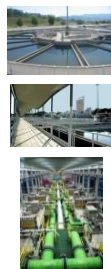




La tecnología de la Electrodialisis Reversible (EDR) en el ciclo del agua. 8 Años de Experiencia en la ETAP del Llobregat (Abrera)

Dr. Fernando Valero
Jefe de I+D+i y Control de Procesos



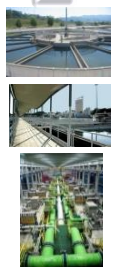
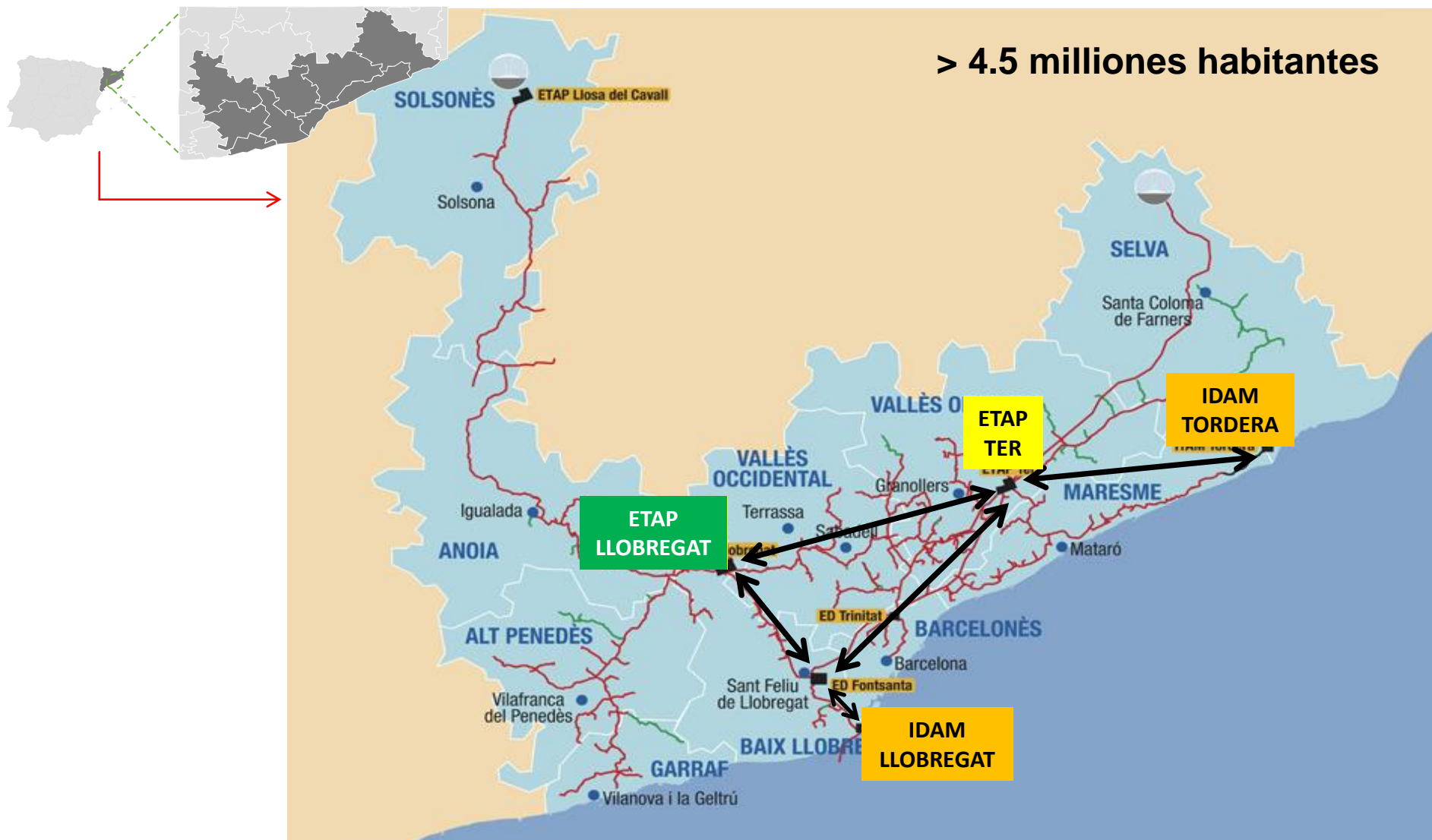
15 DICIEMBRE 2017

ATLL CONCESSIONÀRIA de la Generalitat de Catalunya S.A.



ATLL Concessionària Generalitat Catalunya S.A.

> 4.5 millones habitantes

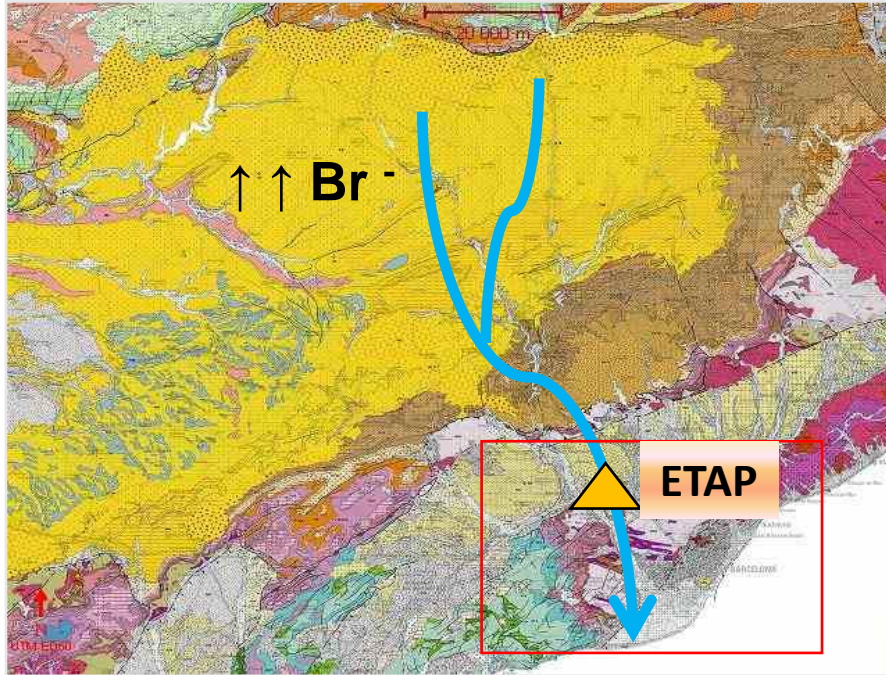


ETAP Llobregat

Capacidad de tratamiento: $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$
EDR: hasta $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$



Río Llobregat. Agua salobre



Irregular y bajo caudal

Vertidos incontrolados y escorrentía de las zonas salinas

+

Altos niveles de microorganismos

Conductividad → 1100 – 2050 $\mu\text{S/cm}$

Bromuro → 0.5 – 1.2 mg/L

TOC → 5 – 10 mg/L

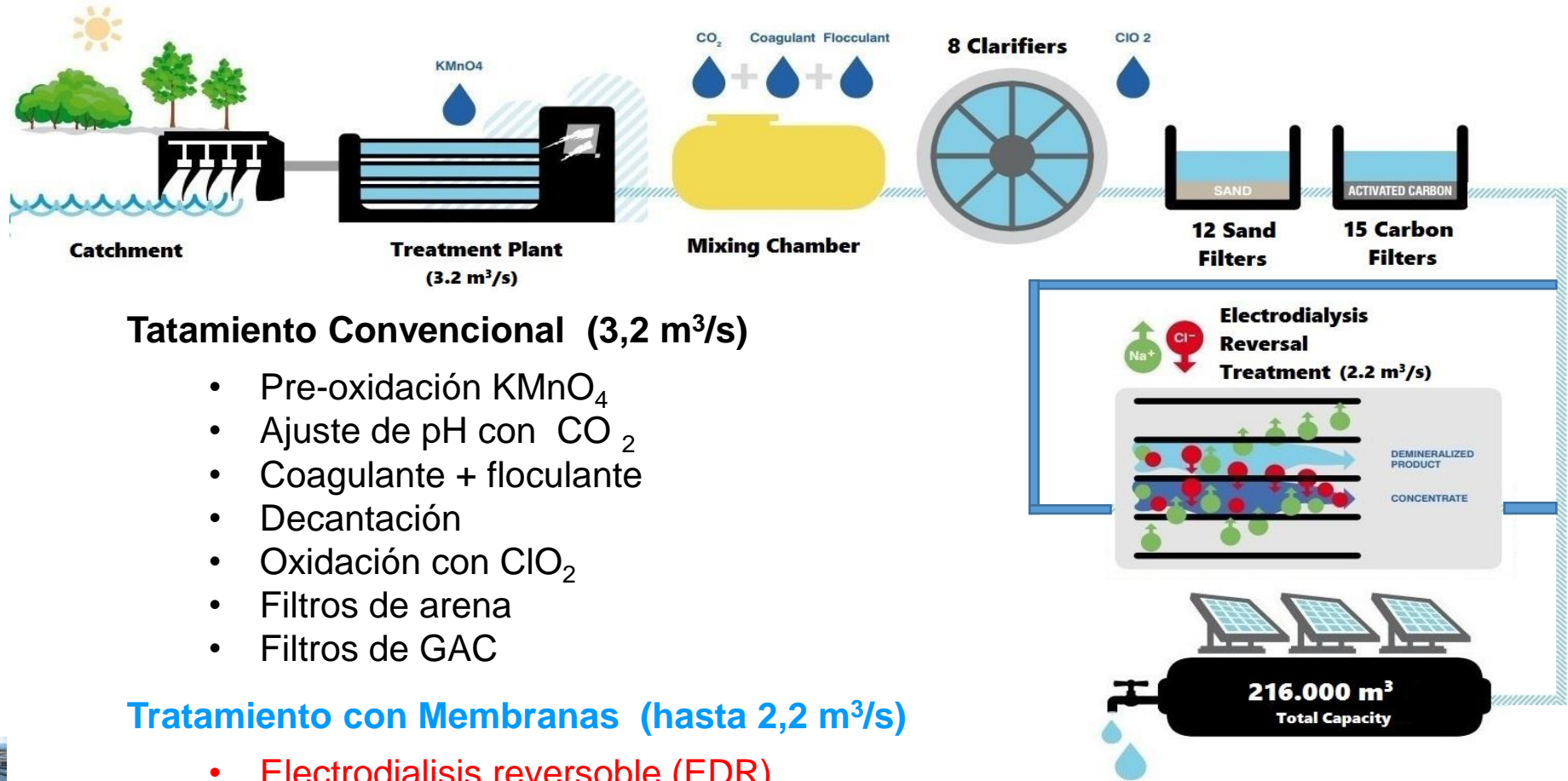
Temperatura → 2 – 27 °C

Calidad río + tratamiento convencional + Cl_2 → **THMs**

Br^- → **THMs bromados**



ETAP Llobregat



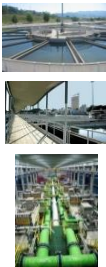
Tatamiento Convencional (3,2 m³/s)

- Pre-oxidación KMnO_4
- Ajuste de pH con CO_2
- Coagulante + floculante
- Decantación
- Oxidación con ClO_2
- Filtros de arena
- Filtros de GAC

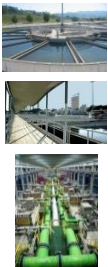
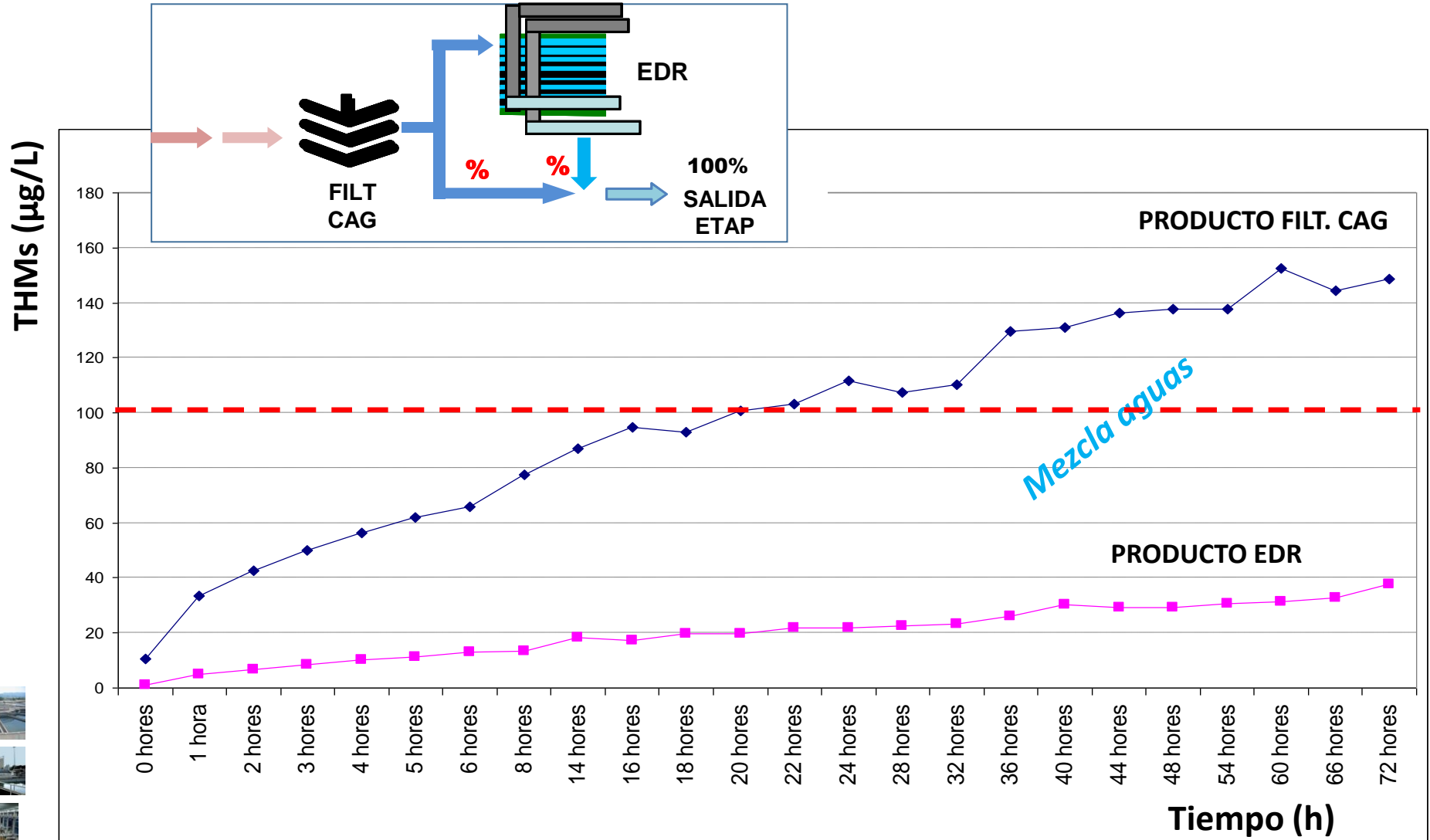
Tratamiento con Membranas (hasta 2,2 m³/s)

