



# La reutilización planificada y la gestión integrada del agua

Rafael Mujeriego  
Catedrático de Ingeniería Ambiental  
Universitat Politècnica de Catalunya  
Presidente de ASERSA

XXXIX Curso sobre Tratamiento de Aguas Residuales y  
Explotación de Estaciones Depuradoras  
Madrid, 22 noviembre 2022



# Objetivos

1. Presentar los retos de la gestión integrada del agua en las condiciones demográficas y climatológicas actuales
2. Valorar el papel de la regeneración y la reutilización del agua en la gestión integrada de los recursos hídricos
3. Ilustrar los logros conseguidos en zonas de clima mediterráneo
4. Plantear el (nuevo) ***servicio de abastecimiento de agua regenerada***

# 1. Panorama hídrico del planeta

- Recursos hídricos *finitos* para atender:
  - al medio natural: usuario de pleno derecho (DMA)
  - una población creciente ( $\approx 8.000$  Mp;  $\approx 260.000$  p/día;  $\approx 95$  Mp/año)
- Concepción actual: gestión *sistémica o integrada del agua* (los ODS)
- En un contexto de:
  - Consumos concentrados en zonas urbanas metropolitanas (*megalópolis*)
  - Agricultura que ofrece abastecernos de alimentos
  - Industria que desea fiabilidad de suministro
  - Modelos de cambio climático que anticipan una mayor incertidumbre (*irregularidad*) pluviométrica
  - *Expectativa social de liderazgo y coherencia pública (ahorro, economía circular)*

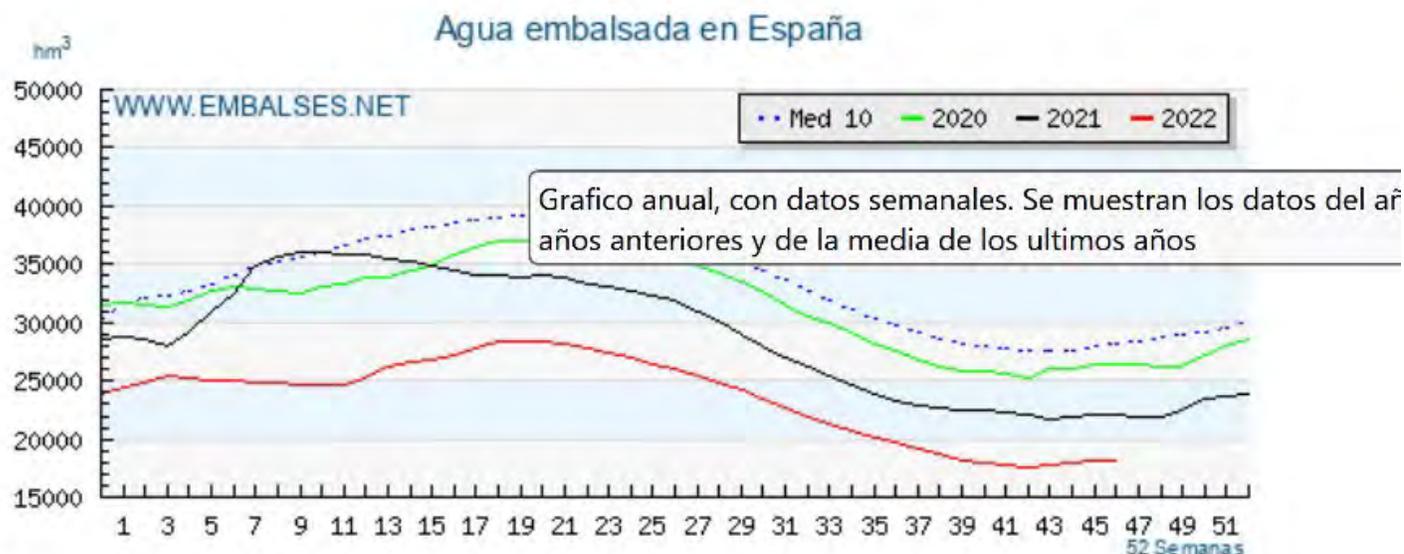
# Retos en nuestro contexto geográfico

- Una zona geográfica de *clima mediterráneo*
- Caracterizada por un ritmo pluviométrico específico
  - 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*
- Anticipo de una *mayor irregularidad pluviométrica*
- *Necesidad de adaptar las estrategias tradicionales de gestión* a la pluviometría, la regulación y los usos del agua actuales
- La continuación del **BAU** impedirá superar los retos actuales

# Con reservas irregulares

## Agua embalsada en España

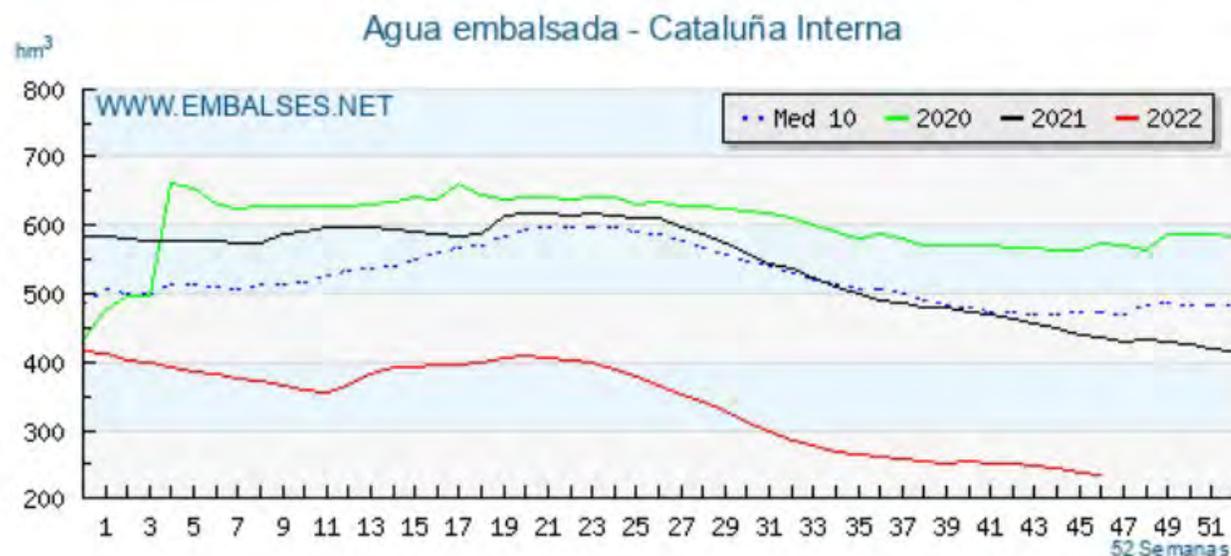
Agua embalsada (15-11-2022):	18.249 hm <sup>3</sup>	32.55 %
Variación semana Anterior:	91 hm <sup>3</sup>	0.16 %
Capacidad:	56.069 hm <sup>3</sup>	
Misma Semana (2021):	22.108 hm <sup>3</sup>	39.43 %
Misma Semana (Med. 10 Años):	28.262 hm <sup>3</sup>	50.41 %



