

eurecat

Centro Tecnológico

Tecnologías para la regeneración y reutilización de aguas residuales urbanas

Desafío Santiago Circular

Caroline Sielfeld - Investigadora Área Sostenibilidad de Eurecat



"innovando con las empresas"

MISIÓN

Favorecer la competitividad de las empresas y de la sociedad mediante la investigación aplicada, la innovación y la transferencia de conocimiento.



VISIÓN

Ser el referente en el ámbito de la investigación industrial y la transferencia tecnológica del sistema de innovación de Cataluña.

Alianzas y presencia territorial

Proximidad y confianza

Promovemos alianzas con universidades y centros de investigación para acercar las fuentes de conocimiento a las empresas.
Apostamos por la proximidad con nuestros clientes y sus retos.

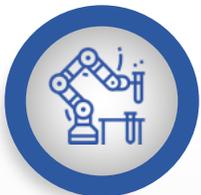
1
Oficina de la Fundación Eurecat Latam

Madrid
Málaga
Barcelona

11
Sedes en Cataluña



Integración multitecnológica



Área Industrial

1. Materiales avanzados y nuevos procesos de fabricación
2. Impresión funcional y dispositivos integrados
3. Robótica colaborativa y cognitiva
4. Tejidos funcionalizados
5. Química
6. Modelización y simulación multifísica
7. Innovación de producto



Área Digital

1. Inteligencia Artificial Aplicada
2. Computación cuántica
3. Data Science & Big Data Analytics
4. Ciberseguridad
5. Tecnologías multimedia
6. Salud Digital



Área Biotecnológica

1. Nutrición y salud
2. Ciencias ómicas
3. Biotecnología



Área Sostenibilidad

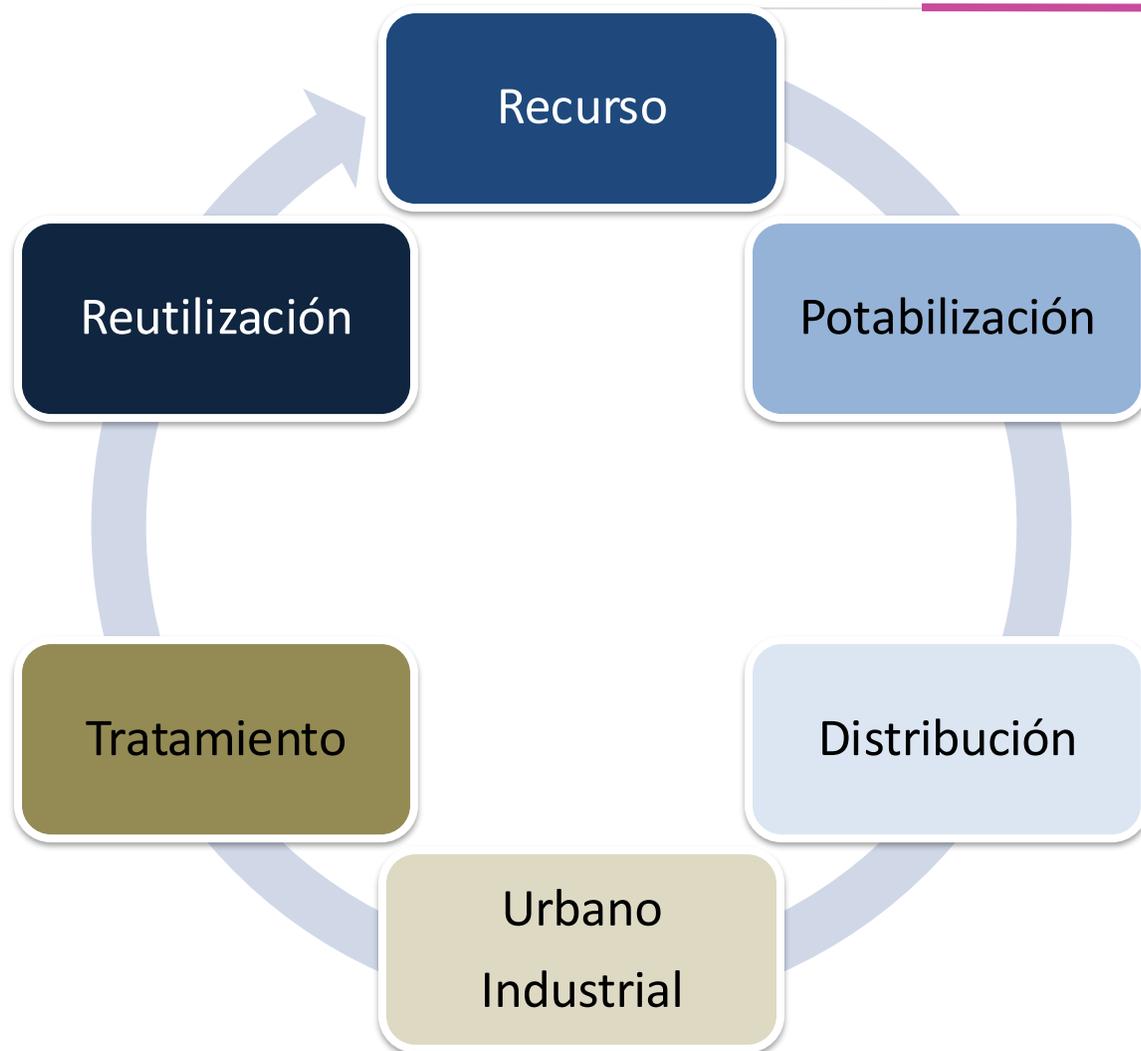
1. Agua
2. Suelo
3. Aire
4. Energía
5. Residuos
6. Impacto ambiental
7. Baterías
8. Cambio climático



Nuestro valor diferencial:

Nuestras capacidades multitecnológicas nos permiten hacer frente a retos complejos.

Línea de investigación: Agua



Desarrollo de procesos

- Selección y evaluación de tecnología
- Validación técnico económica
- Upscaling

Optimización de sistemas

- Diagnóstico de procesos existentes
- Optimización de condiciones de operación
- Mejora eficiencia/Reducción costes

Cambio climático y estrés hídrico

Efectos del cambio climático en las fuentes de agua actuales:

Menor disponibilidad de agua. Sequías e inundaciones extremas.

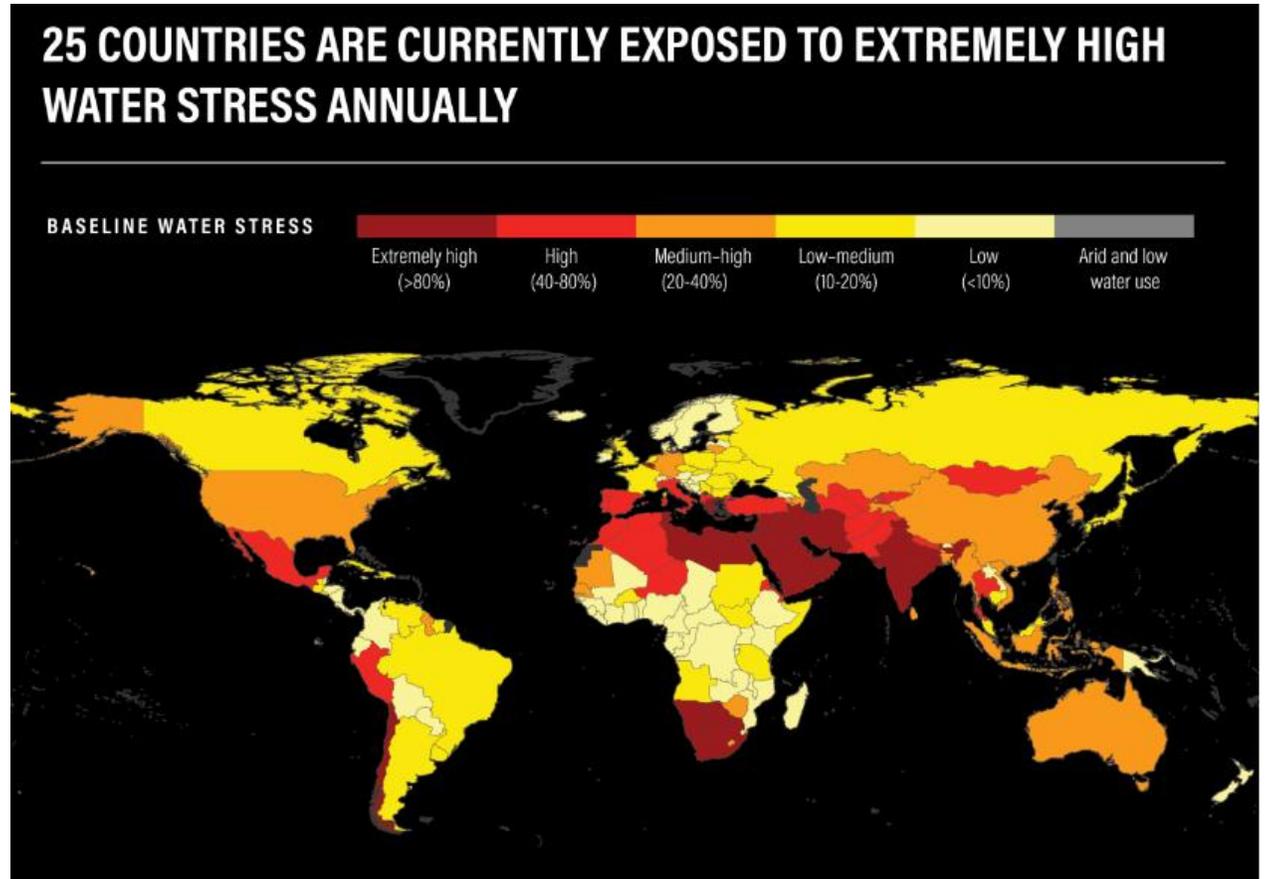
Necesidad de dotar de nuevas fuentes hídricas para cubrir la demanda hídrica y mejorar la captación y el uso actual del agua