- Electrodialisis reversible (EDR)
- Remineralización (opcional)

Desinfección con NaClO



Objetivo de calidad. PFTHMs (25°C)



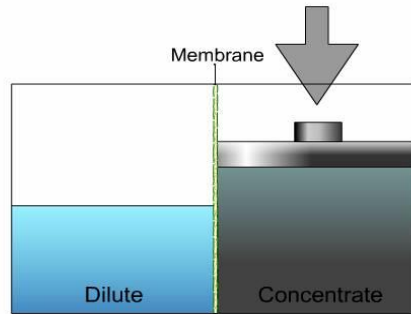
Electrodiálisis (ED)

La Electrodiálisis es un proceso de separación electroquímica en donde los Iones son transferidos a través de membranas de intercambio iónico por medio de corriente continua (VCC)

- Fuerza de trabajo: Atracción electrostática
- Sólo elimina iones y partículas cargadas
- Puede "apagarse" y "encenderse" sin problemas

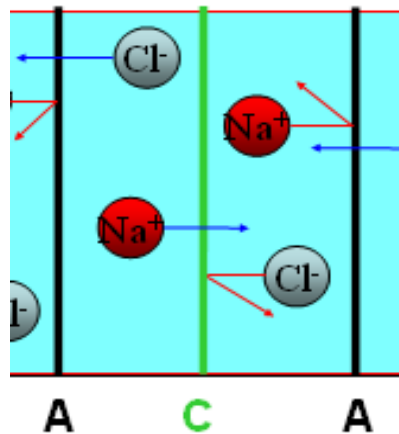


Osmosis Inversa vs Electrodiálisis Reversible



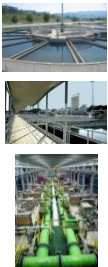
Reverse Osmosis

OI: El agua pasa la membrana a presión

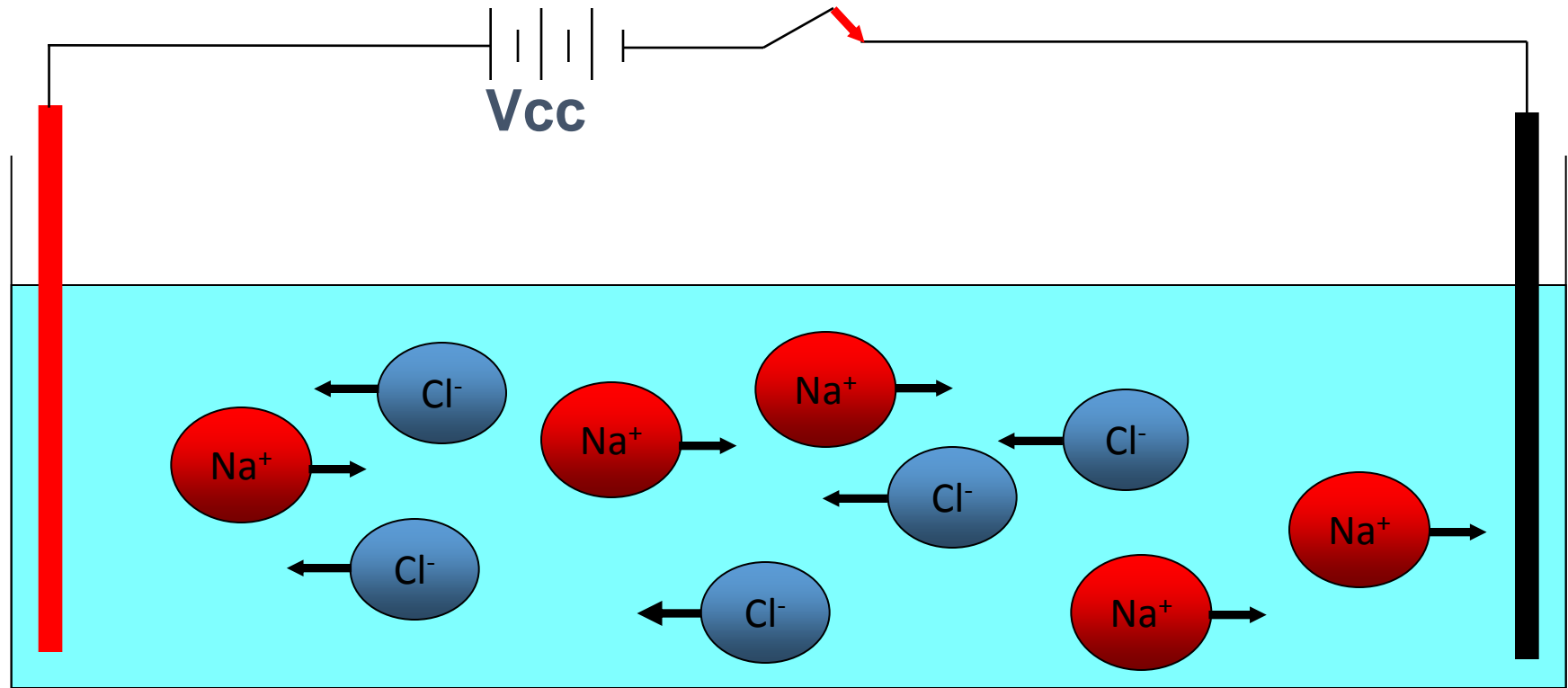


EDR: Los iones pasan la membrana

EDR: más efectiva a Tª elevada (verano)

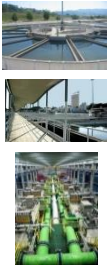


Electrodiálisis (ED)

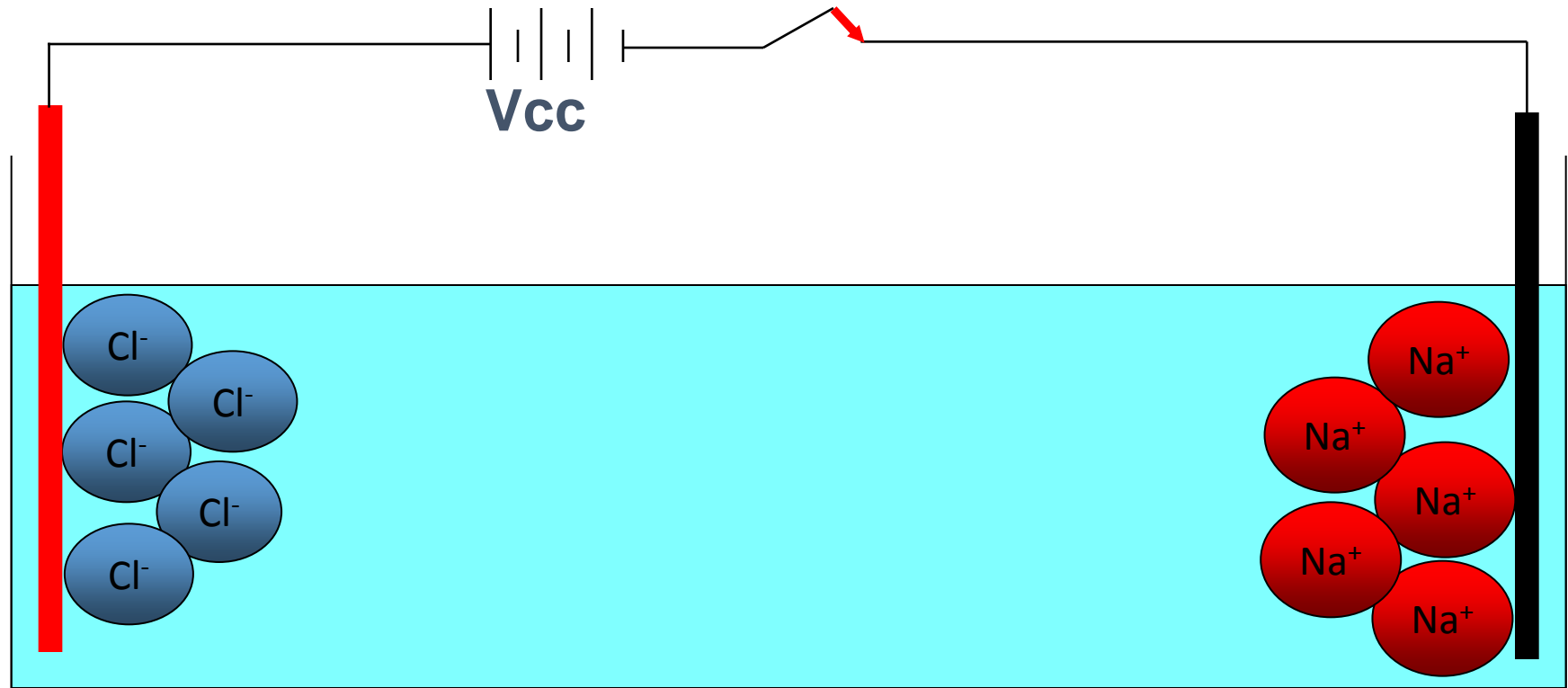


Anodo (+)

Cátodo(-)

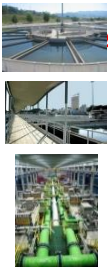


Electrodiálisis (ED)



Anodo (+)

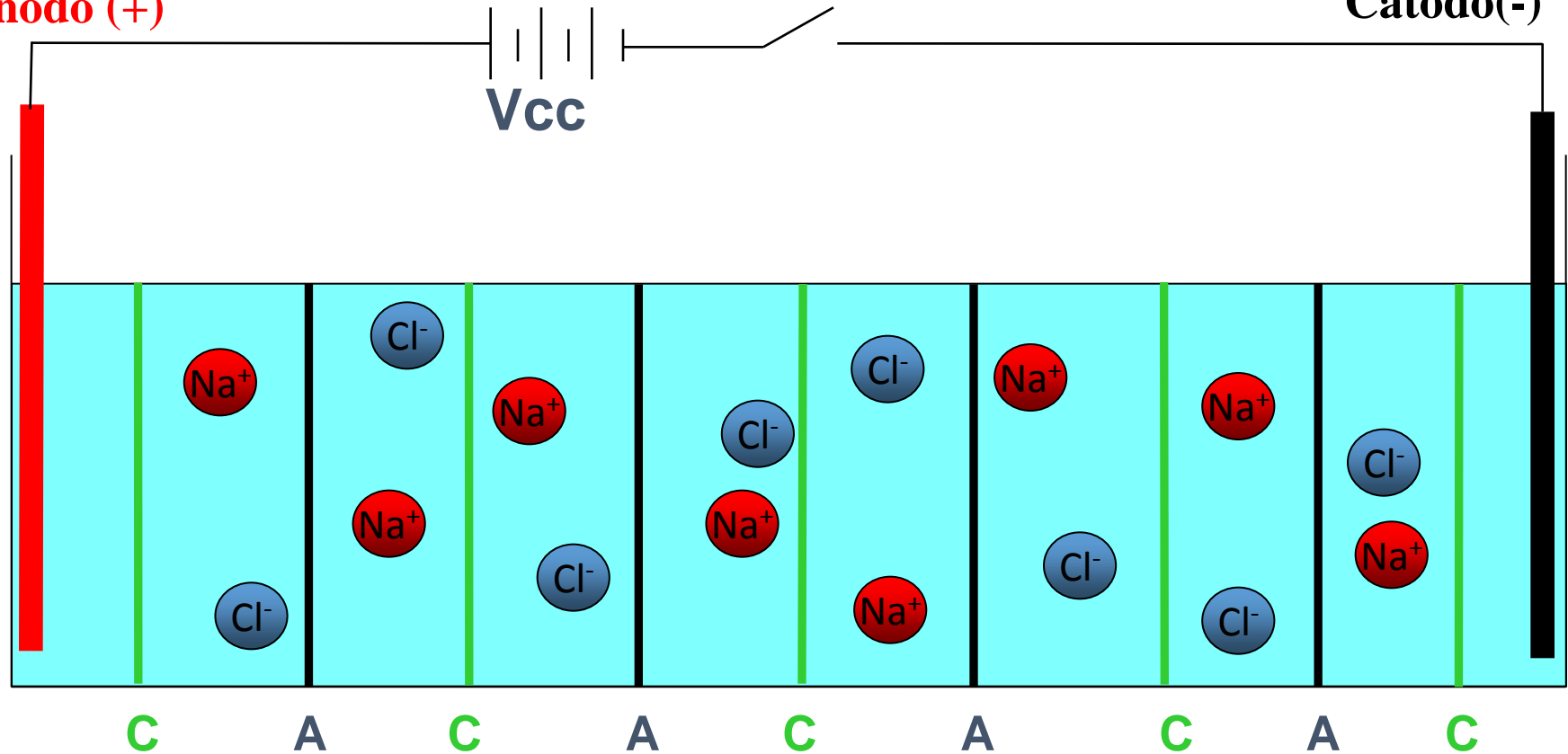
Cátodo(-)



Electrodiálisis (ED)

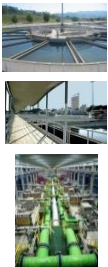
Anodo (+)

Cátodo(-)

