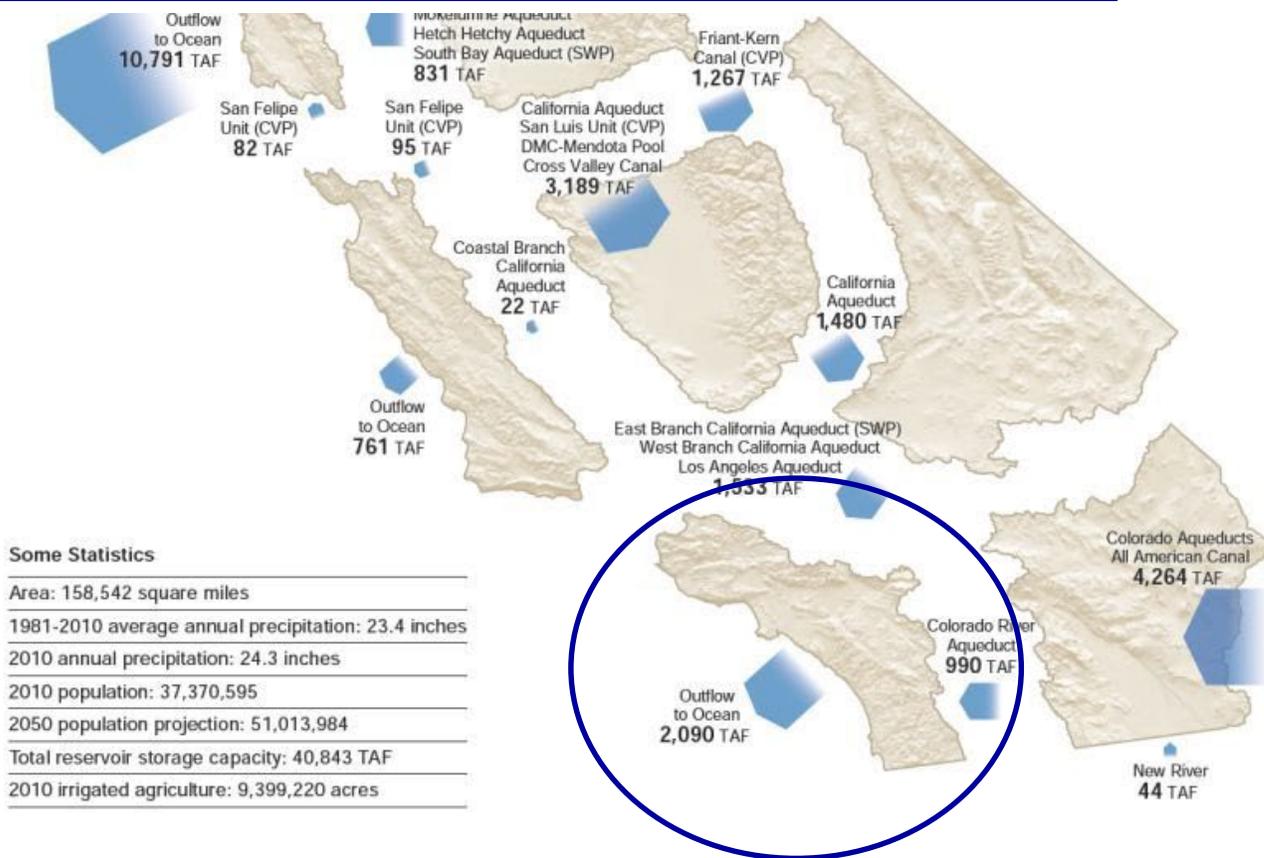
■ D0 ■ D1 ■ D2 ■ D3 ■ D4

Click or hover on legend boxes to interact with the graph.

[Image](#) [JSON](#) [XML](#) [CSV](#)

