

La reutilización del agua en la planificación de los recursos hídricos

Rafael Mujeriego
catedrático de Ingeniería Ambiental UPC
presidente de ASERSA



Objetivos



1. Presentar los retos de la gestión integrada del agua en las condiciones demográficas y climatológicas actuales
2. Analizar las estrategias disponibles para dar **fiabilidad** al sistema: la regeneración y la reutilización del agua
3. Describir la concepción de la regeneración y la purificación del agua
4. Ilustrar los logros en zonas de clima mediterráneo
5. Reflexionar sobre el futuro hídrico en zonas de clima mediterráneo:
El suministro de agua regenerada o purificada

La reutilización... ¿una novedad?



asersa

- La reutilización del agua 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 ciclo antrópico del agua dulce



Reutilización incidental, progresiva

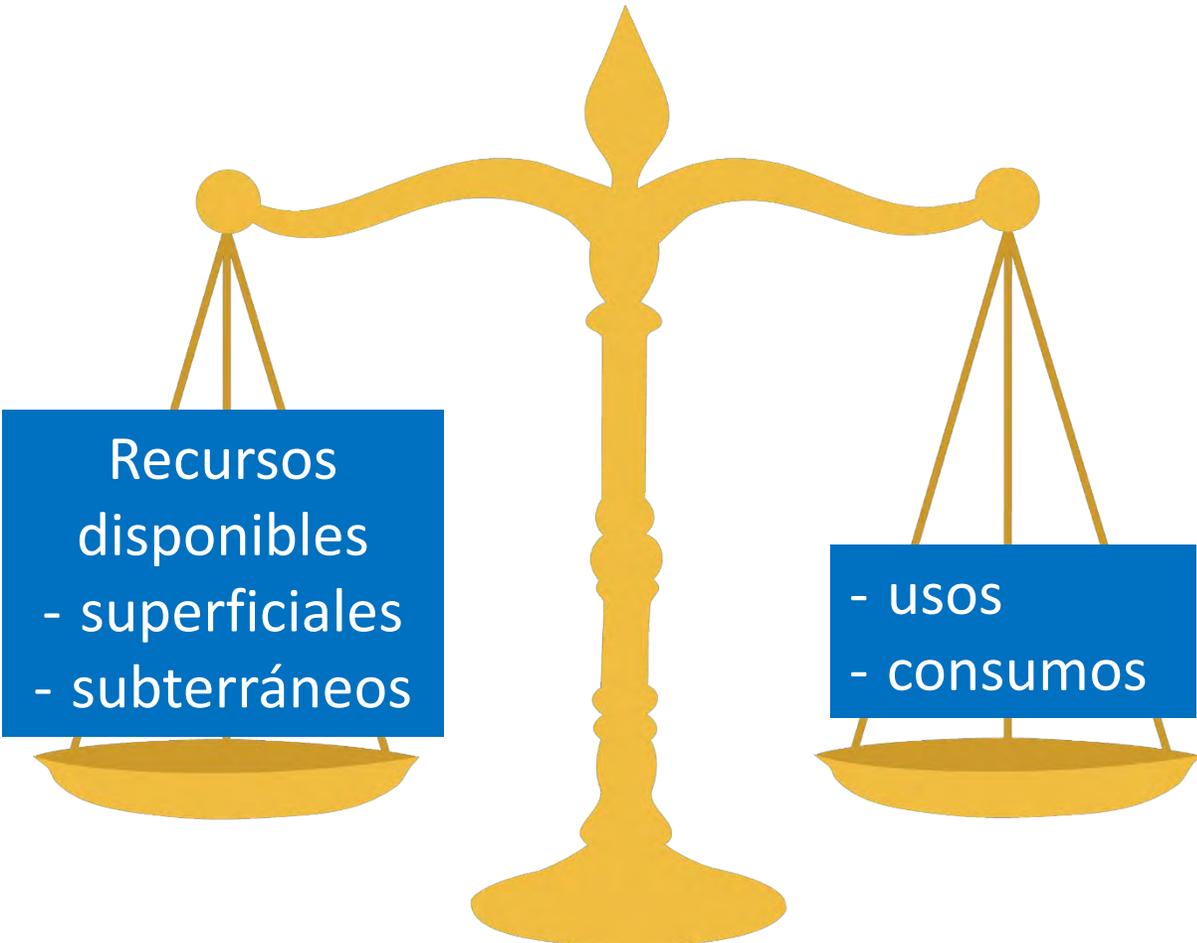


asersa



1. El reto actual: *equilibrar, con fiabilidad*

- precipitaciones
- evaporación
- regulación
- vertido al mar
-

- 
- Recursos disponibles
- superficiales
 - subterráneos

- usos
- consumos

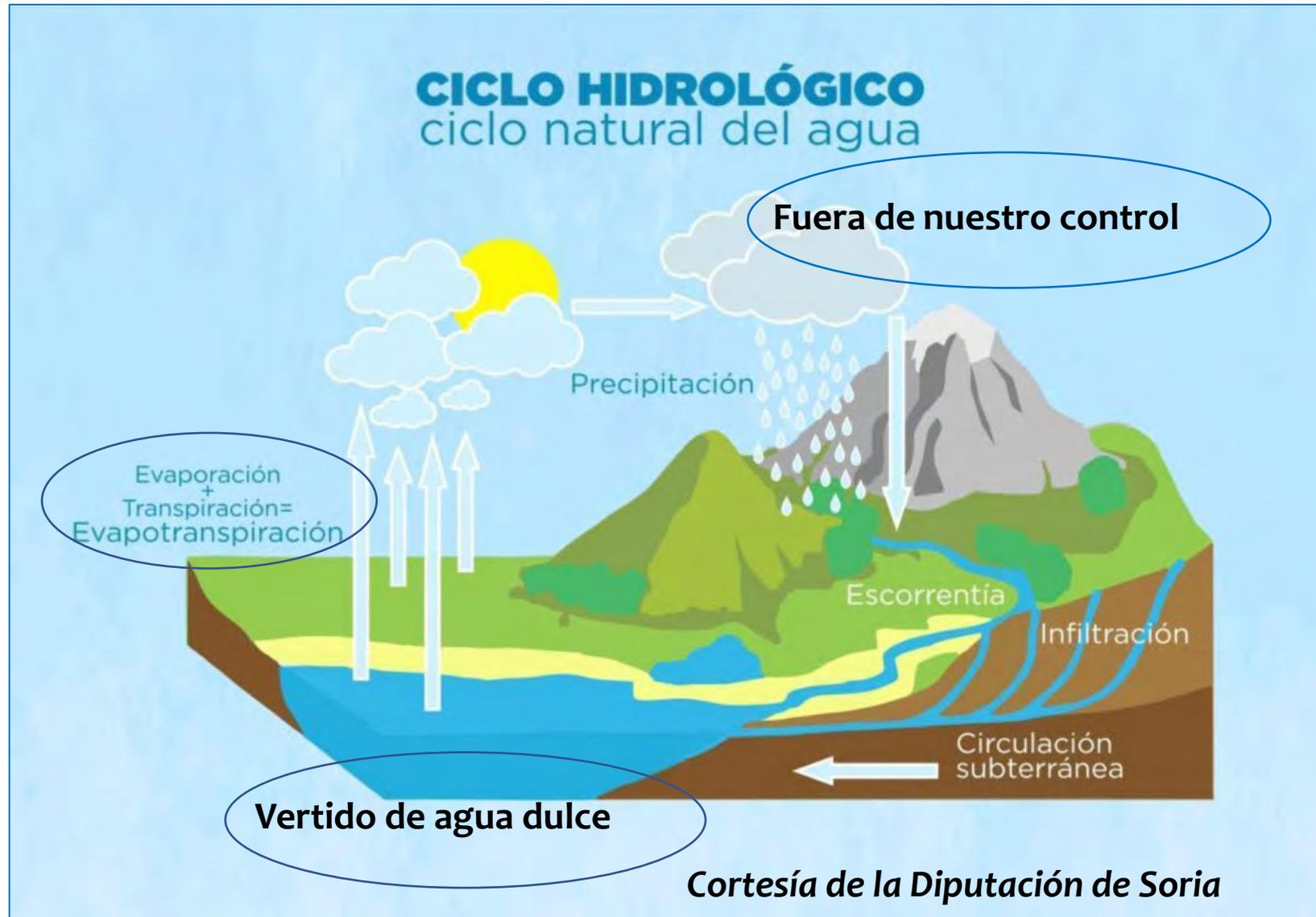
- ambientales
- urbanos
- agrícolas
- industriales
- jardinería
- refrigeración
- energía
-