Disminución de la calidad del agua

Necesidad de mejorar el tratamiento del agua para hacer frente a los contaminantes específicos causados por el aumento de la temperatura. Asegurar la calidad del agua para minimizar el impacto en la salud (patógenos transmitidos por el agua, floraciones de algas)

Salinización de las aguas subterráneas

Intrusión marítima en los acuíferos costeros y sobreexplotación de los acuíferos continentales



Recursos hídricos

¿Cómo aumentar la disponibilidad de recursos hídricos?

Preservación de las fuentes actuales

- Gestión para la preservación de la calidad del agua en acuíferos y ríos (evitar la contaminación)
- Uso racional del agua y priorización de usos
- Evitar pérdidas en el uso y en el transporte/producción
- Mejorar los tratamientos actuales para aumentar la eficiencia

Provisión de nuevas fuentes de agua

- Desalinización de agua de mar
- Regeneración y reutilización del agua
- Recuperación de fuentes abandonadas (por ejemplo, debido al aumento de la salinidad o aguas contaminadas)
- Captación de agua de lluvia



Pantano de Sau

Ventajas de la reutilización:

Recurso estable

Más económico que la desalinización

Permite recuperar otros recursos como nutrientes y biogás

Libera presión de otras fuentes convencionales de agua

Mayor igualdad territorial

Reutilización de agua en España



Fig. 1. Percentage of reused treated wastewater in Spain (INE, 2016a)

El porcentaje de reutilización de agua en Europa es de <5 %

España lidera la reutilización de agua en Europa con un porcentaje de reutilización entre 7 y 13%

En España 27% de las EDAR tienen capacidad de regeneración de agua

En un país acostumbrado a la escasez de agua y a la sequía, las aguas residuales, más que un problema, se convierten en una oportunidad para sumar recursos para satisfacer la demanda de agua

Regeneración y reutilización de agua

Terminología

Regenerar (*Reclaim*)

Adaptar la calidad de agua a los requerimientos del uso final

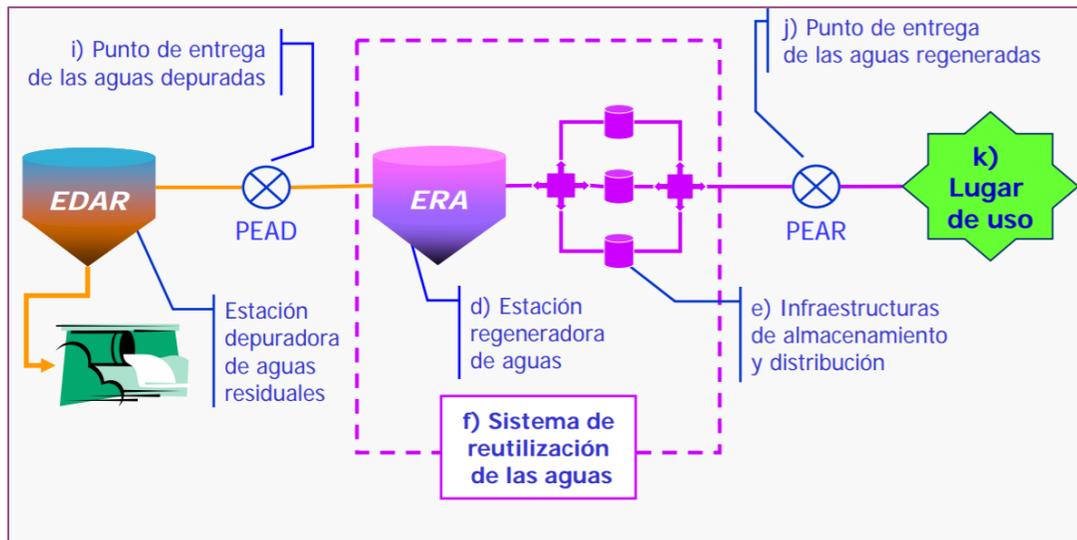
Se lleva a cabo en: Un tratamiento terciario de una EDAR/ planta de regeneración de aguas residuales (ERA)

Reutilizar, reciclar (*Reuse, recycle*)

Proveer agua regenerada a usuarios para diversos usos

Los siguientes usos están regulados en España por el RD 1620/2007 y por el REGLAMENTO (UE) 2020/741 (solo uso agrícola):

- Urbanos (Riego de zonas verdes, baldeo de calles, etc.)
- Agrícolas (Riego de cultivos, pastos, acuicultura, ornamental)
- Industriales (Aguas de proceso, torres de refrigeración, etc)
- Recreativos (Riego de campos de golf, etc.)
- Ambientales (Recarga de acuíferos, riego de bosques, silvicultura, mantenimiento de caudales mínimos y humedales, etc.)





Tecnologías para la regeneración de agua

Parámetros de calidad y etapas de la regeneración

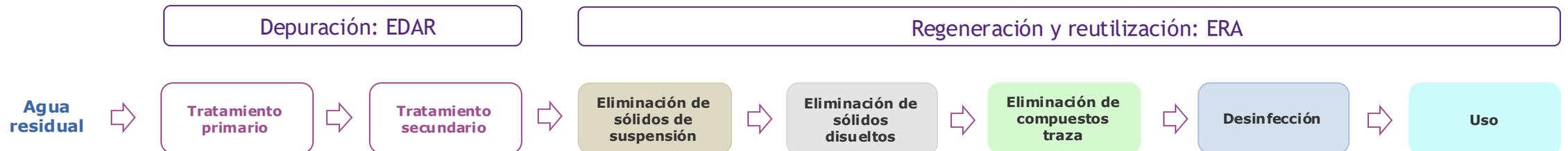
Principales parámetros de calidad relevantes en la regeneración:

Parámetros fisicoquímicos:

Sólidos en suspensión
Turbidez
DBO
Nitrógeno, Fósforo
Metales/minerales
Conductividad/sales

Parámetros microbiológicos:

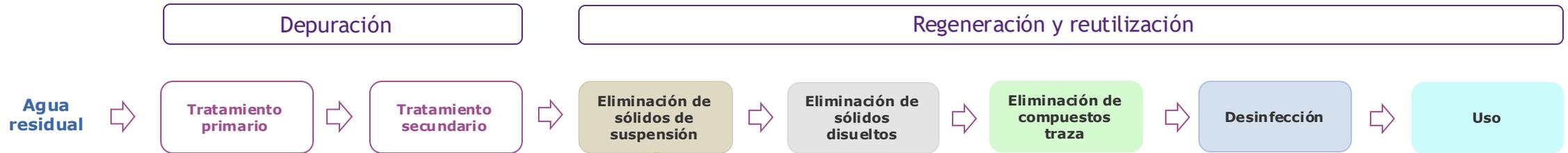
E.Coli
Nemátodos intestinales
Legionella spp., Taenia spp.,
Salmonella spp.





