III CONGRÉS DE L'AIGUA A CATALUNYA
EVOLUCIÓ DELS USOS: REUTILITZACIÓ, ECONOMIA CIRCULAR I NOVES TECNOLOGIES
BARCELONA, 20-21 DE MARÇ DE 2019

# R+D+I en la millora de la reducció de costos en la reutilització de l'aigua

acciona

ACCIONA Agua

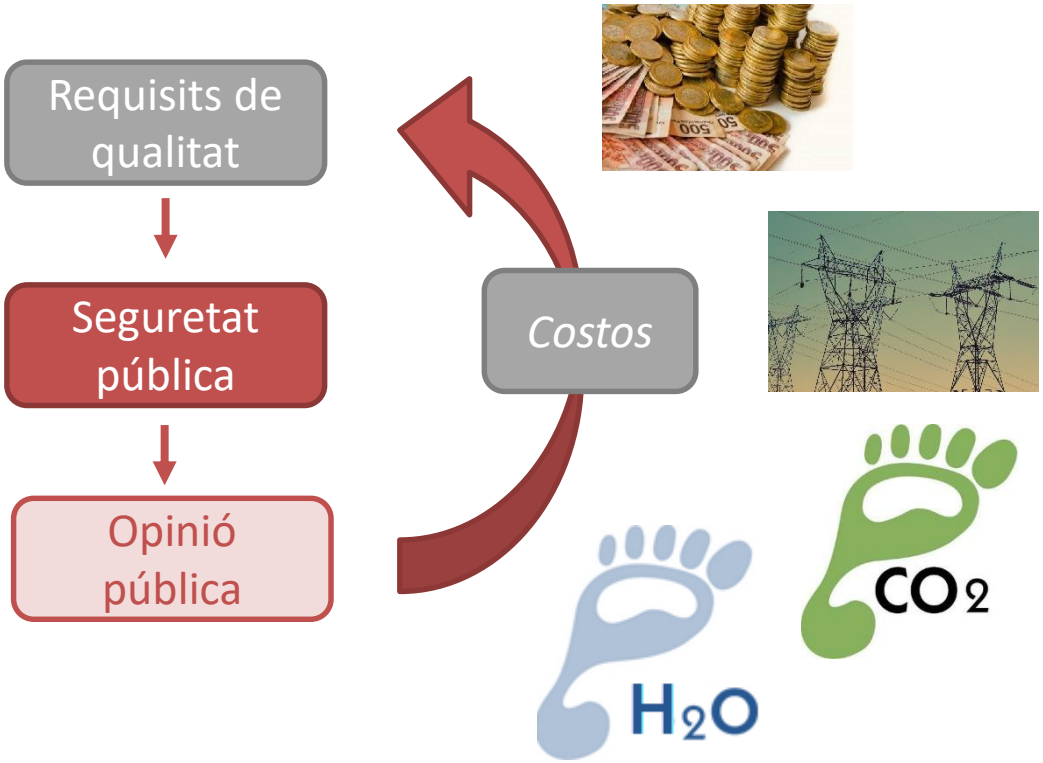
María M. Micó, Teresa de la Torre
Área de depuración; Dpto. I+D+i

## Principis de la reutilització d'aigua:

- Proporcionar un tractament fiable de les aigües residuals per satisfer estrictament els requisits de qualitat per a l'aplicació de reutilització prevista.

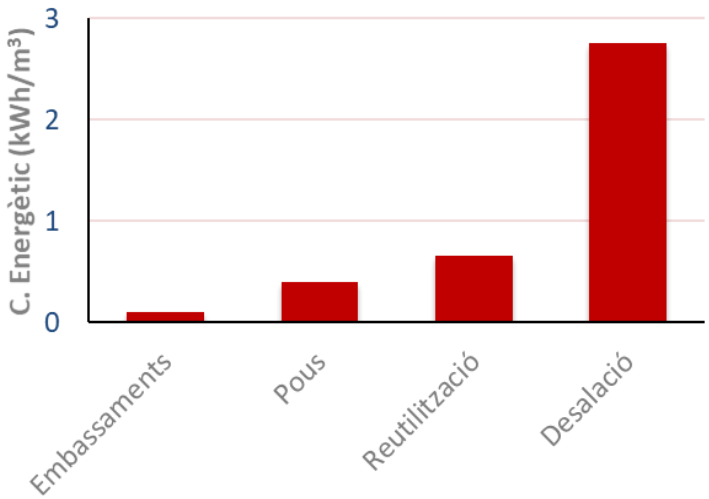
- Protegir la salut pública.