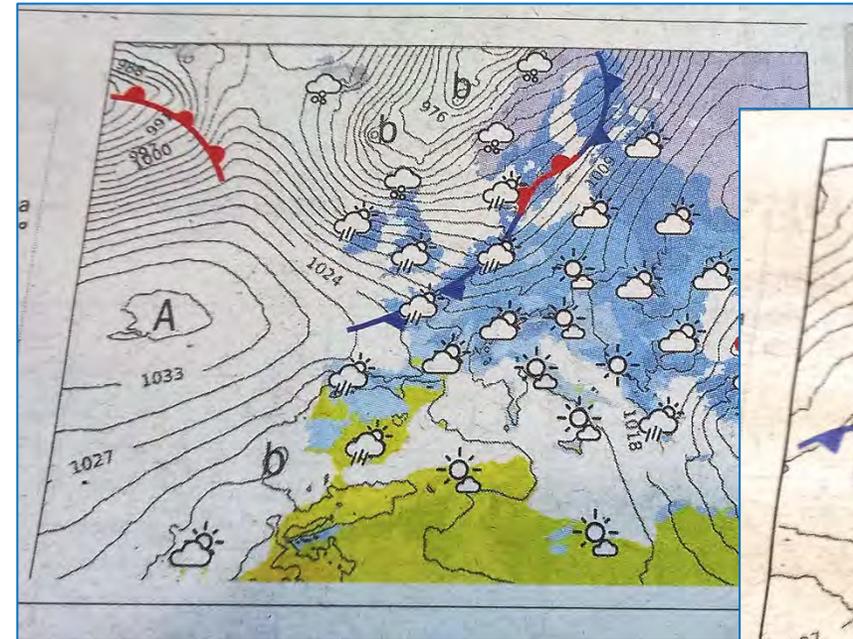
# Más marcadas a escala regional

## Cuenca: Cataluña Interna

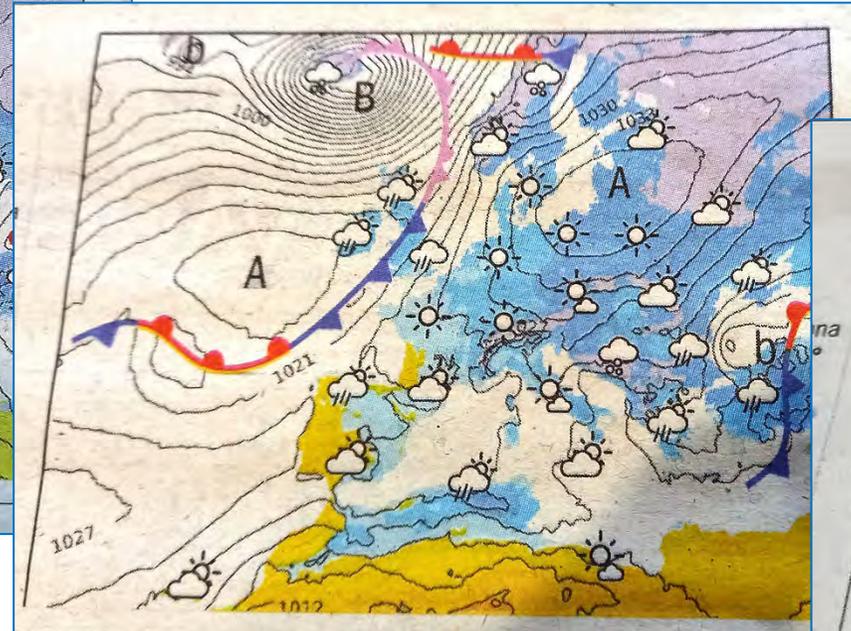
Agua embalsada (15-11-2022):	235 hm <sup>3</sup>	34.71 %
Variación semana Anterior:	-4 hm <sup>3</sup>	-0.59 %
Capacidad:	677 hm <sup>3</sup>	
Misma Semana (2021):	436 hm <sup>3</sup>	64.40 %
Misma Semana (Med. 10 Años):	473 hm <sup>3</sup>	69.91 %



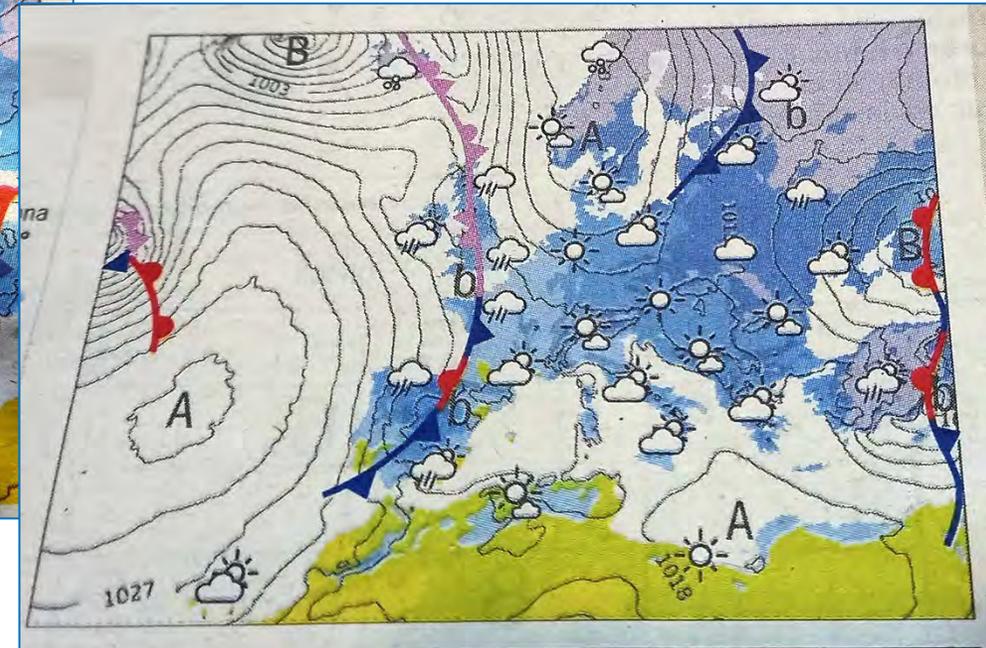
# La posición del anticiclón



24 febrero 2022



28 febrero 2022



3 marzo 2022

# El reto actual: *equilibrar*

- precipitaciones
- evaporación
- regulación
- vertido al mar
- .....

Recursos  
disponibles

- superficiales
- subterráneos

- usos

- consumos

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

# El ciclo hidrológico: *el ciclo natural*



- 6 estrategias para *satisfacer los consumos con los recursos disponibles*
- Tradicionales (*no aportan* recursos netos adicionales)
  1. Preservación/mejora de las fuentes de agua (*control vertidos, saneamiento*)
  2. Ahorro y uso eficiente del agua (*Smart Water*)
  3. **Regulación** de recursos: embalses y acuíferos
  4. Compartiendo agua en una cuenca: Consorcios y Mancomunidades o trasvases entre cuencas (*aporta recursos*)
- 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) *sin dilación*
  - **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*

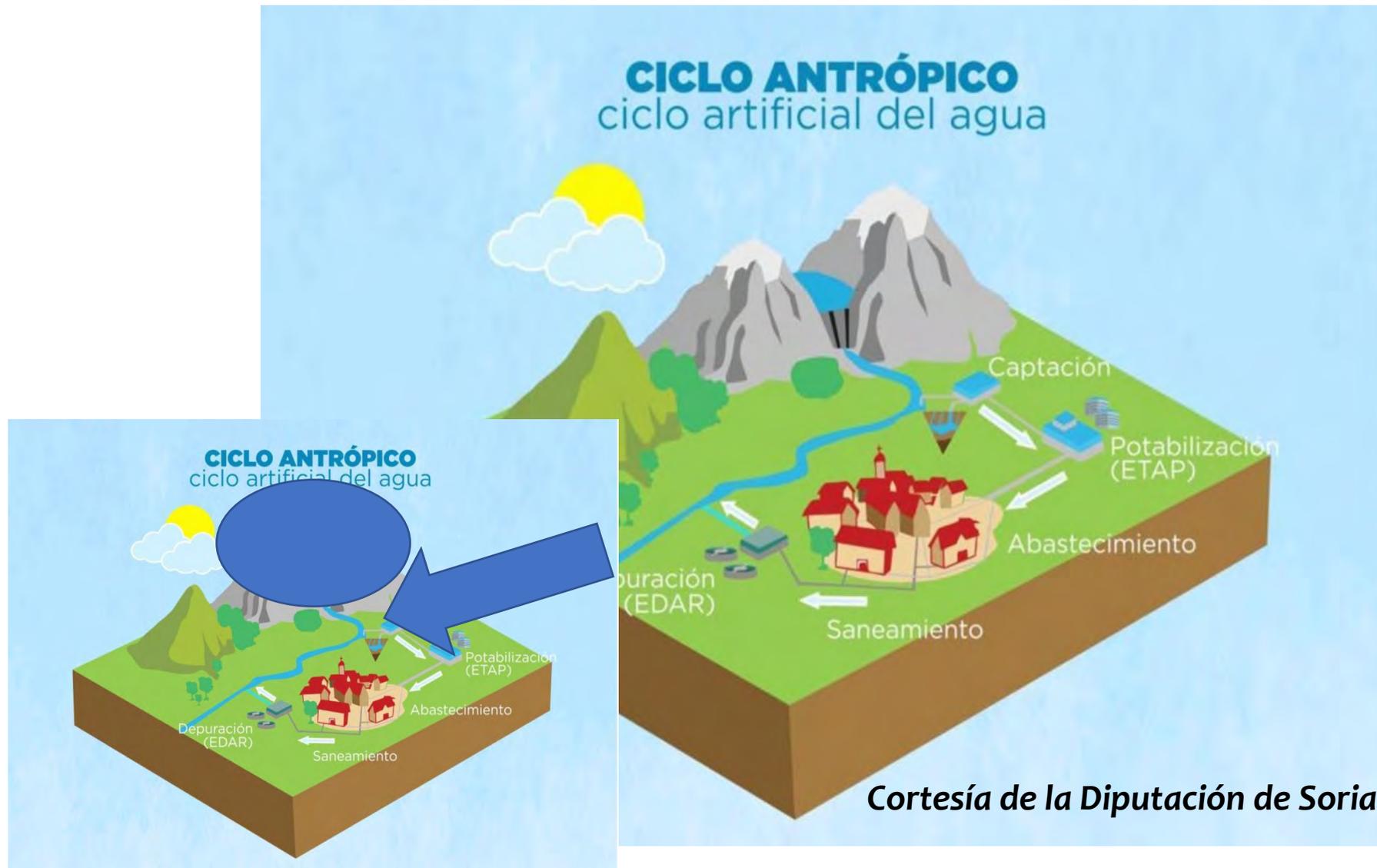
# ¿No estamos reutilizando ya?