Tecnologías para la regeneración de agua

Eliminación de sólidos en suspensión



Sólidos en suspensión, coloides, materia orgánica particulada

- Impacta la desinfección
- Satura goteros/ tuberías para riego
- Afecta la turbidez
- Puede adsorber componentes tóxicos

Bacterias, virus, protozoos

- Pueden causar enfermedad

Tecnologías para la regeneración de agua

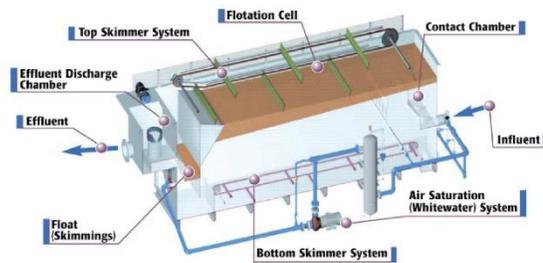
Eliminación de sólidos en suspensión

Partículas en suspensión grandes

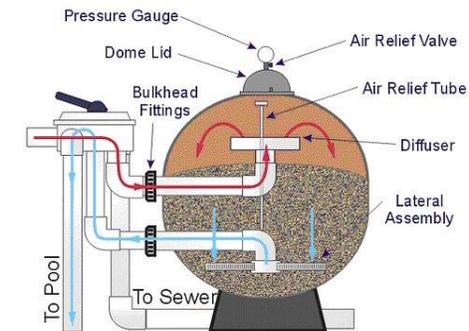


Partículas en suspensión más pequeñas

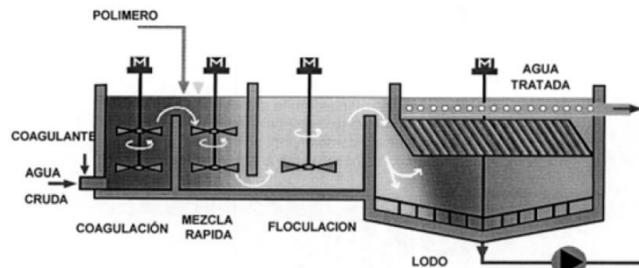
Flotación (DAF)



Filtración de profundidad

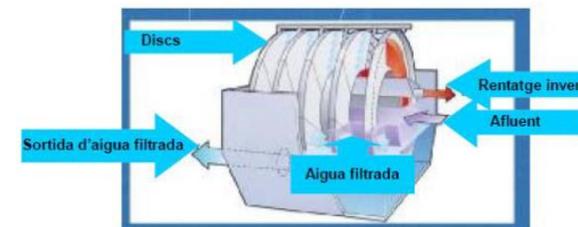


Coagulación-floculación



Sistema de coagulación-floculación y decantación laminar. Alarcón-Herrera & Martín Domínguez, 2012

Filtración de superficie



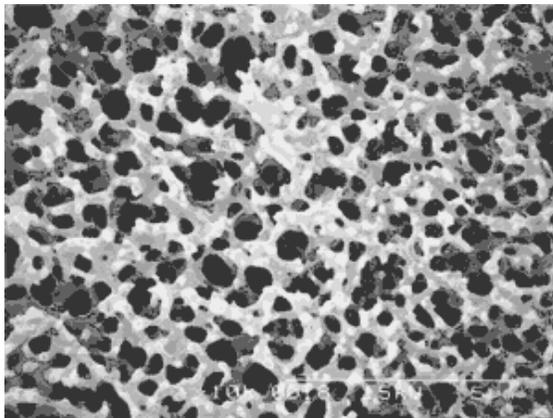
Filtro de discos con microtubos

Tecnologías para la regeneración de agua

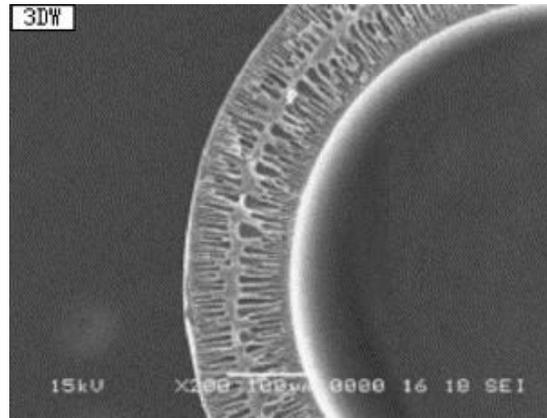
Eliminación de sólidos en suspensión

Tecnologías de membrana:

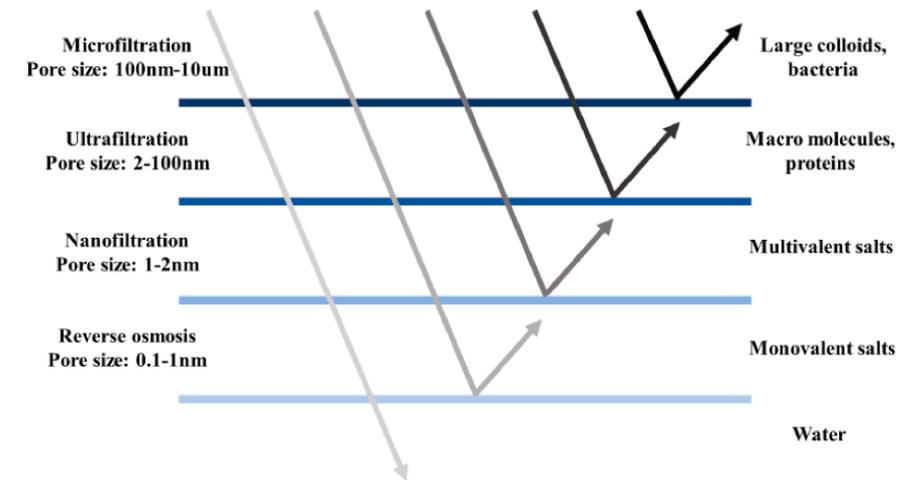
Microfiltración



Ultrafiltración



- STS: 0-1 mg/L
- Turbidez: 0.1-0.4 NTU
- Partículas en suspensión muy pequeñas, macro moléculas, coloides
- Bacterias, virus



Tecnologías para la regeneración de agua

Eliminación de sólidos en suspensión

Bioreactor de membrana

Modificación del tratamiento convencional de lodos activos

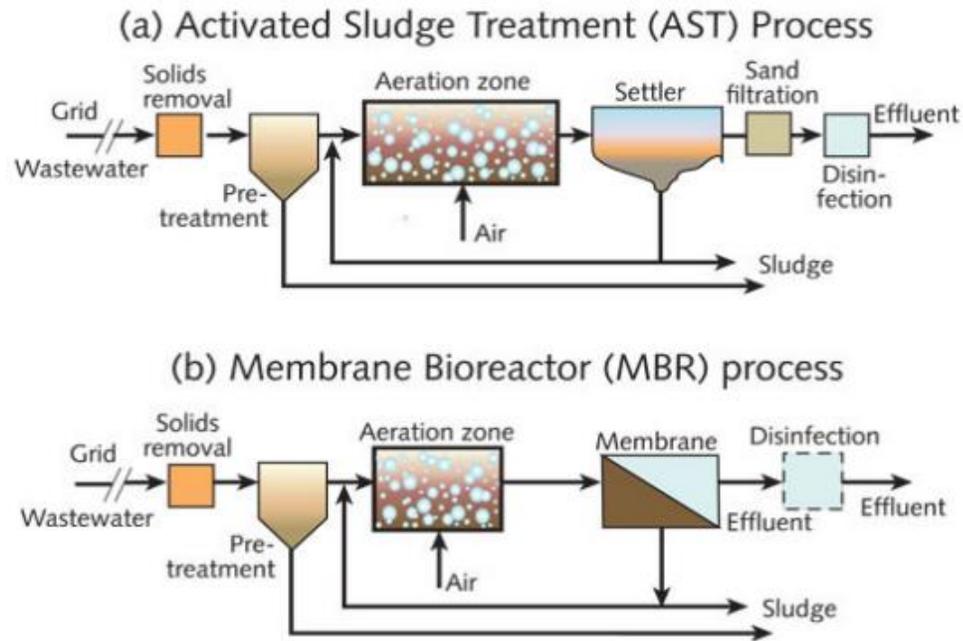


Figure 4 (a) activated sludge process (b) membrane bioreactor (MBR) process

Pandey, Aditi & Singh, Ravi. (2014)

Ventajas:

- Compacto y versátil
- Bajos costes de instalación
- Reemplaza decantador secundario
- Alta calidad del final: alta eliminación de DQO, SS, y microorganismos
- Se pueden convertir los sistemas existentes
- Menor generación de fangos