- Millorar l'acceptació pública.



Amb l'opinió pública, el cost de la reutilització, en termes energètics i econòmics, és una de les principals barreres per la generalització d'aquesta pràctica.

- Consum energètic mig: 0'6 - 0'7 kWh/m3 (0,3 en cas de provenir de pou, 1,5-4 aigua dessalada)




Life-Cycle Assessment Results Comparing Air Emissions from Five Water Supply Alternatives

| Water Source | GHG (g $CO_2$ equiv/m³) |
|---|---|
| Imported water | 1093 |
| Desalinated ocean water, conventional pretreatment | 2465 |
| Desalinated ocean water, membrane pretreatment | 2395 |
| Desalination brackish groundwater | 1628 |
| Reclaimed water | 1023 |

SOURCE: Stokes and Horvath (2009).

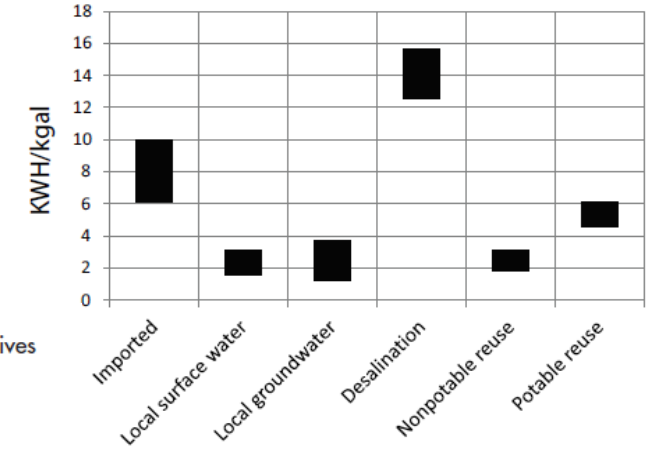



**FIGURE 9-3** Power consumption for water supply alternatives for San Diego County.
SOURCE: Data from Equinox Center (2010).

© Jordi Oliveras, 8 julio, 2014, Agua regenerada, HIDROJIng

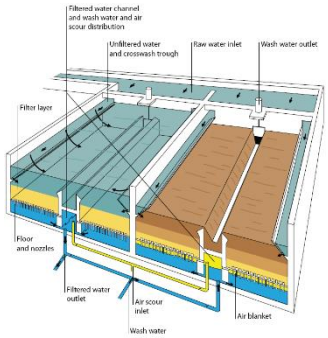
- Infraestructura de transport i d' emmagatzematge de l'aigua tractada vs. Emissió al medi (reutilització indirecta): ↑CAPEX (↑OPEX relacionats amb el transport)

- Tractament avançats (terciaris) per garantir estrictes estàndards de qualitat: ↑OPEX

  - Hi ha especial preocupació pe la presència de contaminants emergents.
  - Hi ha especial preocupació per determinats paràmetres microbiològics.

**MBR**

**Desinfección UV**




*Operating principle - Aquazur V*

**Filtres**

## Xarxes intel·ligents de distribució i emmagatzematge:

La IA y la gestió de Big Dada pot contribuir a l'optimització de les xarxes de distribució i emmagatzematge:

AI

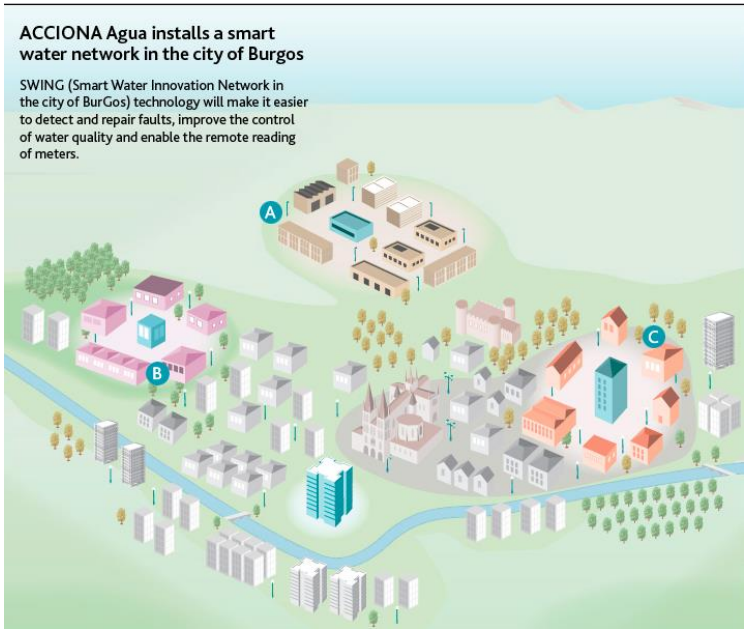
### Entrades:

- Lectura diària i remota de cabals i pressions
- Sistemes d'informació geográfica (GIS)
- Sensors de qualitat reals i virtuals
- Interacció directa amb usuaris

Models matemàtics de predicció del comportament de la xarxa

### Sortides:

- Detecció de pèrdues
- Diferenciació de necessitats
- Assegurament de la qualitat
- Satisfacció dels usuaris




SW4EU

## Fit-per purpose:

Coneixent a temps reals les necessitats d'aigual reutilitzada, i el nivell de qualitat requerida, es pot optimitzar online el tractament terciari, canviant la seva intensitat o engegant o parant els tractaments més enèrgics, o acoblant als mateixos energies renovables.

**AI**

### Entrades:

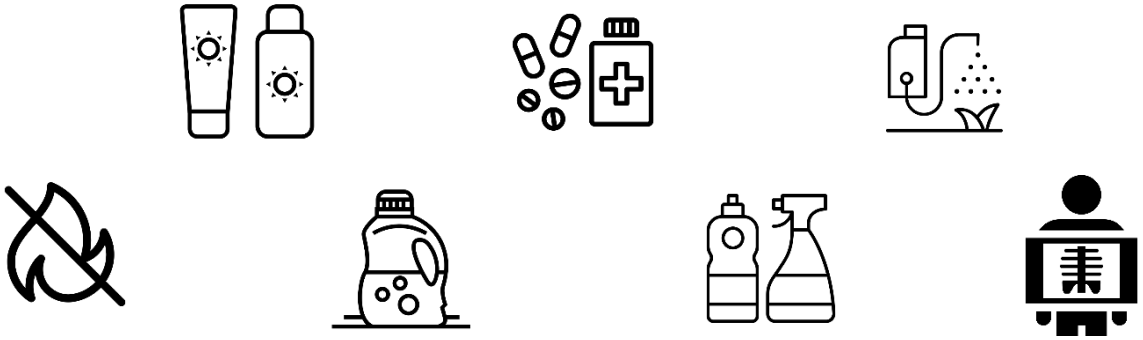
- Mesures de cabals utilitzats
- Informació dels usuaris
- Dades meteorològiques
- Dades del aigua d'entrada
- Dades del aigua de sortida
- Etc.

### Sortides:

- Optimització del terciari per qualitat, quantitat i energia renovable disponible.
- Reducció dels consums energètics
- Assegurament de la qualitat

Els **contaminants emergents** són substàncies presents en l'aigua residual, i que en molts casos passen inalterats a l'aigua reutilitzada, els efectes dels quals s'estan esbrinant en els últims anys, aprés la millora de les **tècniques d'anàlisis** i d'avaluació del seu impacte.

- Antropogènics
- Naturalesa molt diversa
- Àmpliament utilitzats
- El seu potencial tòxic és encara desconegut
- Són substàncies biorrecalcitrants
- Són presents a l'aigua en petites concentracions ng-µg (dificultat per seu anàlisis)



Els **contaminants emergent** solen necessitar sistemes analítics sofisticats:

- Espectroscòpia MS/GS
- Cost elevant
- Temps llarg de resposta
- Especialitzats
- Laboratoris externs

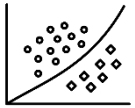
Per assegurar el compliment dels estàndards i contribuir a la sensació de seguretat i salut pública i augmentar l'eficiència econòmica del reús aquests anàlisis haurien de ser:

- Cost baix
- En línia o quasi en línia
- Cobrir un ventall de compostos d´una manera senzilla

↓

**SENSORS VIRTUALS//SOFTSENSORS**

## SENSORS VIRTUALS basats en **Intel·ligència Artificial**



# IA

Big Data
Machine Learning
Xarxes neuronals

**Entrades:**

Mesures senzilles i rutinàries de paràmetres comuns

pH, Tª, TSS, Terbolesa, etc.