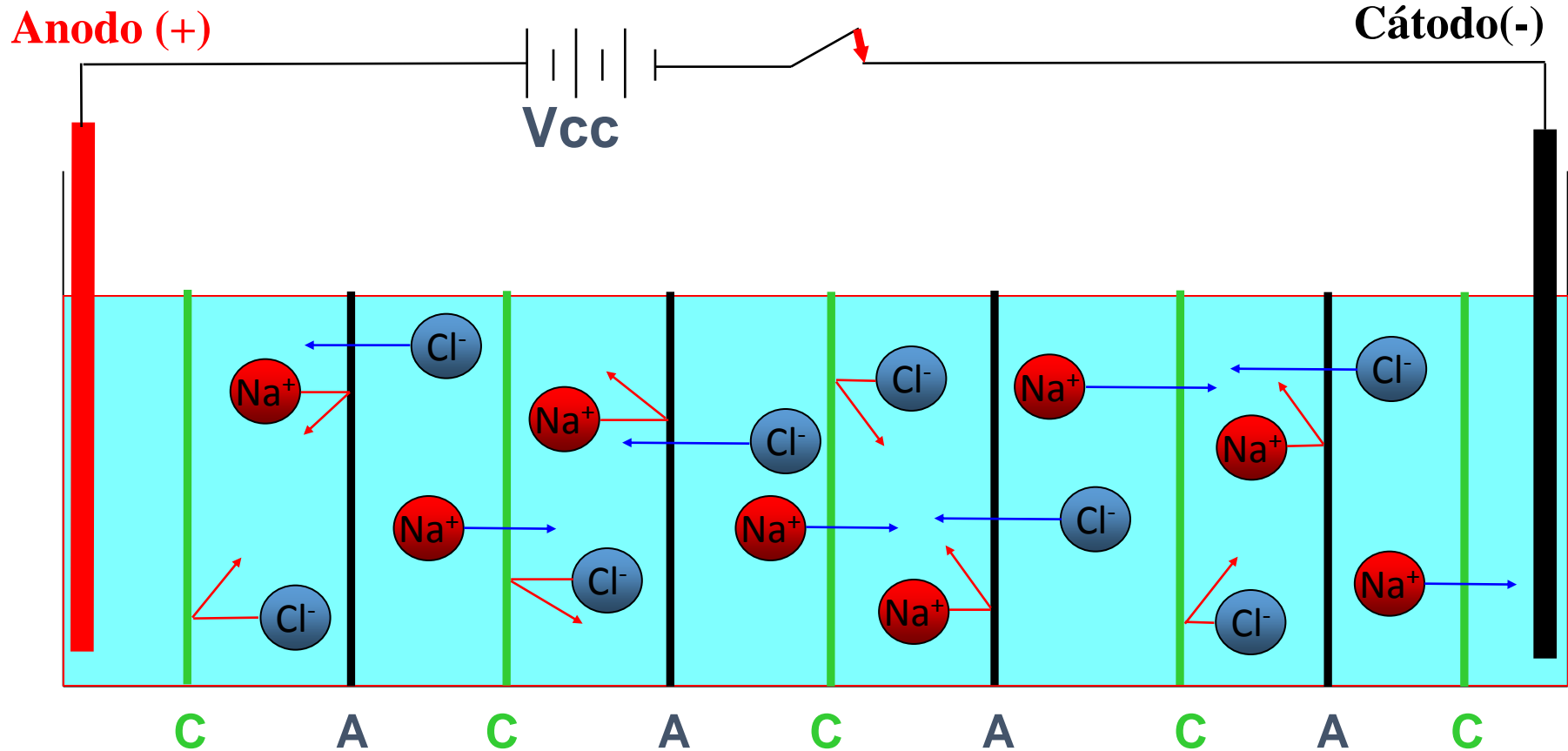


A = Membrana Aniónica. Solo permite el paso a iones -

C = Membrana Catiónica. Solo permite el paso a iones +



Electrodiálisis (ED)

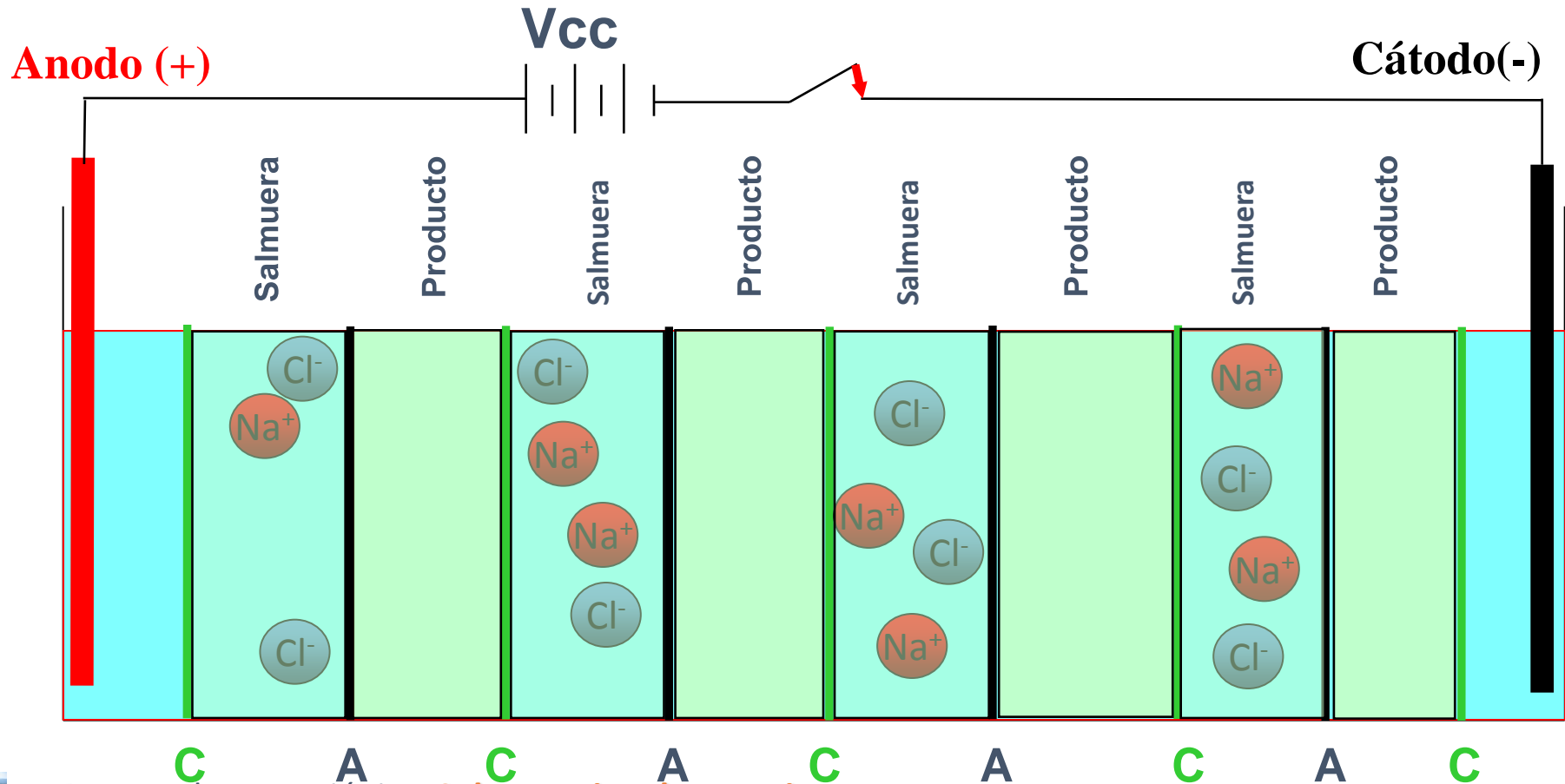


A = Membrana Aniónica. Solo permite el paso a iones -

C = Membrana Catiónica. Solo permite el paso a iones +

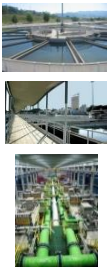


Electrodiálisis (ED)



A = Membrana Aniónica. Solo permite el paso a iones -

C = Membrana Catiónica. Solo permite el paso a iones +



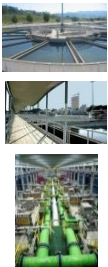
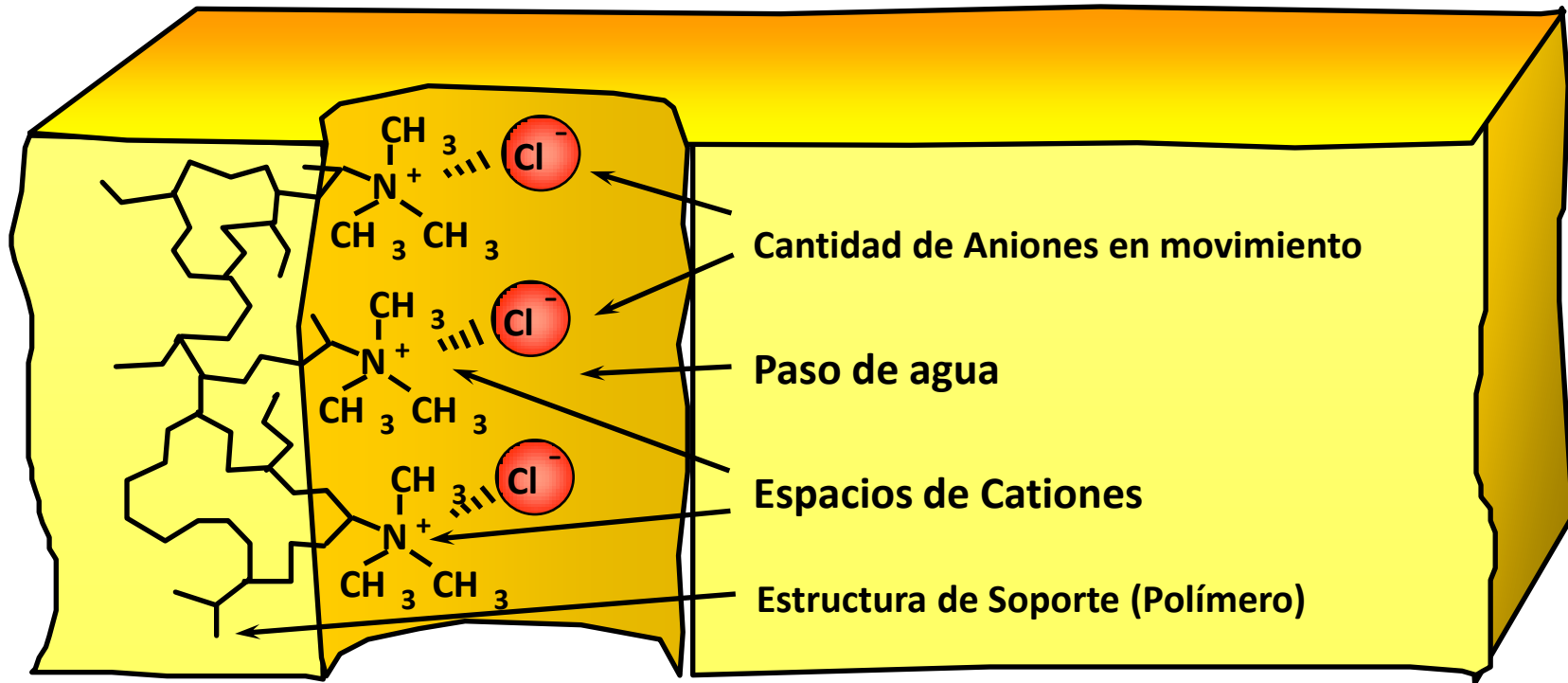
Electrodiálisis (ED): Par de celdas

- Es el elemento básico para construir una pila de membranas de ED.
- Compuesto por
 - Membrana de Intercambio Aniónico
 - Espaciador del Concentrado
 - Membrana de Intercambio Catiónico
 - Espaciador del agua desmineralizada
- Cientos de pares de membranas son ensambladas en forma horizontal (en paralelo) en medio de dos electrodos formando así la pila de membranas.



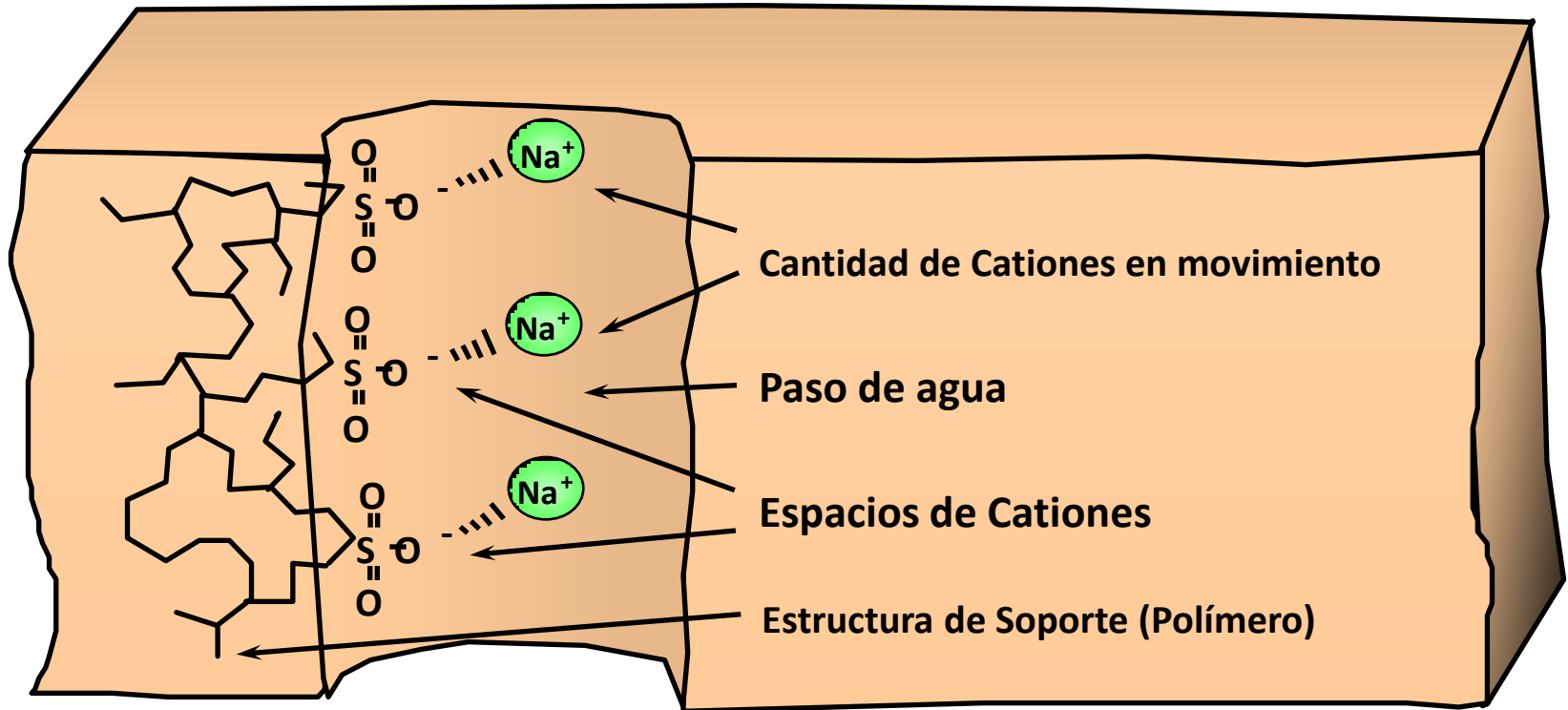
Electrodiálisis (ED)