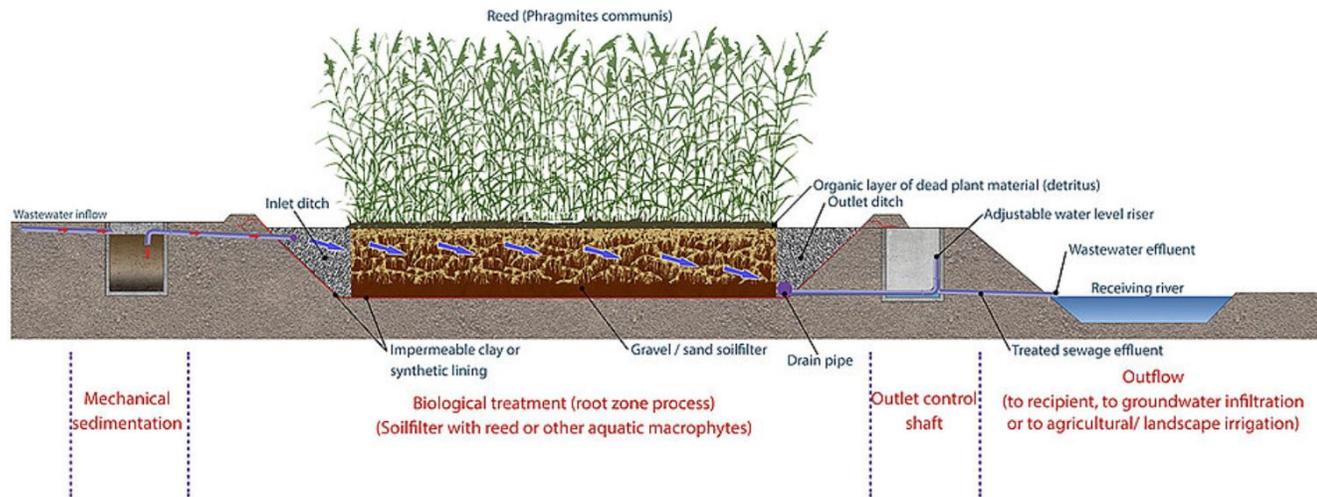
Ámbitos de aplicación:

- Complejos turísticos
- Urbanizaciones
- Plantas depuradoras
- Complejos industriales
- Zonas remotas

Tecnologías para la regeneración de agua

Eliminación de sólidos en suspensión

Solución basada en la naturaleza: Humedales artificiales (biofiltros)



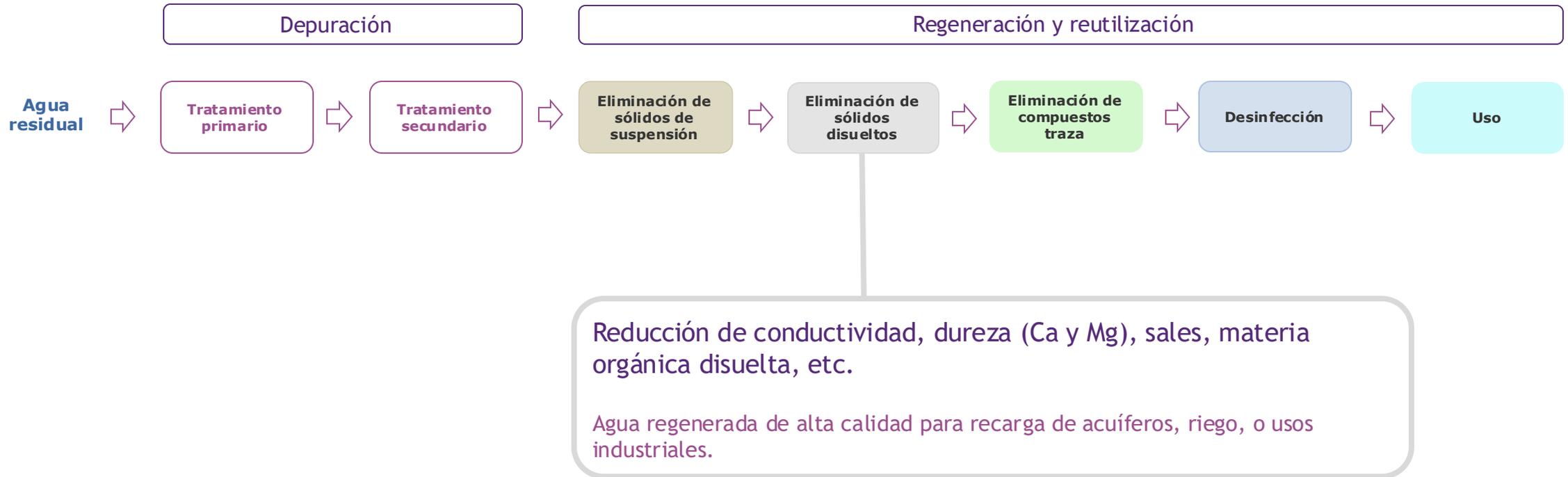
Ingenieurbüro Blumberg (www.Blumberg-engineers.com)

- Filtración mecánica en el sustrato: eliminación de sólidos suspendidos
- Filtración biológica: eliminación de materia orgánica y nutrientes
- Económico, bajo consumo energético
- Sistemas descentralizados: buena solución para zonas remotas



Tecnologías para la regeneración de agua

Eliminación de sólidos disueltos



Tecnologías para la regeneración de agua

Eliminación de sólidos disueltos

Nanofiltración (NF)

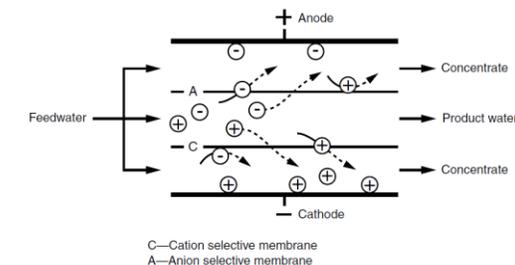
- Retienen sales divalentes y compuestos orgánicos
- Pasan sales monovalentes, agua y compuestos ácidos y alcalinos
- Presión trabajo: 5 - 20 bar

Osmosis Inversa (OI)

- Retiene sales y compuestos orgánicos (> 99%)
- Pasa esencialmente agua
- Presión trabajo: 10 - 60 bares

Electrodiálisis (ED) y Electrodiálisis Reversible (EDR)

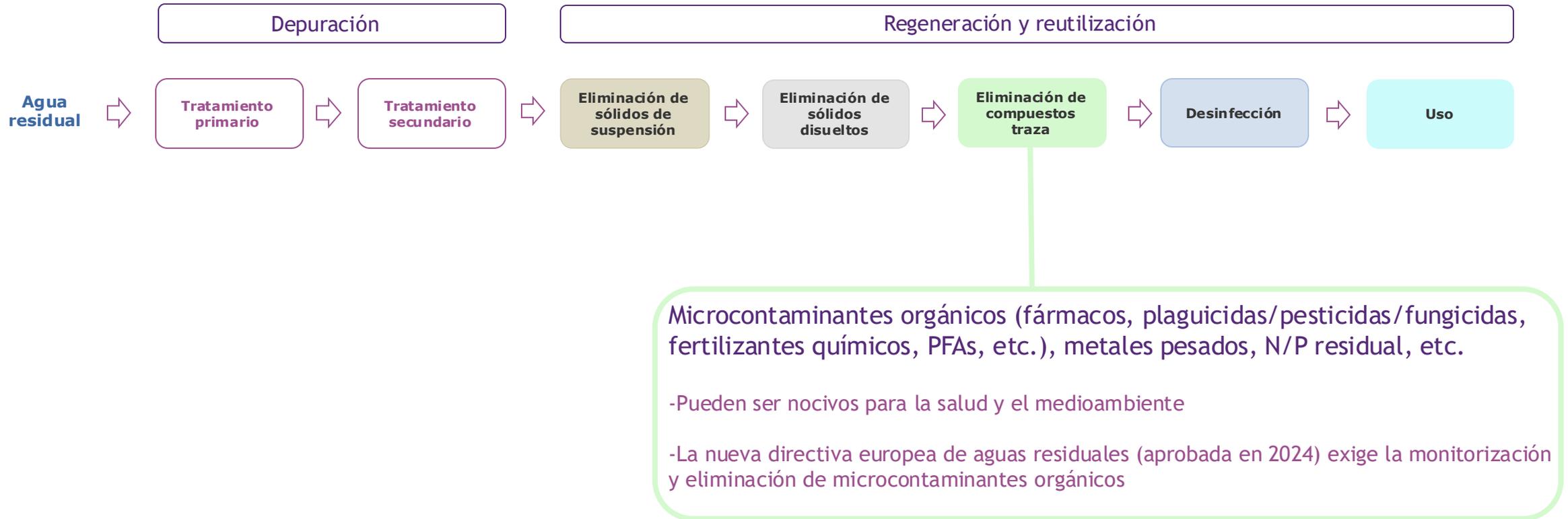
- Membranas dejan pasar iones selectivamente hacia la corriente de concentrado
- EDR: Autolavados cambiando la polaridad de la corriente aplicada
- Fuerza impulsora: energía eléctrica





Tecnologías para la regeneración de agua

Eliminación de contaminantes traza





Tecnologías para la regeneración de agua

Eliminación de contaminantes traza

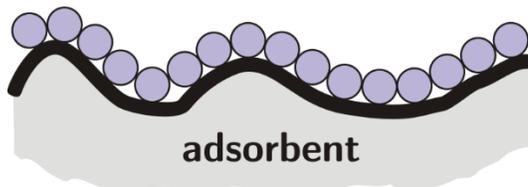
Adsorción

Tipos de adsorbentes:

- Carbón activo (GAC/PAC)
- Alúmina activada
- Hidróxido férrico granular, etc.