- La reutilización viene ocurriendo desde *tiempo inmemorial*
- 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, la legislación y las normas

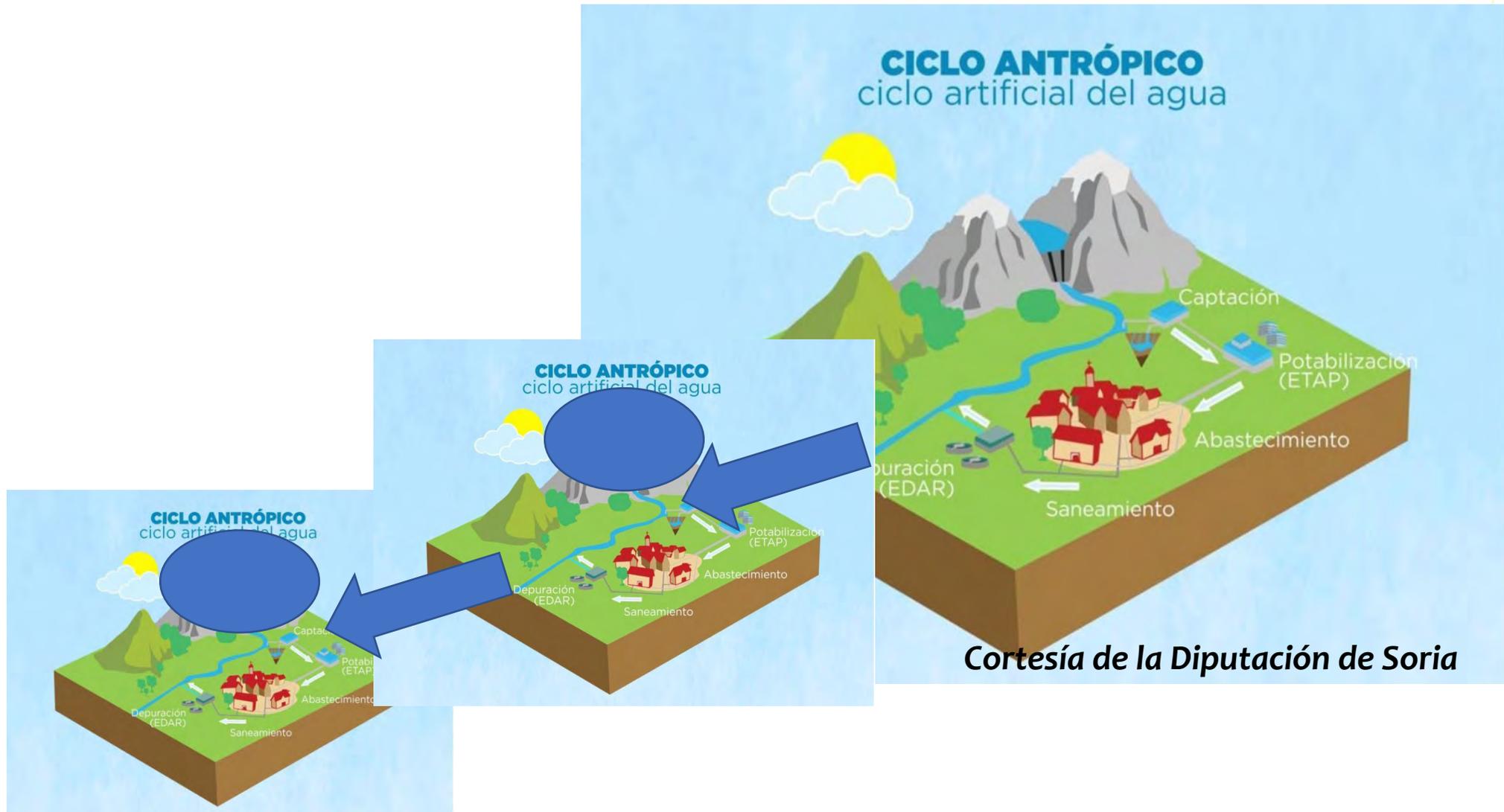
# El uso antrópico en el planeta



# La reutilización *incidental*



# Reutilización incidental, progresiva



## 2. La reutilización planificada “del agua”

- Reutilización *planificada* del agua o simplemente *reutilización del agua*
  - Más reciente, mitad siglo XX
- Tiene una *larga tradición de éxitos* (Windhoek, 1968),
- Disponemos de numerosos proyectos emblemáticos en zonas semi-áridas y mediterráneas
- Afronta el gran reto de su *legitimación*: está *estigmatizada y prohibida*
- Para legitimarla necesitamos desarrollar:
  - *apoyo normativo* de las autoridades sanitarias y de recursos hídricos
  - *campañas de comunicación*: mejorar *su percepción y aceptación públicas*

# Motivaciones para adoptarla

1. Disponer de fuentes de suministro “*nuevas, adicionales*”
  - *evitando las pérdidas* a la atmósfera o *al mar*
  - *se aumentan la auto-suficiencia, la fiabilidad, con fuentes locales*
  - **La condición más motivadora: LA SEQUÍA, intensa, multianual...**
2. Mejorar la gestión de las aguas depuradas:
  - ofreciendo *alternativas al vertido al medio acuático*
  - se avanza hacia el “*vertido cero*”, *preservando su calidad*
  - **Una condición muy motivadora: la “protección ambiental”**

Son opciones *independientes, pero pueden ser sucesivas*

# Con sus beneficios

- Proporciona *recursos adicionales* (en la costa)  
(nuevos, alternativos, no convencionales)
- Es una *fuentes local de agua* (evita las transferencias, las taridas)
- Amplía *la auto-suficiencia* de los recursos (son recursos propios)
- Ofrece un agua de gran calidad
- Permite una gestión integrada del agua más sostenible
- Asegura una mayor *fiabilidad (garantía)* de suministro

# y sus exigencias (retos)

- Unas **normas de calidad** (protección sanitaria y ambiental)
- Un proceso de regeneración eficiente y fiable: **salto cualitativo**
- Una nueva mentalidad: **elaborar un producto**, en lugar de un residuo (EDAR)
- Una (**posible**) doble red de distribución
- **Conseguir su legitimación, su aceptación pública:**
  - Contradice el **statu quo** reglamentario, normativo, de percepción y de pragmatismo de uso
- Una **voluntad política** de hacer de la regeneración y la reutilización un elemento básico de la gestión integrada del agua

# Para diversas aplicaciones

- **Primer grupo (*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: control de incendios, baldeo de calles, lavado de coches, refrigeración, riego, inodoros
- **Segundo grupo (*reutilización potable*):**
  - Recarga de acuíferos: infiltración e inyección
  - Recarga de embalses (o depósitos)
  - Aumento de aguas de abastecimiento