En un “nuevo” contexto climatológico

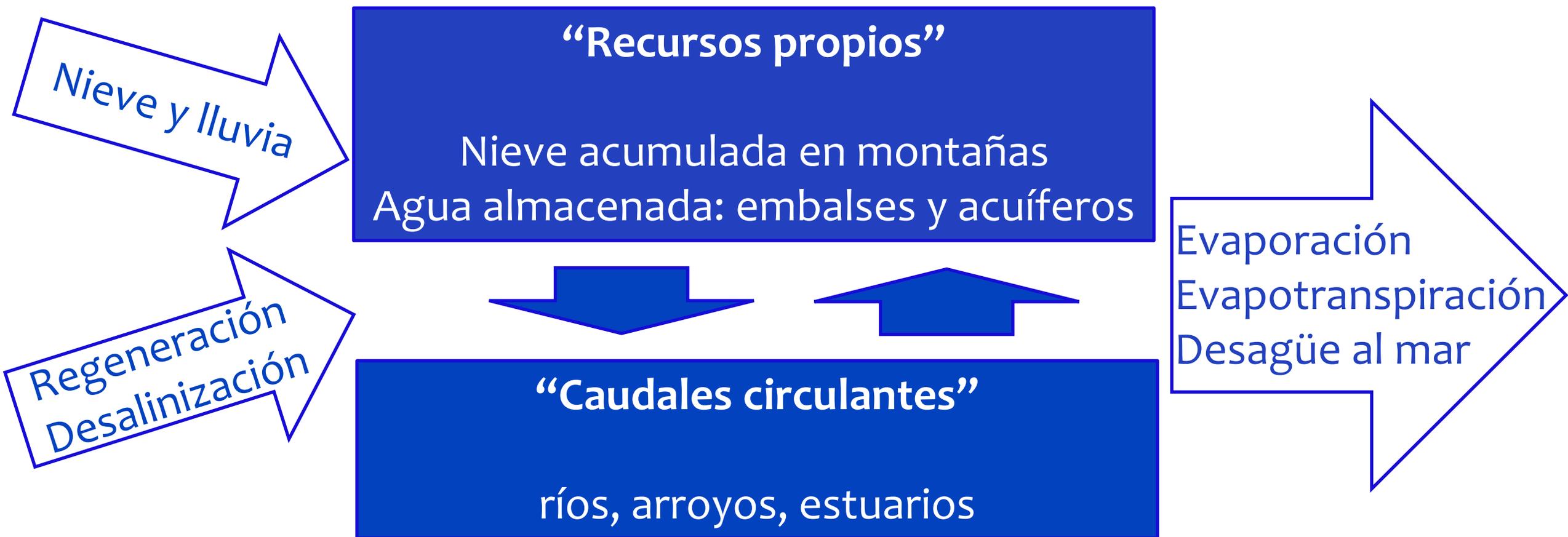


- Disponibilidad:
 - **Mayor irregularidad pluviométrica: mayor incertidumbre hídrica**
 - **Mayor incertidumbre energética:** geopolítica, disponibilidad y coste
 - **Renovado Nexus** agua-energía: producción CO₂ y energías renovables
- Usos y consumos:
 - Usos concentrados en zonas urbanas metropolitanas (**megalópolis**)
 - Notables variaciones estacionales **del turismo**
 - Una agricultura abastecedora de alimentos: **requiere agua fiable**
 - Una industria necesitada **de fiabilidad de suministro (just in time)**
 - **Mayor irregularidad pluviométrica: mayor regulación hidrológica**

La unidad de cuenca: *una visión integrada*



Un patrimonio de agua dulce



Aportaciones (cada vez más) irregulares

Agua embalsada en España

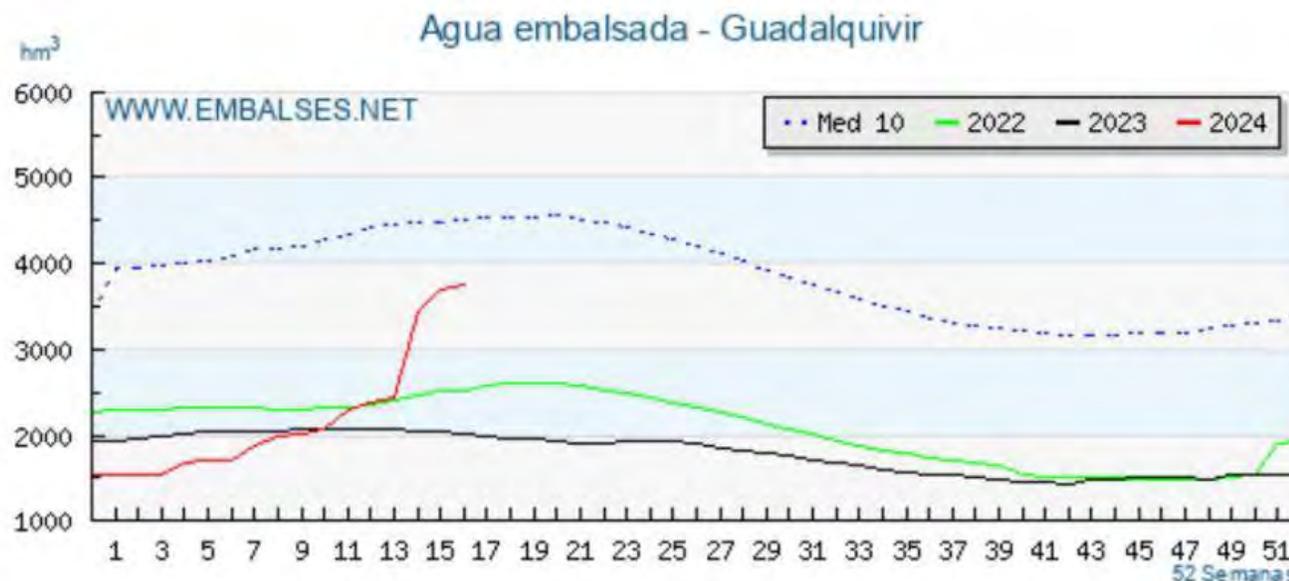
Agua embalsada (15-04-2024):	37.325 hm ³	66.61 %
Variacion semana Anterior:	321 hm ³	0.57 %
Capacidad:	56.039 hm ³	
Misma Semana (2023):	28.400 hm ³	50.68 %
Misma Semana (Med. 10 Años):	35.976 hm ³	64.20 %



Con sequías plurianuales regionales

Cuenca: Guadalquivir

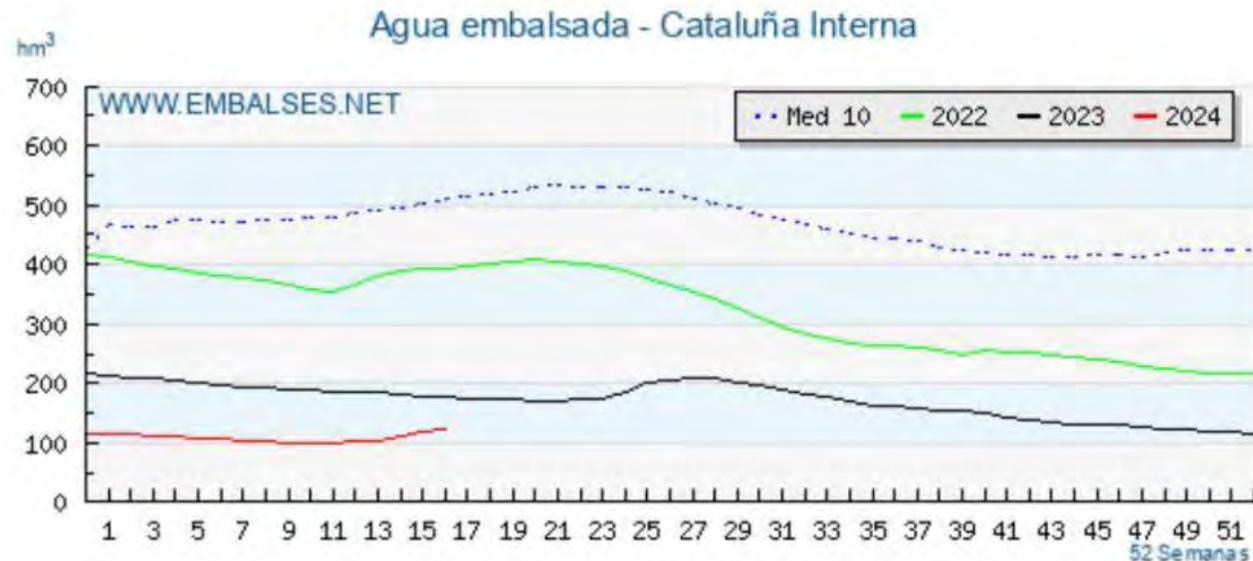
Agua embalsada (15-04-2024):	3.756 hm ³	46.79 %
Variación semana Anterior:	50 hm ³	0.62 %
Capacidad:	8.028 hm ³	
Misma Semana (2023):	2.024 hm ³	25.21 %
Misma Semana (Med. 10 Años):	4.510 hm ³	56.18 %



Intensas a menor escala geográfica

Cuenca: Cataluña Interna

Agua embalsada (15-04-2024):	122 hm ³	18.02 %
Variacion semana Anterior:	3 hm ³	0.44 %
Capacidad:	677 hm ³	
Misma Semana (2023):	177 hm ³	26.14 %
Misma Semana (Med. 10 Años):	510 hm ³	75.38 %



2. Estrategias de gestión disponibles



- 6 estrategias para satisfacer los usos con los recursos disponibles
- **Tradicionales** (promueven una *gestión eficiente* de los “activos”)
 1. Preservación y mejora de las fuentes de agua (*evitar vertidos; saneamiento*)
 2. Ahorro y uso eficiente del agua (*Smart Water, digitalización*)
 3. *Regulación (hidrológica)* de recursos: acuíferos y embalses (en y *fuera* del río)
 4. Compartir agua entre usuarios (*gestión más eficiente, bancos*)
 - Consorcios y Mancomunidades de una cuenca
 - Transferencias (trasvases, traídas) entre cuencas (*aporta recursos*)