Aplicación:

- Pesticidas, herbicidas, fármacos
- Solventes aromáticos
- Hidrocarburos de bajo peso molecular



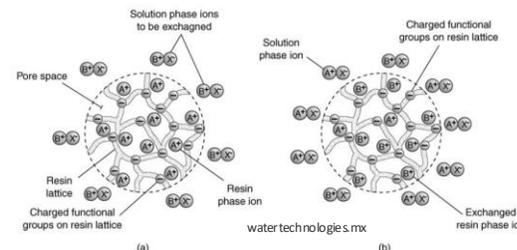
Intercambio iónico

Tipos:

- Zeolitas
- Resinas.

Aplicación:

- Remoción iones (amonio, nitrato, calcio, magnesio)
- Metales pesados



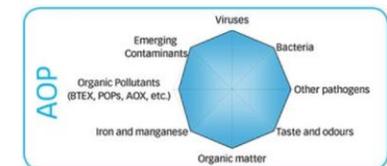
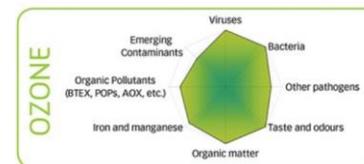
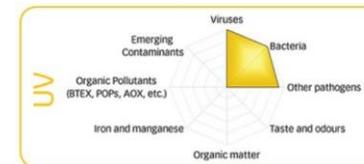
Procesos de oxidación avanzada (AOPs)

Tipos:

- H₂O₂/UV, H₂O₂/O₃, UV/O₃, Fenton

Aplicación:

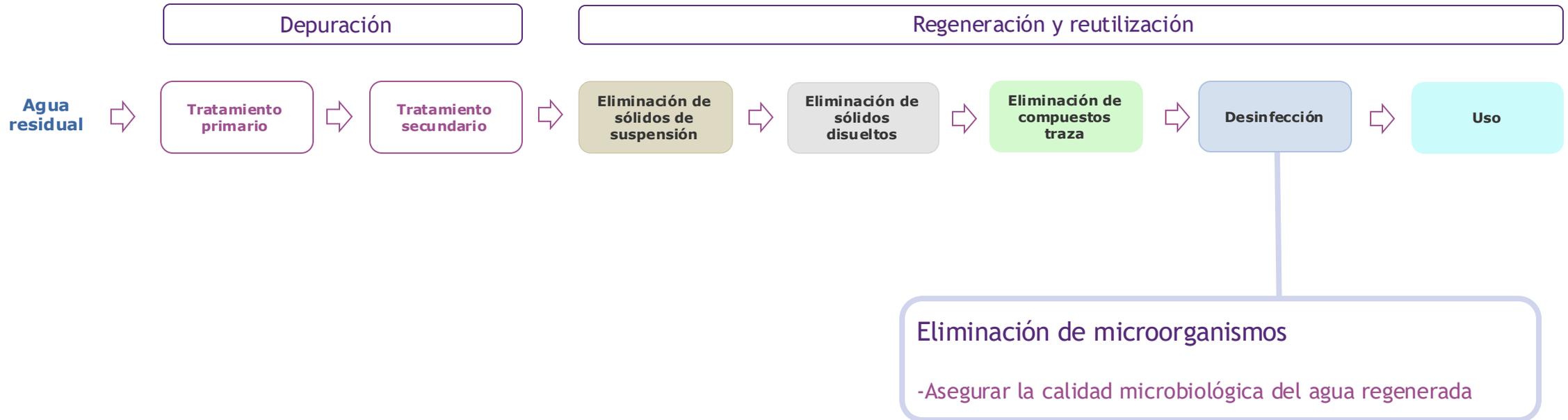
Todo tipo de contaminantes orgánicos (microcontaminantes orgánicos, patógenos, materia orgánica)





Tecnologías para la regeneración de agua

Desinfección



Tecnologías para la regeneración de agua

Desinfección

Cloración

Método más común de desinfección: NaClO, ClO2

Desinfección por oxidación

Genera subproductos -> THM

UV

Muerte de las células mediante radiación UV

Efectividad disminuye si hay compuestos que adsorben la UV

Ozonización

Oxidante más potente que el cloro

Reduce olores

Se tiene que generar in-situ

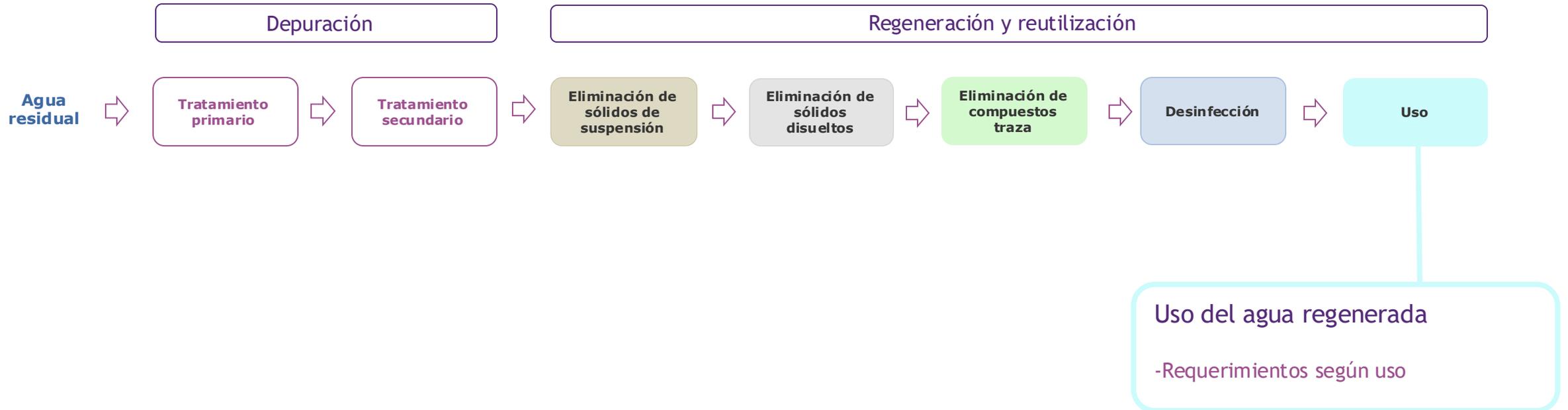
Treatment	Viruses (including adenovirus, rotavirus and enterovirus)	Phage (viral indicators)	E.Coli	Bacterial pathogens (including Campylobacter)	Clostridium perfringens	Protozoa		Helminth eggs
						Giardia	Crypto	
Primary Treatment	0-0.1	N/A	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0.5-1	0-0.5	0-2
Secondary treatment	0.5-2	0.5-2.5	1-3	1-3	0.5-1	0.5-1.5	0.5-1	0-2
Dual media filtration	0.5-3	0.5-4	0-1	0-1	0-1	1.5-2.5	1.5-2.5	2-3
Membrane filtration	2.5-6	3-6	3.5-6	3.5-6	>6	>6	>6	>6
Reverse osmosis	>6	>6	>6	>6	>6	>6	>6	>6
Lagoon storage	1-4	1-4	1-5	1-5	N/A	3-4	N/A	1.5->3
Chlorination	1-3	0-2.5	2-6	2-6	1-2	0.5-1.5	0-0.5	0-1
Ozonation	3-6	2-6	2-6	2-6	0-0.5	N/A	N/A	N/A
UV radiation	>1 (Adenovirus) >3 (Enterovirus, Hepatitis A)	3-6	2->4	2->4	N/A	>3	>3	N/A
Wetlands (surface flow)	N/A	1.5-2	1.5-2.5	1.5-2.5	1.5	0.5-1.5	0.5-1	0-2
Wetland (subsurface flow)	N/A	1.5-2	0.5-3	0.5-3	1-3	1.5-2	0.5-1	N/A