→ Correlacions
Models
multivariable →

**Sortides:**

**SENSOR VIRTUAL**

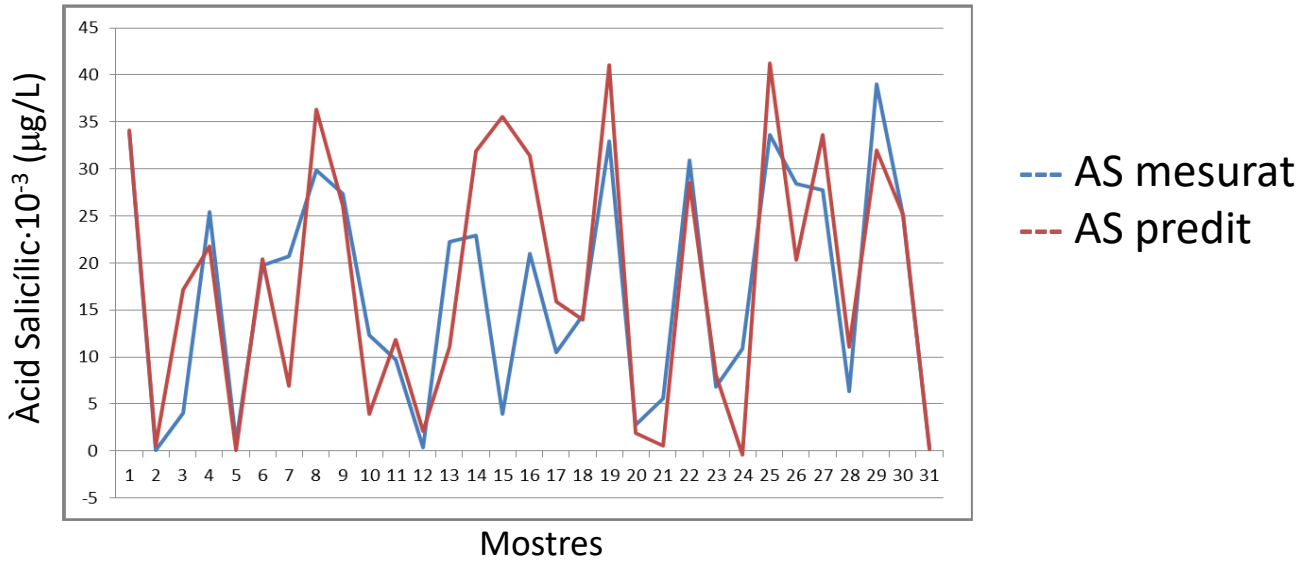
**Predicció** de la concentració d'entrada o sortida de determinats contaminants emergents.

- ✓ No requereix noves sondes
- ✓ No requereix especialització del personal de planta
- ✓ Predicció a temps real
- ✓ Adaptable a qualsevol planta
- ✓ Permet optimització en línia dels tractaments terciaris.

ACCIONA Agua està treballant en el desenvolupament de sensors virtuals.

**Projecte AQUACYCLUM:**

Es va obtenir un model matemàtic utilitzant IA per predir la concentració d'àcid salicylic diaria.



## Nova normativa:

La nova normativa, encara per publicar, es més restrictiva que la norma preexistent. D'aquesta manera moltes EDAR han d'adaptar i/o millorar els seus terciaris.

RD 1620/2007

| USO DEL AGUA PREVISTO | VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | NEMATODOS INTESTINALES | *ESCHERICHIA COLI* | SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN | TURBIDEZ | OTROS CRITERIOS |
| **2.- USOS AGRÍCOLAS[1]** | | | | | |
| CALIDAD 2.1[2]<br>a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco. | 1 huevo/10 L | 100 UFC/100 mL<br>Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases[3] con los siguientes valores:<br>n = 10<br>m = 100 UFC/100 mL<br>M = 1.000 UFC/100 mL<br>c = 3 | 20 mg/L | 10 UNT | OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.<br>*Legionella spp.* 1.000 UFC/L<br>(si existe riesgo de aerosolización)<br>Es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=1.000 |

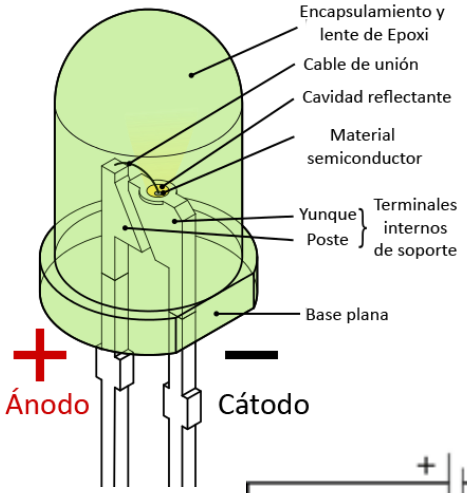
Maig 2018. CE Proposta

| Reclaimed water quality class | Indicative technology target | Quality requirements | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | *E. coli* (cfu/100 ml) | $BOD_5$ (mg/l) | TSS (mg/l) | Turbidity (NTU) |
| **A** | Secondary treatment, filtration, and disinfection | ≤10 or below detection limit | ≤10 | ≤10 | ≤5 |

