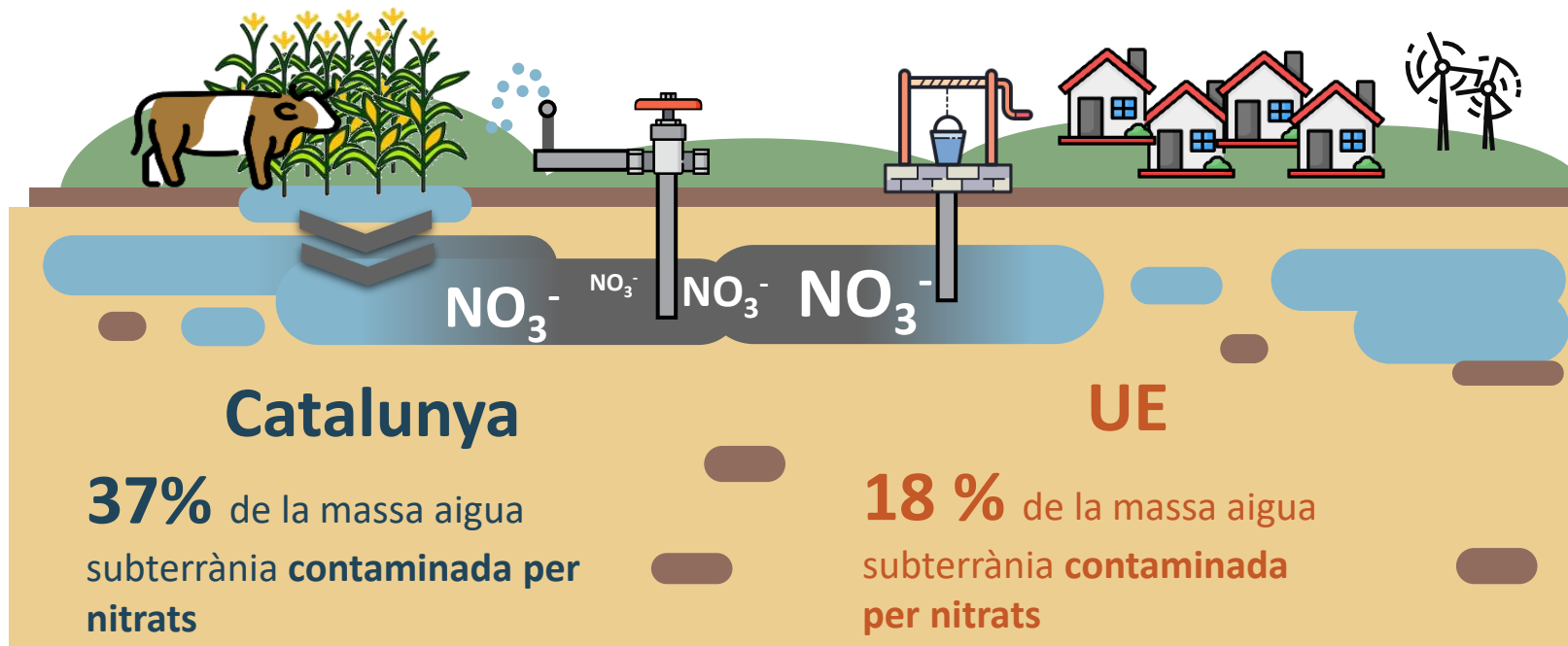
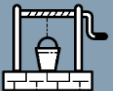


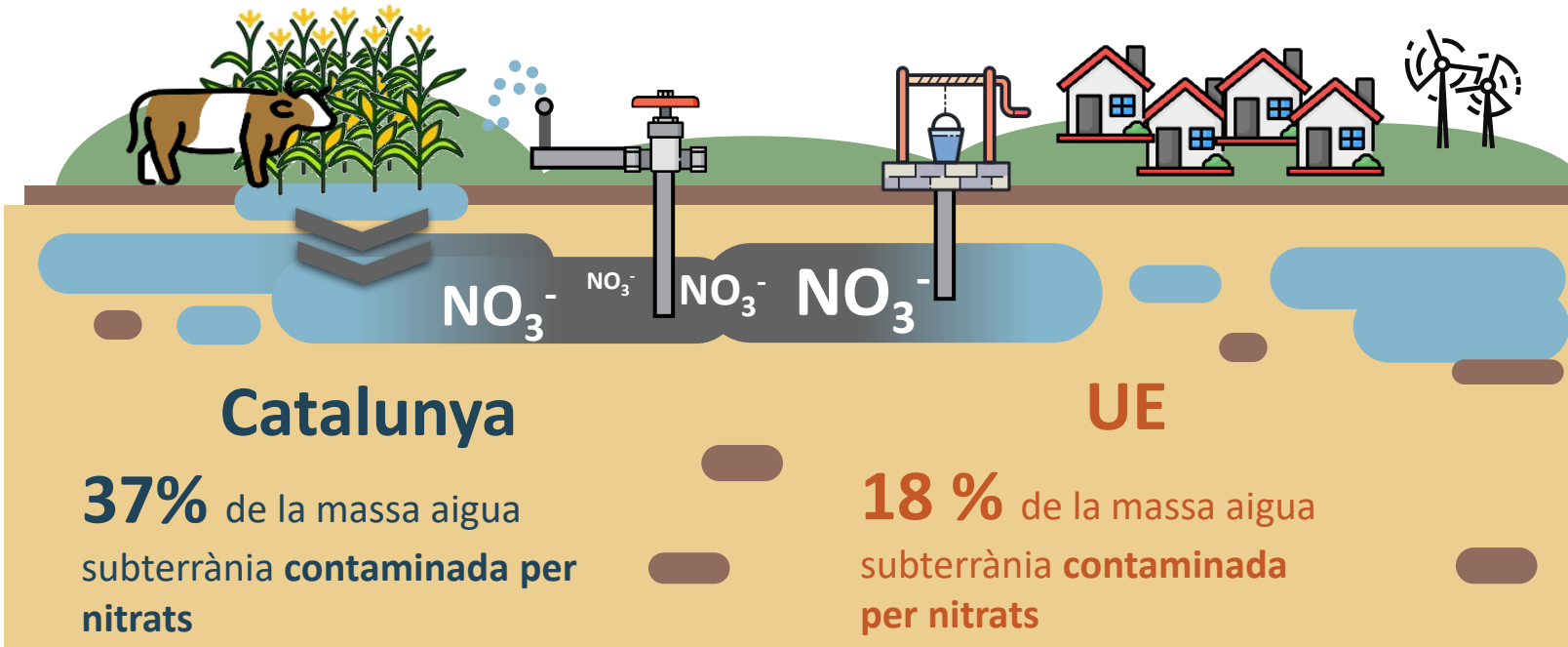
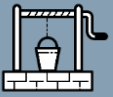
# Recuperació d'aqüífers: Bioelectroremediació per l'eliminació de nitrats

*Dra Marilós Balaguer*



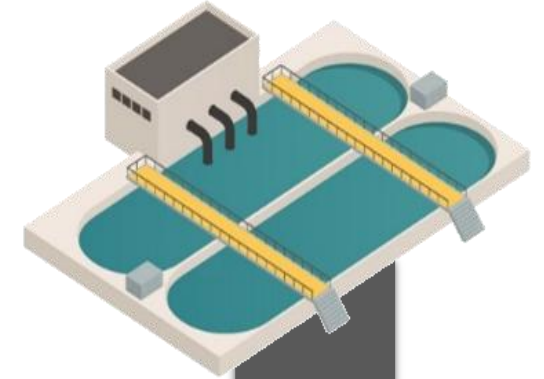


Alt risc de **contaminació per nitrats** per l'activitat agrícolà i producció ramadera en **zones rurals**.

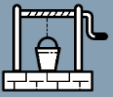


Alt risc de **contaminació per nitrats** per l'activitat agrícol i producció ramadera en zones rurals.

## Sistemes centralitzats



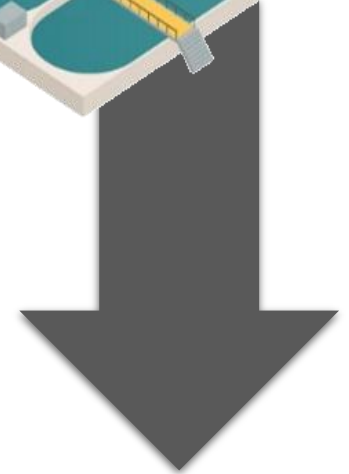
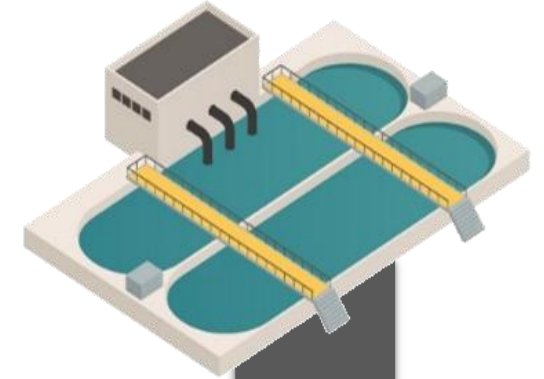
## Sistemes descentralitzats



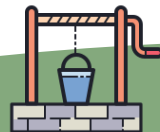
## Sistemes descentralitzats

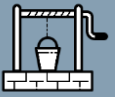
- Unitats compactes amb **un menor cost d'inversió**.
- **Implementació** en àrees rurals/remotes amb **baixa densitat de població**.
- Integració de tecnologies innovadores pot ser més senzill.