Log Reduction	% Reduction of Bacteria
1	90
2	99
3	99.9
4	99.99
5	99.999



Tecnologías para la regeneración de agua

Uso del agua regenerada



Tecnologías para la regeneración de agua

Propuestas de tratamiento según el uso del agua regenerada

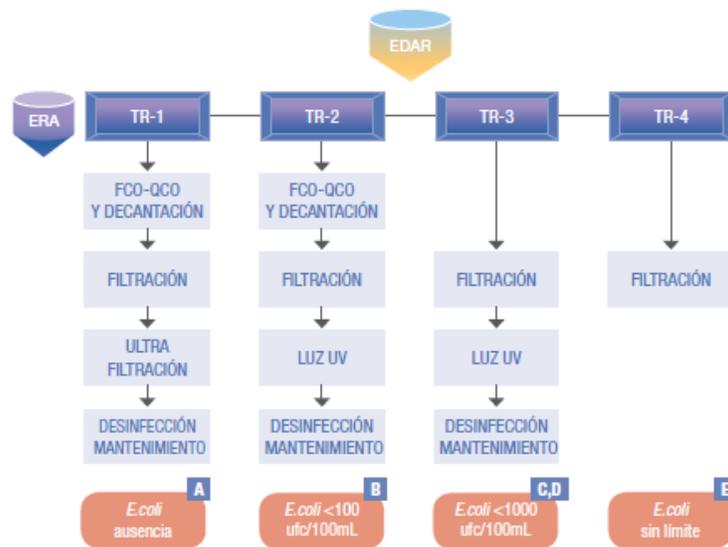


Figura 13. Tratamientos de regeneración propuestos sin desalación

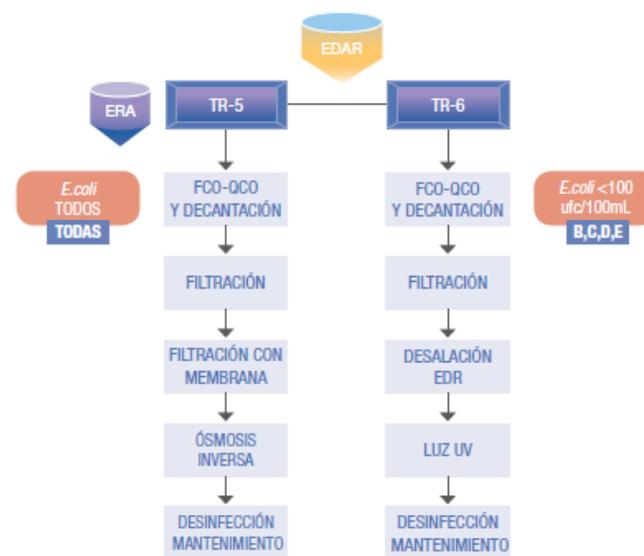


Figura 14. Tratamientos de regeneración propuestos con desalación

- Usos agrícolas
- Recarga acuíferos
- Usos industriales

USOS	Tipo de Calidad	<i>Escherichia coli</i> UFC/100 ml	Nematodos	<i>Legionella spp.</i> UFC/100 ml
- Torres de refrigeración y condensadores evaporativos (3.2)	A	Ausencia	Ausencia	Ausencia
- Residenciales (1.1)		Ausencia	< 1 huevo/10L	< 100
- Recarga acuíferos inyección directa (5.2)		Ausencia	< 1 huevo/10L	No se fija limite
- Servicios urbanos (1.2)	B	< 100-200	< 1 huevo/10L	< 100
- Riego agrícola sin restricciones (2.1)				
- Riego campos de golf (4.1)	C	< 1.000	< 1 huevo/10L	No se fija limite
- Riego de productos agrícolas que no se consumen frescos.				
- Riego pastos animales productores.				
- Acuicultura (2.2)				
- Aguas proceso y limpieza industria alimentaria (3.1)				
- Recarga acuíferos por percolación a través del terreno (5.1)	D	< 1.000	No se fija limite	No se fija limite
- Riego cultivos leñosos, viveros y cultivos industriales (2.3)				
- Masas agua sin acceso público (4.2)				
- Riego de bosques y zonas verdes no accesible al público (5.3)	E	No se fija limite	No se fija limite	No se fija limite
- Ambientales: mantenimiento humedales, caudales mínimos (5.4)	F	La calidad se estudiará caso por caso		

Tabla 6. Tipos de calidad según los límites bacteriológicos del RD de reutilización



Tecnologías para la regeneración de agua

Desafíos y tendencias

Eficiencia y circularidad de los procesos

- Aprovechar energía y nutrientes contenidos en el agua residual: biofactorías
- Mejorar eficiencia energética de procesos
- Digitalización / IA

Regulación

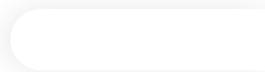
- Presencia de microcontaminantes (pesticidas, compuestos farmacéuticos, hormonas, PFAs, etc.)
- Reutilización potable indirecta o potable

Sistemas de tratamiento/regeneración satélite o descentralizados

- Crecimiento de zonas urbanas, alcance de zonas remotas
- Solución flexible, para sistemas individuales
- Tecnologías como el MBR son ideales para sistemas descentralizados: compacto y buena calidad final del efluente



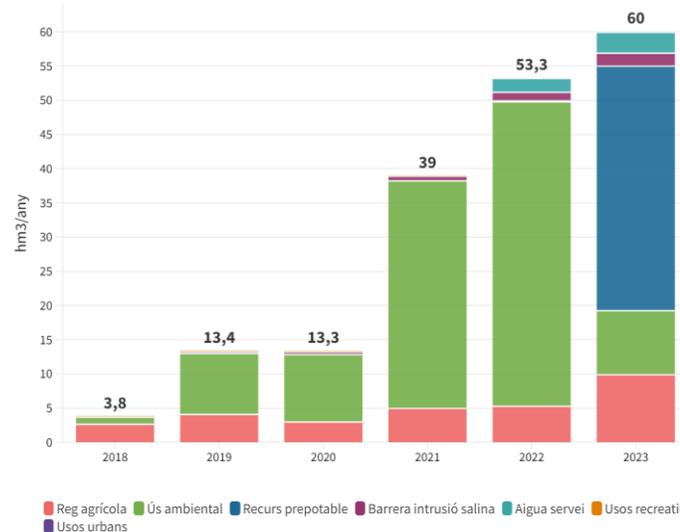
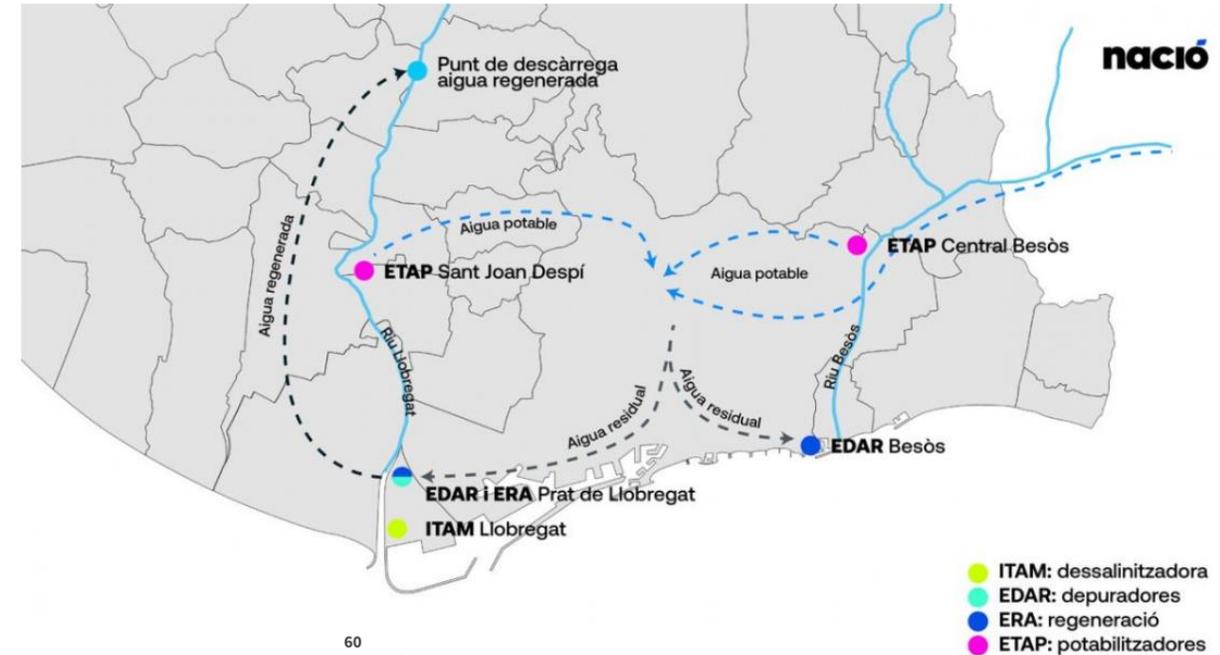
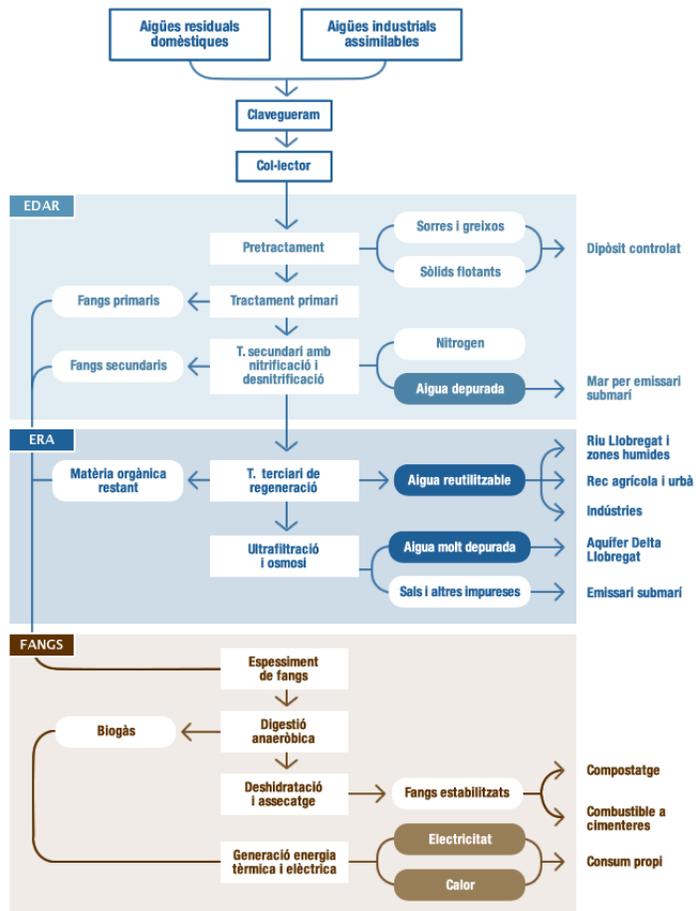
CASOS DE ESTUDIO Y PROYECTOS I+D