# Evolución de la EDAR

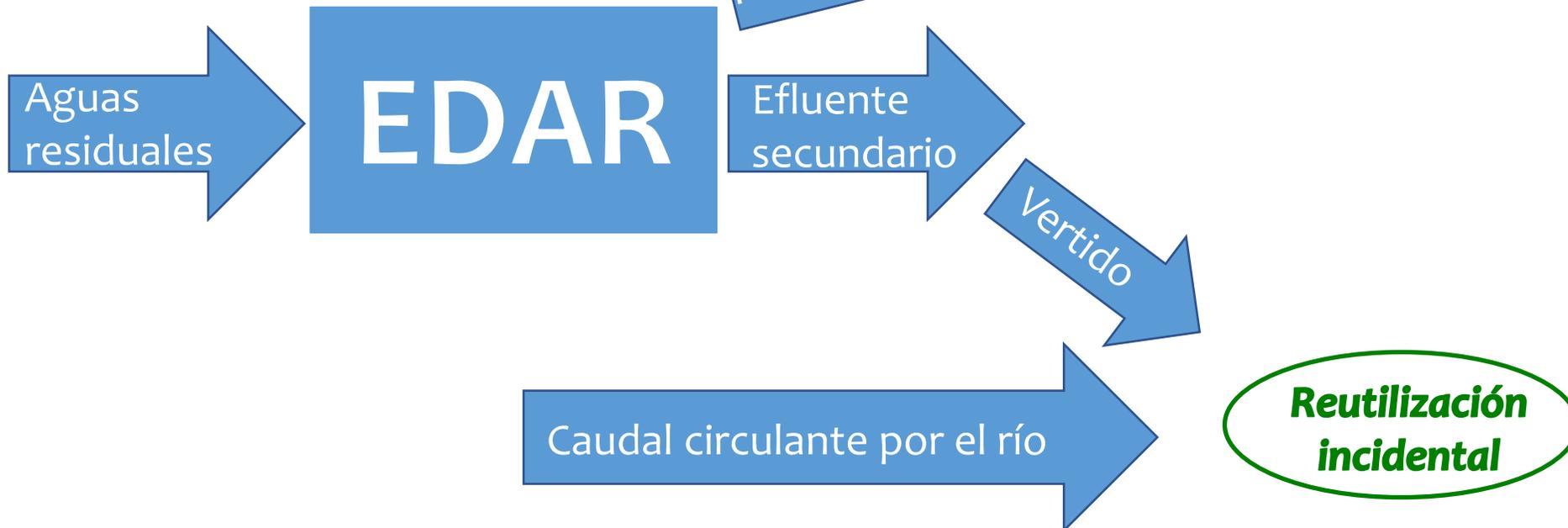
## Depuración



# La nueva EDAR: *f*uente de recursos

*Depuración ≈ Biofactorías*

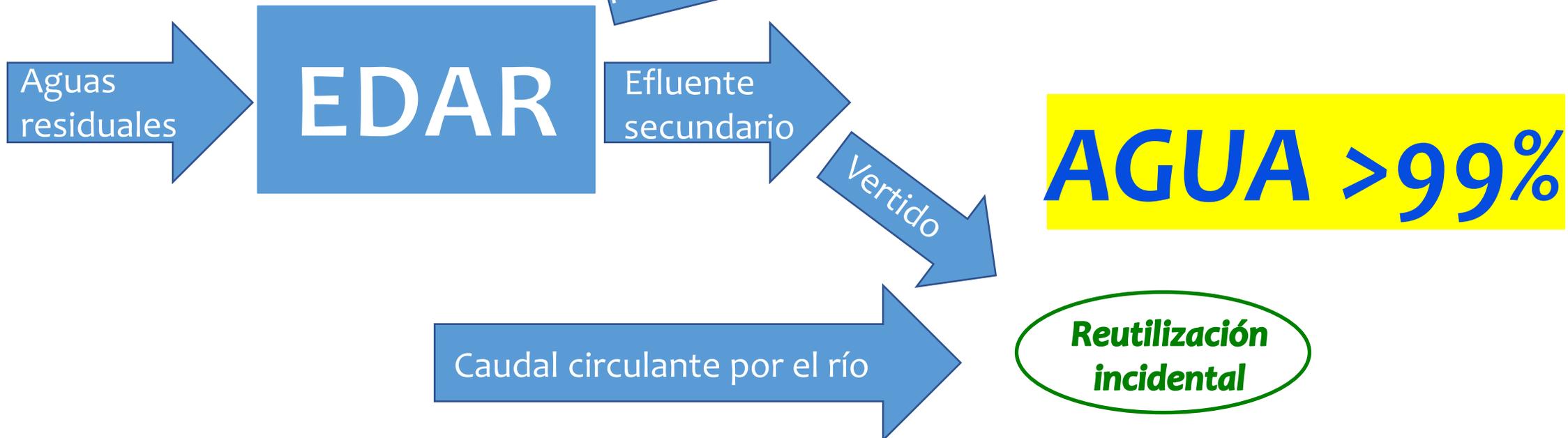
*Biogás (energía)*  
*Fertilizantes*  
*Metales*