“Nuevas” estrategias de gestión



- Innovadoras
 5. *Regeneración del agua* (en proceso de legitimización)
 6. Desalinización de aguas salobres y marinas (*legitimada*)
 - *aportan* recursos netos adicionales, *en la costa*
 - *aportan* recursos disponibles *en el interior*

La reutilización “*planificada*” del agua



- Reutilización *planificada* del agua o *reutilización del agua*
- Tiene una *larga tradición de éxitos* (Windhoek, 1968, uso potable)
- Disponemos de numerosos proyectos emblemáticos en zonas semi-áridas y mediterráneas
- Afronta el gran reto de su *legitimación*: está *prohibida o rechazada*
- Para legitimarla necesitamos impulsar:
 - *apoyo técnico, normativo y financiero/constructivo*
 - de los sectores y las autoridades sanitarias y de recursos hídricos
 - *campañas de comunicación*
 - para mejorar *su percepción y aceptación pública*

Motivaciones para adoptarla



1. Disponer de fuentes de suministro “*nuevas, adicionales*”
 - *evitando las pérdidas* (agua dulce) a la atmósfera o *al mar*
 - *aumentará la fiabilidad, la auto-suficiencia, con fuentes locales*
 - **La condición más motivadora: LA SEQUÍA, intensa, plurianual...**
2. Mejorar la gestión de las aguas depuradas:
 - ofreciendo *alternativas al vertido tradicional al medio acuático*
 - avanzaremos hacia la *preservación de la calidad del medio receptor, impulsando el “vertido cero”*
 - **La condición más 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 **fuerza local de agua** (evita las transferencias, las traídas)
- Amplía **la auto-suficiencia** de los recursos (son recursos propios)
- Ofrece un agua de gran calidad
- Permite una gestión integrada del agua **más sostenible, duradera**
- Asegura una mayor **fiabilidad (garantía)** de suministro

y sus exigencias (retos)



asersa

- Unas **normas de calidad** (protección sanitaria y ambiental)
- Unos procesos de regeneración eficientes y fiables: **salto cualitativo, complementario, un nuevo sector profesional**
- Una nueva mentalidad: **elaborar un producto**, en lugar de un residuo
- 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 (*calidades*)

- **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*):**
 - Indirecta:
 - recarga de acuíferos: infiltración e inyección
 - recarga de embalses (o depósitos), o de ríos
 - Directa: introducción del agua en la red de abastecimiento

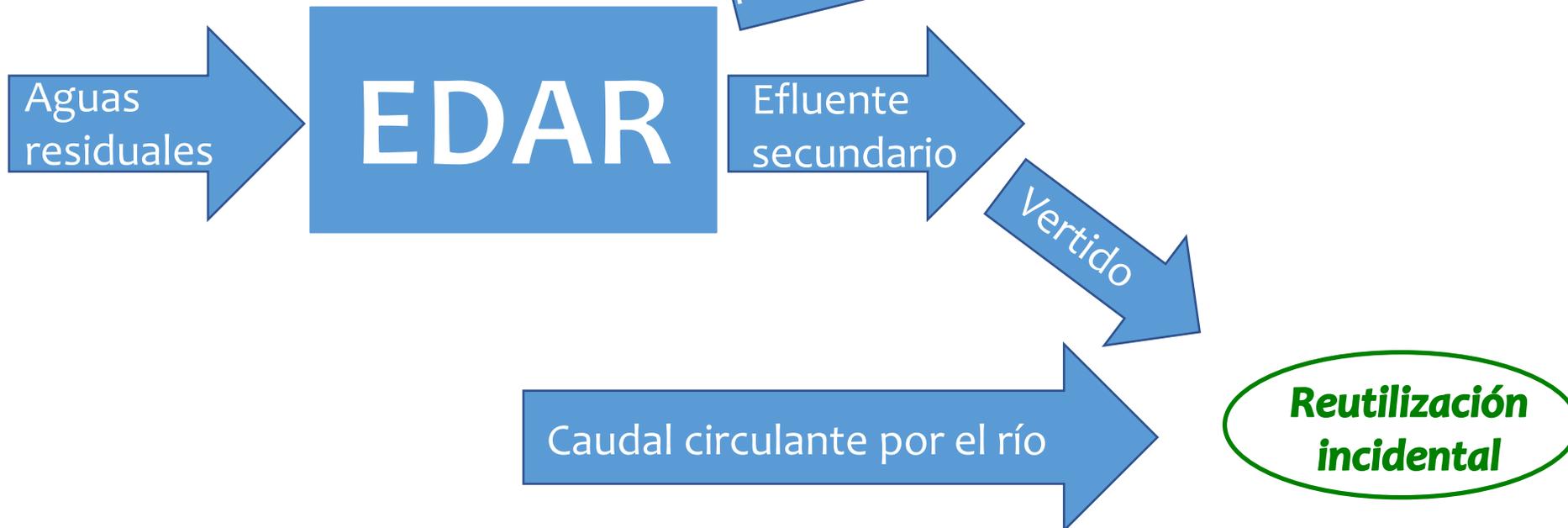
3. El origen de la regeneración: la EDAR