Depuradora del Prat, Barcelona

La depuradora de El Prat tiene la ERA más grande de Cataluña

El 2022, debido a la situación crítica de emergencia por sequía, se comenzó a implementar la reutilización potable indirecta



En épocas de emergencia por sequía más del 50% del agua captada por la ETAP de S. J. Despí correspondió a agua regenerada

Un 25% del agua que consume Barcelona ya es regenerada

NEXT-GEN

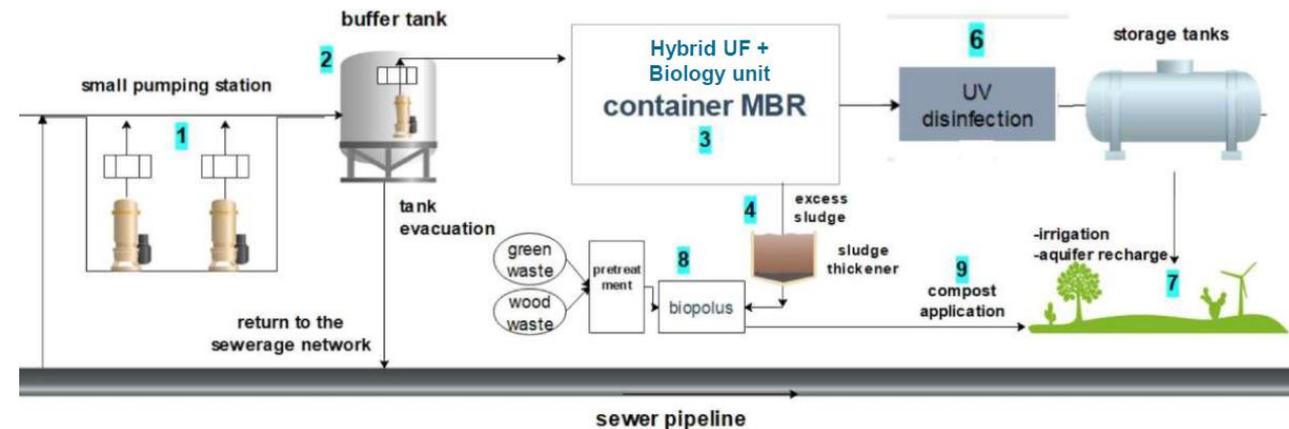
Caso de estudio: Vivero urbano en Atenas

El proyecto NEXT-GEN:

- ✓ Sistemas circulares en el sector del agua
- ✓ 10 Casos de estudio

Caso de estudio en Atenas: Solución descentralizada y móvil para producir agua regenerada para riego urbano:

- Agua regenerada para un vivero de árboles urbanos
- Es parte del Parque Goudi, un área en proceso de convertirse en el parque metropolitano clave de la capital
- 4 ha de vegetación
- Proveedor de material vegetal para parques urbanos y espacios verdes en Atenas
- Actualmente utiliza agua potable para riego



SEWER-MINING MODULAR UNIT
25 m³/día

WATER-MINING

Caso de estudio: EDAR La Llagosta



<https://watermining.eu/>



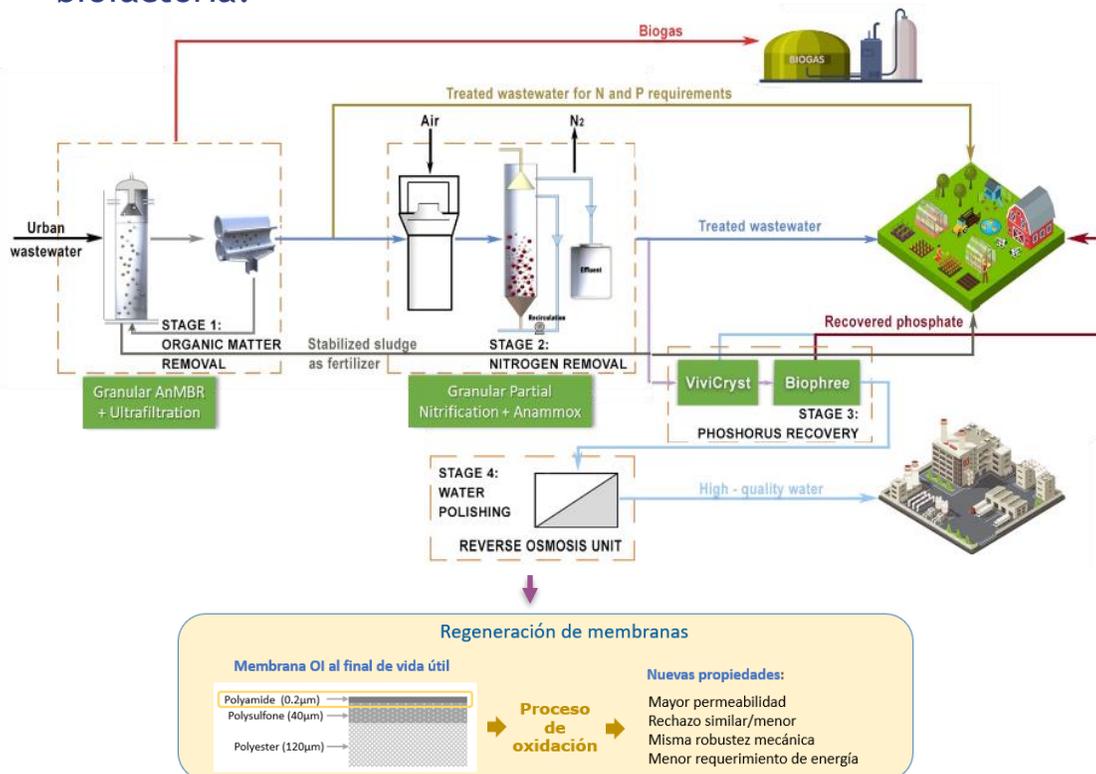
This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement 869474.



El proyecto WATER-MINING:

- ✓ Soluciones innovadoras basadas en la economía circular para la gestión sostenible del agua
- ✓ 6 casos de estudio: *Sea, Urban, and Industrial Water Mining*

Caso de estudio de *Urban Water Mining*: Transformar la EDAR en una biofactoría:



Principales aspectos del proceso propuesto:

- Biorreactor anaeróbico *EGSB* (Expanded granular sludge bed) con ultrafiltración externa por la eliminación de materia orgánica y producción de biogás.
- Reactor de nitrificación parcial y reactor *Anammox* por la eliminación de nitrógeno.
- Unidad *ViviCryst*, por la recuperación de vivianita mediante la precipitación del fósforo.
- Unidad *Biophree* para la reducción de los niveles de P residuales en el efluente mediante una tecnología de adsorción.
- Osmosis inversa utilizando membranas regeneradas.