Membrana de Intercambio Aniónico



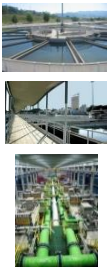
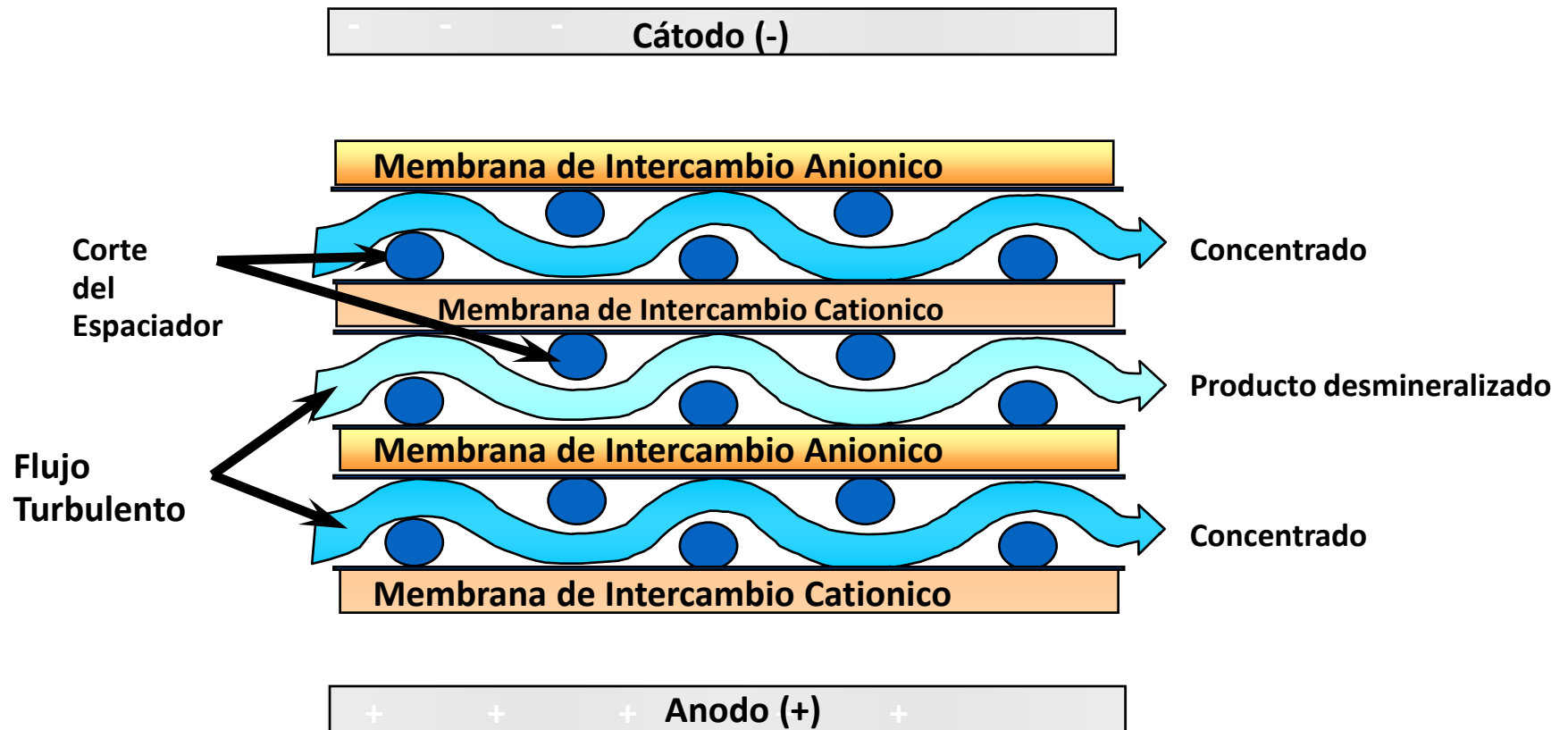
Electrodiálisis (ED)

Membrana de Intercambio Catiónica

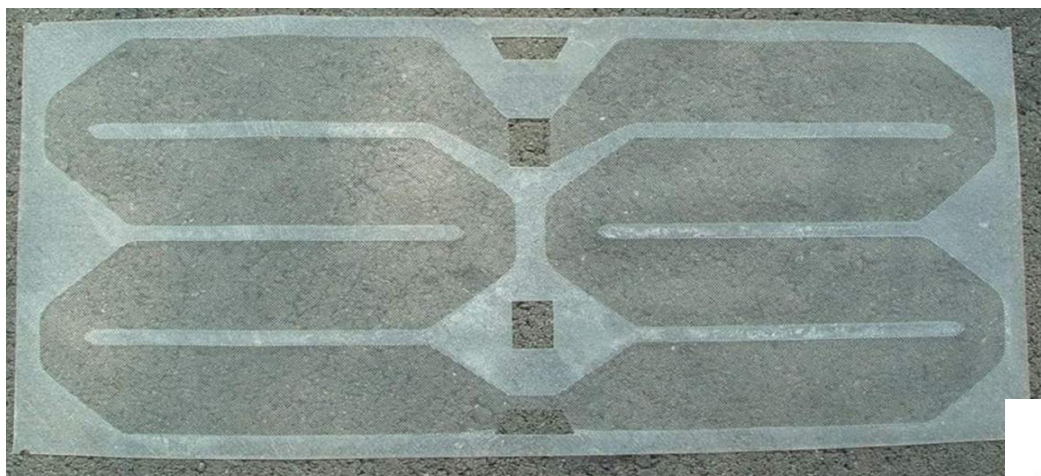


ESPACIADORES

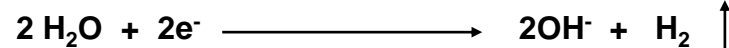
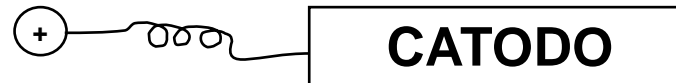
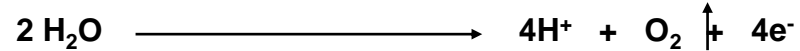
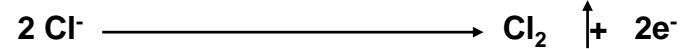
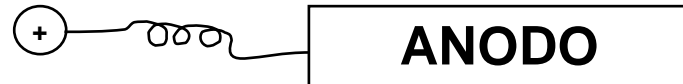
El flujo en los espaciadores genera turbulencia para incrementar la eliminación de sales



ESPACIADORES



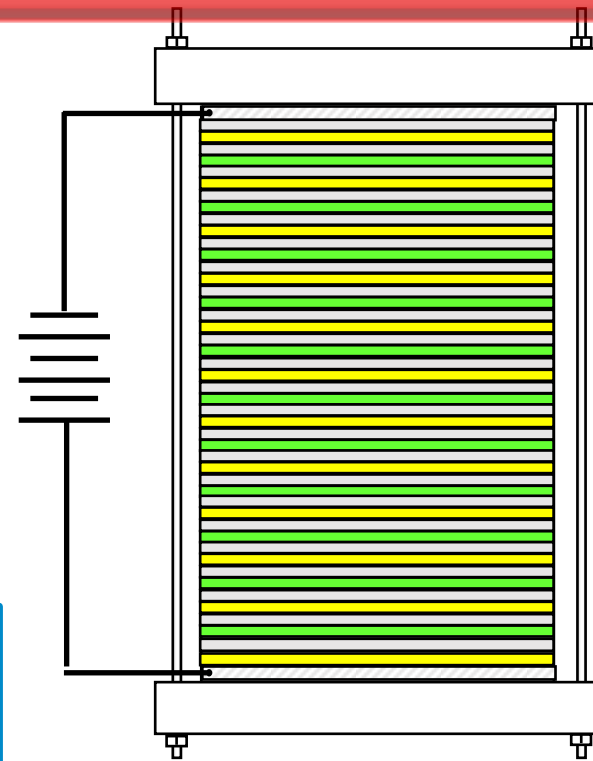
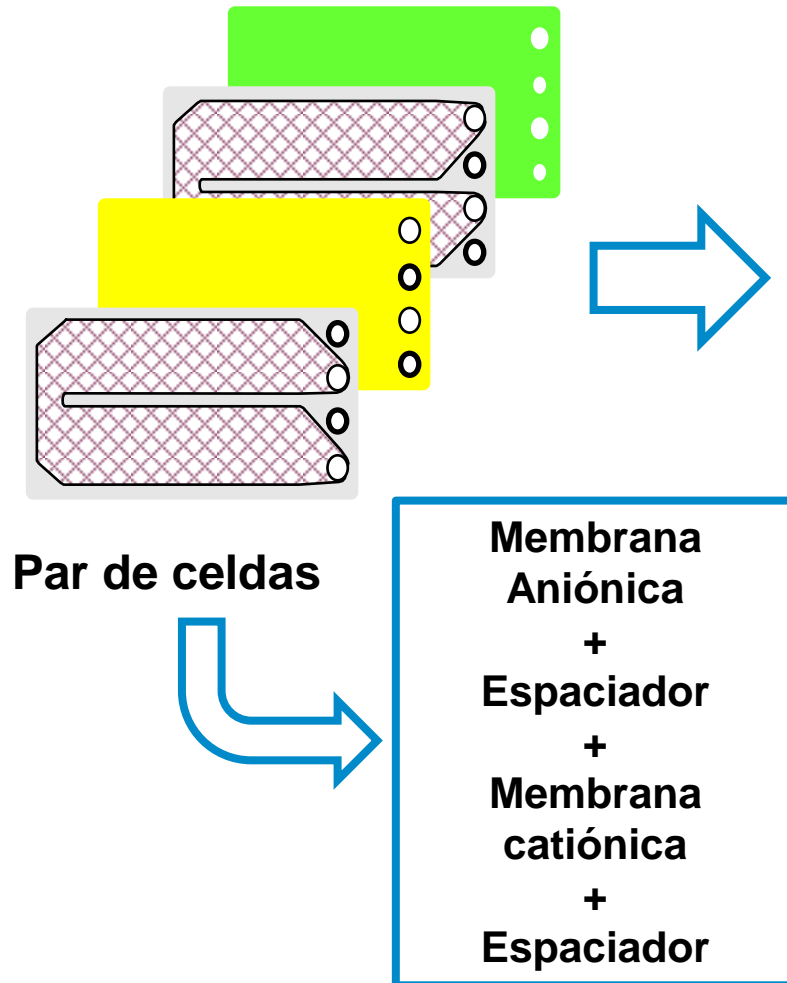
Electrodiálisis (ED): electrodos



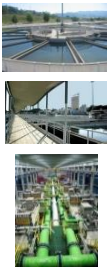
- 1) Formación de hidróxidos
- 2) Incremento del pH
- 3) Incremento del voltaje de electrodo
- 4) Disminución del área efectiva con el consiguiente aumento de densidad en el área no cubierta



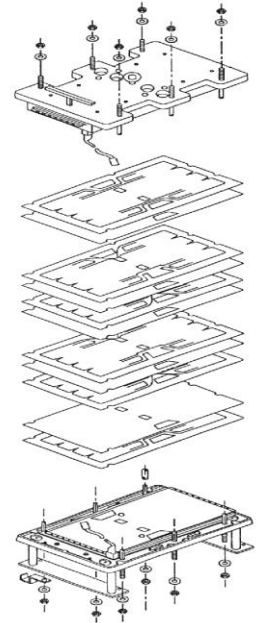
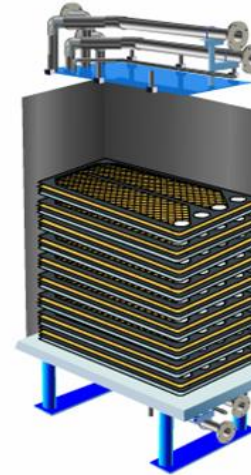
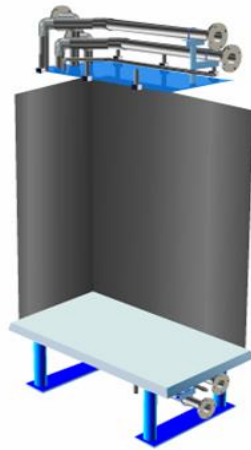
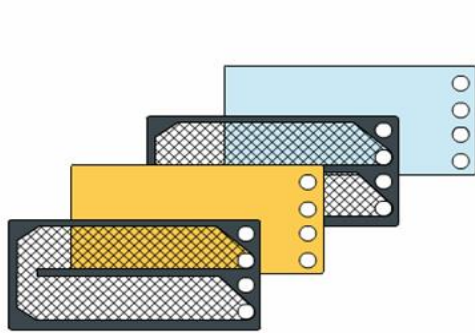
EDR: Par de celdas



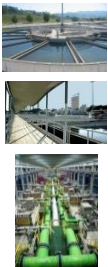
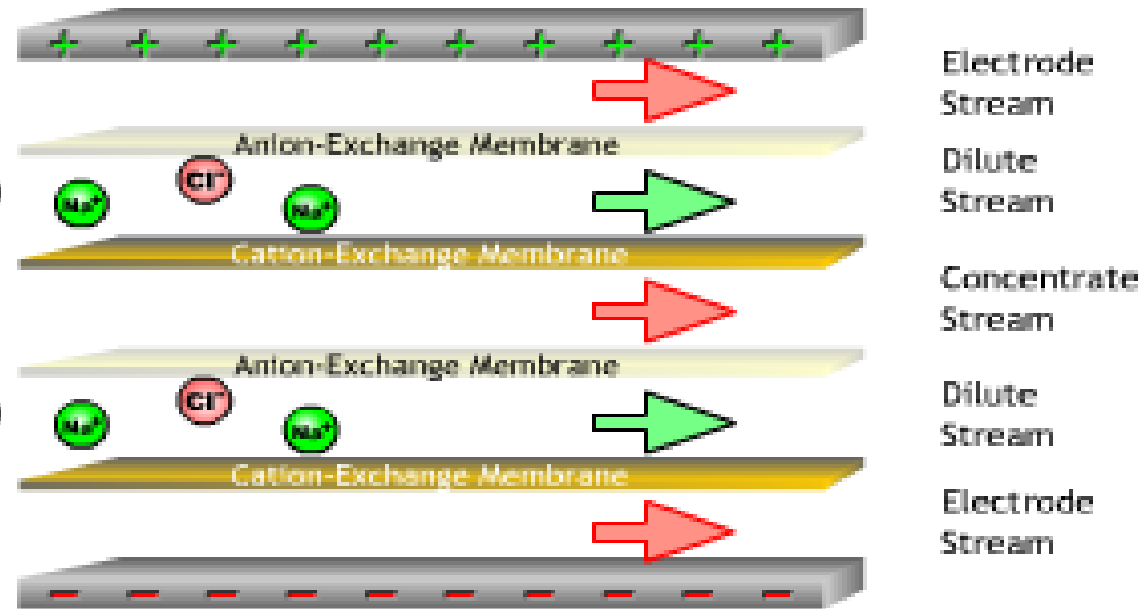
Pila completa