La nueva EDAR: *f*uente de recursos

Depuración \approx Recuperación de recursos

**Biogás (energía)
Fertilizantes
Metales**

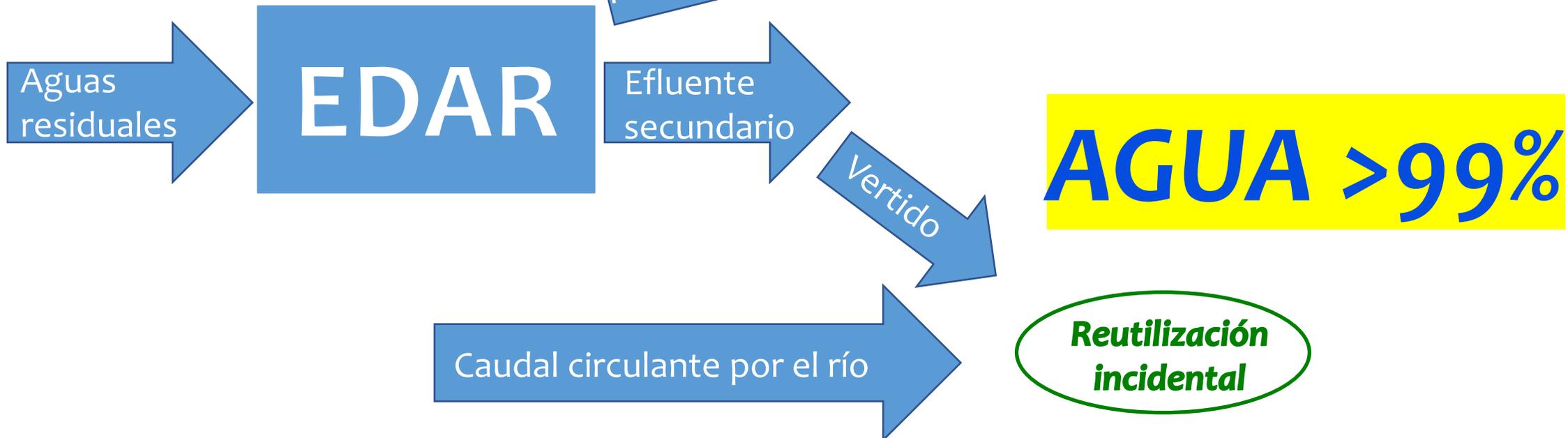


Además: *nueva fuente de agua*



Depuración \approx Recuperación de recursos

**Biogás
Fertilizantes
Metales**

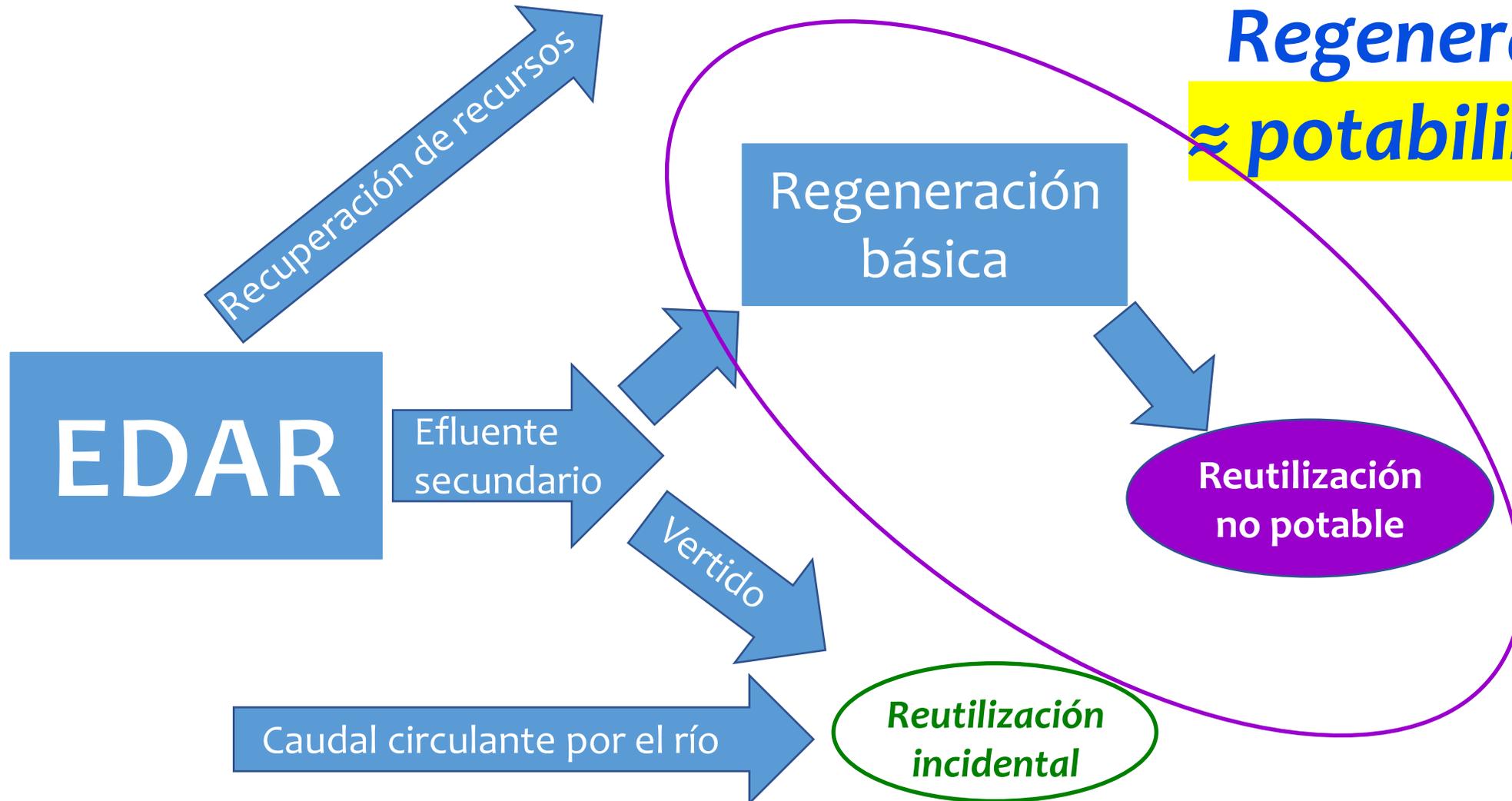


La EDAR: nueva fuente de “agua no potable”

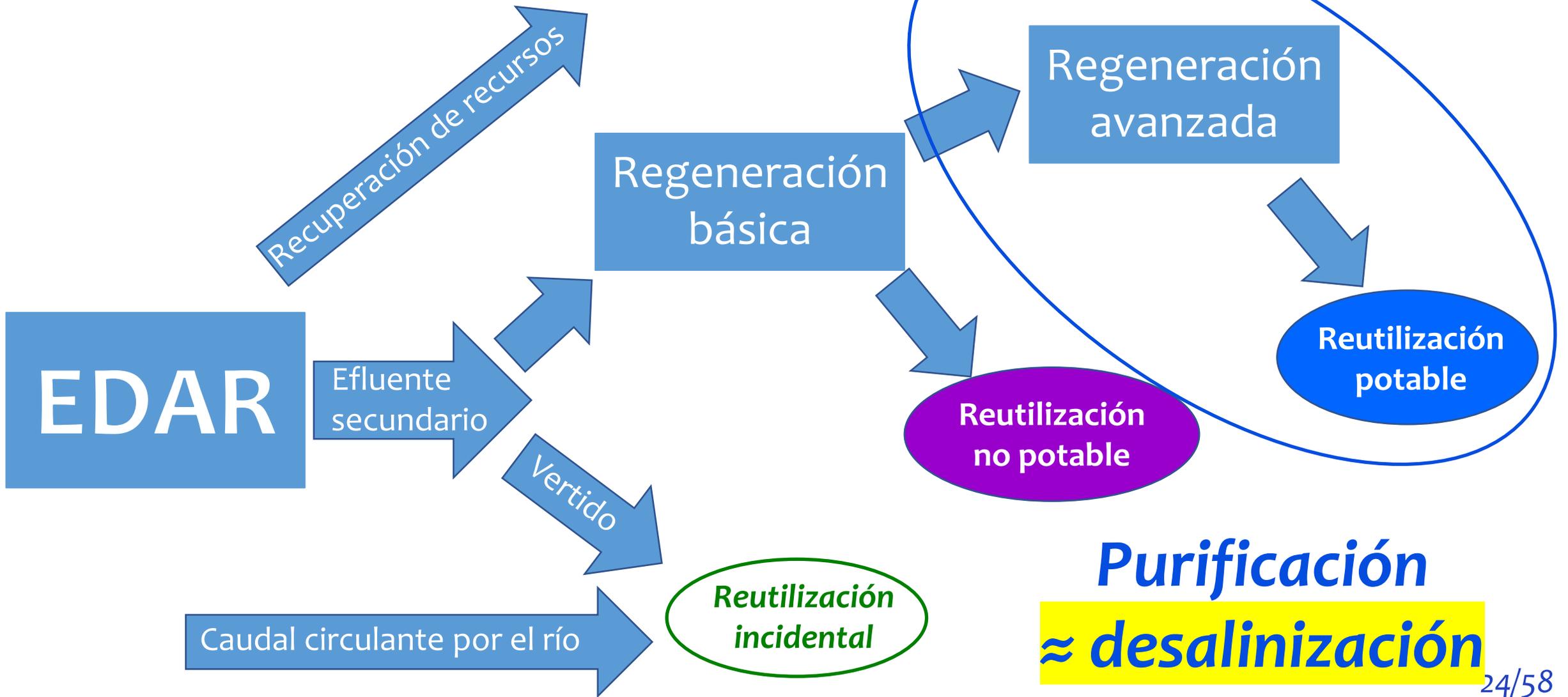


asersa

**Regeneración
≈ potabilización**



Y también nueva fuente de “agua potable”



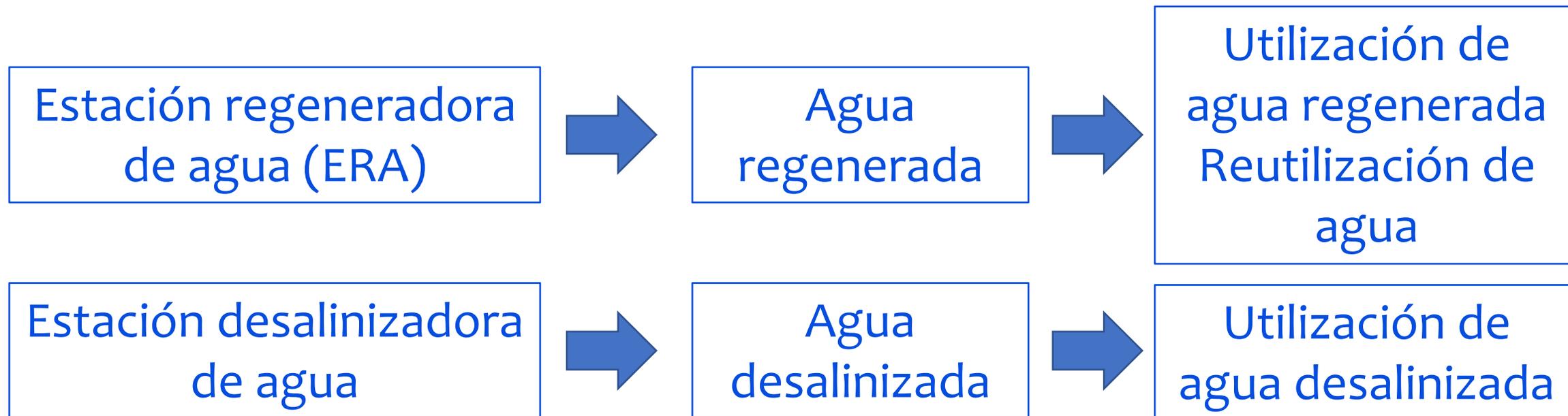
Purificación
≈ desalinización

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 (existente o nueva, doble red)
 - Un sistema de **regulación** del agua
 - Atendiendo a ciertos requisitos de utilización
- **Diversos nombres** para este **recurso no convencional:**
 - Reclaimed water; Recycled water (California, Australia); *NEWater* (Singapur); *Pure water* (San Diego)