## Sistemes centralitzats

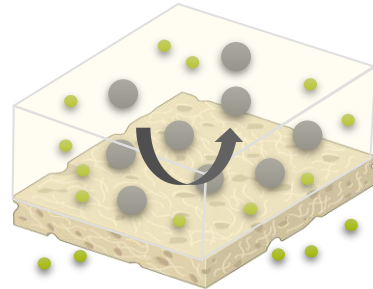


## Sistemes descentralitzats



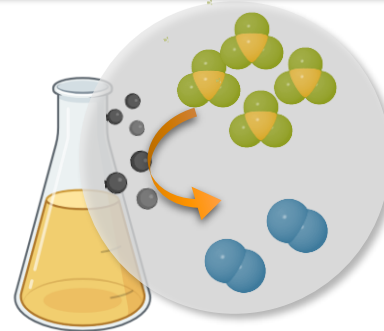


### Mètodes físics



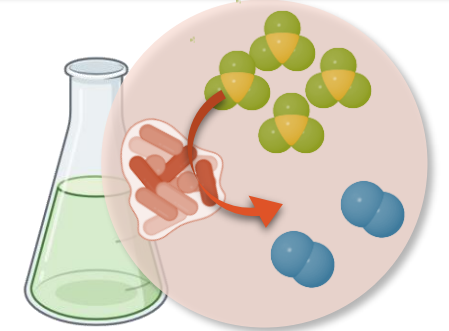
Osmosi inversa i electrodiàlisi:

### Mètodes químics



Agents reductors

### Mètodes Biològics



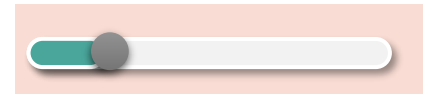
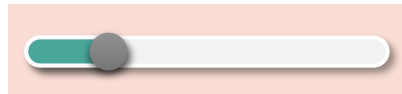
Desnitrificació biològica:



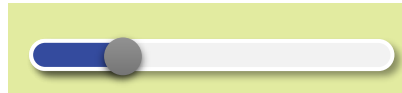
Eficiència



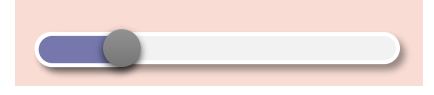
Demanda energètica



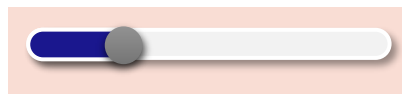
Selectivitat

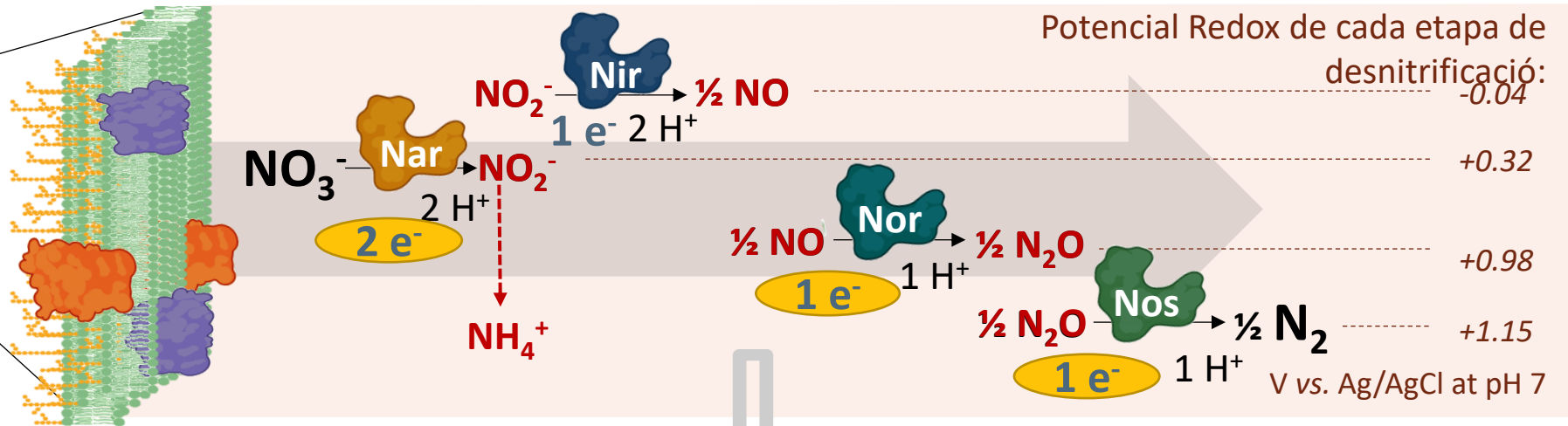
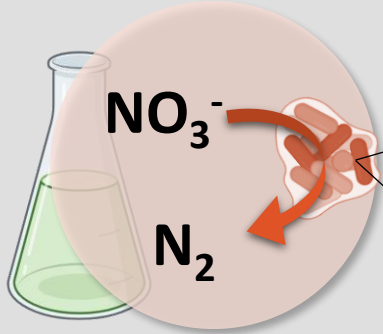
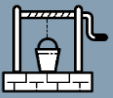


Generació de residus



Cost





- Eficiència**
- Demanda energètica**
- Selectivitat**
- Generació de residus**
- Cost**

### Desnitrificació heterotròfica:

Font de carboni      Donador electrons

Matèria orgànica

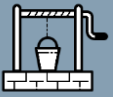
### Desnitrificació autotròfica:

Donador electrons      Font de carboni

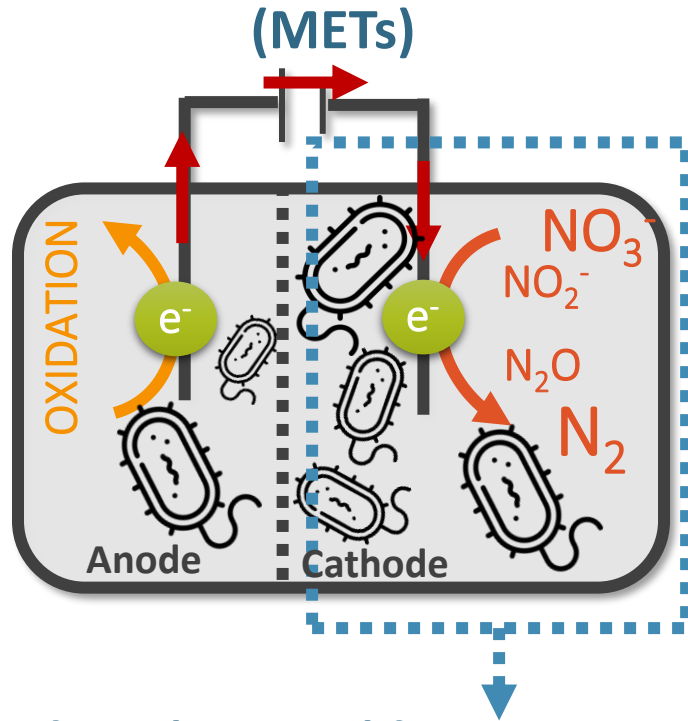
$\text{H}_2$ , sulfur, etc.       $\text{CO}_2$  and  $\text{HCO}_3^-$

Selectivitat i eficiència depenen del donador d'electrons

Dosificació contínua de químics



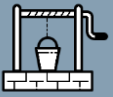
## Microbial Electrochemical Technology



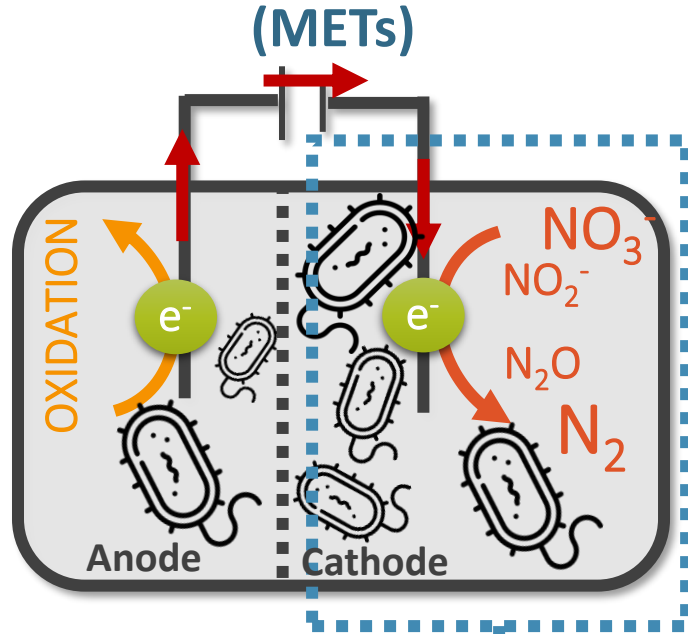
**Desnitrificació autotròfica** utilitzant el càtode com a donador d'electrons i el carbó inorgànic com a font de carboni.