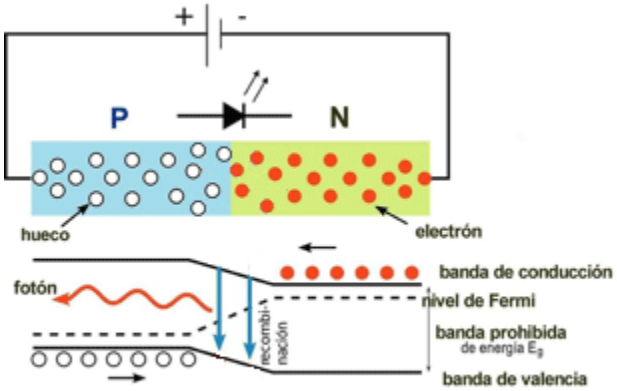
A més, les **espores de Clostridium Perfringens** han de reduir-se:

(log10) ≤ 5

## Sistemes de desinfecció UV-LED (light emmiting diodes)




© WIKIFISICA 2016



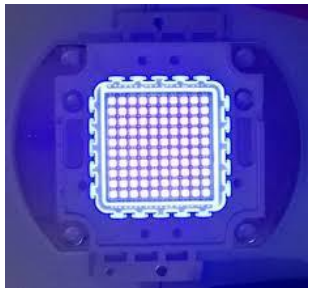

Diodo LED - Diagrama de energía

- Basat en el fenómen d'electroluminiscència
- Longitut d'ona
- Menors d'un mm.

- Nitrur de gal·li-indi (InGaN) (385-400 nm)
- Diamant (C) (235 nm)7
- Nitrur de bor (BN) (215 nm)
- Nitrur d'alumini (AlN) (210 nm)
- Nitrur de gal·li-alumini (AlGaN)
- Nitrur de alumini-gal·li-indi (AlGaInN) fins a 210 nm

## Sistemes de desinfecció UV-LED (light emiting diodes)

| | UVC LED | Hg Lamp | Xe Lamp |
|---|---|---|---|
| Resposta immediata ON/OFF | ✓ | × | ✓ |
| Petita mida | ✓ | × | × |
| → Flexibilitat de disseny | ✓ | × | × |
| → Robustesa mecànica | ✓ | × | × |
| → Baix voltatge i potencia | ✓ | × | × |
| → Llarga vida útil | ✓ | × | × |
| Respectuós amb el medi ambient | ✓ | × | ✓ |
| No generen ozó | ✓ | × | × |
| Operable amb bateries | ✓ | × | × |
| Eficiència “wall-plug” alta | × | ✓ | ✓ |
| Longituds d’ona de desinfecció | 280 nm | 253,7 nm | 253,7 nm |



## Sistemes de desinfecció UV-LED (light emiting diodes)

Reptes de la R+D:

- Reduir els costos dels UV-LED de les menors longituds d'ona.
- Encara és necessari un esquema de mesura estàndard que predigui el grau de desinfecció i el relacioni amb l'energia, la irradiància.
- Tradicionalment es pensa que reactors amb alts HRT aconsegueixen millors desinfecció, no obstant estudis recents indiquen que és més important altos fluxos radiants. Són necessaris estudis hidrodinàmics i energètics.
- Es necessita millorar l'eficiència wall-plug.
- S'ha d'estudiar l'efecte de sinergies entre distintes longituds d'ona.

## Smart UV

Sistemas de desinfecció per UV altament monitoritzats per l'optimització del procés:

- Reducció del consum elèctric
- Manteniment preventiu dels equips
- Predicció del decaïment de les làmpades i compensació anticipada d'aquest.

**AI**

**Entrades:**

- Mesures fisicoquímiques
- Mesures característiques del sistema UV

**Sortides:**

- Optimització de la desinfecció (energètic i de reactius)
- Assegurament de la qualitat
- Manteniment predictiu

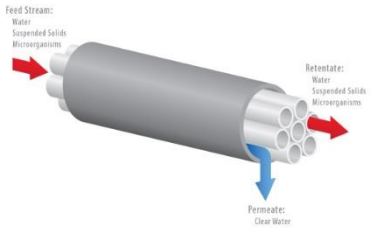
## Ultrafiltració com tractament terciari:

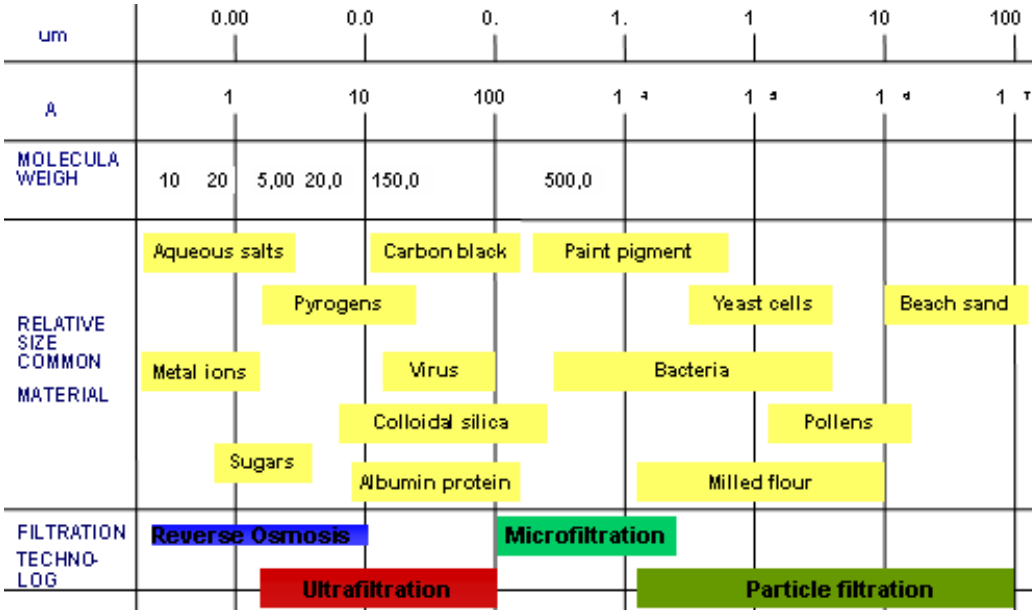
- ✓ Altes qualitats (barrera de microorganismes, fins virus, i partícules).
- ✓ Aplicacions que requereixen la major qualitat.
- ✓ Equips que requereixen poc espai.
- ✓ No generen subproductes de desinfecció.

- ✗ El fouling d'aquestes membranes és molt important i requereix neteges químiques
- ✗ No és efectiva retenint DQO

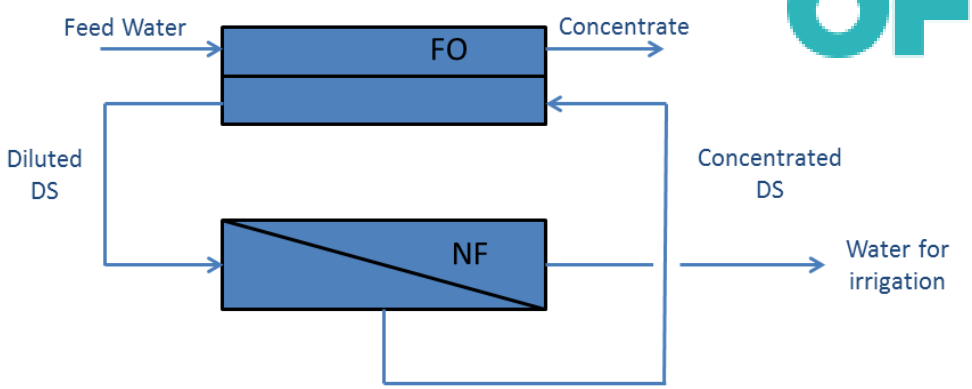
- Millorar els materials (grafé, composites)
- Pretractaments
- Optimització de l'operació
- Optimitzar els rentats

- Membrana espiral
- Fibra buida
- Tubular



## Osmosis directa:




- Tecnologia "multibarrera" que garanteix la qualitat microbiològica.
- Es pot customitzar segons el destí de l'aigua tractada (eliminació de bor, o adequació per fertirrigació).

Objectius crítics:

- Trobar la solució extractora més adient
- Reduir el consum energètic associat al post-tractament/recuperació de la solució extractora.
- Trobar membranes més econòmiques i robustes.