Terminología comparada



Regenerar

Agua regenerada



Desalinizar

Agua desalinizada

Comunicación (*esencial*): claridad y comprensión

Incomprensión = *incredulidad, rechazo*

4. El clima mediterráneo



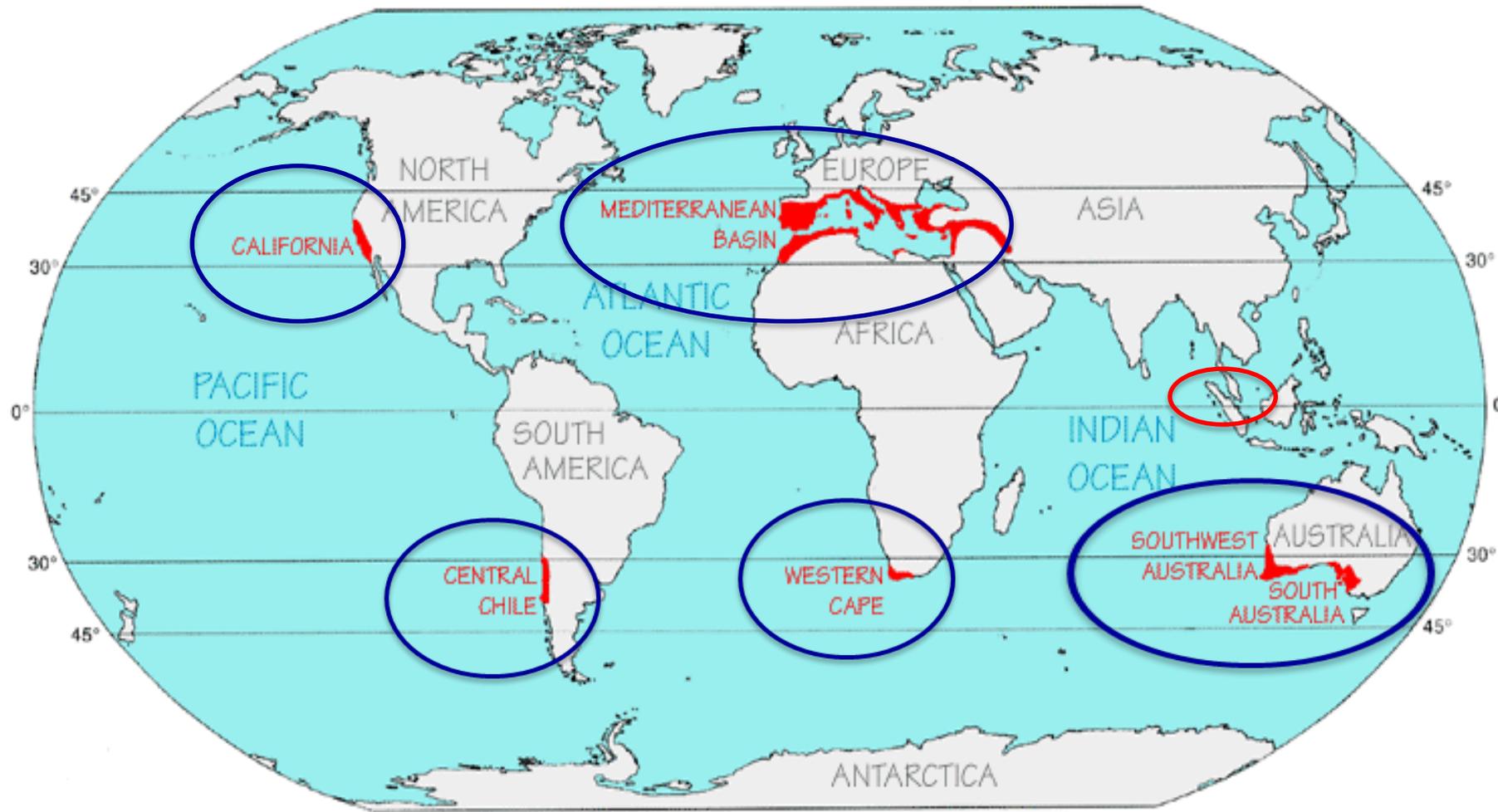
asersa

- Caracterizado por *su irregularidad pluviométrica*
- Una irregularidad *más intensa*, causada por el cambio climático
- Vigente en *5 zonas geográficas del mundo*
 - La gran *Cuenca Mediterránea*
 - Y *otras zonas muy similares* a la nuestra...
 - Con gran liderazgo y visión de futuro (*por su necesidad de agua*)

5 regiones de clima mediterráneo



asersa



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**

California: nuestro “gemelo” climatológico



- Registra una **mayor irregularidad pluviométrica** desde los años 2000
- Todos los “partícipes” **han aceptado** la necesidad de adaptarse
- Adoptando nuevas estrategias de gestión, aceleradas desde 2017
- Especialmente en el **Sur de California (SoCal, 3 condados costeros)**:
 - 50.000 km²
 - +20 M habitantes
 - Clima semi-árido (como Murcia y Almería)
 - Dependiente históricamente de trasvases del Norte y el Este

Visión demográfica de California

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



Fundación: 9 septiembre 1850
Golden State 1848
Superficie: 424.000 km²
Norte-sur 1.200 km
Este-oeste 300-400 km

Población 2023 39 millones (↓)
Norte vs Sur 1/3 vs 2/3
El agua 2/3 vs 1/3

PIB (nominal)
Total (2023) USD 3,9 billones
per cápita USD 100.000

Visión hidrológica de California



asersa

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 del propietario del suelo
Recursos públicos $\approx 15 \%$

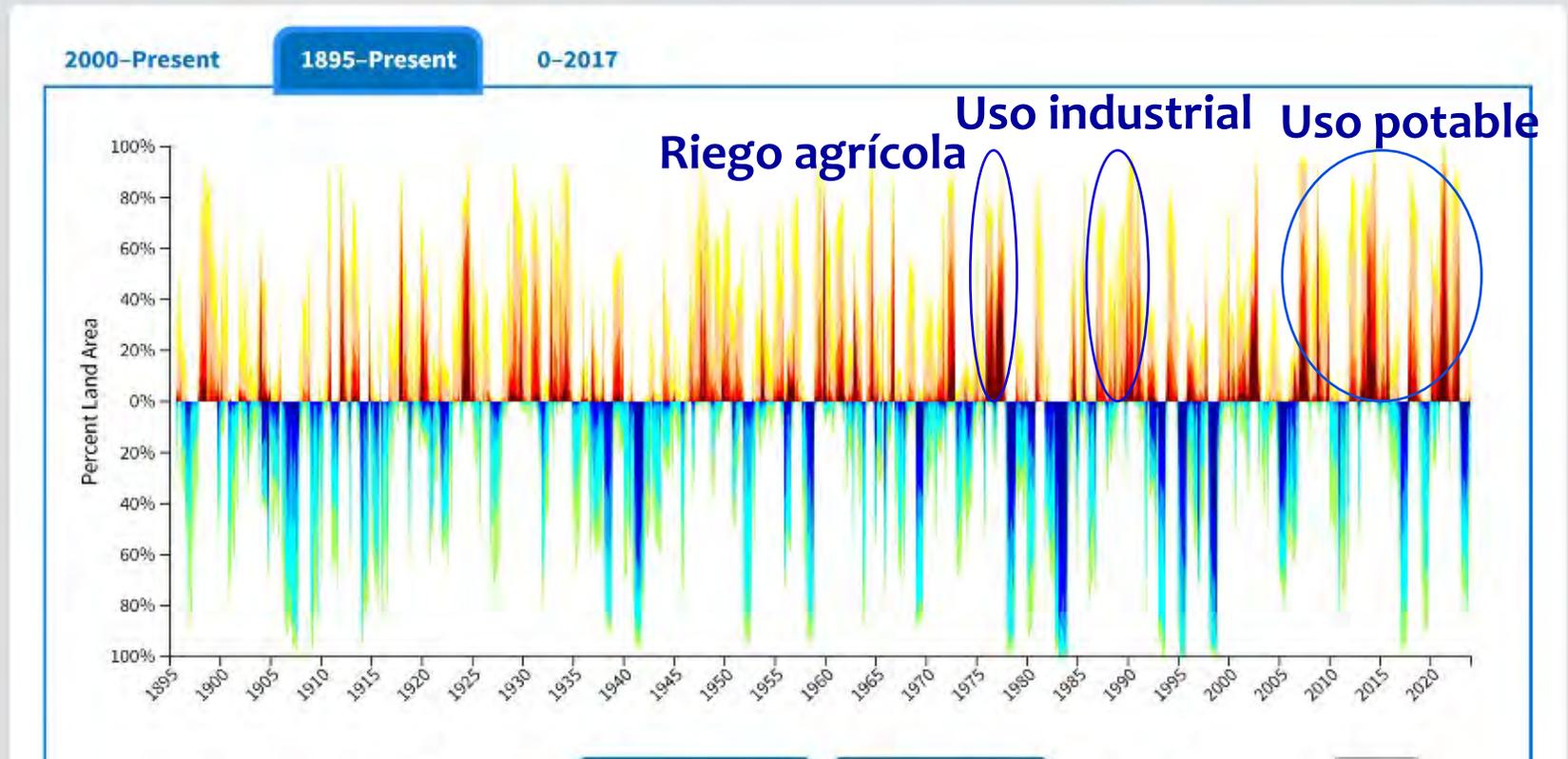
Sin prioridad de usos
Sin gestión integrada

Trasvases años 1970
State Water Project
Colorado Aqueduct

Una gran irregularidad tradicional

Historical Drought Conditions in California

Drought is a normal climate pattern that has occurred in varying degrees of length, severity, and size throughout history. Below, you can look back at past drought conditions for California according to 3 historical drought indices. The U.S. Drought Monitor is a weekly map that shows the location and intensity of drought across the country since 2000. The Standardized Precipitation Index (SPI) is a monthly depiction of drought based on precipitation (with data going back to 1895). And the paleoclimate data uses tree-ring reconstructions to estimate drought conditions before we had widespread instrumental records, going back to the year 0 for some parts of the U.S. [View more historical conditions.](#)