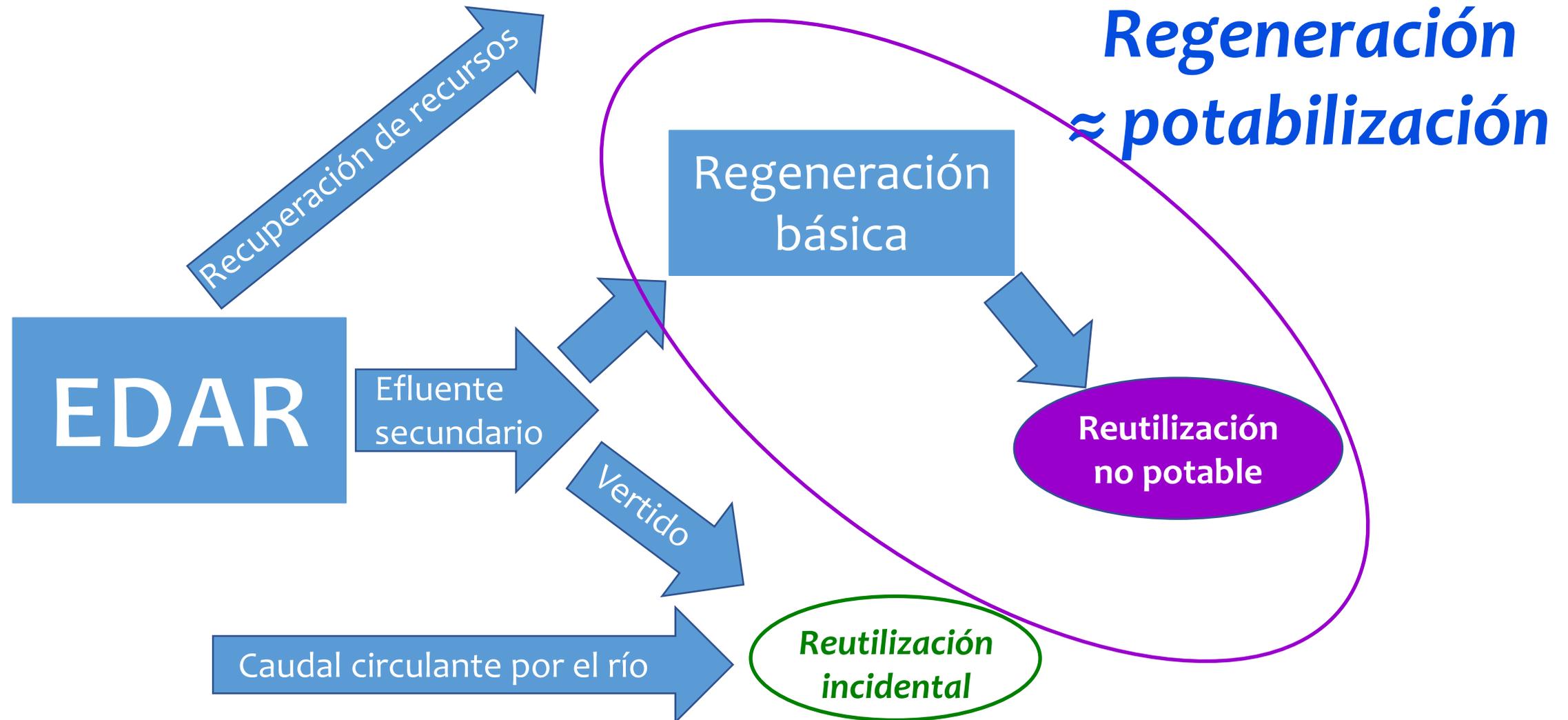
# La EDAR: nueva fuente de agua

*Depuración ≈ Biofactorías*

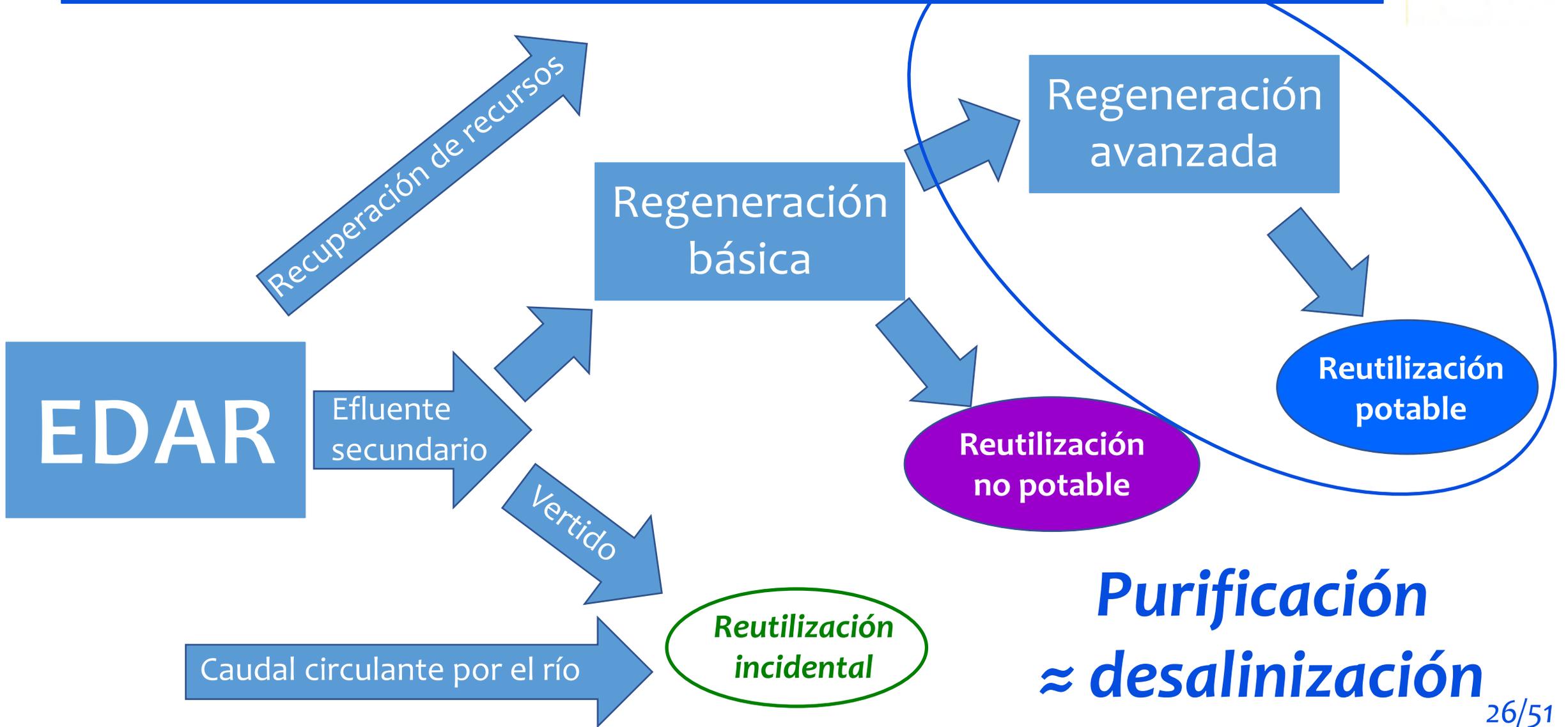
**Biogás**  
**Fertilizantes**  
**Metales**



# La EDAR: nueva fuente de agua *no potable*



# Y también nueva fuente de *agua potable*

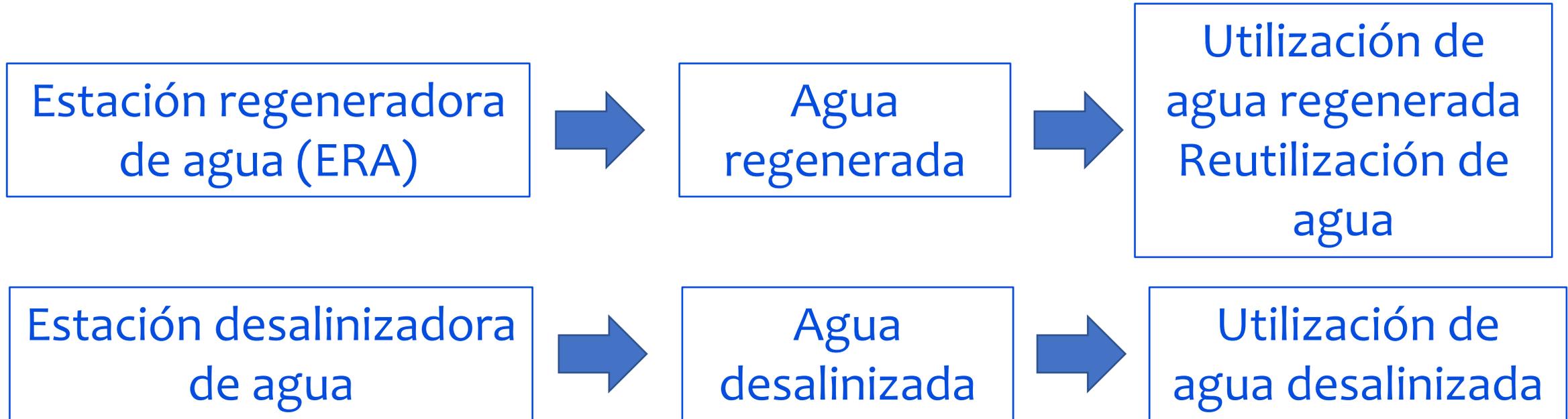


**Purificación  
≈ desalinización**

# Terminología (*Reglamento UE 2020/741*)

- **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 los usuarios, mediante:
    - Una red de distribución existente (o una nueva, doble red)
    - Un sistema de *regulación* del 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)