## Processos avançats d'oxidació: AOP

- Processos basats en la generació de radicals altament reactius vinculats a l'aigua com ara el radical hidroxil **·OH.**

- Especialment indicats per l'eliminació de **contaminants emergents**

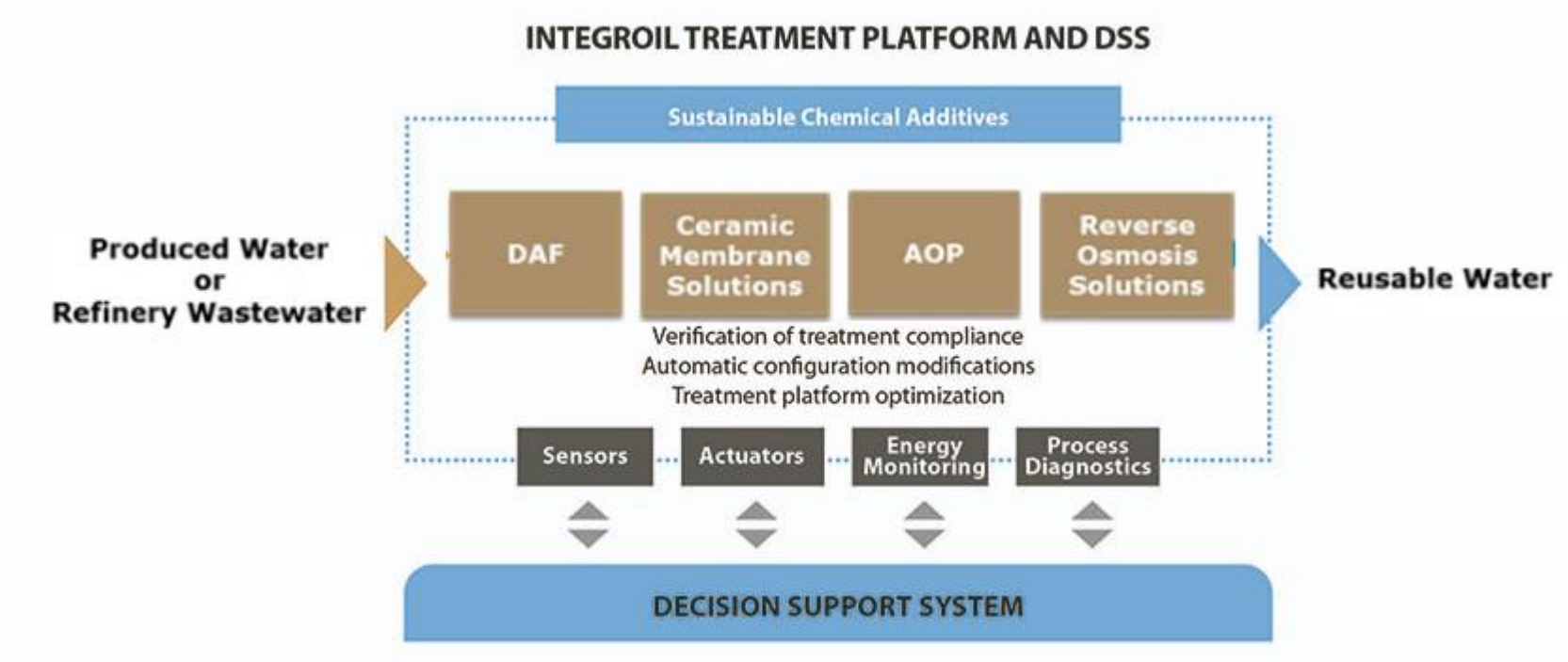
- Poden complementar processos de desinfecció.

| | |
|---|---|
| **Bassat en ozó** | $O_3$; $O_3$+UV+$H_2O_2$ |
| **Bassat en peròxid d'hidrogen** | Fenton; Fenton like; Photo-Fenton, $H_2O_2$/UV, Electro-Fenton |
| **Alta temperatura** | Oxidació humida supercrítica; Oxidació humida; Oxidació humida/$H_2O_2$ |
| **Fotocatalisi** | $TiO_2$/UV; $TiO_2$/UV/$H_2O_2$ |
| **Ultrasons** | |
| **Oxidació Electroquímica** | |
| **"Electron beam"** | |
| **Microones** | |

- ✗ Molt energètics
- ✗ Consum de reactius

Els processos es **poden optimitzar mitjançant** sistemes d'ajuda a la decisió, DSS que adapten els tractament a la qualitat de partida i la qualitat desitjada, suggerint combinacions de tractaments amb la filosofia FIT FOR PURPOSE