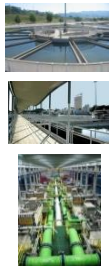
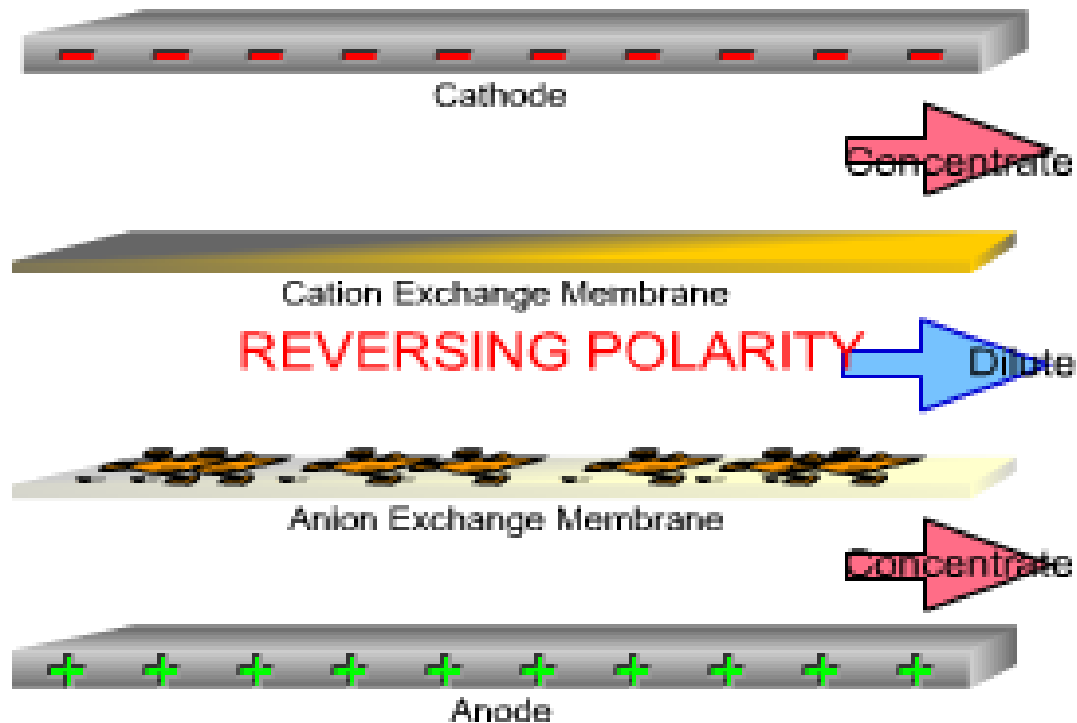
Electrodiálisis (ED): montaje pila



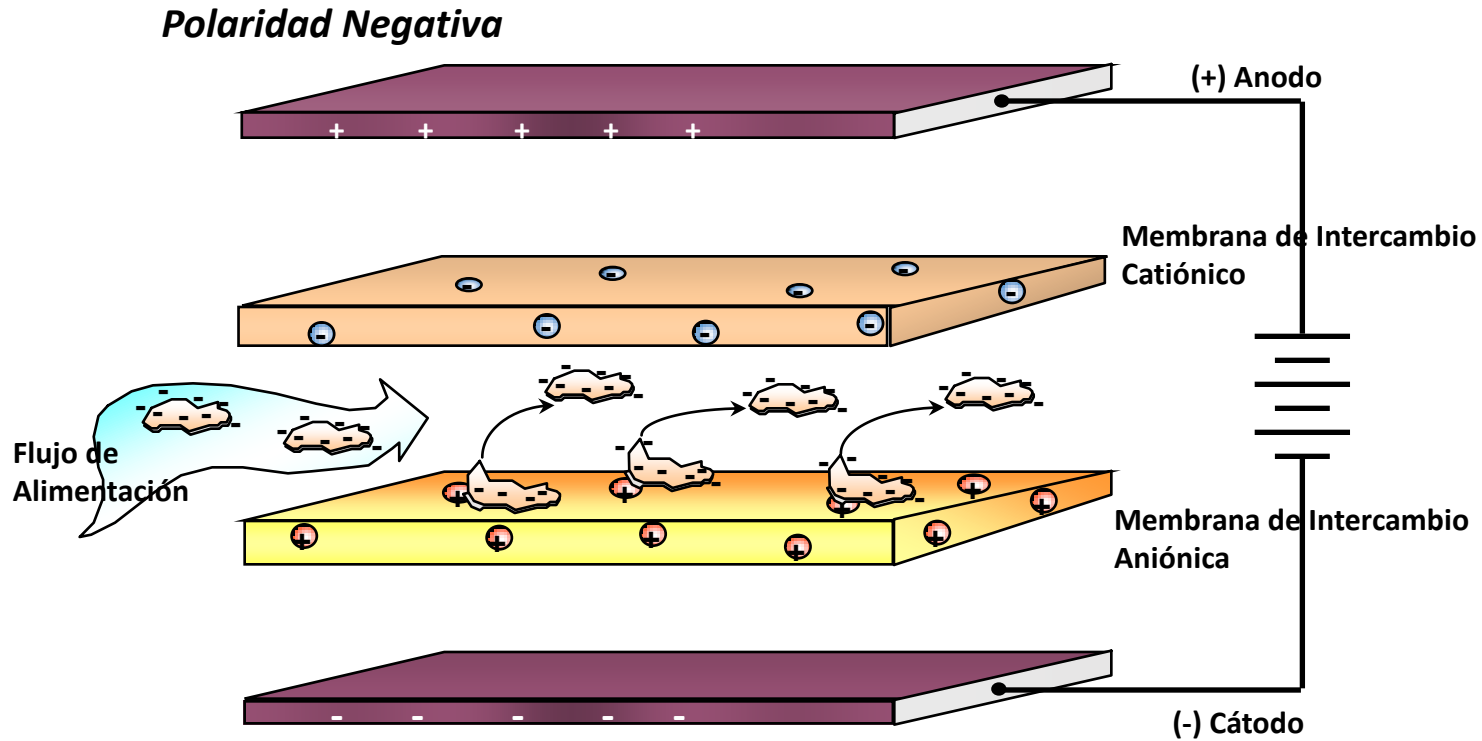
ELECTRODIÁLISIS



ELECTRODIÁLISIS REVERSIBLE (EDR)

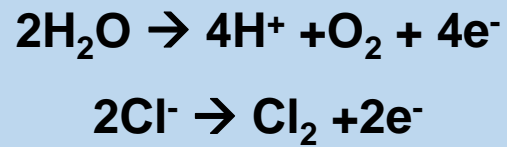
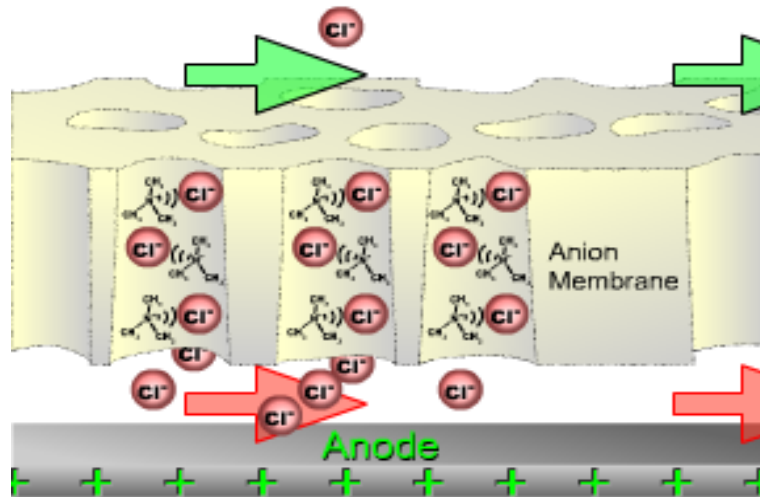


Electrodiálisis (ED): Autolimpieza

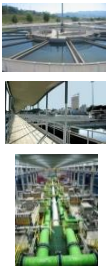
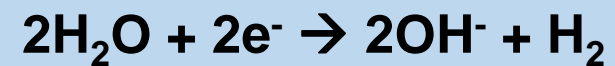
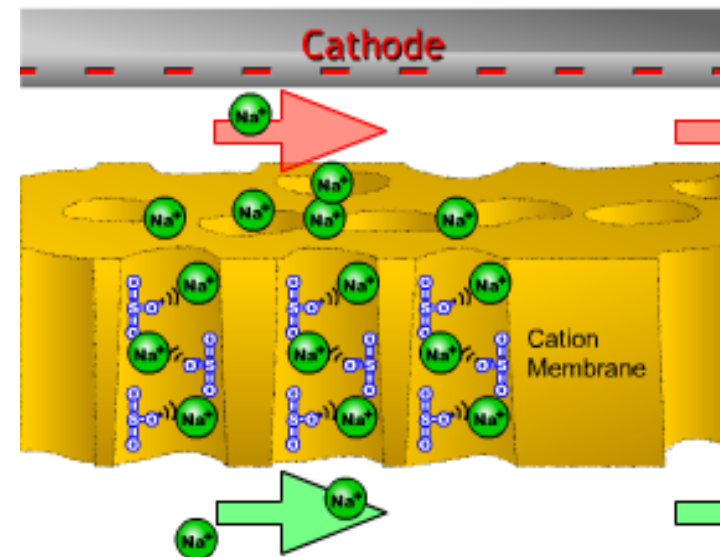