# Terminología comparada



Regenerar

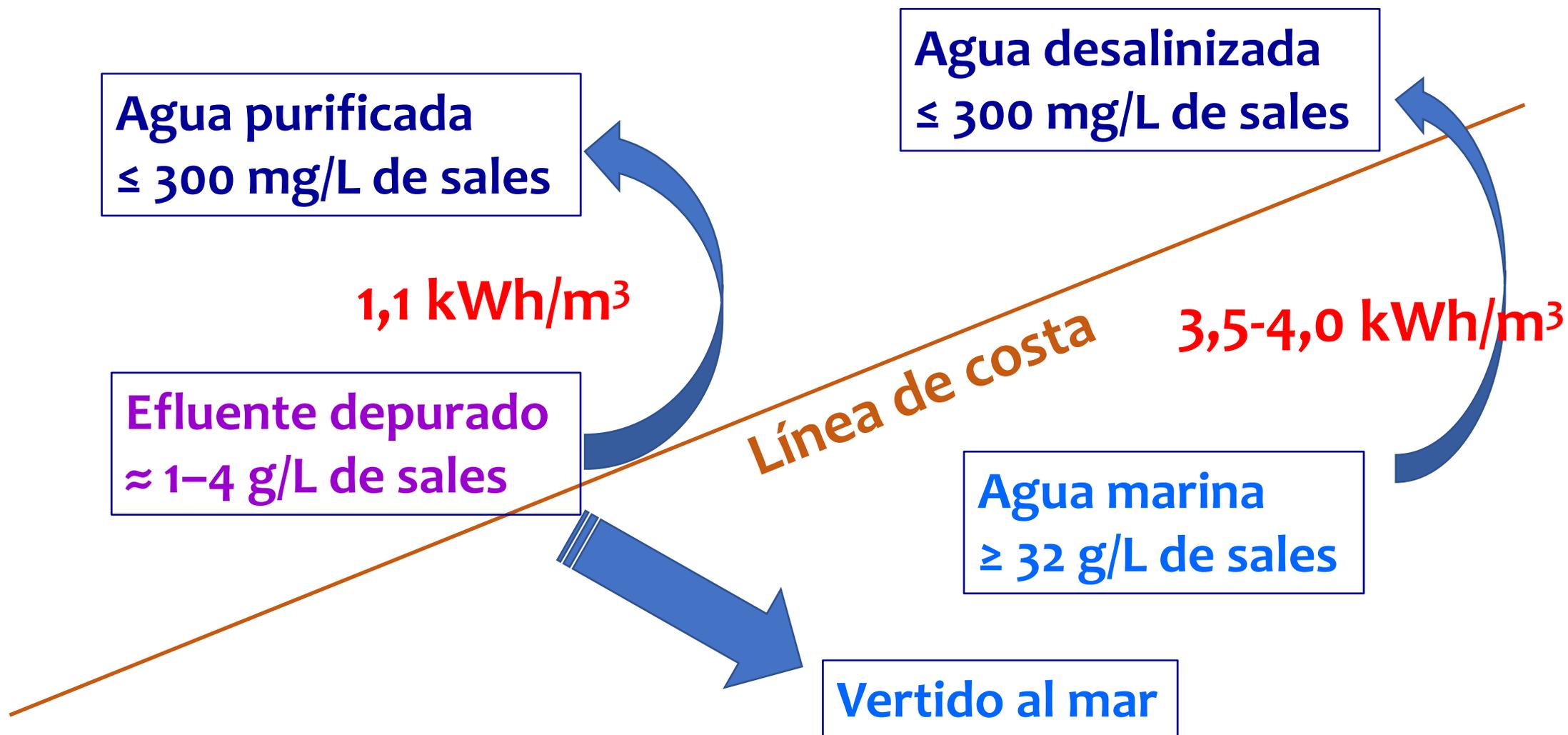
Agua regenerada



Desalinizar

Agua desalinizada

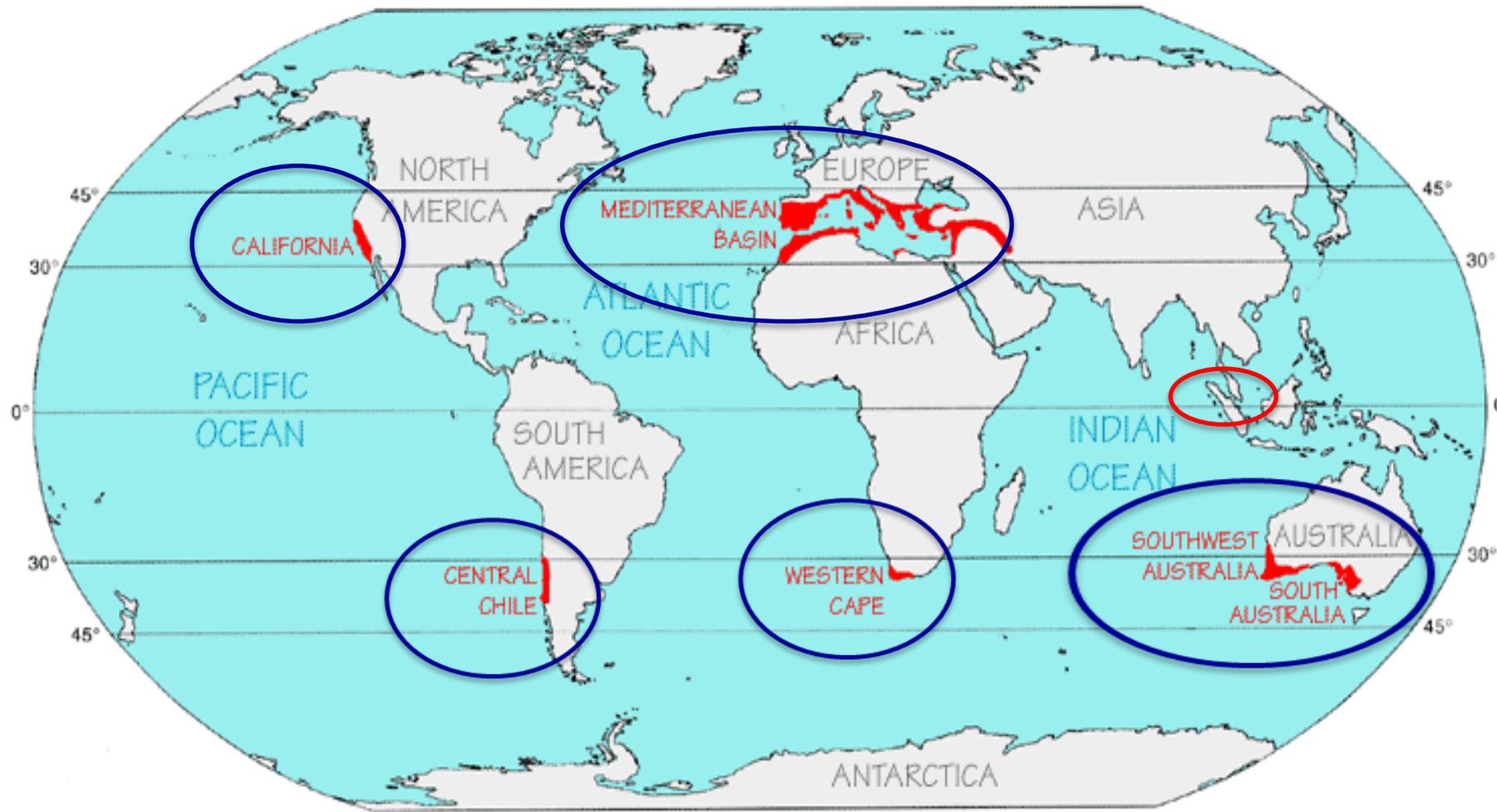
# Eficiencia comparada: ósmosis inversa



# 3. El clima mediterráneo

- Un contexto propicio para la reutilización del agua
- Motivado por *la irregularidad meteorológica*
  - Previsión de que sea más pronunciada con el cambio climático
- Se registra en *5 zonas geográficas del mundo*
- En la gran cuenca mediterránea, que le aporta su nombre
- Y en *otras zonas muy similares* a la nuestra...
- ... con gran liderazgo y visión de futuro (*por la necesidad de agua*)