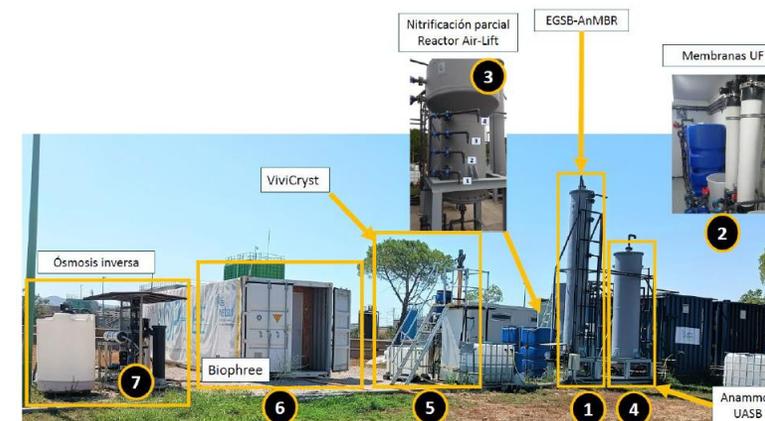


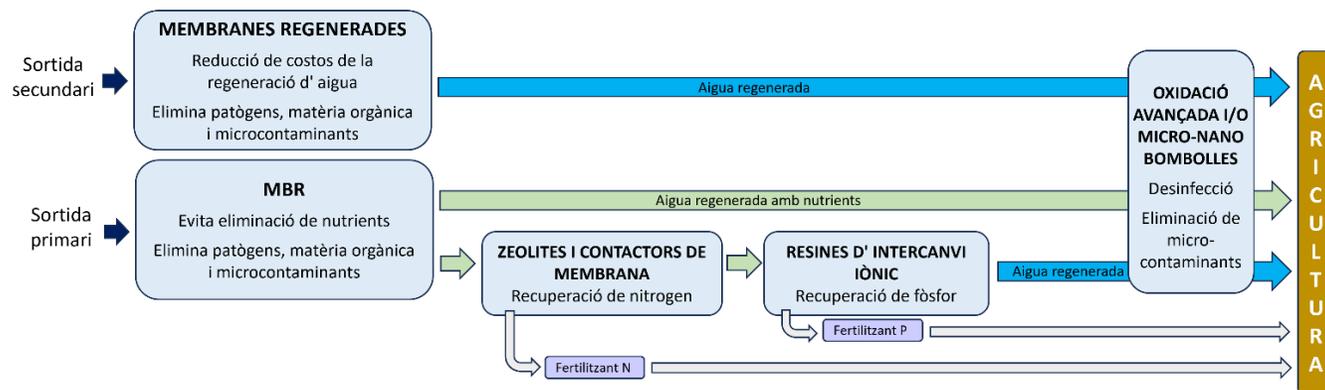
Figura 2. Esquema de la planta piloto Water-Mining instalada en la EDAR de La Llagosta (Barcelona).



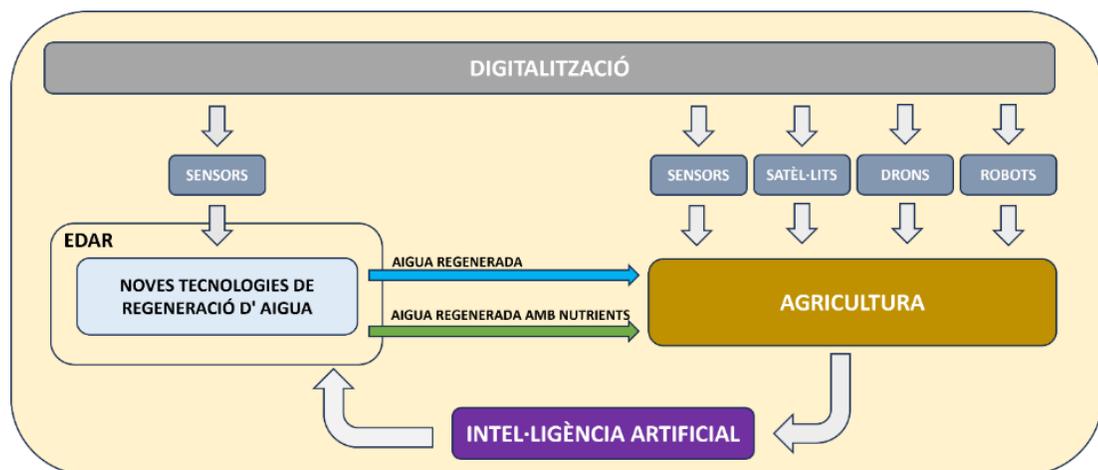
El proyecto se desarrolla en la EDAR de Pliego (Murcia), que actualmente regenera el agua mediante UF y desinfección

Objetivos del proyecto iRAIN:

- Nuevas tecnologías y estrategias de operación para la regeneración de agua y recuperación de nutrientes a partir de las aguas residuales urbanas.
- Tecnologías de digitalización: necesidades hídricas en la agricultura
- Inteligencia artificial: conectar, gestionar y optimizar el flujo hídrico entre la EDAR y la agricultura y optimizar los recursos hídricos disponibles



Tecnologies de regeneració de aigua que se estudien en el projecto



Esquema de la proposta tecnològica de iRAIN



EDAR de Pliego y los campos que reciben el agua regenerada

Objetivos del proyecto IMPETUS

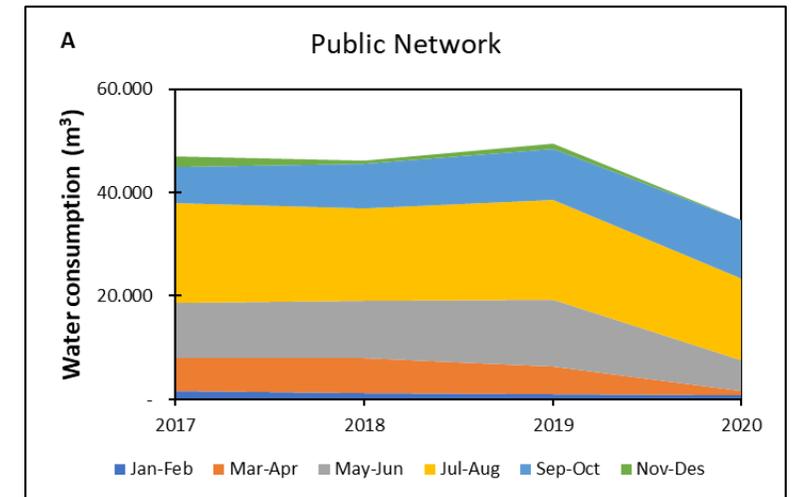
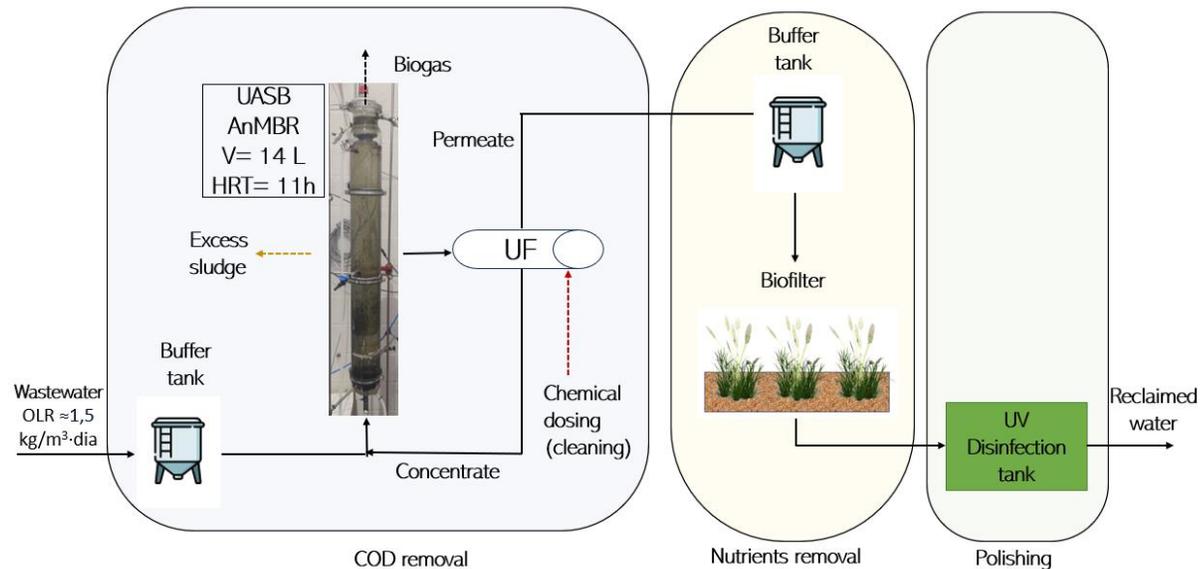
Acelerar la respuesta de Europa al cambio climático y convertir los compromisos en acciones concretas, desarrollando medidas innovadoras para hacer que sus regiones sean más resilientes

Caso de estudio del camping de Tamarit

Sistema de recuperación descentralizado híbrido compacto, que combina *Nature Based Solutions* (NBS) y tratamientos anaeróbicos de membranas granulares, con el fin de producir agua de alta calidad para el riego o limpieza en el camping

Estacionalidad del consumo de agua:

- Temporada de baja ocupación
- Temporada de alta ocupación



"innovando con las empresas"

Gracias

Caroline Sielfeld

caroline.sielfeld@eurecat.org

eurecat
Centro Tecnológico