EDR: Membranas

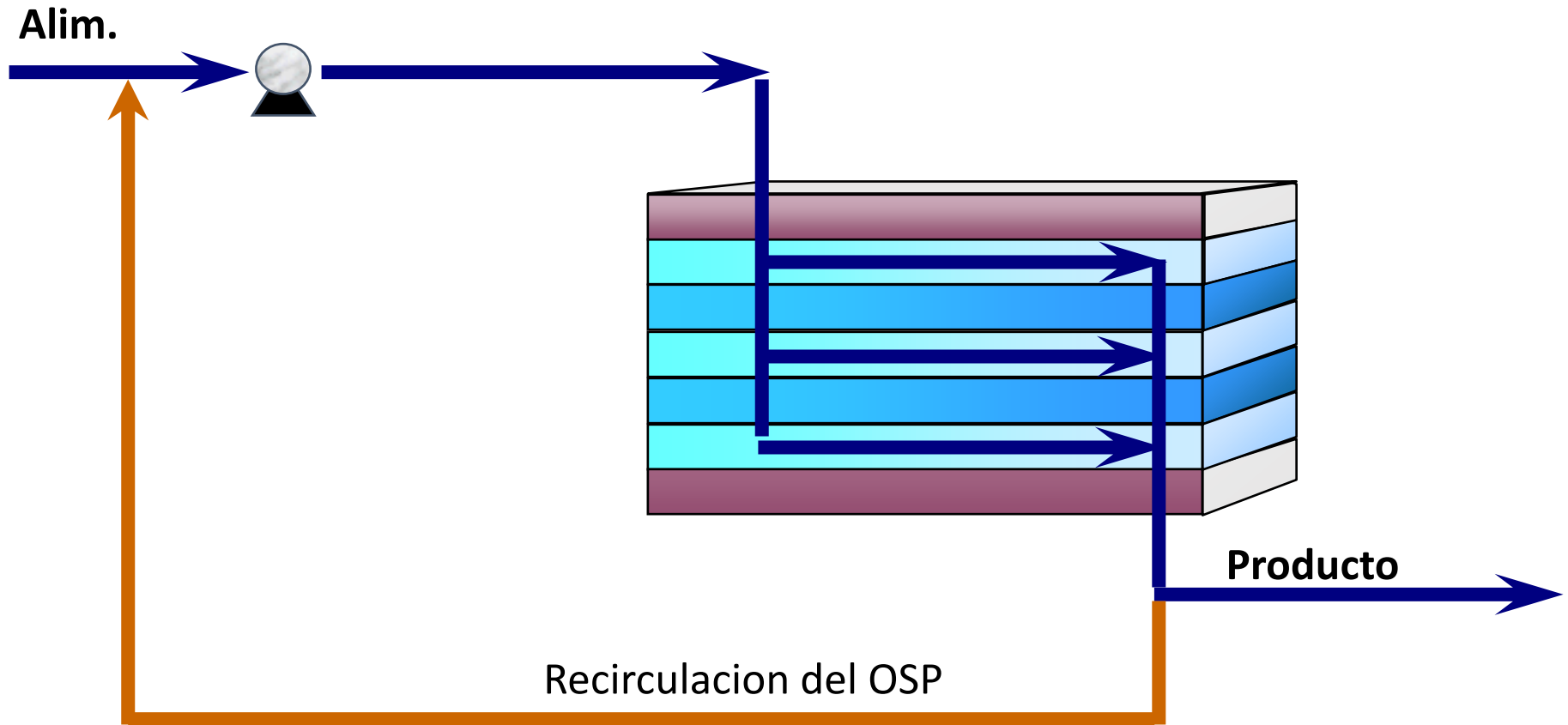
Aniónica



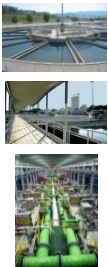
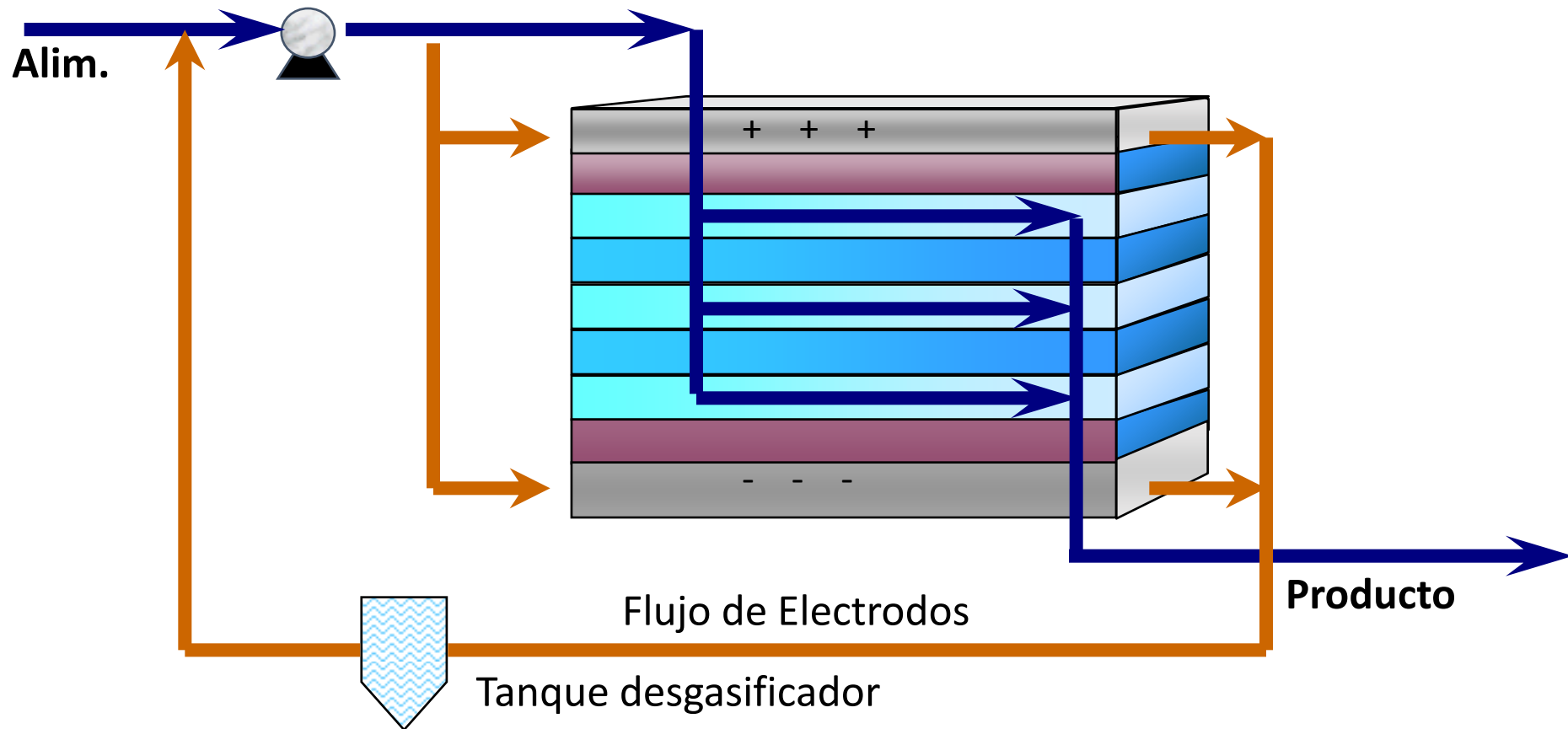
Catiónica



EDR: Recirculación flujo fuera de norma (OSP)

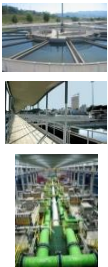
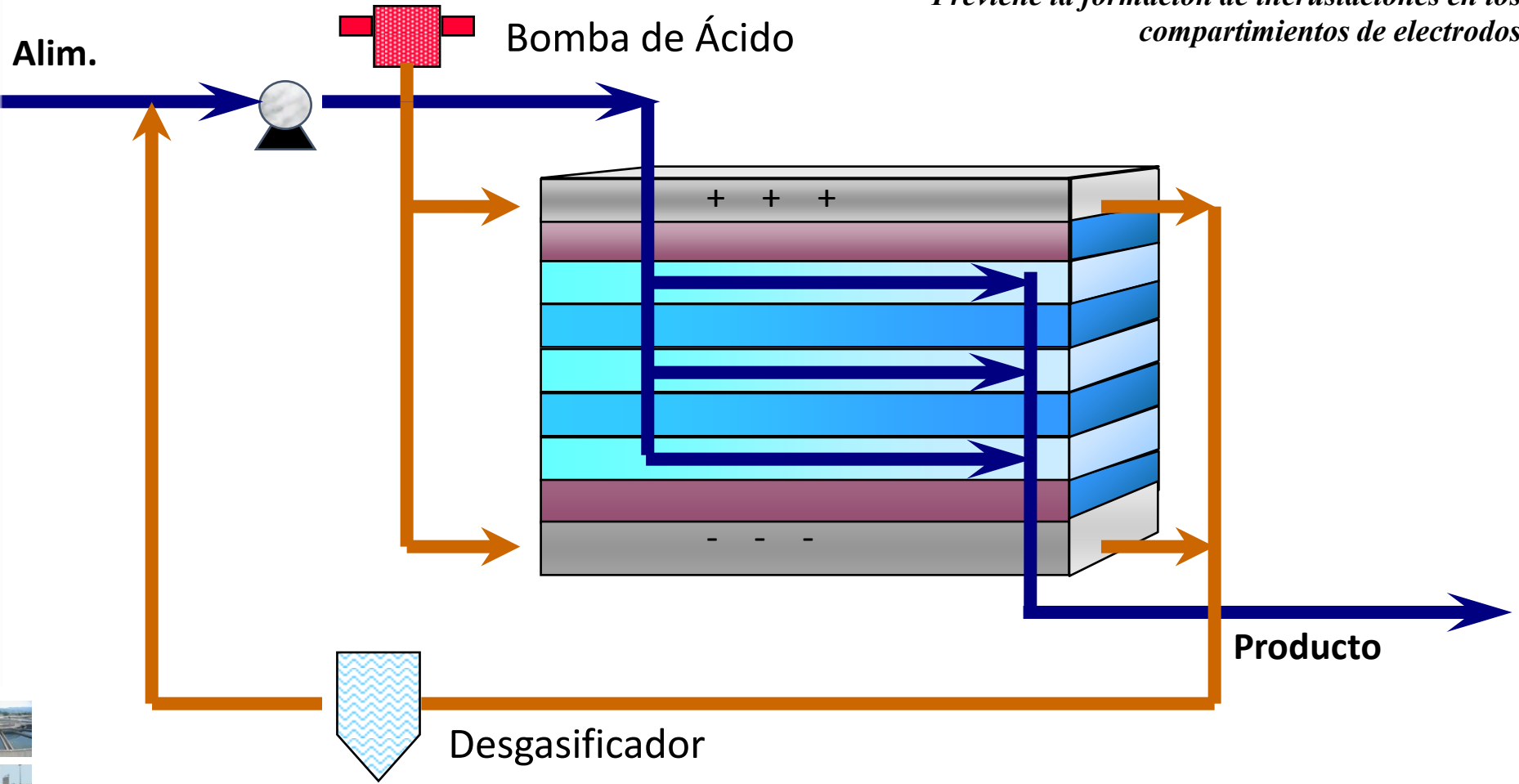


EDR: Recirculación flujo electrodos

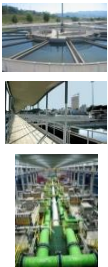
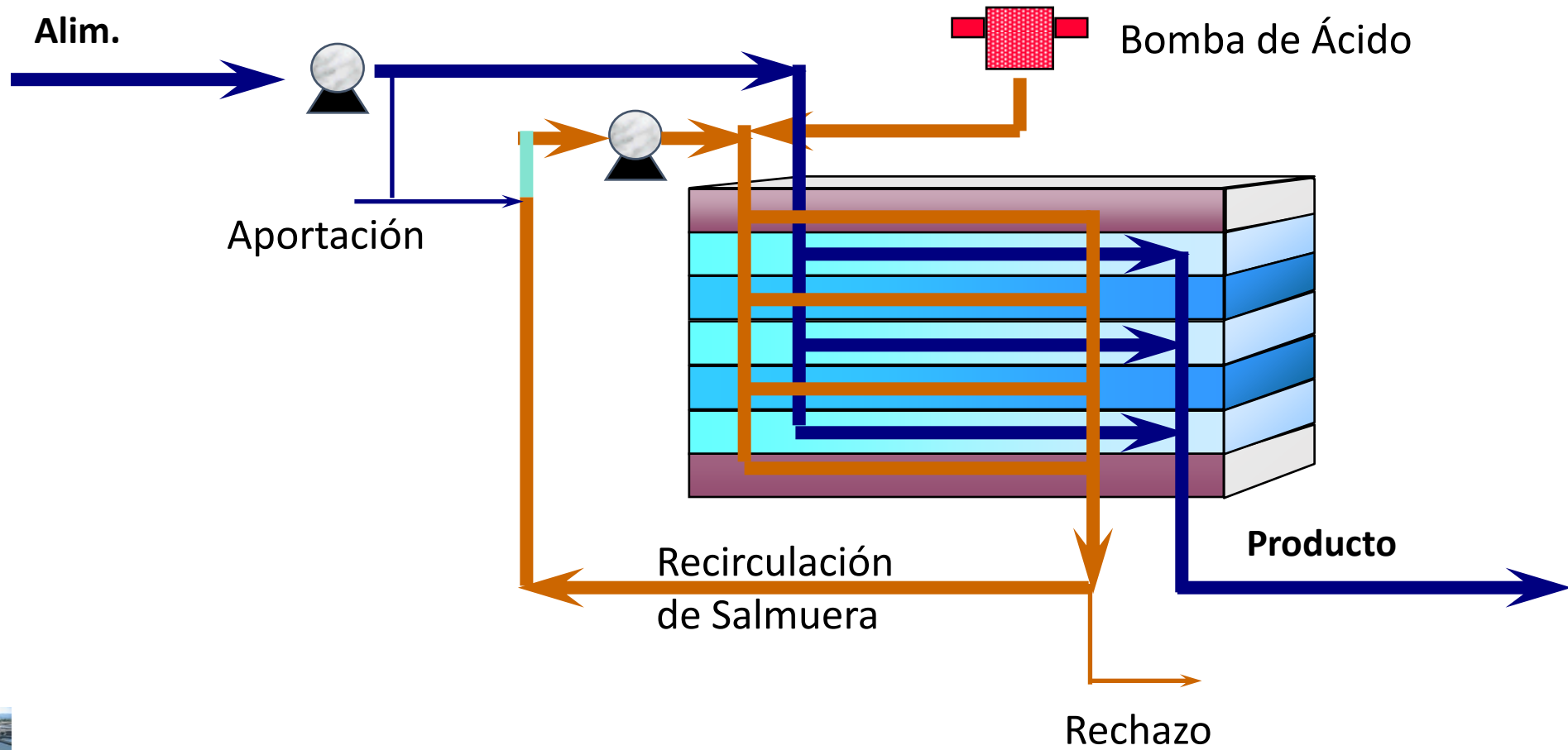


EDR: Inyección HCl electrodos

Previene la formación de incrustaciones en los compartimientos de electrodos



EDR: Adición HCl bucle de salmuera



EDR: APLICACIONES

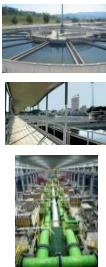
- Industria farmacéutica
- Industria alimentaria (purificación suero láctico)
- Recuperación de aguas de baja calidad
- Potabilización aguas salobres
- Reducción de nitratos
- Reducción de Uranio
- Coste elevado evacuación de salmuera
- Mejoras de tratamientos terciarios
 - Riego
 - Reutilización



ETAPA EDR ETAP LLOBREGAT

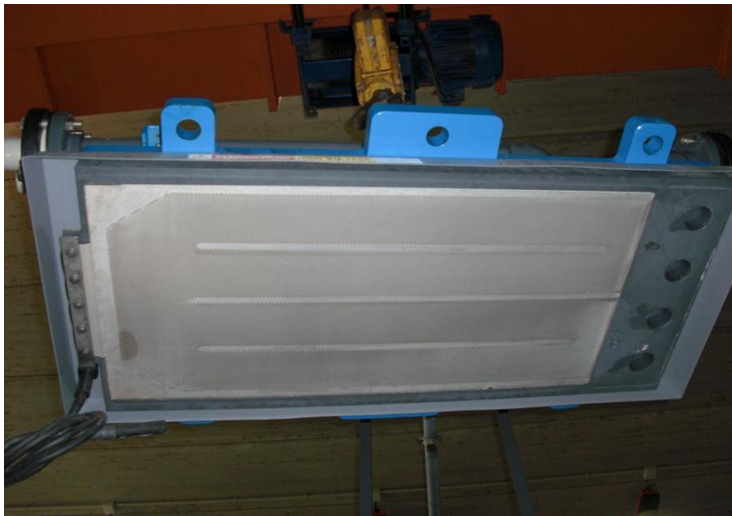


- Operación desde junio de 2009
- Capacidad máxima de tratamiento → 2.2 m³/s
- Estación de bombeo → 9+3 bombas de 1060 m³/h
- Filtros cartucho → 18 filtros con 170 cartuchos
- 9 módulos x 64 pilas = 576 pilas
- 600 pares de celdas por pilas, en doble etapa



Mejoras introducidas: electrodos

- **Metálicos (Ti-Pt)** (448 pilas)
(vida util esperada 13.000h)
- **Carbon** (128 pilas)

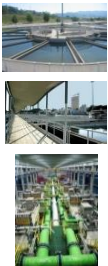


Metálico

Se opera en paralelo con pilas con **electrodos metálicos o de carbón**

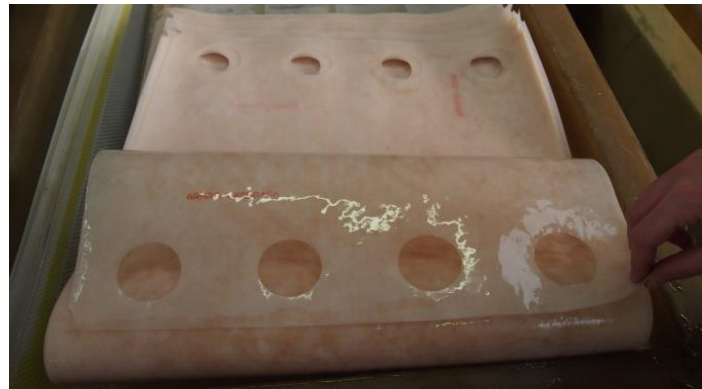


Carbón

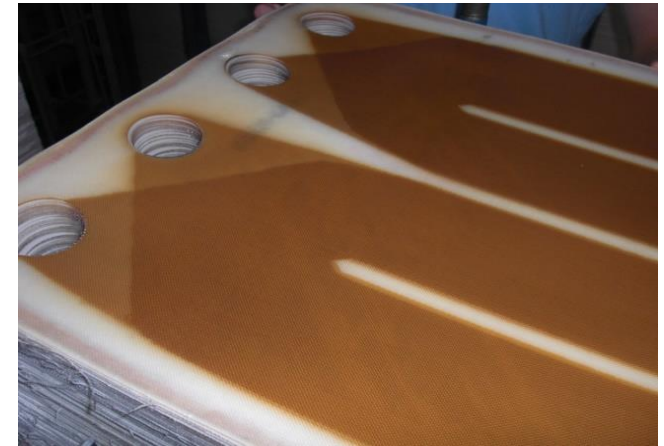


Mejoras introducidas: membranas

- Membranas aniónicas
 - AR204
 - AR908 (amplio rango de pH y larga vida)
 - *Estudios piloto con membranas sin base textil*