### Tractament sostenible:

- (i) No requereix l'addició de químics
- (ii) No genera residus ni solucions concentrades (salmorra)



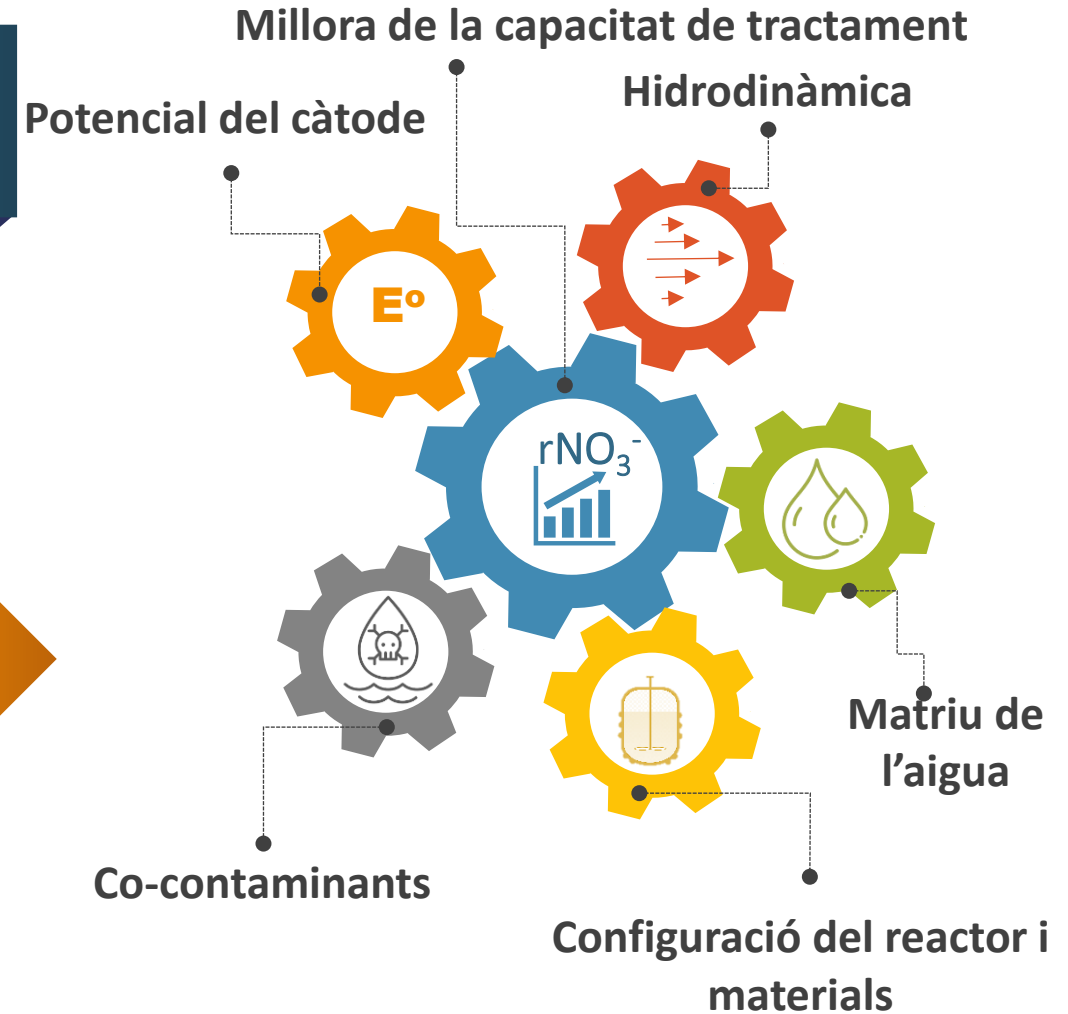
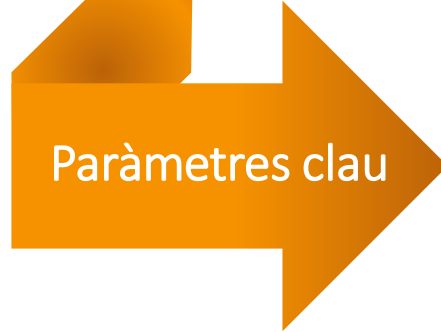
### Microbial Electrochemical Technology



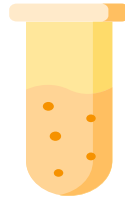
**Desnitrificació autotròfica** utilitzant el càtode com a donador d'electrons i el carbó inorgànic com a font de carboni.

### Tractament sostenible:

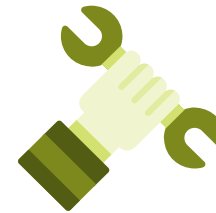
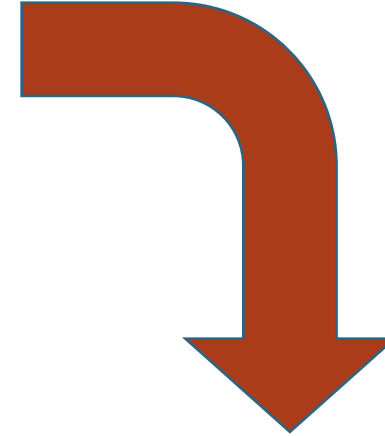
- (i) No requereix l'addició de químics
- (ii) No genera residus ni solucions concentrades (salmorra)