INTEGROIL
WATER REUSE IN THE OIL&GAS SECTOR

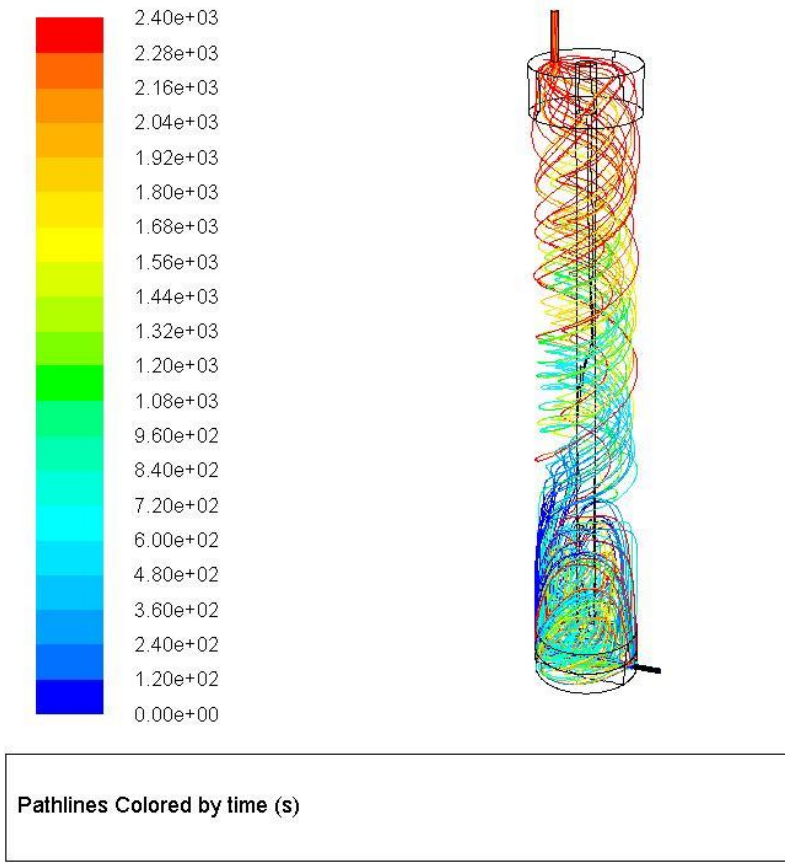


## Computational Fluid Dynamics:

Es tracta d'una de les branques de la mecànica de fluids que utilitza mètodes numèrics
i algorismes per resoldre i analitzar problemes sobre el flux dels fluids.

- Optimització de la hidrodinàmica de sistemes de tractament amb UV (el HRT és un paràmetre crític en la desinfecció i AOP)→ Millora del disseny

- Optimització de la hidrodinàmica en sistemes de dosificació de reactius desinfectants→ Millora del disseny



acciona Agua

És crucial optimitzar el **procés secundari** per millorar al màxim la qualitat de l'aigua:

- Millorar la concentració de matèria orgànica d'efluent
  - Evita el malbaratament/desaprofitament de reactius en processos de desinfecció i d'oxidació avançada.
  - Redueix la formació de subproductes de desinfecció i de processos d'oxidació avançada com haloforms, dioxines, etc.
- Millorar la retenció de sòlids.
  - Millora la transmitància de l'aigua augmentant l'eficiència de les làmpades UV en desinfecció i en processos avançats fotoassistits.
  - Menor contingut de microorganismes implica menor necessitat de energia en forma de UV i de reactius de desinfecció.
  - Allarga la vida de tractaments com els filtres de carbó actiu.
- Millorar l'eliminació o recuperació de nutrients.
  - Facilita la reutilització indirecta o recarrega d'aqüífers per disminuir el risc d'eutrofització del medi natural.

| DBP |
|---|
| 2-Hydroxy-5-nitrobenzoic acid |
| 2-Methoxy-4,6-dinitrophenol |
| 2-Nitrohydroquinone |
| 3,5-Dinitrosalicylic acid |
| 4-Hydroxy-3-nitrobenzoic acid |
| 4-Nitrobenzene-sulfonic acid |
| 4-Nitrocatechol |
| 4-Nitrophthalic acid |
| 5-Nitrovanillin |

©Potential for Formation of Disinfection ByProducts from Advanced Oxidation Processes, Març 2018

## Conclusions:

El treball de R+D està eminentment centrat en:

- Reduir el cost econòmic (energia i reactius)
- Assegurar una desinfecció efectiva en qualsevol cas
- Incrementar la robustesa dels sistemes de desinfecció
- Reduir el contingut en contaminants emergents
- Contribuir a adaptar els terciaris existents als nous requeriments de la normativa per venir.
- Optimitzar processos avançats d'oxidació
- Millorar les membranes i optimitzar la seva operació

Això es pot assolir mitjançant:

- Millorar el tractament secundaris
- Sistemes intel·ligents
- Sensors virtuals
- Noves tecnologies LED
- Simulacions numèriques hidràuliques