# 5 regiones de clima mediterráneo



*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**

# Visión demográfica de California

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



**Fundación:** 9 septiembre 1850  
**Población** 92.000 hab  
*The Golden State*

**Superficie:** 424.000 km<sup>2</sup>  
3° de 50 estados  
**Norte-sur** 1.300 km  
**Este-oeste** 300-400 km

**Población**  
**Estimada 2020** 39 millones (↓)  
1° de 50 estados

**Densidad** 93 hab/km<sup>2</sup>  
**Norte vs Sur** 1/3 vs 2/3  
**El agua** inverso

**PIB (nominal)**  
**Total (2022-2T)** USD 3,6 billones  
**per cápita** USD 91.000

# Visión hidrológica de California

Figure 3-2 Map of California with Major Rivers and Facilities



Regulación  $\approx 50.000 \text{ hm}^3$

Regadío  $\approx 3,8 \text{ M ha}$

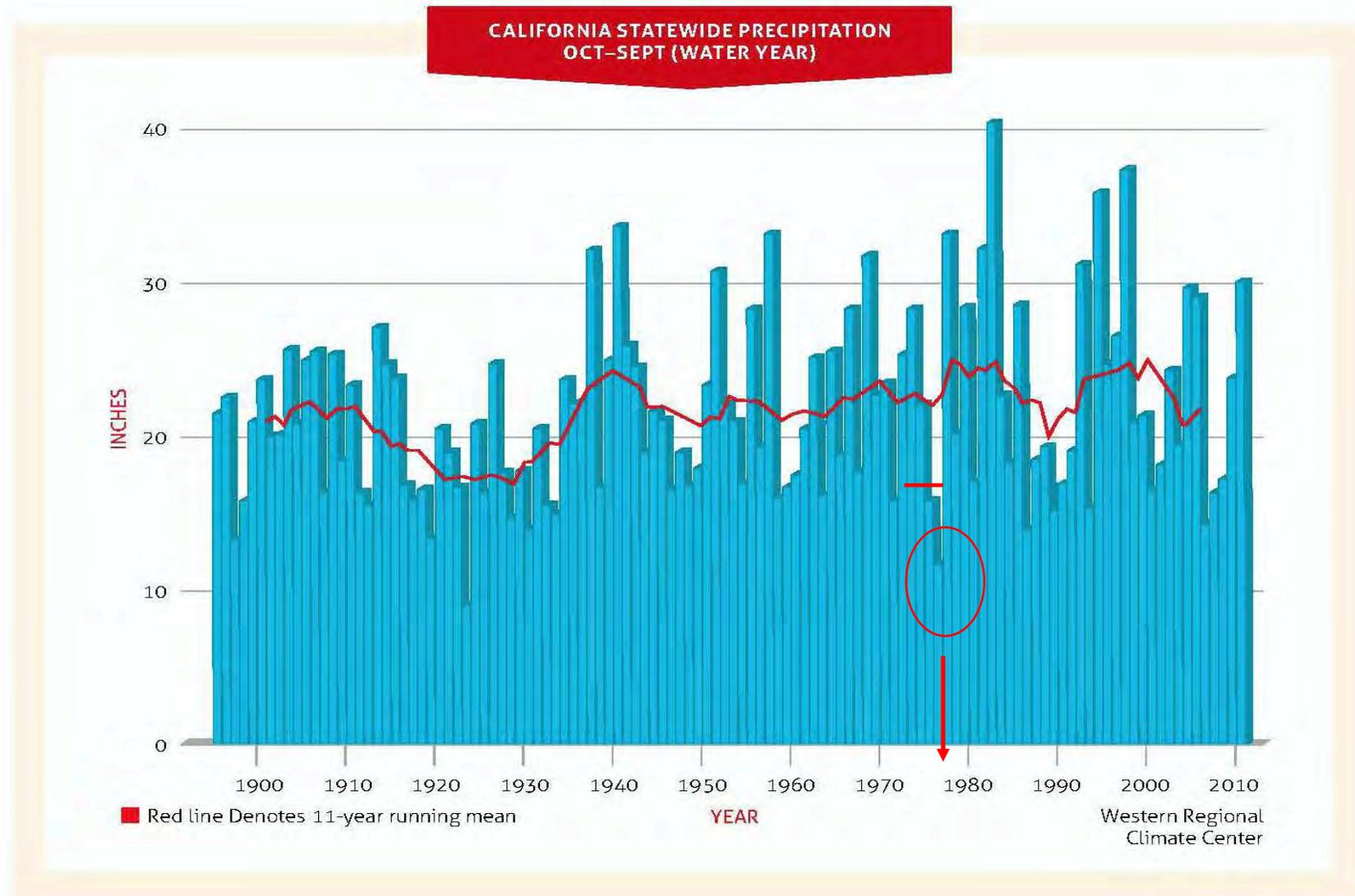
Tradición minera: acuíferos son privados

Recursos públicos  $\approx 15 \%$

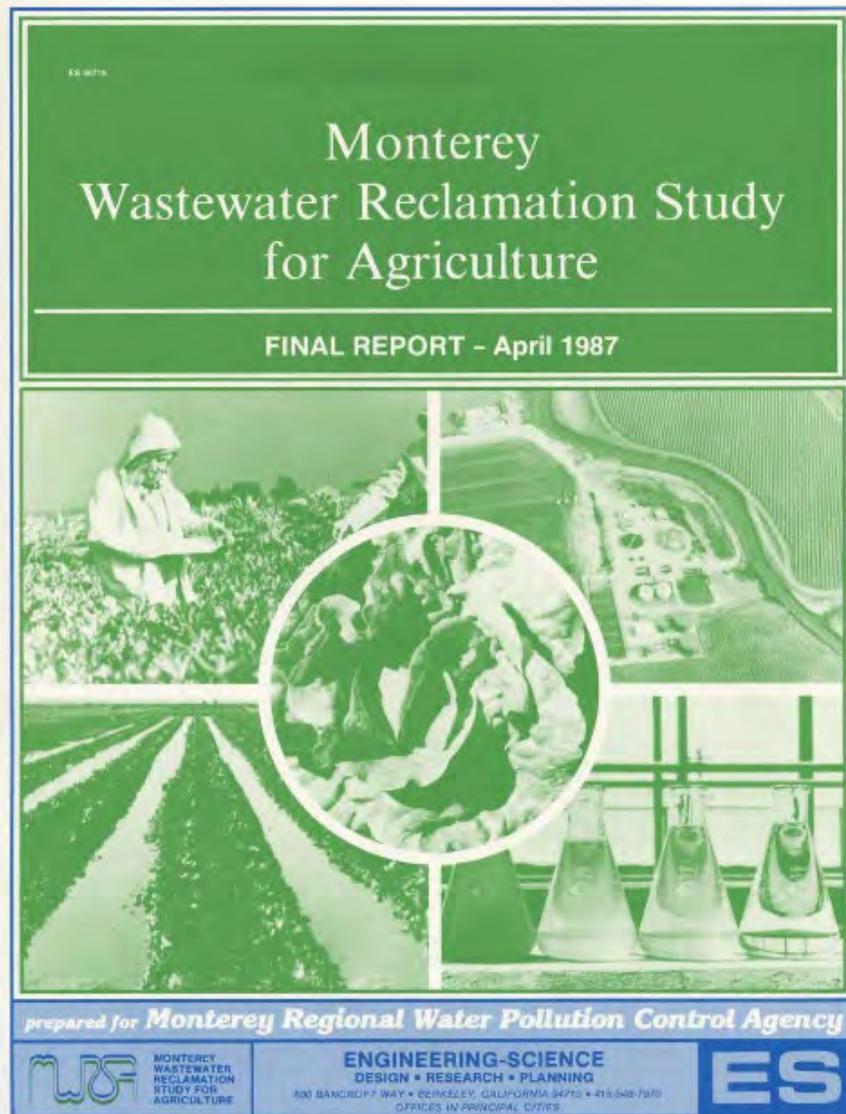
Sin prioridad de usos

Sin gestión integrada

# Con una sequía singular



# Que generó un estudio de demostración



Duración: 5 años (1980-85)

Presupuesto: 5 millones de dólares

Colaboración institucional:  
*State Water Resources Control Board*  
*Department of Health Services*

Partícipe principal:  
***Universidad de California***

# Con un apoyo institucional emblemático



*Salinas, marzo de 1983*

# La reutilización no potable emergió

PACIFIC INSTITUTE

Twitter Facebook YouTube LinkedIn RSS Search

↑ DONATE

About Us Our Work Issues Publications Resources Media Center Blog

← Back To Publications

Sign Up for Monthly Updates!

Enter Your Email Address

### California Farm Water Success Stories: Interviews with Innovative Growers and Water Managers

Innovative growers and water managers throughout California are finding sustainable ways to manage water, providing benefits both on and off the farm. Here are the [California Farm Water Success Stories](#) interviews.

VIDEOS

OCEAN MIST

HOME SITE SEARCH

PRODUCTS RECIPES & COOKING VIDEO LIBRARY ABOUT US TRADE PRESS & MEDIA CAREERS ALL ABOUT ARTICHOKE

ARTICHOKE ASPARAGUS BROCCOLI BRUSSELS SPROUTS CARDONE/CARDOON CAULIFLOWER CELERY

## WE GROW MORE THAN ARTICHOKE!

VIEW ALL PRODUCTS

37/125

# Nuevos episodios recurrentes 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.

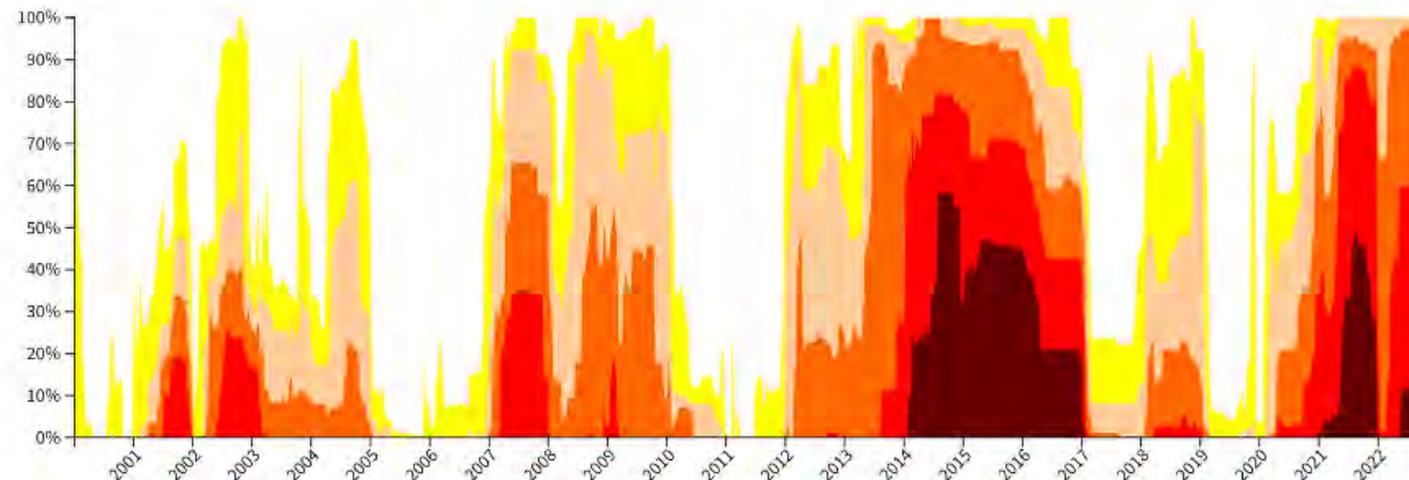
[2000 - Present \(Weekly\)](#)   [1895 - Present \(Monthly\)](#)   [0 - 2017 \(Yearly\)](#)