Escala laboratori



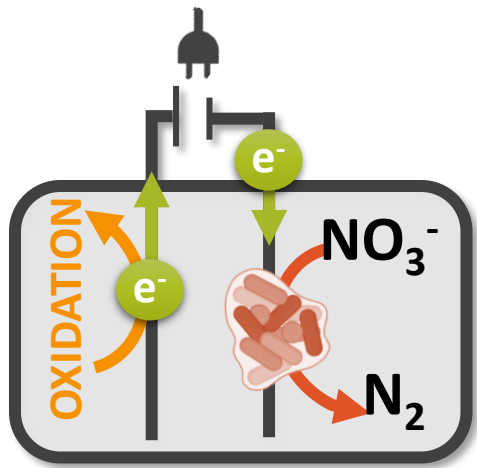
Escala pilot

Tractament on-site

5 anys



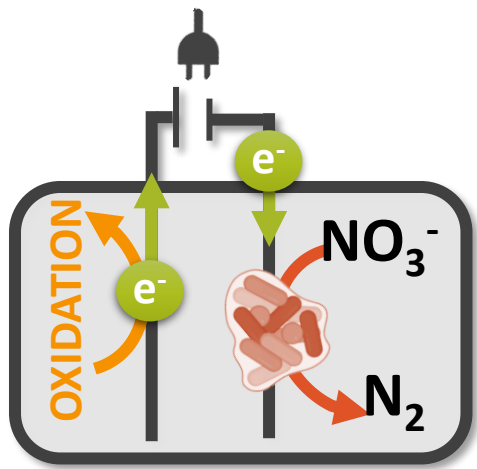
Cel·la bioelectroquímica



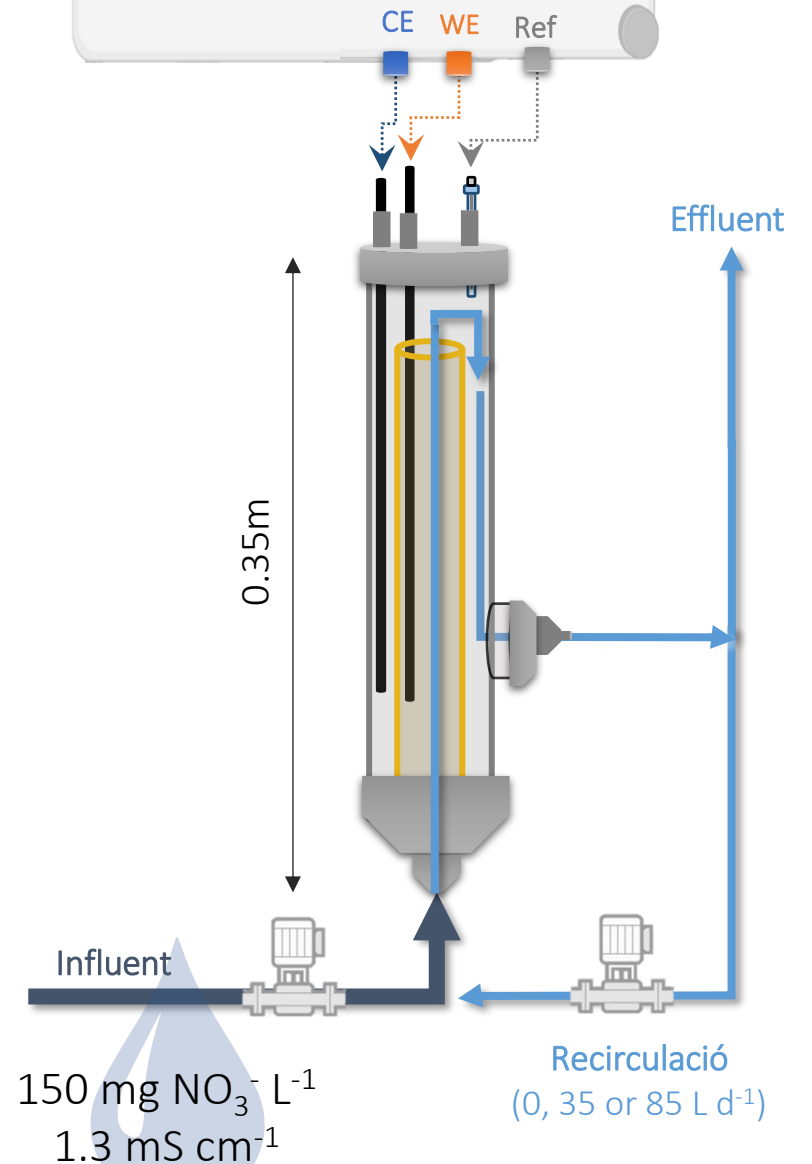


Potenciostat:  
Elèctrode de treball  
= - 0.32 V vs. Ag/AgCl

Cel·la bioelectroquímica



Ceballos-Escalera, A., et al., (2021).  
Water Res. , 190



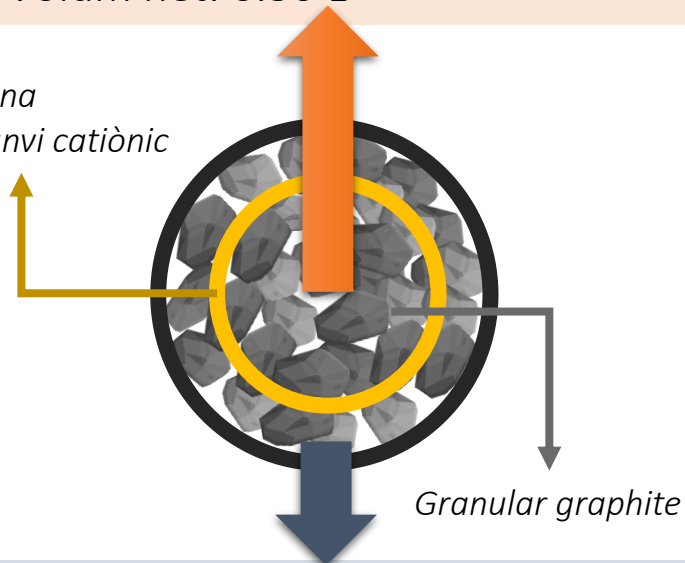


Potenciostat:  
Elèctrode de treball  
= - 0.32 V vs. Ag/AgCl

**Càtode:** Grafit granular

- Superfície: 0.51 m<sup>2</sup>
- Volum net: 0.30 L

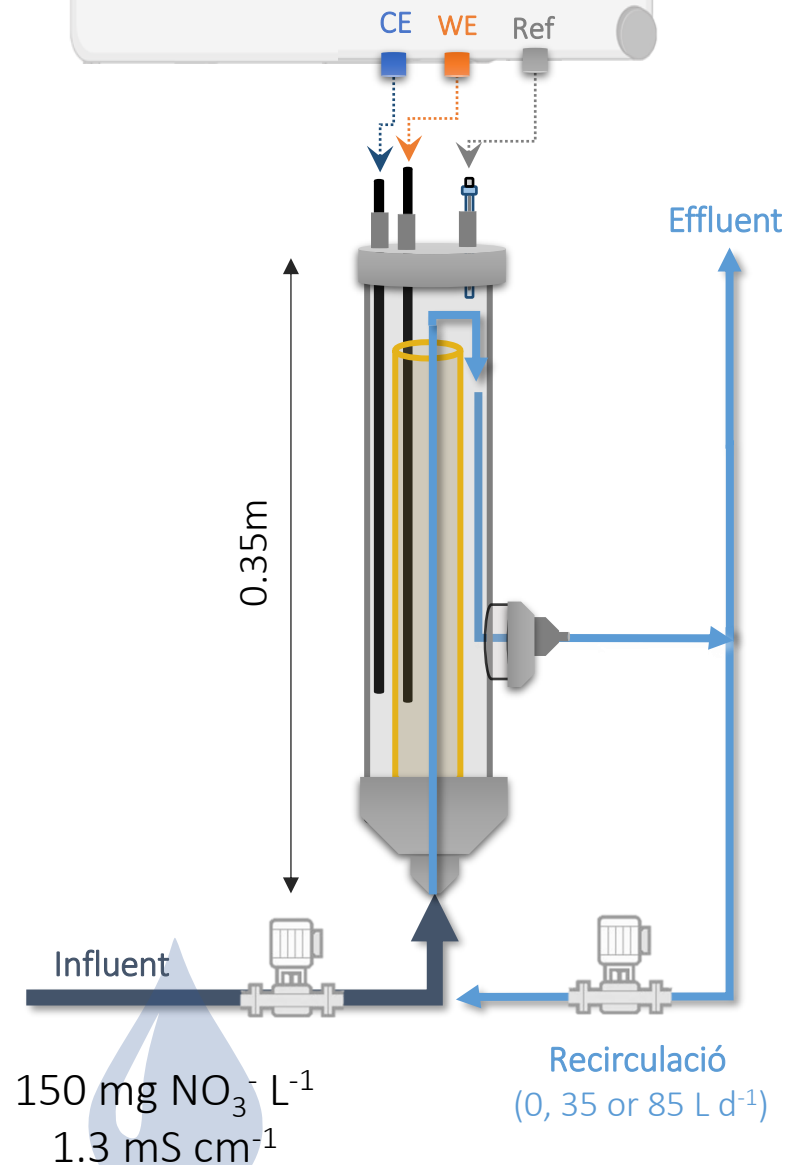
Membrana  
d'intercanvi catiónic

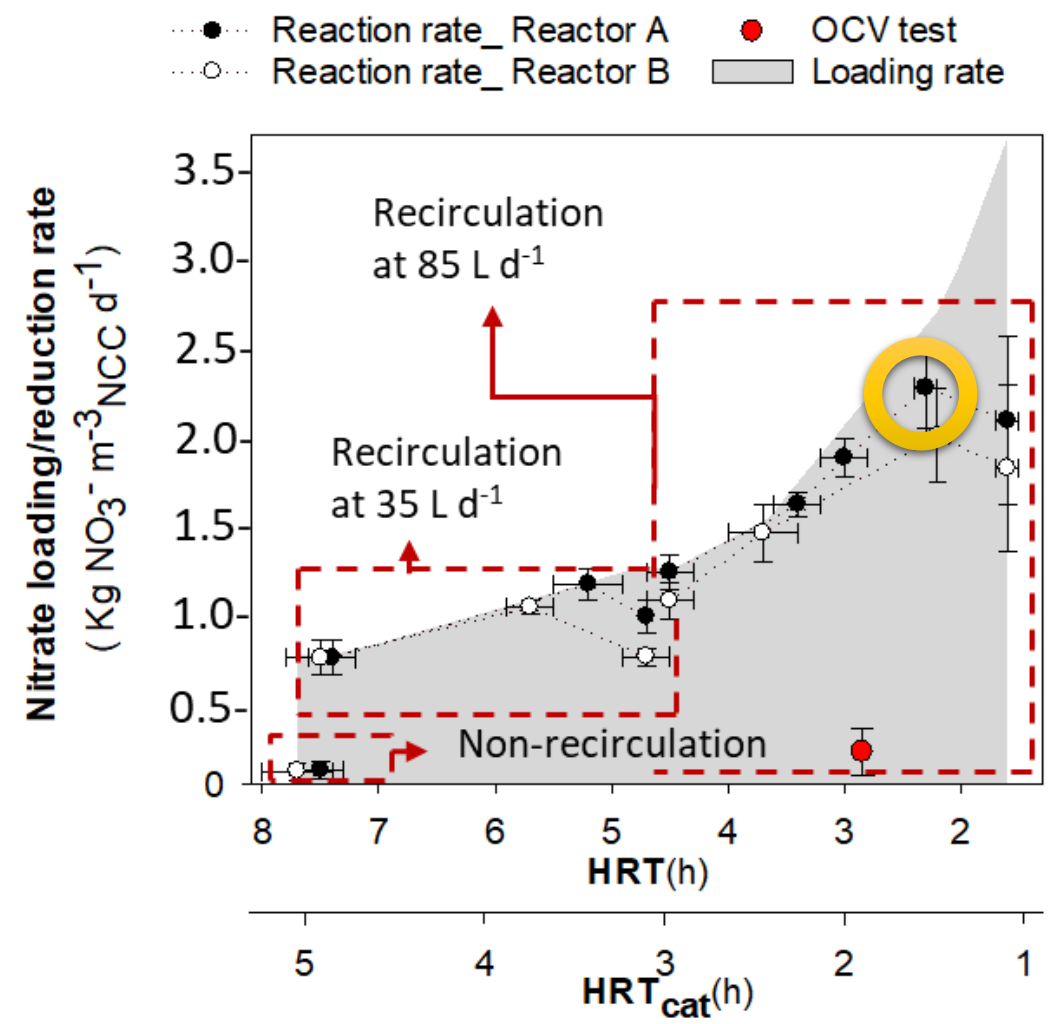
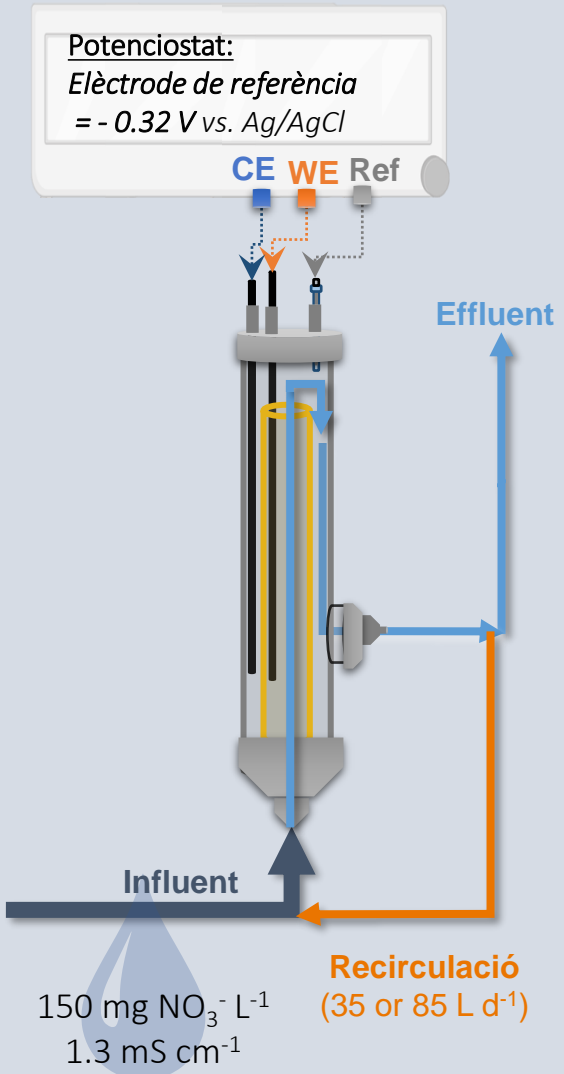