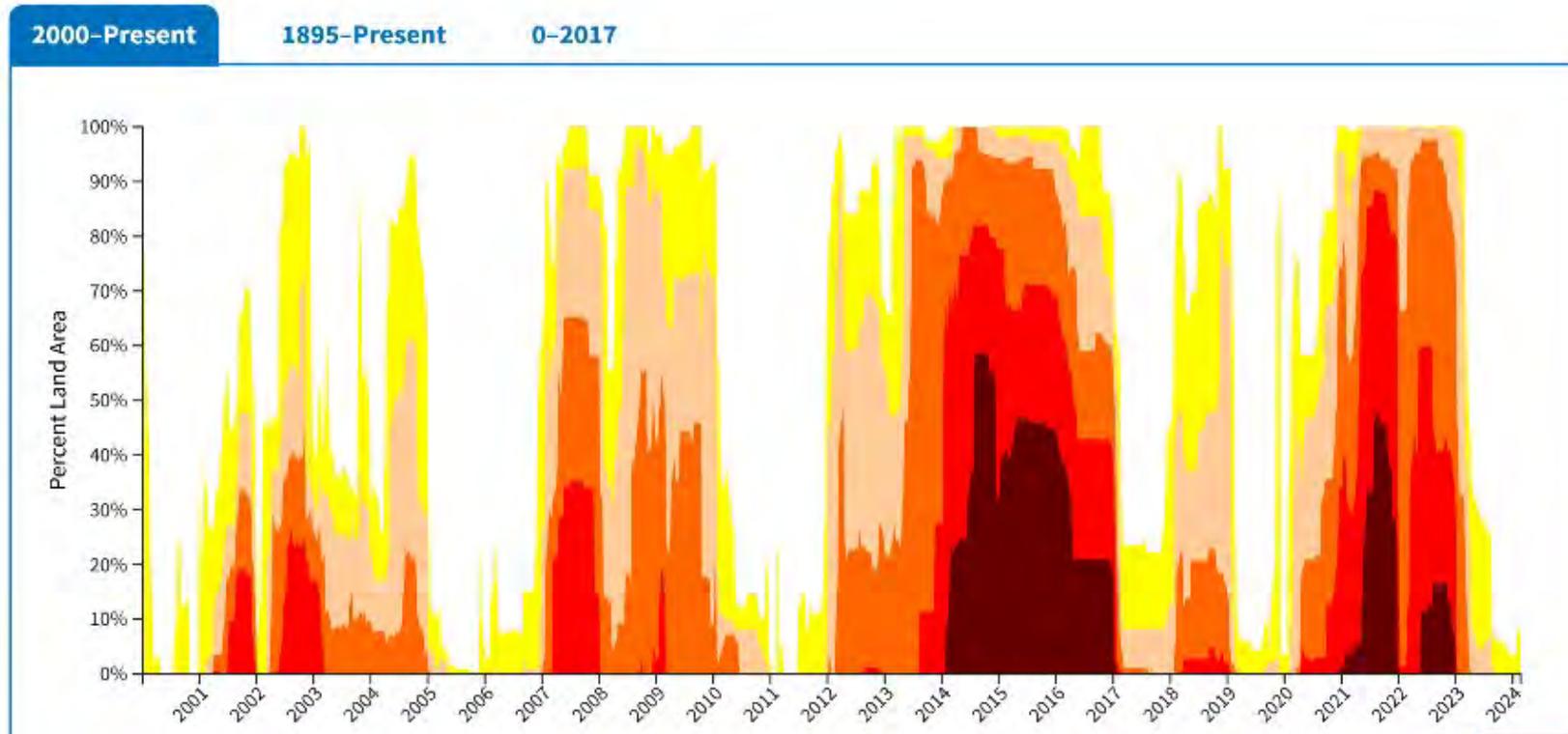
Intensas irregularidades recientes



asersa

Historical Drought Conditions in California

Drought is a normal climate pattern that has occurred in varying degrees of length, severity, and size throughout history. Below, you can look back at past drought conditions for California according to 3 historical drought indices. The U.S. Drought Monitor is a weekly map that shows the location and intensity of drought across the country since 2000. The Standardized Precipitation Index (SPI) is a monthly depiction of drought based on precipitation (with data going back to 1895). And the paleoclimate data uses tree-ring reconstructions to estimate drought conditions before we had widespread instrumental records, going back to the year 0 for some parts of the U.S. [View more historical conditions.](#)



Una sequía de 5 años: 2012-16



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



Un final repentino: enero-febrero 2023



Extensas borrascas en febrero 2024



asersa

Los Angeles Times

carries from the ocean near Hawaii to the mainland.



A photo captured by NOAA's GOES-West satellite showed a "Pineapple Express" bringing tropical moisture to the West Coast on

Inundaciones en febrero 2024



Los Angeles Times



[Can plastic bag ban be fixed?](#) [Clean energy Super Bowl ads](#) [Satellite show California snow](#) [Rethinking the L.A. River](#) [View All >](#)

CALIFORNIA

Record rain saturates SoCal landscape, heightening fears of more landslides



SUBSCRIBERS ARE READING >

CALIFORNIA

[FOR SUBSCRIBERS](#)

Half of Republicans say California isn't really American

LIFESTYLE

[FOR SUBSCRIBERS](#)

Science can explain a broken heart. Could science help heal mine?

CALIFORNIA

4 southeast L.A. County victims were part of 'random murder spree'; 2 suspects arrested

OPINION

L.A. Times electoral endorsements for 2024 March primary

Declaración de zona catastrófica



asersa

Los Angeles Times

CALIFORNIA

California granted federal disaster relief for historic February storms



Subscribers are Reading >

POLITICS

FOR SUBSCRIBERS

Major Supreme Court case could open California's homelessness policies

CALIFORNIA

FOR SUBSCRIBERS

A celebrated L.A. astrology influencer's stunning fall from 'healer' to solar eclipse killer

COMPANY TOWN

FOR SUBSCRIBERS

'The fairy dust fades away': Why the people who play Disneyland's costumed characters are unionizing

CALIFORNIA

Recarga de acuíferos: *Antelope Valley*



Capacidad: 345 hm³

Extracción: 16 hm³/año

210.000 viviendas

Acuerdo:

MWD 211 M\$

Terrenos de AVEK



Embalse en derivación, Sites Reservoir



For Release: Nov 2, 2023



Proposed location of Sites Reservoir

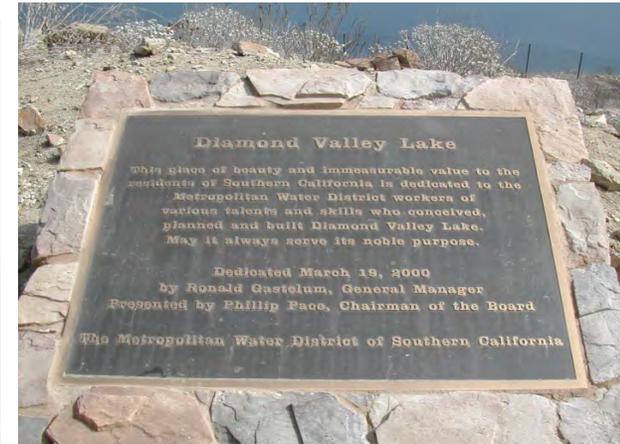
<https://sitesproject.org/>

En el Valle del Sacramento, donde se producen excedentes de caudales
1.800 hm³ - 4.500 M\$
330 km canal hasta el río Sacramento
Incremento del **15% de la capacidad de regulación** del norte del Estado
Construcción: **2026 a 2032**

Regulación en *Diamond Valley Lake*



asersa



Desde el año 2000
1.000 hm³
2.000 millones de dólares

Regeneración avanzada en GWRS, 2008

Water Factory 21 (1973)
reformada en 2008
82 hm³/año (2008)
125 hm³/año (2016)
160 hm³/año (2023)
≈ 490.000 m³/día