“Nuevas” fuentes de agua

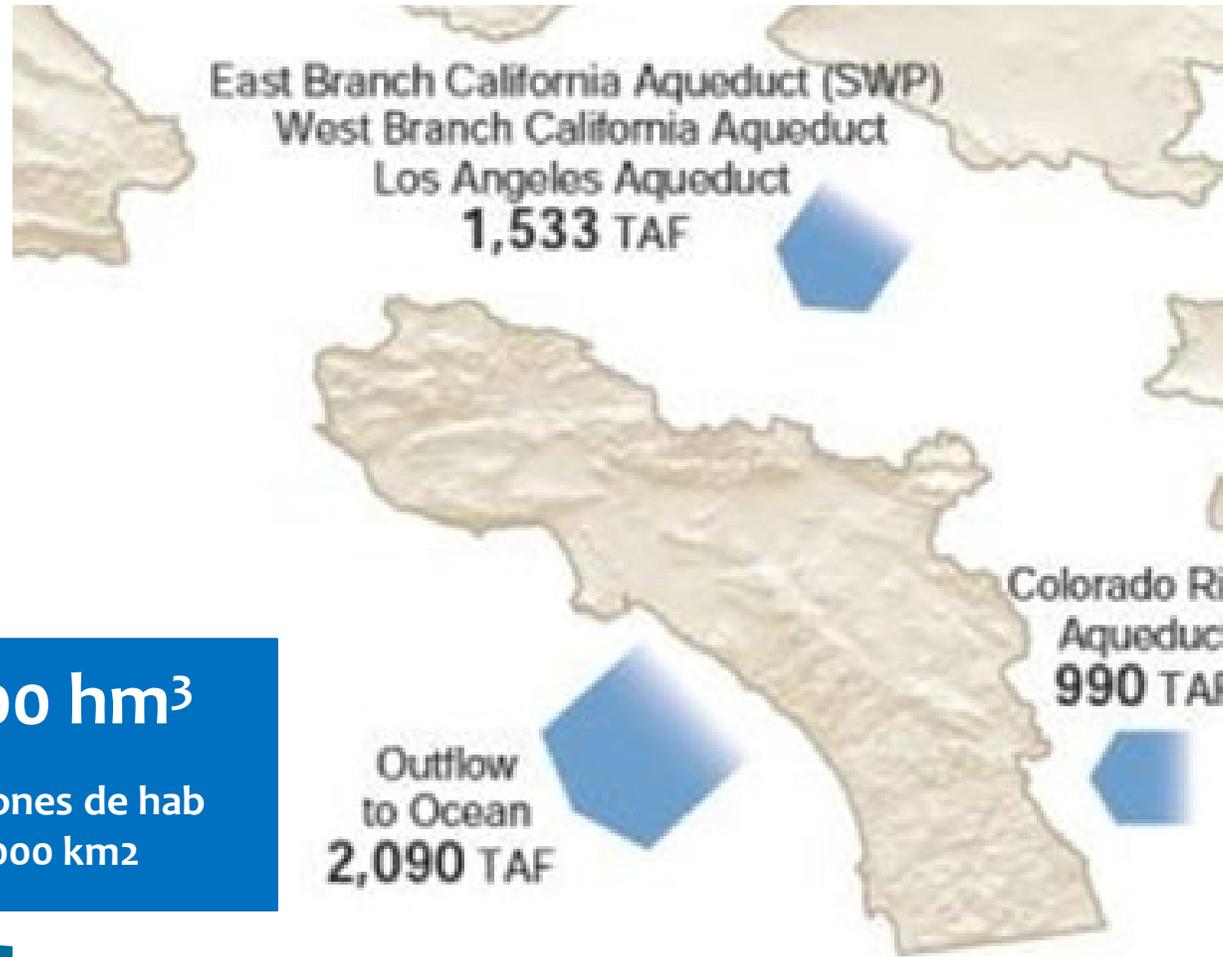
Figure 3-5 Hydrologic Regions of California, the Sacramento-San Joaquin Delta, and Mountain Counties Area



Some Statistics

Area:	158,542 square miles
1981-2010 average annual precipitation:	23.4 inches
2010 annual precipitation:	24.3 inches
2010 population:	37,370,595
2050 population projection:	51,013,984
Total reservoir storage capacity:	40,843 TAF
2010 irrigated agriculture:	9,399,220 acres

Recursos de agua “inevitables”



2.600 hm³
20 millones de hab
50.000 km²

Nuevas iniciativas pioneras

- Metropolitan Water District, proveedor en alta a 20 M de habitantes
 - **570.000 m³/día, 2.700 M\$, para ≈2035**
- Ciudad de Los Angeles, 5 millones de habitantes, para 2035
 - **720.000 m³/día, 8.000 M\$**
- Orange County Water District, GWRS Project, 3 millones de habitantes
 - Desde 2008 (**625 M\$**), **380,000 m³/día** (135 hm³/año),
 - 2023: ampliado a **450.000 m³/día** (160 hm³/año)
- San Diego ciudad, Pure Water San Diego, 1,5 – (3,5) millones de habitantes
 - Primera fase: **120.000 m³/día en 2025, 1.500 M\$**
 - Segunda fase: + **210.000 m³/día en 2035**

Total para 2035: 2 hm³/día (≈ 750 hm³/año; ≈ 16.000 M\$)

Take home messages I

- La irregularidad pluviométrica en zonas de clima mediterráneo **cuestiona** las estrategias tradicionales de gestión integrada del agua
- **La regeneración del agua en zonas costeras aporta recursos hídricos adicionales, fiables y resilientes, mejorando la autosuficiencia**
- La regeneración del agua es una **opción análoga** (medios y personal) a la potabilización y la desalinización, pero **aplicada a un efluente depurado**
- La adopción de una terminología rigurosa y una descripción adecuada posibilita una **percepción correcta** y una **aceptación amplia** del agua

Take home messages II

- **Los modelos de gestión de riesgo (el agua como alimento)** han de guiar los procesos de regeneración: calidad igual o superior a la de otras fuentes
- Las iniciativas adoptadas en el sur de California aportarán **autosuficiencia y fiabilidad de abastecimiento** para 20 millones de personas en 2035
- **Disponemos de proyectos emblemáticos de regeneración** básica y avanzada del agua, capaces de asegurar una calidad comparable a la de otras fuentes
- La reutilización está determinada por **una estrecha colaboración** entre
 - las autoridades de salud pública y recursos hídricos y
 - las empresas y los usuarios del agua

Antiguos y nuevos enfoques

*“Whiskey is for drinking, water is for fighting over”
popular, atribuida a Mark Twain; sin confirmar*

La nueva expresión en la cultura californiana:

*“Superaremos los grandes retos hídricos mediante una mayor colaboración
entre todos”*

... como hicieron los pioneros de 1849

“No energy: no comfort” ; “No water: no life”

ASERSA Agua.es



Uántenos al + 34 618 326 444 | secretario@asersagua.es

 Asociación Española de Reutilización Sostenible del Agua
¡Reutilicemos el agua!

Inicio Quiénes somos Socios Noticias Actividades Publicaciones FAQ sobre R&R Contacto Q

 WATER REUSE MEMBER

asersa
es Miembro Afiliado de

ASERSA promueve la reutilización del agua regenerada mediante la divulgación de conocimientos científicos y técnicos, proyectos emblemáticos, modelos de gestión y normativas de protección sanitaria y ambiental

*¡Muchas gracias
por su atención!*