Granular graphite

**Ànode:** Grafit granular

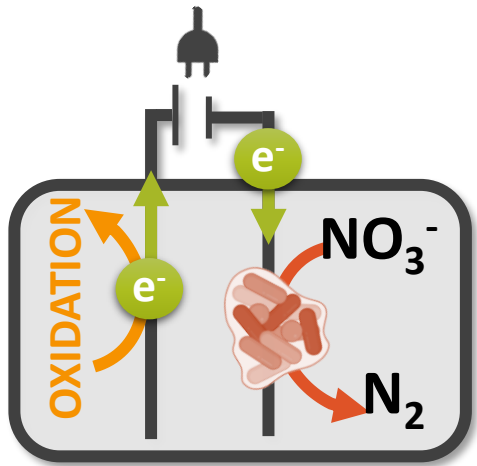
- Superfície: 0.29 m<sup>2</sup>
- Volum net: 0.15 L







Cel·la bioelectroquímica



**Reduïció del nitrat:**

HRT<sub>cat</sub>: 1.5 h



**Velocitat de reducció del NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 2.3 ± 0.2 Kg m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>**

Eficiència de reducció: 90 ± 6 %

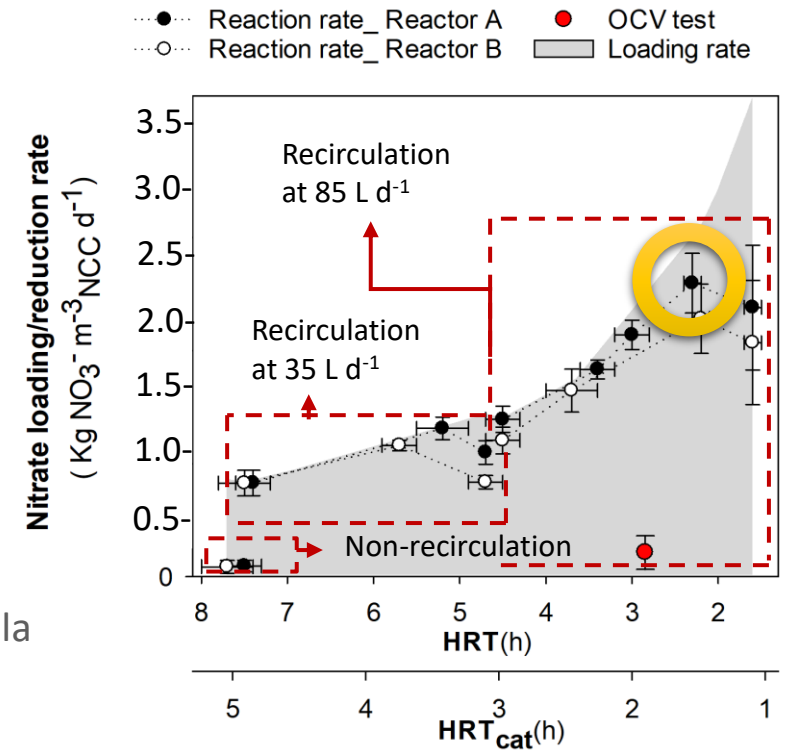
No acumulació d'intermedis

Energia: 0.75 ± 0.04 kWh m<sup>-3</sup><sub>water</sub>  
101 ± 10 KW kg<sup>-1</sup>

Concentració de sortida compleix amb la normativa (Directiva nitrats, 91/767/EU)

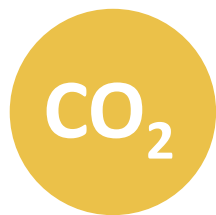


**Es pot aprofitar la capacitat d'oxidació de l'ànode???**





## Grafit granular

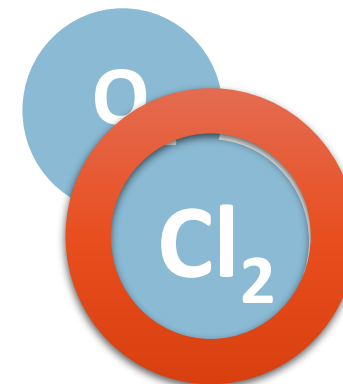


Reacció principal a l'ànode:  
Oxidació material

Compatible amb la  
desnitrificació bacteriana



Reacció principal a l'ànode:  
Oxidació de l'aigua del clorur



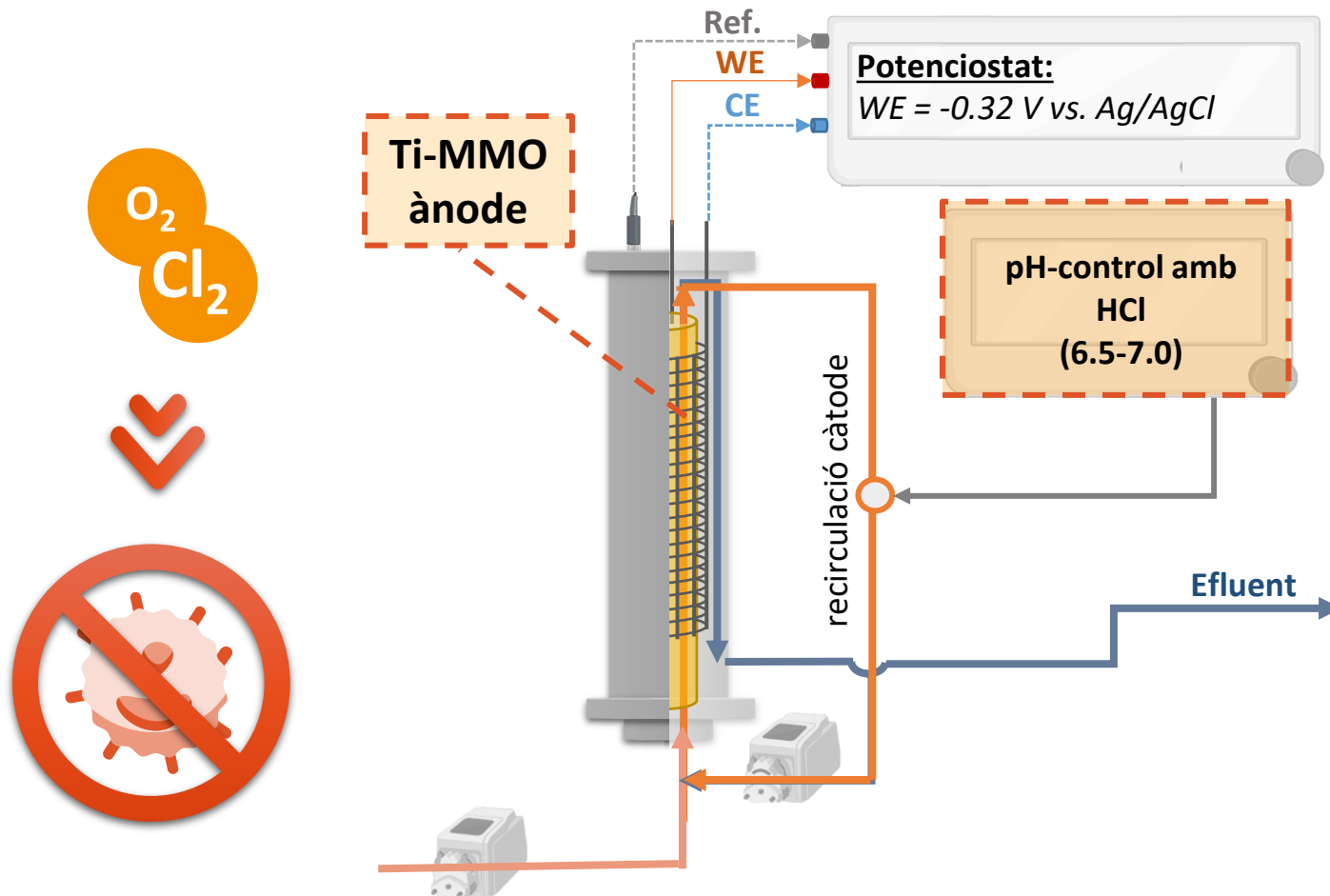
Disinfectant



Titani (Ti-MMO)



Modificacions en la configuració:



  
pH òptim de 7 pels  
bacteris desnitrificants:





### Qualitat de l'aigua tractada:

Directiva Europea 2020/2184

N-espècies:

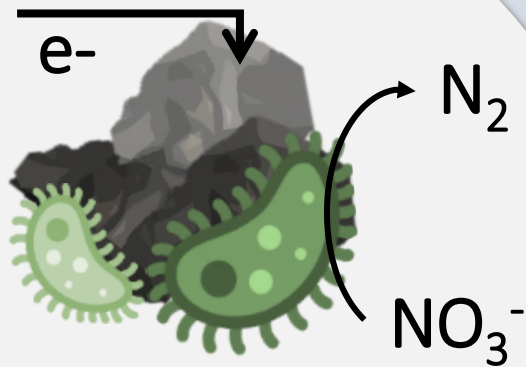
Límit

$\text{NO}_3^-$  Des de  $4.5 \pm 0.6$  a  $15.1 \pm 7.7 \text{ mg L}^{-1}$   $<50 \text{ mg L}^{-1}$

$\text{NO}_2^-$  No detectat  $<0.5 \text{ mg L}^{-1}$

$\text{N}_2\text{O}$  No detectat

### Biocàtode



↑ Eficiència

Màx. velocitat a  $\text{HRT}_{\text{cat}}$  :  
 $5.0 \pm 0.3 \text{ kg m}^{-3}_{\text{NCC}} \text{ d}^{-1}$

Eficiència:  $90 \pm 4\%$

Treballs previs  
 $2.3 \pm 0.2 \text{ Kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$

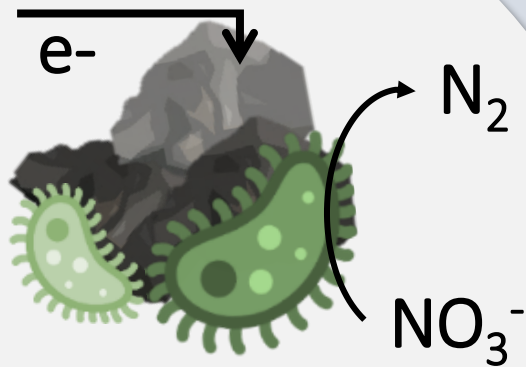


### Qualitat de l'aigua tractada:

Directiva Europea 2020/2184

N-espècies:		Límit
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Des de 4.5 ± 0.6 a 15.1 ± 7.7 mg L <sup>-1</sup>	<50 mg L <sup>-1</sup>
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	No detectat	<0.5 mg L <sup>-1</sup>
N <sub>2</sub> O	No detectat	

### Biocàtode



↑ Eficiència

Max. nitrate rate at HRT<sub>cat</sub> :  
5.0 ± 0.3 kg m<sup>-3</sup><sub>NCC</sub> d<sup>-1</sup>

Efficiency: 90 ± 4%

Treballs previs  
2.3 ± 0.2 Kg m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>

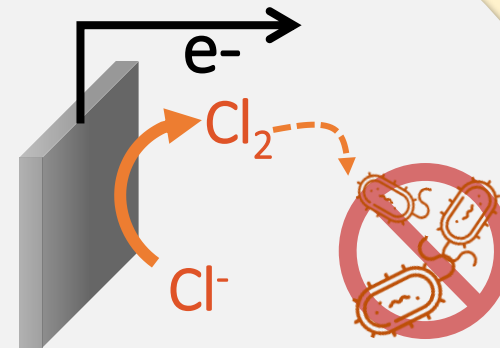
### Qualitat de l'aigua tractada:

European Directive 2020/2184

Patògens:		Límit
T. Coliforms:	No detectat	0 ufc 100mL <sup>-1</sup>
E coli:	No detectat	
Enterococcus:	No detectat	

Concentració de clor lliure:  
4.4±1.4 mg Cl<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>