Laguna de infiltración



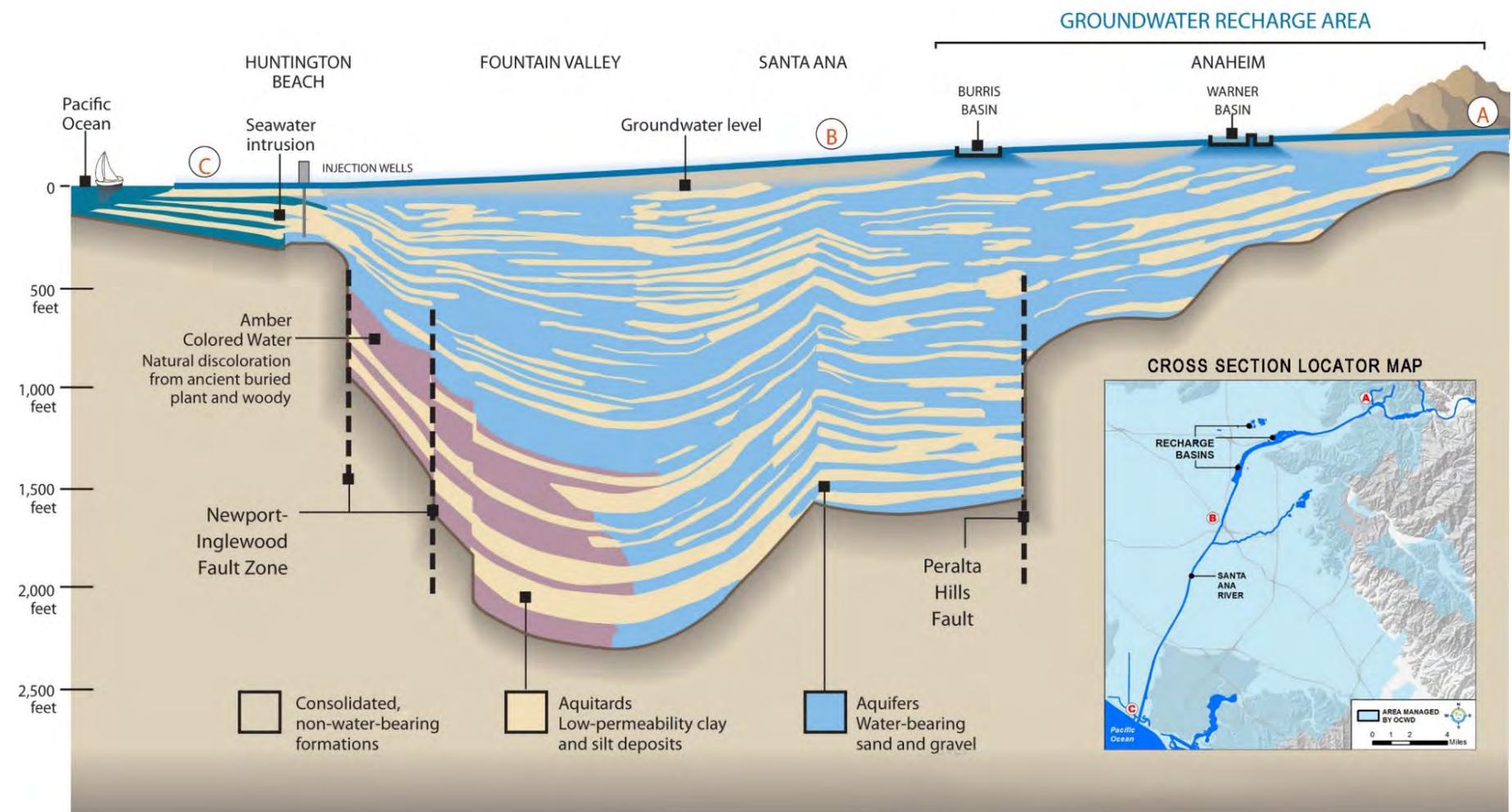
asersa

Anaheim, 21 km



Un acuífero sobre 75.000 ha (750 km²)

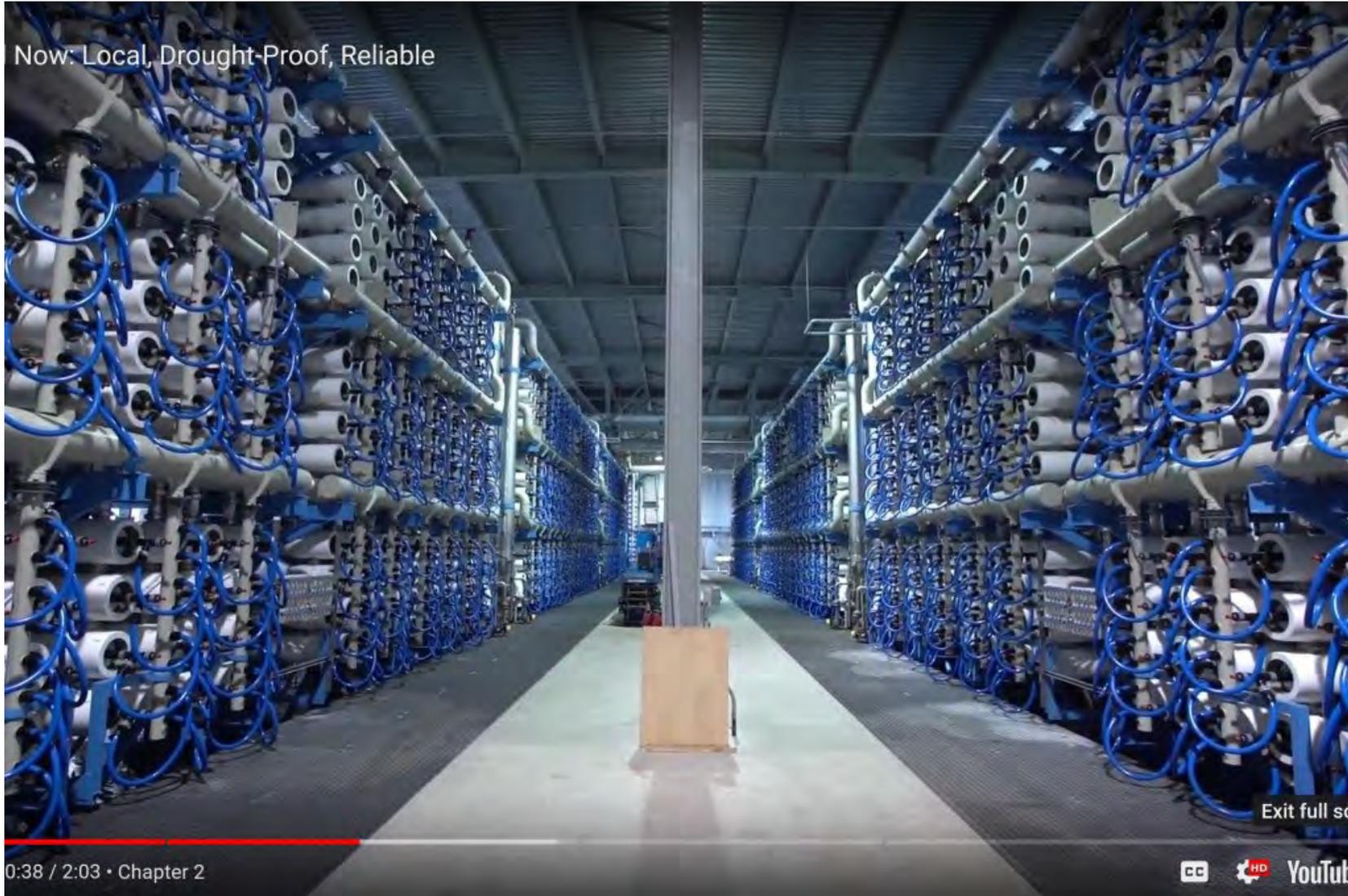
GEOLOGIC CROSS SECTION OF ORANGE COUNTY'S GROUNDWATER BASIN



Desalinizadora de Carlsbad en San Diego



Now: Local, Drought-Proof, Reliable



Características

Desde 2015 a 2045
1.000 M dólares
70 hm³ anuales
Bombea 1,14 hm³/día
Produce 190.000 m³/día