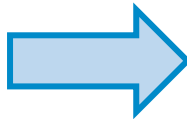
La configuración de las pilas puede ser diferente, mezclando **diferentes membranas en la misma pila**



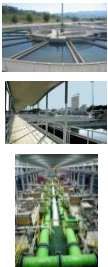
Mantenimiento preventivo y correctivo



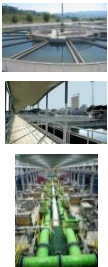
Mejoras en operación. VAMP



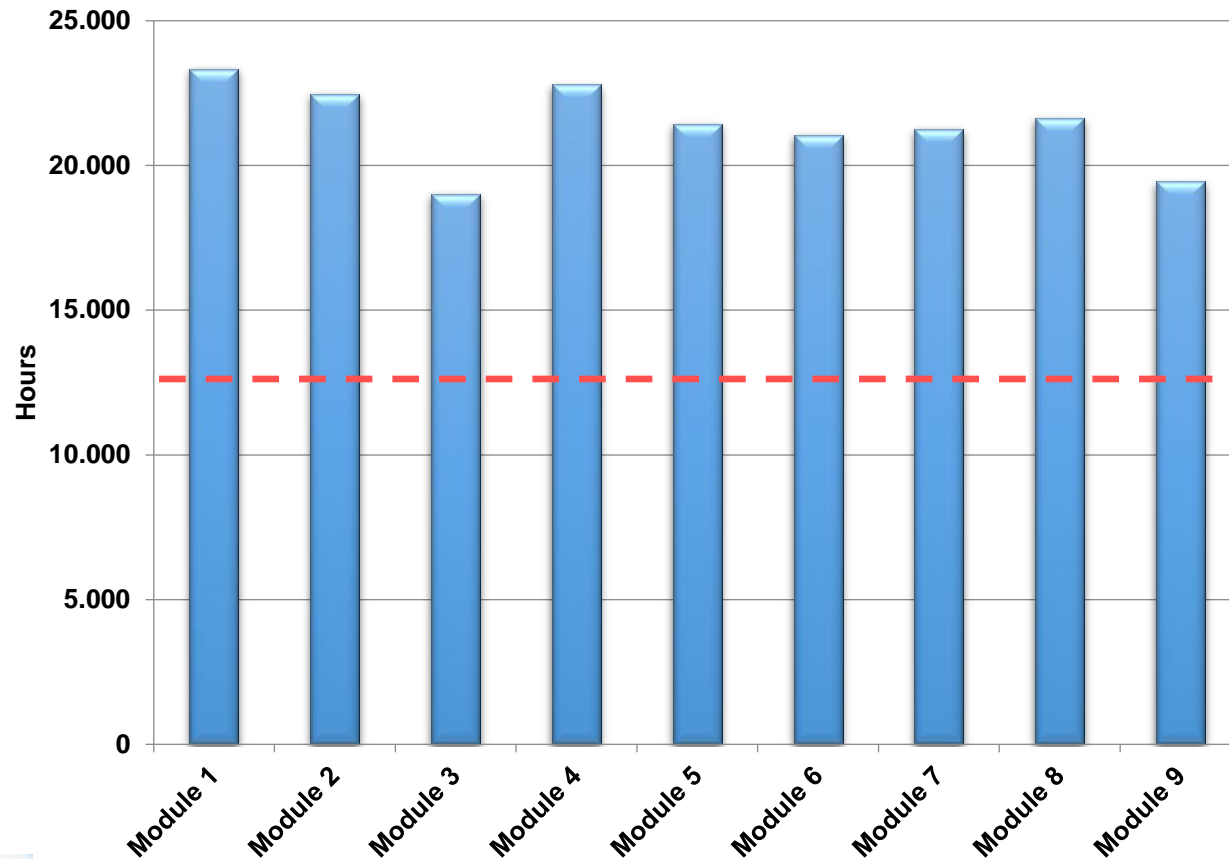
Desarrollo interno de equipos específicos



Datos de operación



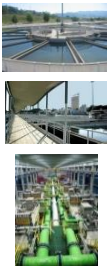
Horas de operación (< 31/8/2017)



entre 19.000 y 24.000 horas/módulo

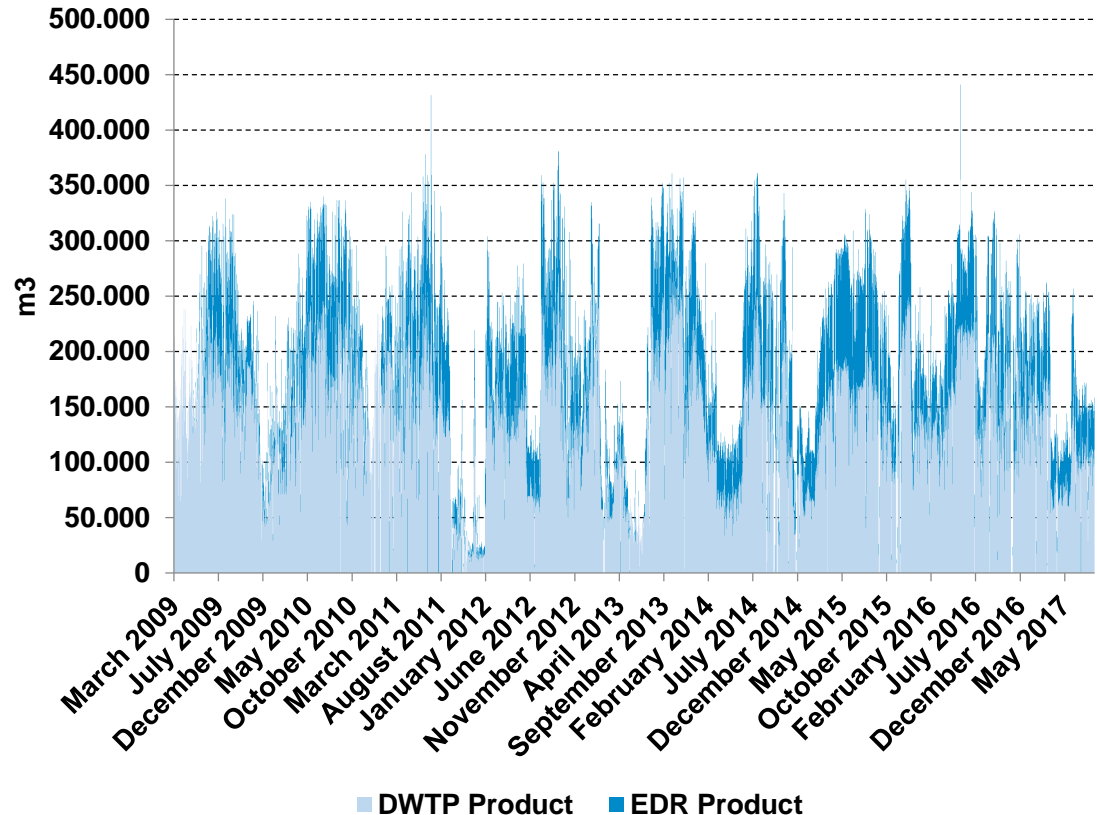
Rotación de módulos

Vida esperada de los electrodos metálicos → ~13.000 horas



Volumen tratado (junio 2009 – agosto 2017)

	PRODUCTO ETAP [m ³]	PRODUCTO EDR [m ³]	% EDR
> JUN 2009	37.024.487	12.159.270	32,8
2010	57.064.087	20.685.587	36,2
2011	45.470.752	18.658.201	41,0
2012	49.523.315	23.103.481	46,7
2013	50.076.971	17.387.177	34,7
2014	42.005.377	22.477.786	53,5
2015	52.795.605	28.563.569	54,1
2016	55.223.562	23.068.753	41,8
< AUG 2017	26.745.704	12.307.302	46,0
TOTAL	471.309.507	178.411.126	42,9



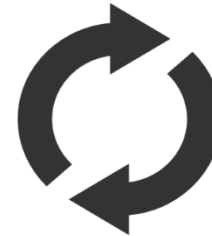
PRODUCIDOS > 178 hm³



EDR Consumos y tasas de reposición



Recuperación
90~92%



3,56% (-) Membranas
0,64% (+) Membranas
0,72% Espaciadores



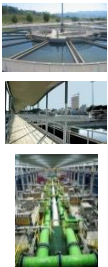
Proceso EDR
0,53~0,58
kWh/m³



0,087~0,101
kg HCl/m³



Reducción de sales



Reducción de sales (junio 2009- sept 2016, n=197)

Reducción teórica del 50% por etapa

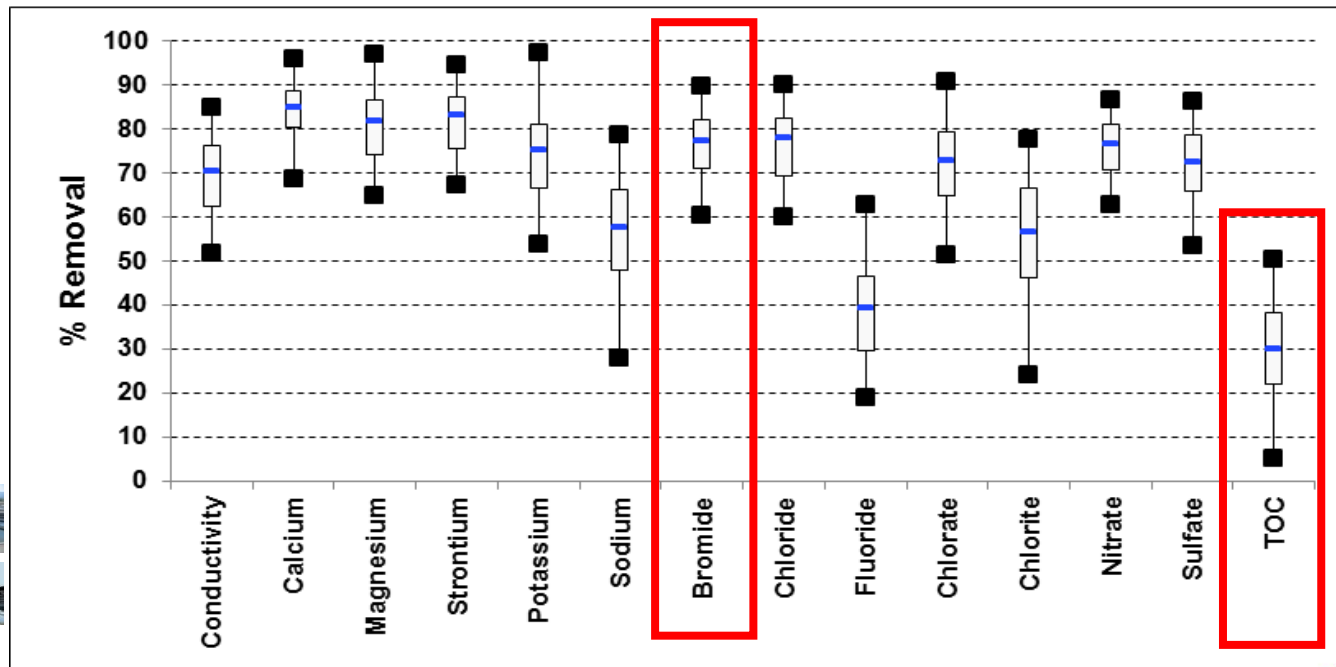
++ > +

Etapa 1. Promedio Reducción sales:

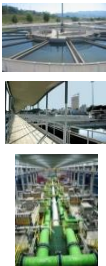
Conductividad = 45%
Calcio = 61%
Potasio = 49%
Bromuro = 54%
Cloruro = 53%

Etapa 2. Promedio Reducción sales:

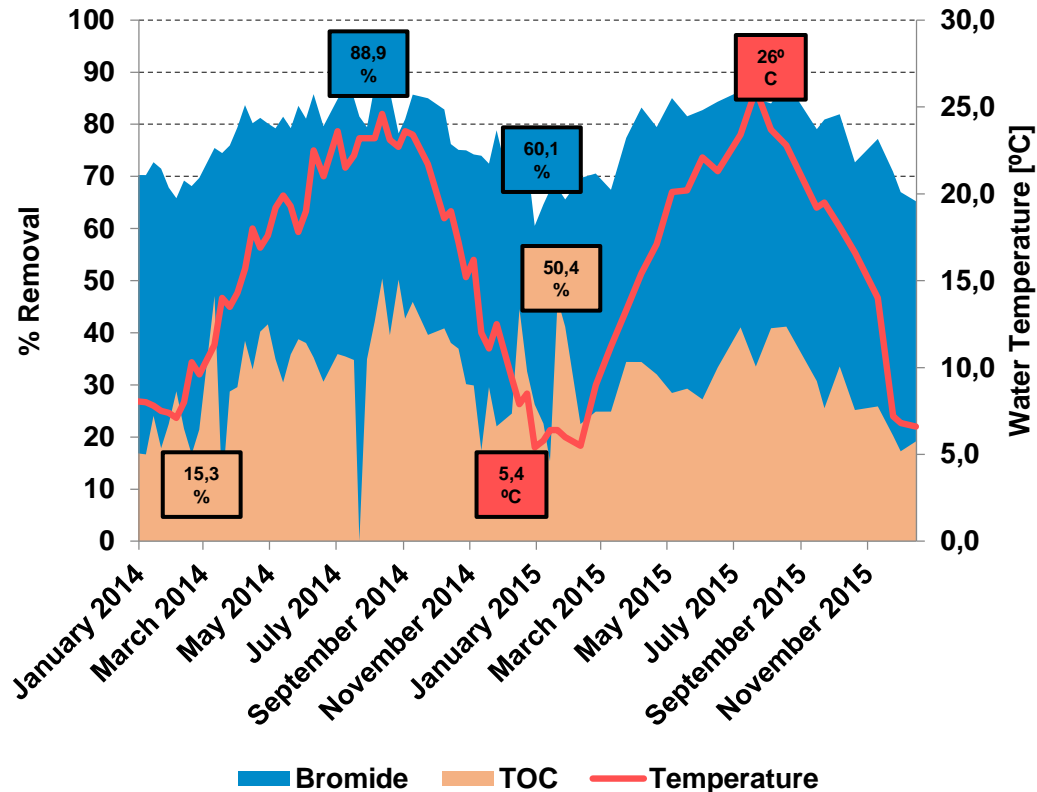
Conductividad = 71%
Calcio = 85%
Potasio = 75%
Bromuro = 77%
Cloruro = 78%
TOC = 30%