[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: 2022-11-15



■ D0 ■ D1 ■ D2 ■ D3 ■ D4

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

[Image](#)

[Spreadsheet](#)

[All Downloads](#)

# Una sequía de 5 años: 2012-2016



Statewide Water Savings Exceed 19 Percent in October; Most of State Still Experiencing Drought Conditions

Dec. 6, 2016 – The State Water Resources Control Board today announced that urban Californians'

**Servicio Forestal EEUU, en 2018**  
**112 M de árboles secos**



# Que propició grandes progresos

- Mediante una *fructífera colaboración institucional*
- *Salud Pública (del agua) depende de Medio Ambiente desde 2014*
- **Paneles Asesores:** una forma de trabajo para avanzar el proceso normativo de forma eficiente, rápida y aceptable
- **2014: Regulations for Groundwater Replenishment (RPI)**
- 2016: Report to Legislature on the Feasibility of Using Recycled Water for Drinking Water
- **2018: Regulations for Surface Water Augmentation (RPI)**
- 2018: Proposal for Regulating Direct Potable Reuse, en 2023

# Lecciones aprendidas

- Es esencial implantar un **estricto control de vertidos**
- Los costes económicos y energéticos de **la ampliación** de redes de distribución no potable son **inviabiles** (al menos en lugares como CA)
- Hay que plantearse un **cambio de estrategia**
  - **Disminuir las inversiones en distribución**
  - **Aumentar las inversiones en regeneración avanzada**
- Produciendo un agua de gran calidad (igual o superior a potable)
- Incorporando un **proceso de renaturalización: acuífero o embalse**
- Distribuyéndola por las redes existentes, tras conseguir su **legitimación**

# 4. Nuevo futuro profesional: *regenerar agua*

- Un campo de trabajo que ofrece grandes expectativas
- La depuración está ampliando sus objetivos (nueva Directiva):
  - de DBO5, MES y nutrientes
  - al contenido de energía y carbono inorgánico (CO<sub>2</sub>) y orgánico (productos de síntesis, higiene personal, fármacos, contaminantes de preocupación emergente)
  - Microorganismos: parásitos, virus
- Generando una nueva especialización profesional: ***el agua regenerada potable***
- ***Con una faceta esencial: la comunicación y la divulgación***
  - ***la excelencia técnica no es garantía de éxito***
  - ***las BAU tienen poco futuro***

# Un sector con grandes progresos

- La reutilización del agua para riego agrícola y de jardinería **tiene más de 40 años de éxito** en zonas con déficits crónicos de agua
- Disponemos de:
  - **amplios conocimientos científicos y técnicos** para producir agua regenerada
  - gran **diversidad de soluciones tecnológicas** para regenerar el agua
  - numerosos **modelos económicos, financieros y de gestión** para reutilizar
- **El factor limitante más frecuente:**
  - **el apoyo de las autoridades de salud pública y recursos hídricos**
  - una coordinación para conseguir una **correcta percepción pública y una aceptación favorable**
- El reto inmediato: atender **tareas complementarias a las tecnológicas y de investigación tradicionales**

# Visión innovadora: “reutilización específica”



# Visión innovadora: “potencia media”

The screenshot shows the homepage of the website 'esamur'. The top navigation bar includes links for 'Esamur', 'Contratación', 'Canon de saneamiento', 'Archivo', 'Depuración', 'Noticias', 'Contacto', and 'Acceso electrónico'. The main content area features the 'esamur' logo on the left, the text '20 años dando una segunda vida al agua', the coat of arms of the Region of Murcia, and the text 'Región de Murcia' and 'Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia'. The year '2021' is prominently displayed in the center. On the right side, there are social media icons for LinkedIn, Instagram, and Facebook.

- Agua depurada-regenerada: 113 hm<sup>3</sup>
- Población equivalente servida: 1.978.000 hab
- Energía consumida: 51,5 GWh
- Dotación de agua:  $113 \text{ hm}^3 / (1.978.000 \text{ hab} \times 365 \text{ días}) = 156 \text{ L/hab.día}$
- **Tasa de reutilización planificada (108 hm<sup>3</sup>) = 150 L/hab.día (96 %)**
- **Potencia media =  $51,5 \text{ GWh} / (1.978.000 \text{ hab} \times 365 \text{ días} \times 24 \text{ h}) = 2,97 \approx 3 \text{ W/hab}$**

- La reutilización planificada del agua tiene una larga tradición, **desde 1980**, y ha conseguido una amplia aceptación pública
- La opción más común: la reutilización no potable
- La opción más vanguardista: la reutilización potable, indirecta (o directa)
- La reutilización se implanta por “**necesidad y oportunidad**”
- El punto de comparación: los recursos convencionales, superficiales y subterráneos, más económicos
- Pero menos fiables y disponibles, en nuestras condiciones climáticas
- La “**climatología mediterránea**” comporta una gran irregularidad pluviométrica, con intensas y prolongadas sequías

# ... y también

- ***Nunca hemos tenido a nuestra disposición*** tantos:
  - Conocimientos científicos y técnicos sobre tratamiento del agua
  - Alternativas tecnológicas para regenerarla
  - Modelos económicos, financieros y de gestión
- Los factores determinantes del éxito son:
  - ***Una normativa protectora*** de la salud pública y el medio ambiente
  - ***El apoyo institucional para conseguir una percepción y aceptación pública*** favorables
- Regenerar agua es cada vez más fiable, eficiente (contaminantes y energía) y económico
- Ofrece recursos locales, de calidad, autosuficientes y más fiables que los convencionales



Asociación Española de Reutilización Sostenible del Agua

Inicio

Quiénes somos

Socios ▾

Noticias

Actividades ▾

Publicaciones ▾

FAQ sobre R&R

Contacto

Impulsamos el uso eficiente  
de los recursos hídricos



# ASERSA Open Webinar Series

Inicio

Quiénes somos

Socios ▾

Noticias

Actividades ▾

Publicaciones ▾

FAQ sobre R&R

Contacto

1 2 Siguiente >

## *ASERSA Open Webinar Series 2020, 2021 y 2022*



ASERSA Webinario #12



ASERSA Webinario #13



ASERSA Webinario #14



ASERSA Open Webinar Series

# WaterReuse Association

The screenshot shows the WaterReuse Association website. At the top, there is a navigation bar with links for "My Profile", "Logout", "Contact Us", "Be Social!", "Event Calendar", and "Donate". Social media icons for Facebook, Twitter, LinkedIn, and YouTube are also present. Below the navigation bar is the "WATERREUSE" logo and a secondary menu with links for "About Us", "Water Reuse 101", "Research", "Advocacy", "News & Events", "Join & Give", and "State Sections".

The main content area features a large image of industrial water pipes. Overlaid on this image is a purple box with the following text:  
**Annual WaterReuse Awards Recognize Leadership**  
Nine leaders in recycled water were honored at a September 15 ceremony in Seattle, WA.  
[Learn More](#)

Below this is a "Featured Research" section. It includes a photo of a person drinking water from a glass. The text reads:  
**Featured Research**  
**The Opportunities and Economics of Direct Potable Reuse**  
This study finds that potable reuse compares favorably with other new water supply alternatives in terms of cost, energy requirements, environmental considerations, and reliability. There is enough treated wastewater discharged to the Pacific Ocean to meet all municipal needs for more than 8 million Californians, the report concludes.



*Muchas gracias  
por vuestra atención*