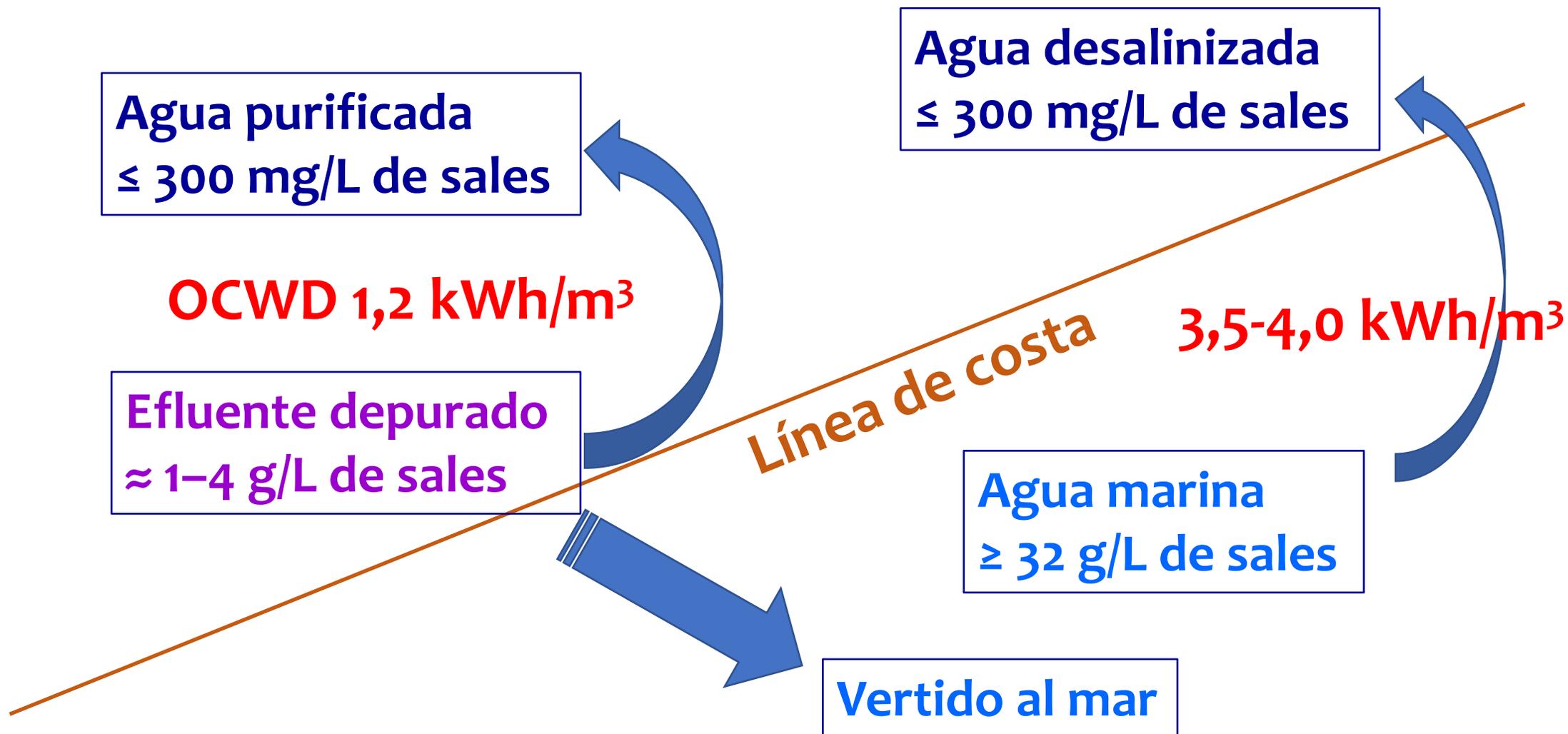
Coste agua desalinizada

2016: 1,7 \$/m³
2022: 2,3 \$/m³
2026: 3,0 \$/m³

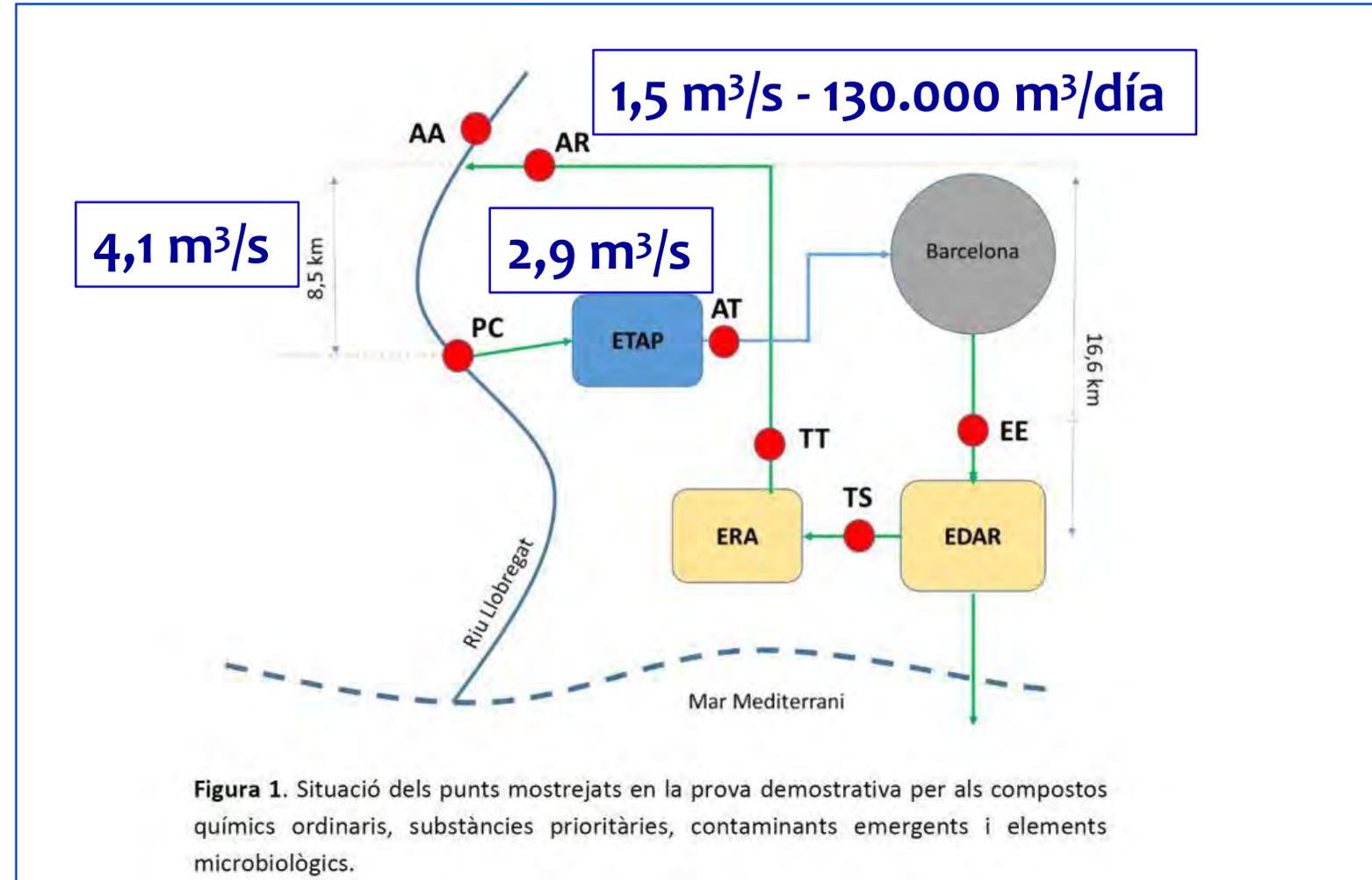
Agua superficial 2022

Bruta: 1,25 \$/m³
Tratada: 1,5 \$/m³

Eficiencia comparada de ósmosis inversa



Nuestra experiencia: *recarga potable*



Regeneración avanzada: para uso industrial



10º Aniversario: junio 2023



Efluente regenerado: 41 %
Producción: 6 hm³/año
18 % consumo petroquímica

Desalinizadora Barcelona



Características

Desde 2009

240 M euros

60 hm³ anuales

Produce 165.000 m³/día

Rendimiento: 48 %

Coste agua desalinizada

2016: 1,5 \$/m³

California: colaboración institucional



- Les ha permitido realizar grandes progresos
- **2014 Salud Pública (del agua)** unificada con Recursos Hídricos
- **Paneles Asesores:** forma de trabajo para avanzar el proceso normativo de forma eficiente, rápida y aceptable
- **1978: Regulations for agricultural irrigation (Revisadas en 2012)**
- **2014: Regulations for Groundwater Replenishment (RPI)**
- **2018: Regulations for Surface Water Augmentation (RPI)**
- **2023: Regulations for Direct Potable Reuse (DPR)**
- Una *faceta cultural* característica: “**el desacuerdo no es una opción**”

Un apoyo institucional emblemático



asersa



Salinas, marzo de 1983

Lecciones aprendidas



asersa

- Implantar un ***estricto control de vertidos*** al alcantarillado
- Mejorar la depuración de las aguas residuales
- Adoptar un ***cambio de estrategia (en el SoCal)***
 - ***Disminuir las inversiones en distribución de agua regenerada no potable***
 - ***Aumentar las inversiones en regeneración avanzada***
- Utilizando un ***proceso de renaturalización: acuífero o embalse***
- Distribuyendo el agua por las redes existentes
- Criterios operativos: ***agua segura, fiable y económica***

Inversiones millonarias para 2035



- **Metropolitan Water District**, proveedor en alta a 20 M de habitantes
- **Ciudad de Los Angeles**, 5 M de habitantes
- **Orange County Water District**, GWRS Project, 3 M de habitantes
 - 2023 ampliación a **490.000 m³/día (160 hm³/año)**
- **San Diego ciudad**, Pure Water San Diego, 1,5 – (3,5) M de habitantes

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

5. El futuro suministro de *agua regenerada*



- Un nuevo campo de trabajo con magníficas expectativas
- La depuración está ampliando sus objetivos (nueva Directiva):
 - desde DBO5, MES y nutrientes
 - al contenido de energía y de carbono inorgánico (CO2) y orgánico (productos de síntesis, higiene personal, fármacos, contaminantes de preocupación emergente)
 - Microorganismos patógenos: bacterias, parásitos, virus
- Potenciando una nueva especialidad: ***regenerador y reutilizador de agua***
- ***Con unas facetas esenciales:***
 - ***la excelencia técnica no es garantía de éxito***
 - ***la comunicación y la divulgación son imprescindibles***

- Enfatizar la **revisión bibliográfica** de otras experiencias
- Desarrollar un nuevo **currículum** técnico e investigador:
 - regenerar y reutilizar agua
- Características:
 - Enfoque más próximo al depurador
 - Fuentes más diversas y afectadas que los potabilizadores
 - Considerando más contaminantes que las fuentes superficiales
 - Con requisitos de calidad superiores a los depuradores
- Conveniencia de implantación **simultánea**:
 - Continuar impulsando la mejora “marginal” de la depuración
 - Promover la regeneración como complemento inevitable

Mensajes a retener



asersa

- Hemos de **adaptarnos** a una **MAYOR incertidumbre pluviométrica**
 - Una opción considerada **inevitable y urgente** en el Sur de California
- **Intensificando** nuestras formas de gestión actuales:
 - **Preservando** las fuentes de agua: salinidad, depuración
 - **Mayor regulación hidrológica:** acuíferos, embalses, balsas...
 - **Mayor ahorro y uso eficiente**
 - **Nuevas fuentes de agua:** regenerada y desalinizada, con su energía y costes, en zonas costeras
 - **Priorizando una mayor autosuficiencia**, con fuentes locales
 - **Promoviendo la interconexión:** asegurando la fiabilidad de la cuenca cedente

Considerando que



asersa

- Son soluciones más **tecnificadas** y más **costosas** que las tradicionales, pero **inevitables** para la adaptación: con un **nuevo sector profesional**
- Disponemos de conocimientos, medios técnicos y modelos de gestión para alcanzar el éxito: **hemos de adaptarnos al cambio**
- La regeneración se ofrece como una **nueva fuente local de agua**:
 - reutilización no potable y reutilización potable
- Los factores determinantes del éxito son:
 - **Una normativa protectora** de la salud pública y el medio ambiente
 - **El apoyo institucional para promover una percepción y una aceptación pública favorables**



Impulsamos el uso eficiente
de los recursos hídricos



A photograph of a garden bed filled with various flowers, including white, pink, and red blooms. The flowers are planted in a row, and the garden bed is bordered by a concrete path on the left. The background shows a grassy area and a tree trunk.

*¡Muchas gracias
por su atención!*