**Etapa 2
(producto EDR)
n=197**

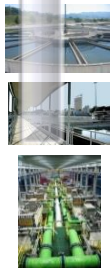


Reducción de precursores de THMs (Agua alimentación EDR)



➤ Reducción en f (T)

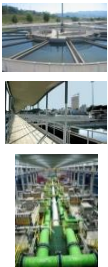
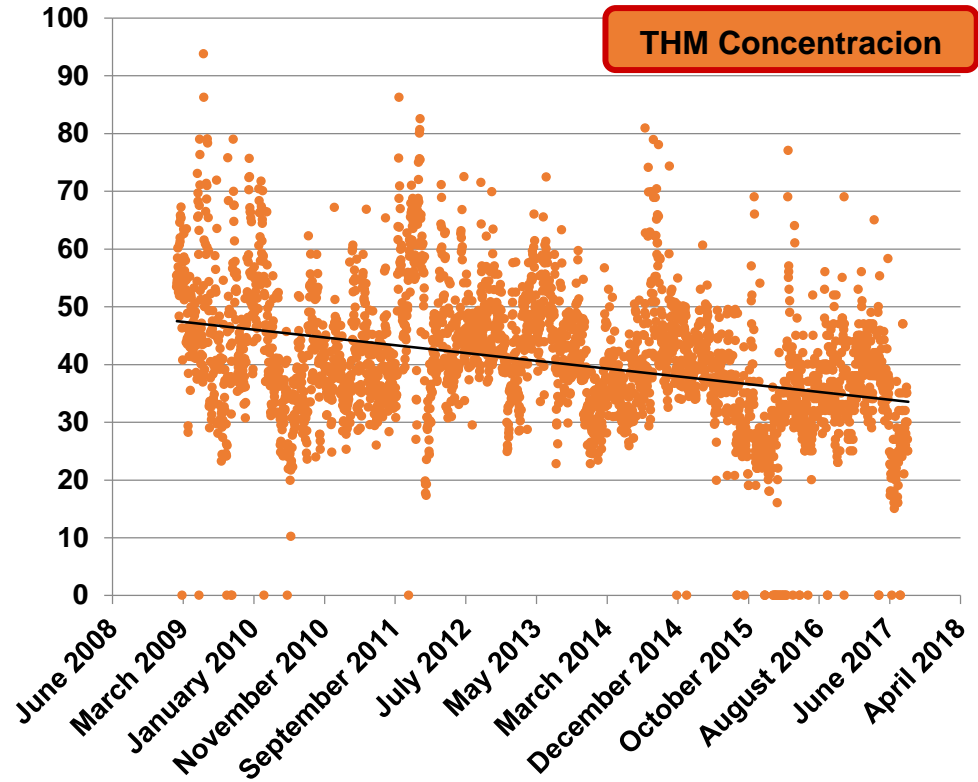
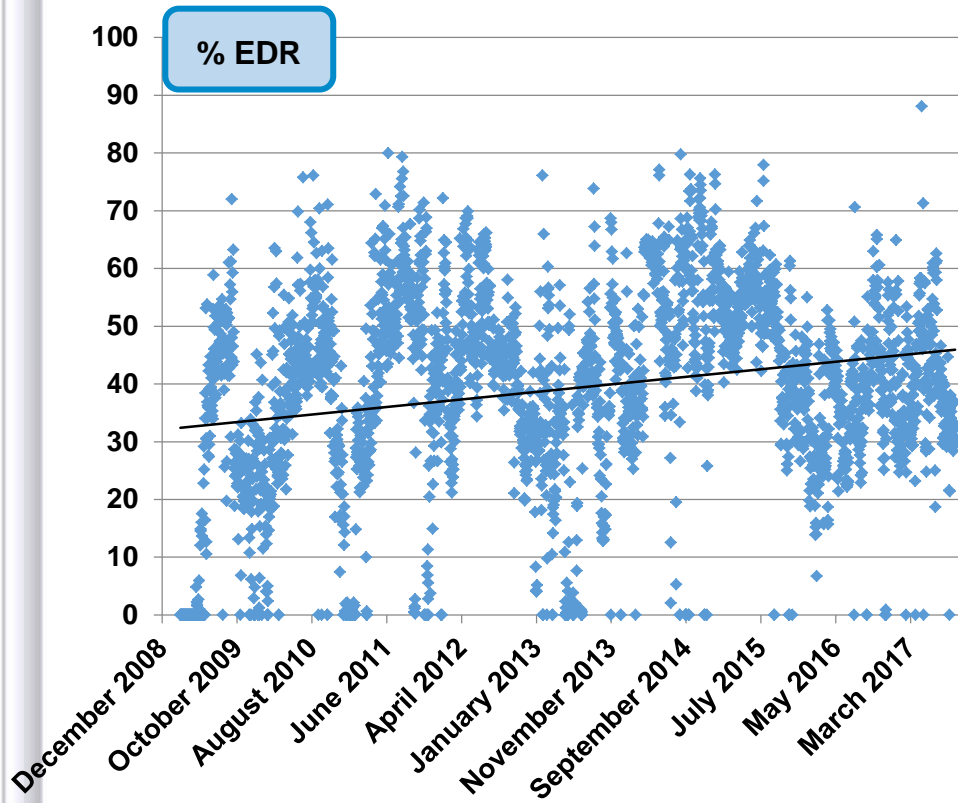
➤ cómo $\uparrow T \rightarrow \uparrow$ THM FP,
la EDR permite mejores
resultados cuando más
THMs se forman, en
verano



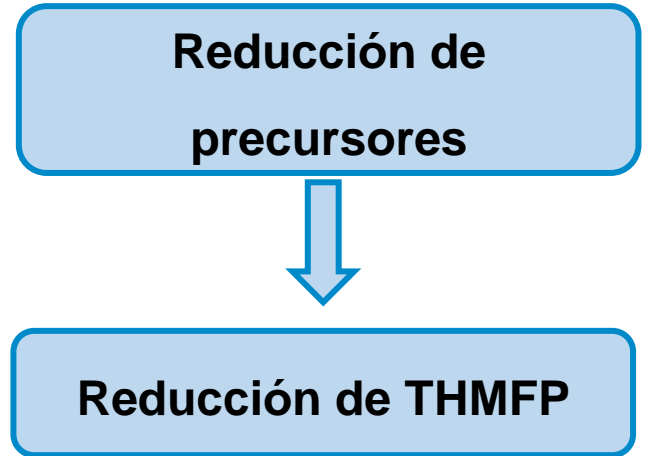
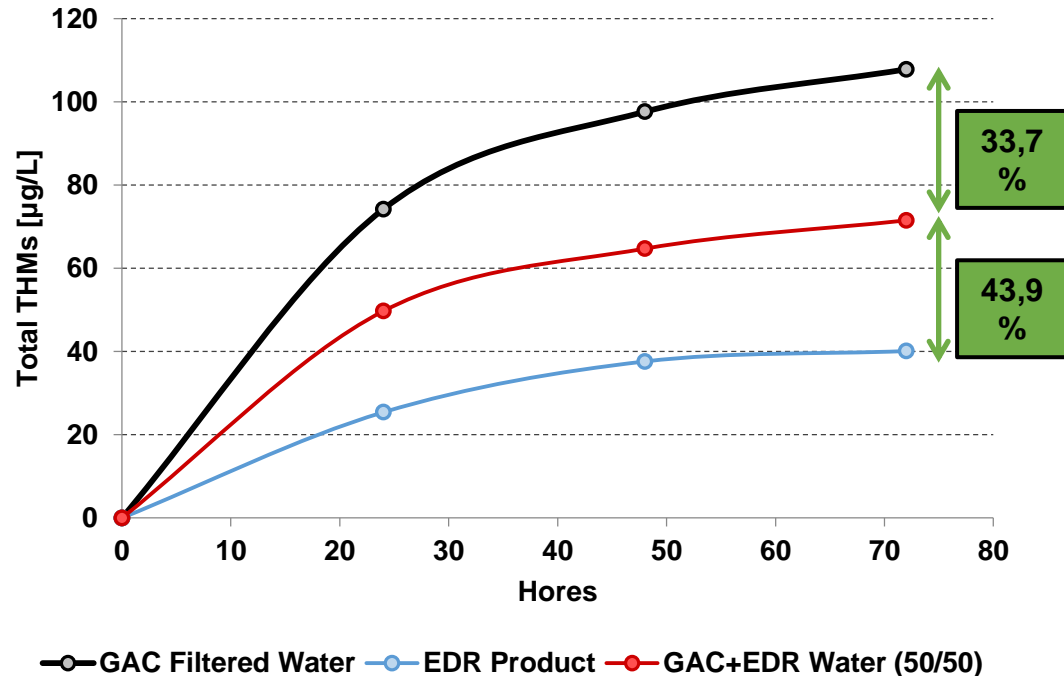
Reducción THMs



% EDR vs. [THMs]



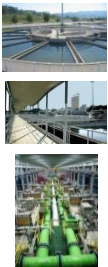
Potencial de formación de THMs (25°C)



Comportamiento de la mezcla cercano al de un balance de masas

Se trata el volumen necesario de EDR para ser mezclado con el tratamiento convencional y generar los THMs esperados

¿%EDR? **EDSS f (Q, T, TOC, η, €)**



Conclusiones

1. Después de más de ocho años de funcionamiento y más de 178 hm³ producidos de agua desalinizada, podemos confirmar la mejora de la calidad del agua y el control del nivel de THM en el producto de la ETAP y en la red de distribución.
2. Bajo consumo energético 0.58 kWh/m³ y elevada recuperación >91%.
3. Tecnología muy robusta para agua salobre.
 - ✓ No se necesita ningún tratamiento previo específico
 - ✓ Respuesta rápida
 - ✓ Mayor eficiencia con altas temperaturas
 - ✓ Permite el funcionamiento discontinuo y estacional
 - ✓ Bajo índice de reemplazo de membrana (menor que el proyectado).
 - ✓ Permite cambios en la configuración de la pila
 - ✓ El envejecimiento de los electrodos no causa una menor eliminación de sales o un aumento de voltaje.
 - ✓ Reduce microcontaminantes orgánicos con carga (+) o (-)
4. La planta es un buen ejemplo de aplicación industrial de una tecnología de desalación para mejorar la calidad del agua potable y recuperar recursos de mala calidad.



Estudios piloto



mega



FUJIFILM
Value from Innovation



10+10 m³/h



ATLL
Concessionària de la Generalitat de Catalunya, SA



Otras plantas de EDR



LOCATION	COUNTRY	APPLICATION	m3/d	GOAL	YEAR	STACKS	STAGES
EURODIA							
New Wilmington	USA	Ind	600 l/H	Whey desmineralization			
Montefano	Italy		1000	Nitrate removal	1991	2	
Haraucourt	France		250	Nitrate removal	1995		
Munchenbuschsee	Switzerland		1200	Nitrate removal	1996		
Amsterdam	Netherlands		120	Nitrate removal	1996		
Imola	Italy		600	Nitrate removal	1996		
Kleylehof	Austria		3500	Nitrate removal	1997		
GENERAL ELECTRIC WATER & PROCESS (formerly ionics Inc)							
Abrera, BCN	SPAIN	Surface water	220.000	salinity reduction	2008	576	2
Magna, Utah	USA	Groundwater	22.728	As, Perchlorate reduction	2008		2
Sherman, Texas	USA	Surface water	27.700	salinity reduction	1996		2
Suffolk, Virginia	USA	Groundwater	142.000	Fluoride reduction	1990		
Brazos River, Tx	USA	Surface water	18.900		1998		
Maspalomas	SPAIN	Groundwater	37.000	salinity reduction	1986		
Safaria	ISRAEL		2.250	Nitrate reduction	1993		
Ruth Fischer School, Ar	USA	Groundwater	62	Nitrate reduction	1999		
Kazusa Town	JAPAN	Groundwater	150	Nitrate reduction	1998		
BOD Donnigton	UK		600	Nitrate reduction	1997		1
Bermuda WaterWorks	Bermudas	Groundwater	2.300	Nitrate reduction			
Ull de Bou, Valencia	SPAIN	Groundwater	8.000	salinity reduction	2005	100	2
Falconera, Valencia	SPAIN	Groundwater	24.000	salinity reduction	2007		2
Terrassa	SPAIN	Waste Water		salinity reduction	2004		2
Wasington, Iowa	USA	Groundwater	2,5 MGD	Ra & salinity reduction			
Fairfiled, Iowa	USA	Groundwater	4 MGD	salinity reduction			
Albuquerque, N.M.	USA	Groundwater		As, Fe, Mn & salinity reduction			
MEGA a.s.							
Sant Boi, BCN	SPAIN	Waste Water	57.024	salinity reduction	2010	96	2
Dolni Rozinka	Czech Rep.	Uranium mining	1.752	Uranium reduction	2007	30	
Fuerteventura	SPAIN	Surface water					
Agra-Delhi	INDIA	Casein whey		Casein whey desalting	2008	6	
DOLNI ROZINKA	zech Republ	Waste water	1.440	anced sulfate sludge lake waste waters	3, 1995, 2	30	3
ZIAR nad HRONOM	Slovakia	Waste water	350	f sludge lake waste water after aluminu	2003	12	3
ARAK	Iran	Waste water	4.800	aste waters to produce make up water	008 - 201	18	3
BARCELONA	SPAIN	River water	240	water desalination to produce drinking	2008	2	2
ALBERTA	Canada	Well water	40	Gas well water desalination	2008	1	1
BARCELONA	SPAIN	Waste water	44.000	e water (tertiary) treatment to produce	008 - 201	96	2
VISP	Switzerland	Pharma	10 tons/day	Purification of organic solutions	002, 200	2	1
OAO BMKK	Russia	Dairy industry	up to 200 tons/day	sweet and lactic acid whey for DWP-50	2006	2	1
BHOLE BABA	India	Dairy industry	up to 160 tons/day	NF concentrated casein whey for DWF	2008	6	2
JIHLAVA	zech Republ	Dairy industry	up to 100 tons/day	ation of pre-concentrated sweet whey	2009	6	2



EDR Gandia



2 x 16,000 m³/d

Nitratos en agua subterránea



Fuerteventura



meqa



Tratamiento terciario

Sarasota, Florida, USA



Potabilización, Agua pozo con H_2S , $CaSO_4$, CaF_2

EDAR Llobregat. Barcelona

meqa



Tratamiento terciario para regadío

 **ATLL**
Concessionària de la Generalitat de Catalunya, SA



Buenavista. Tenerife



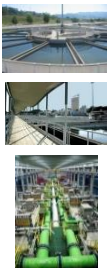
Aguas Blancas para regadío



Santa Cruz de Tenerife



REUTILIZACIÓN TERCIARIO



Adeje-Arona. Tenerife

REUTILIZACIÓN TERCIARIO