### Ànode



desinfecció

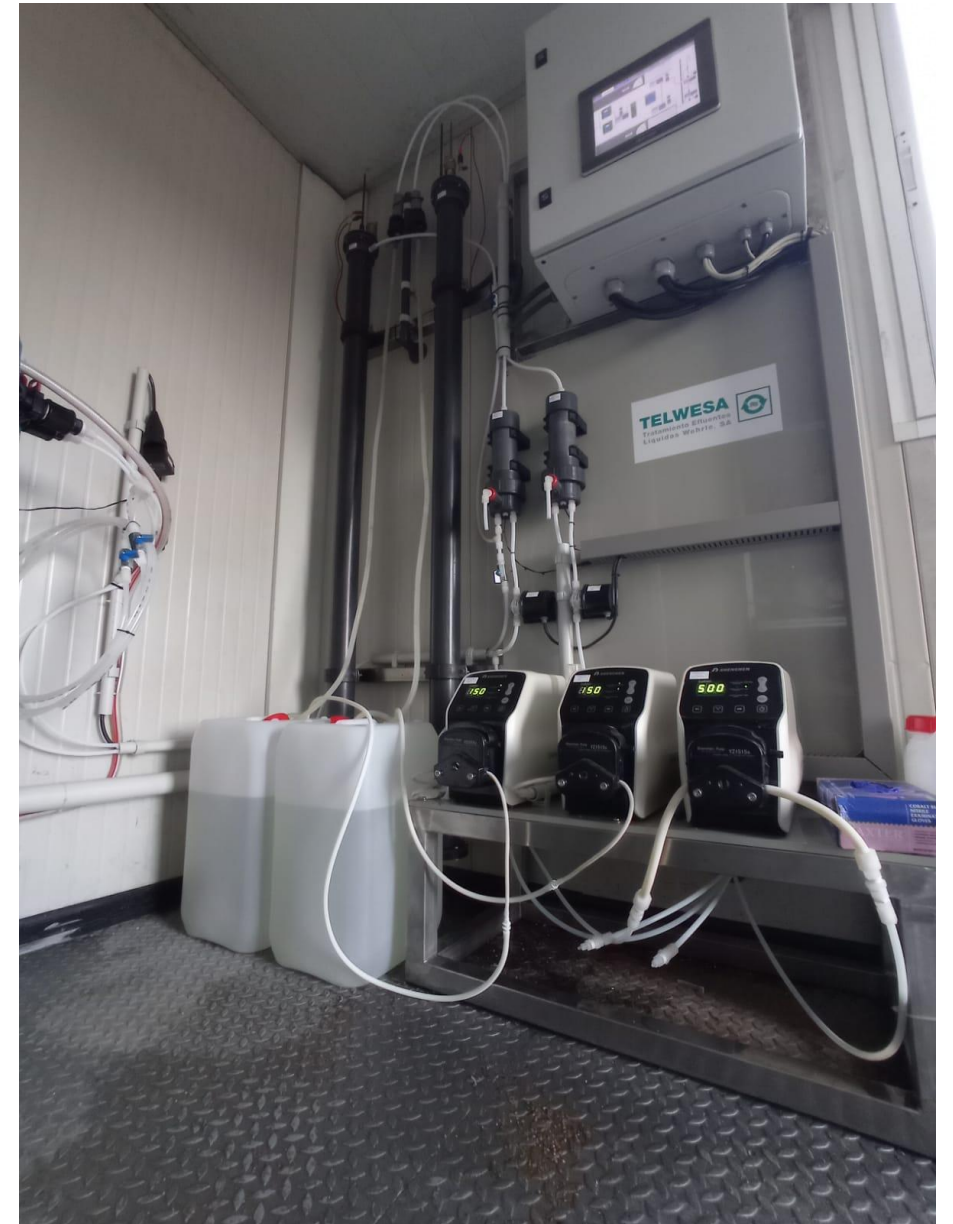


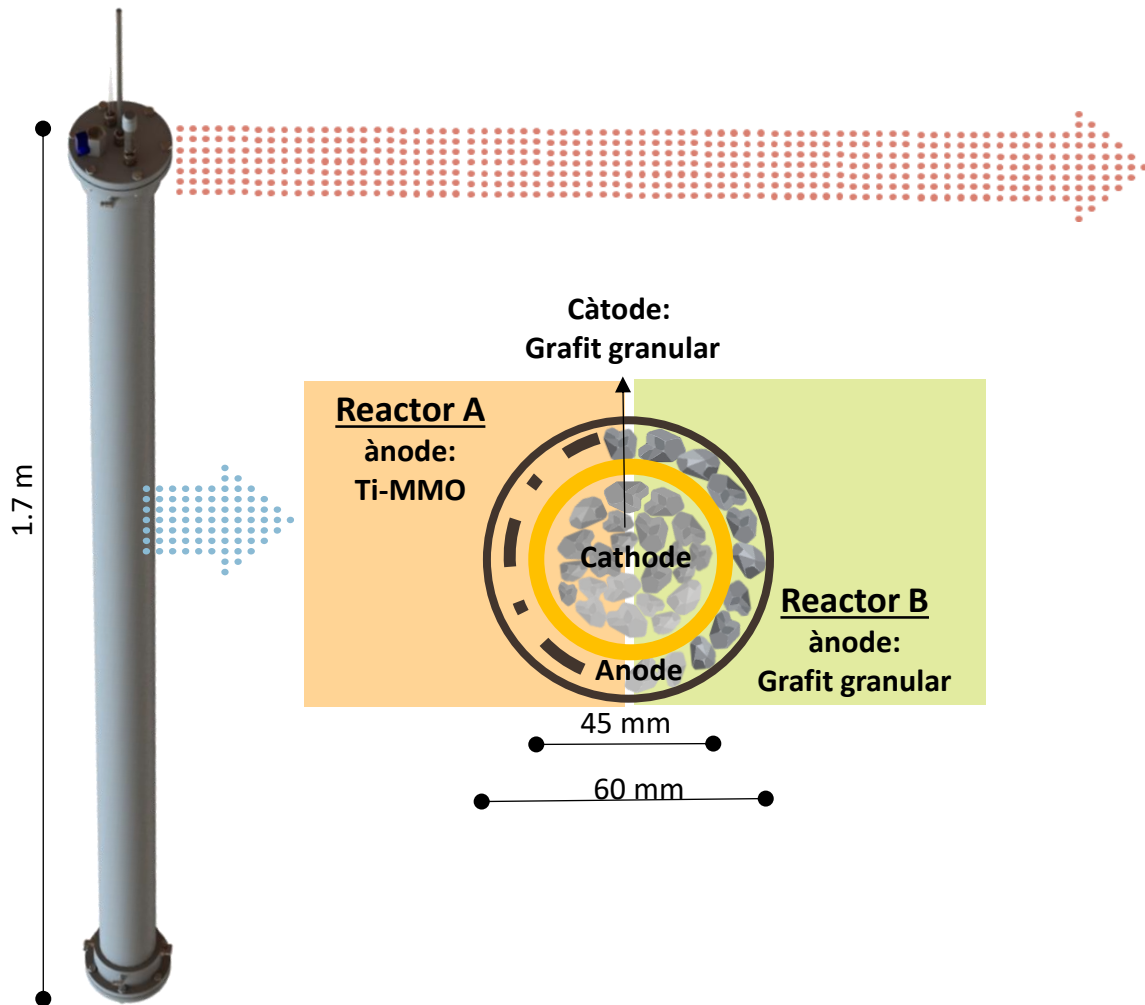
PLANTA PILOT  
Navata (Spain)





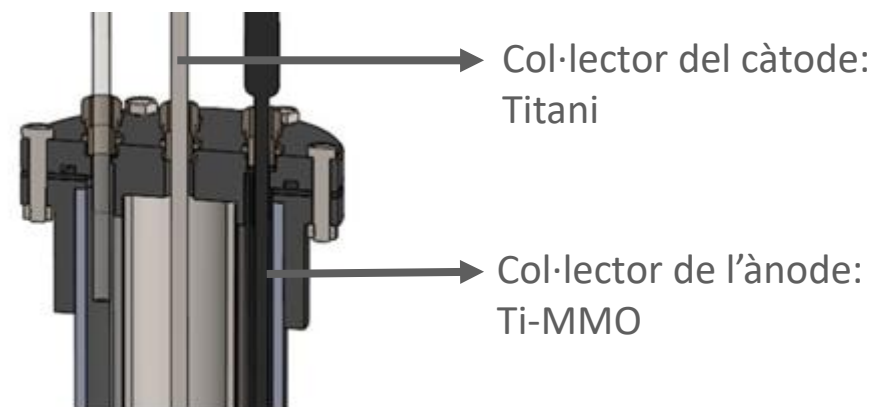
*Efluent Navata*





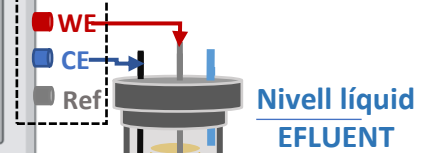
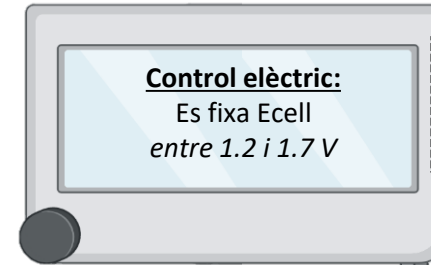
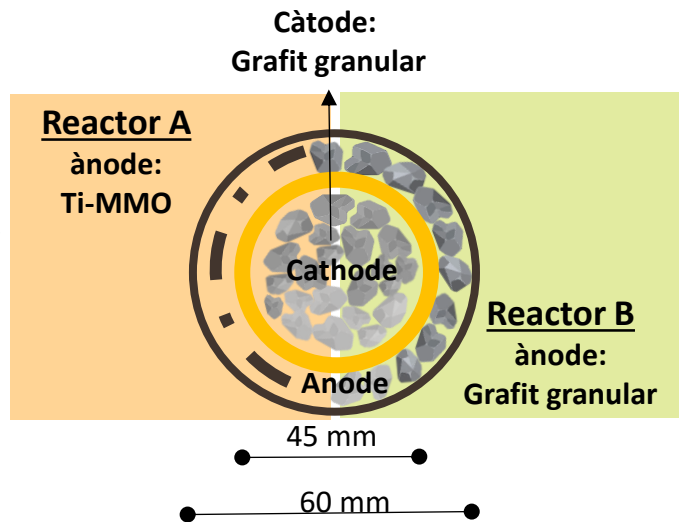
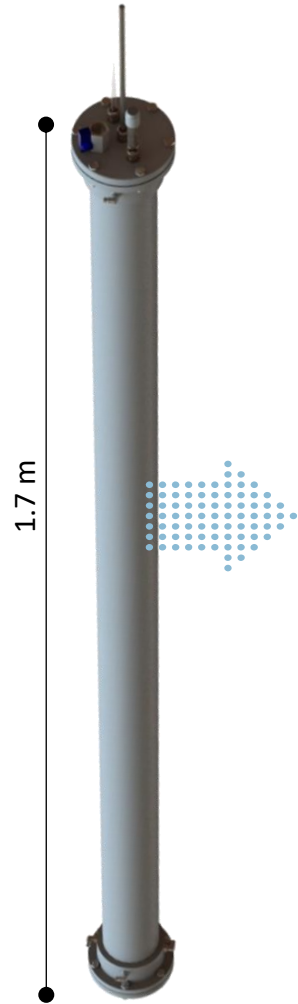
Adaptations per superar limitacions degut a l'escalat:

a) Distribució del corrent elèctric

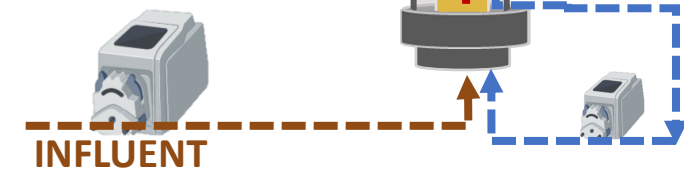


b) Distribució del líquid





Volum net del càtode: 1.2 L  
Volum net de l'anode: 0.9 L





# Planta pilot



**3 mesos**

Operació en continu



Màxima velocitat

$0.9 \pm 0.1 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$



$16 \pm 7 \text{ NO}_3^- \text{ L}^{-1}$

$<0.1 \text{ mg NO}_2^- \text{ L}^{-1}$

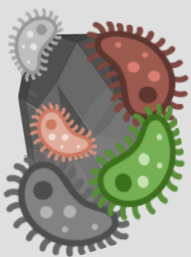
Efluent amb la qualitat en aigua potable en termes de nitrat i nitrit



$0.31 \pm 0.03 \text{ kWh m}^{-3} \text{ aigua}$

$4.3 \pm 0.4 \text{ kWh kg}^{-1} \text{ NO}_3^-$

Anteriorment:  $6.3 \pm 0.3 \text{ kWh kg}^{-1} \text{ NO}_3^-$

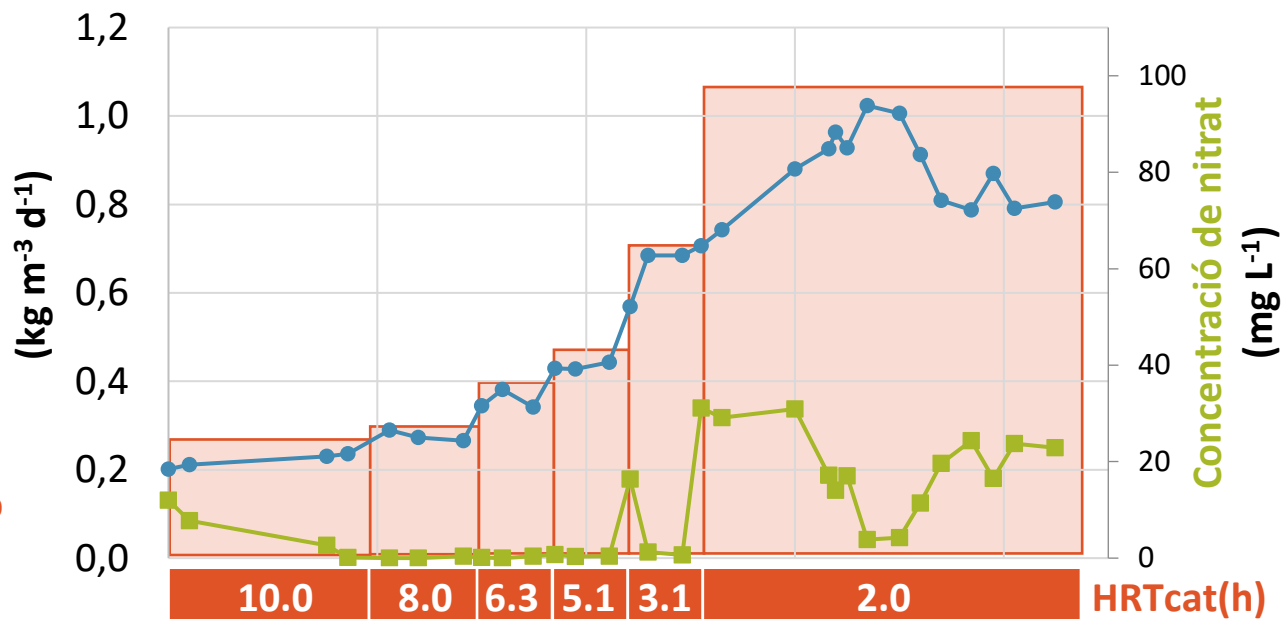


## Distribució heterogènia de la comunitat microbiana al càtode

La comunitat microbiana col·laborativa assegura la completa reducció del  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{N}_2$ : *Pseudomonadaceae*, *Rhizobiaceae*, *Gallionellaceae* and *Xanthomonadaceae*

# Operació: Reactor tubular de llit fix

Càrrega de nitrat i velocitat d'eliminació  
( $\text{kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ )



HRT<sub>cat</sub> superiors a 3.1h:

Capacitat d'eliminació:  
>90%

HRT<sub>cat</sub> de 2.0h:

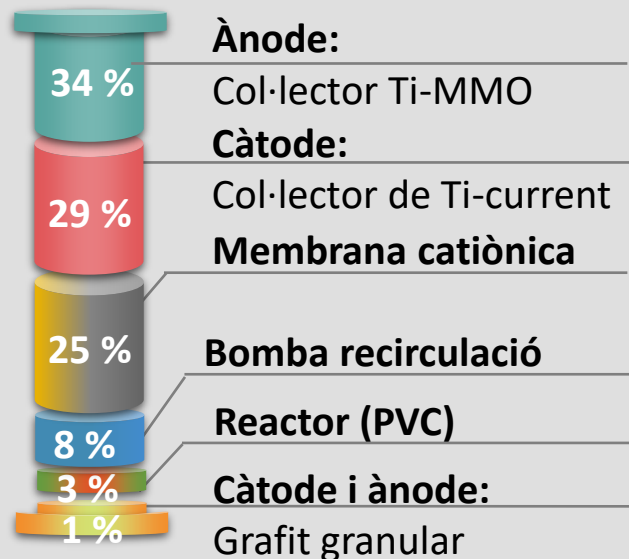
Capacitat d'eliminació:  
 $80 \pm 10 \%$



CAPEX:

Cost d'un mòdul: 1 433 €

Temps de vida estimat: 30 anys

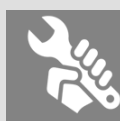


OPEX:



Energia

0.31 ± 0.03 kWh m<sup>-3</sup> aigua



Manteniment

3 % CAPEX

Recirculació

Bomba: 0.4 W

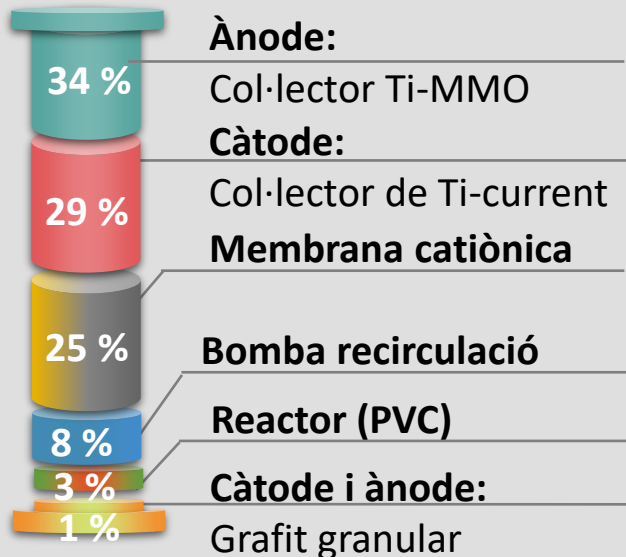




CAPEX:

Cost d'un mòdul: 1 433 €

Temps de vida estimat: 30 anys



OPEX:



Energia

0.31 ± 0.03 kWh m<sup>-3</sup> aigua

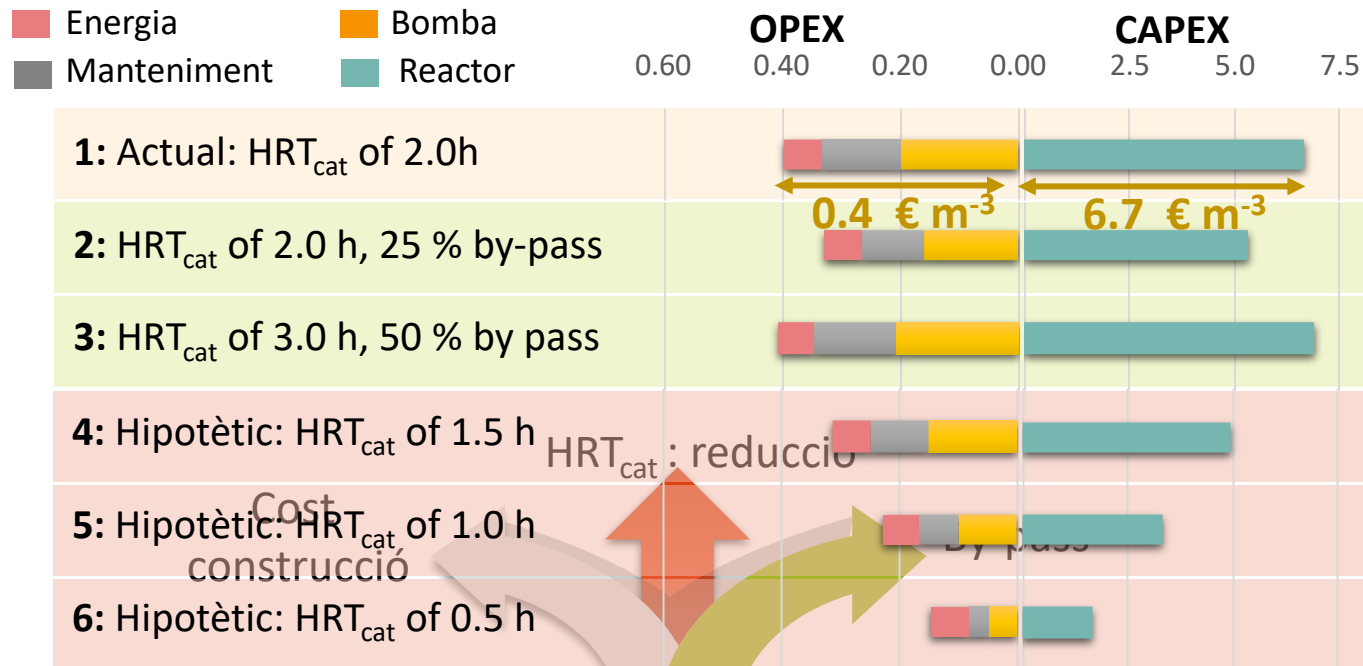


Manteniment

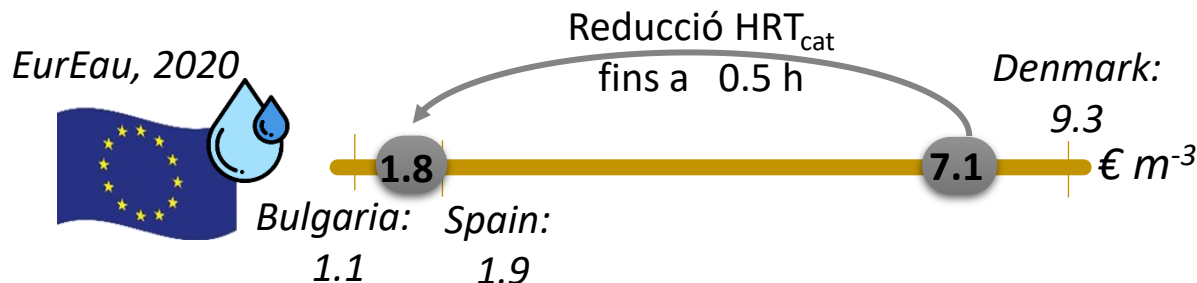
3 % CAPEX

Recirculació

Bomba: 0.4 W



Procés competitiu?



Escale laboratori



planta pilot on-site



# Electro-bioremediació per l'eliminació de nitrat en aigües subterrànies

*Transició tecnològica*

TRL 3-4

TRL 5

## Eficiència i velocitat de reacció en l'eliminació de nitrat :

- L'eficiència en l'eliminació de nitrat es manté per sobre el 80% i es compleixen els estàndards de Qualitat per aigua potable
- S'ha obtingut la màxima velocitat d'eliminació fins al moment reportada, arribant a  $5.0 \text{ kg m}^{-3}\text{d}^{-1}$  ( $\text{HRT}_{\text{cat}} 0.7 \text{ h}$ )

## Versatilitat i Robustesa:

- L'electro-bioremediació ha demostrat mantenir-se estable al llarg del temps tant a escala laboratori com pilot.
- El sistema permet integrar un sistema de desinfecció

## Transició tecnològica:

- Demostra l'eficiència de la tecnologia tractant on-site aigües subterrànies.
- Més investigació per a nous materials utilitzats com elèctrodes



[www.electra.site](http://www.electra.site)



The ELECTRA project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 826244

