



Cátedra FACSA de innovación  
en el ciclo integral del agua

UNIVERSITAT  
JAUME I

# 1ª Jornada Técnica en tratamiento de aguas:

Aplicaciones de las  
tecnologías de membrana en  
el ciclo integral del agua

 UNIVERSITAT  
JAUME I

Cátedra FACSA de Innovación  
en el Ciclo Integral del Agua

  
facsa  
ciclo integral del agua

Universitat Jaume I  
Aula Magna de la Escuela Superior de Tecnología  
y Ciencias Experimentales (ESTCE)

**14-15 diciembre 2017**



Cátedra FACSA de innovación  
en el ciclo integral del agua

UNIVERSITAT  
JAUME·I

## Ósmosis inversa aplicada al tratamiento de aguas salobres. Evolución de la eficiencia energética.

Ponente: F. Javier García Castillo  
[jgarcia@facsa.com](mailto:jgarcia@facsa.com)

Autores:  
F. Javier García Castillo – Manuel Ortiz Gómez

**Facsa**  
ciclo integral del agua

# Índice

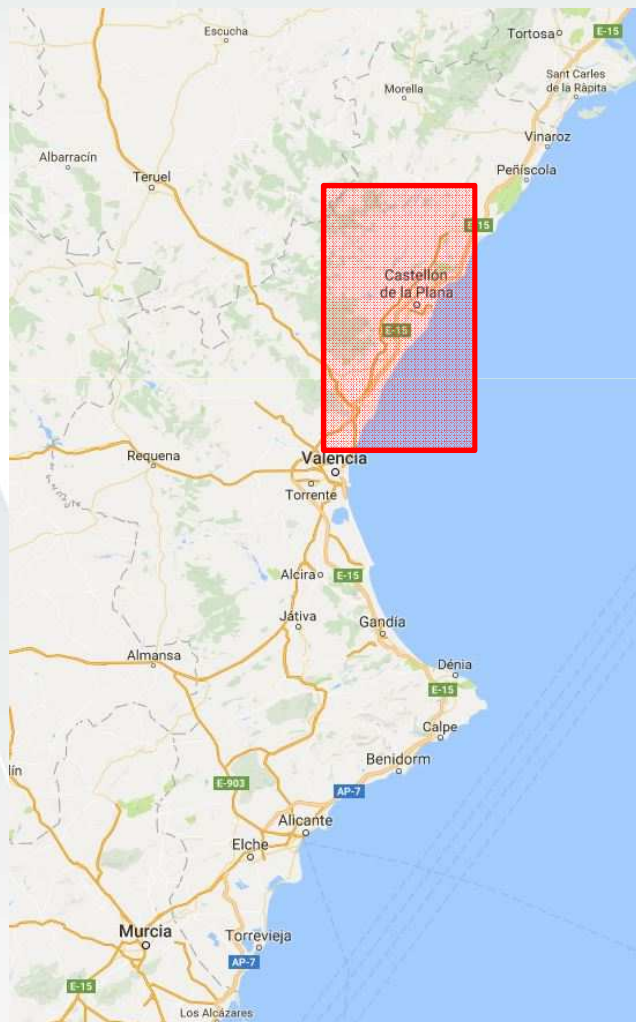
- Introducción
- Tecnología
- Descripción de la planta
- Objetivo
- Metodología
- Resultados
- Conclusiones

# Introducción

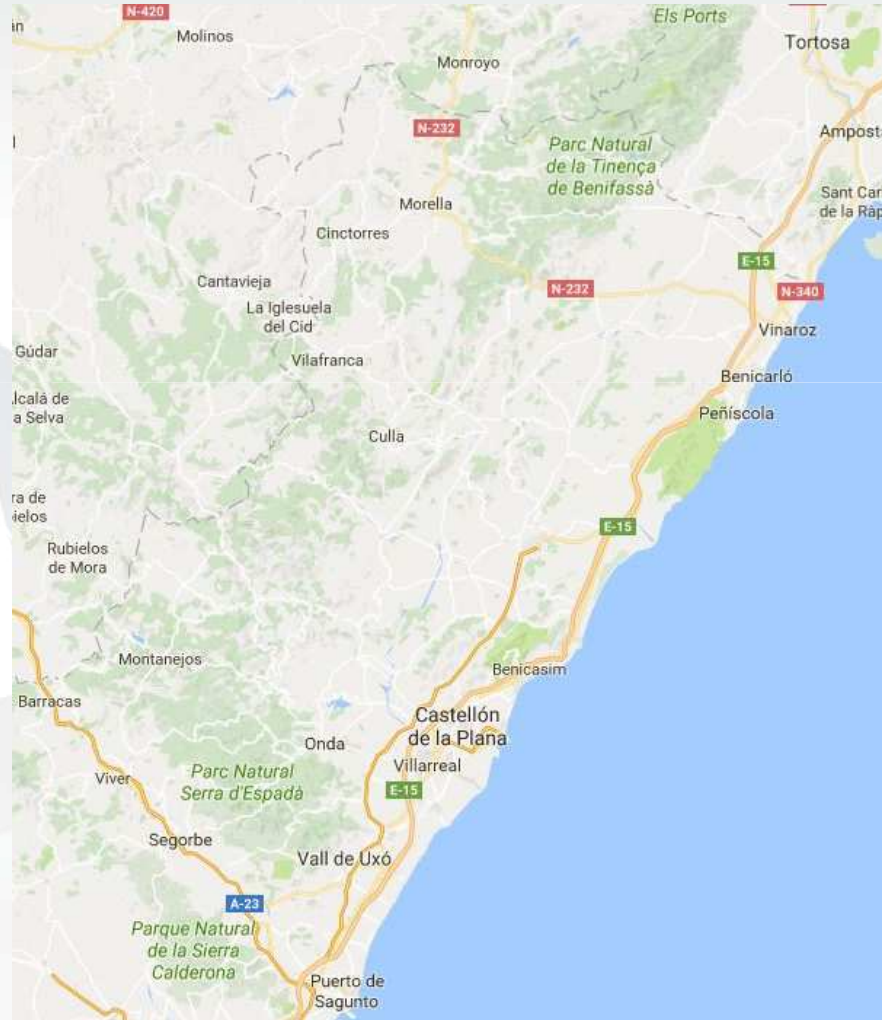
## Situación



# Introducción

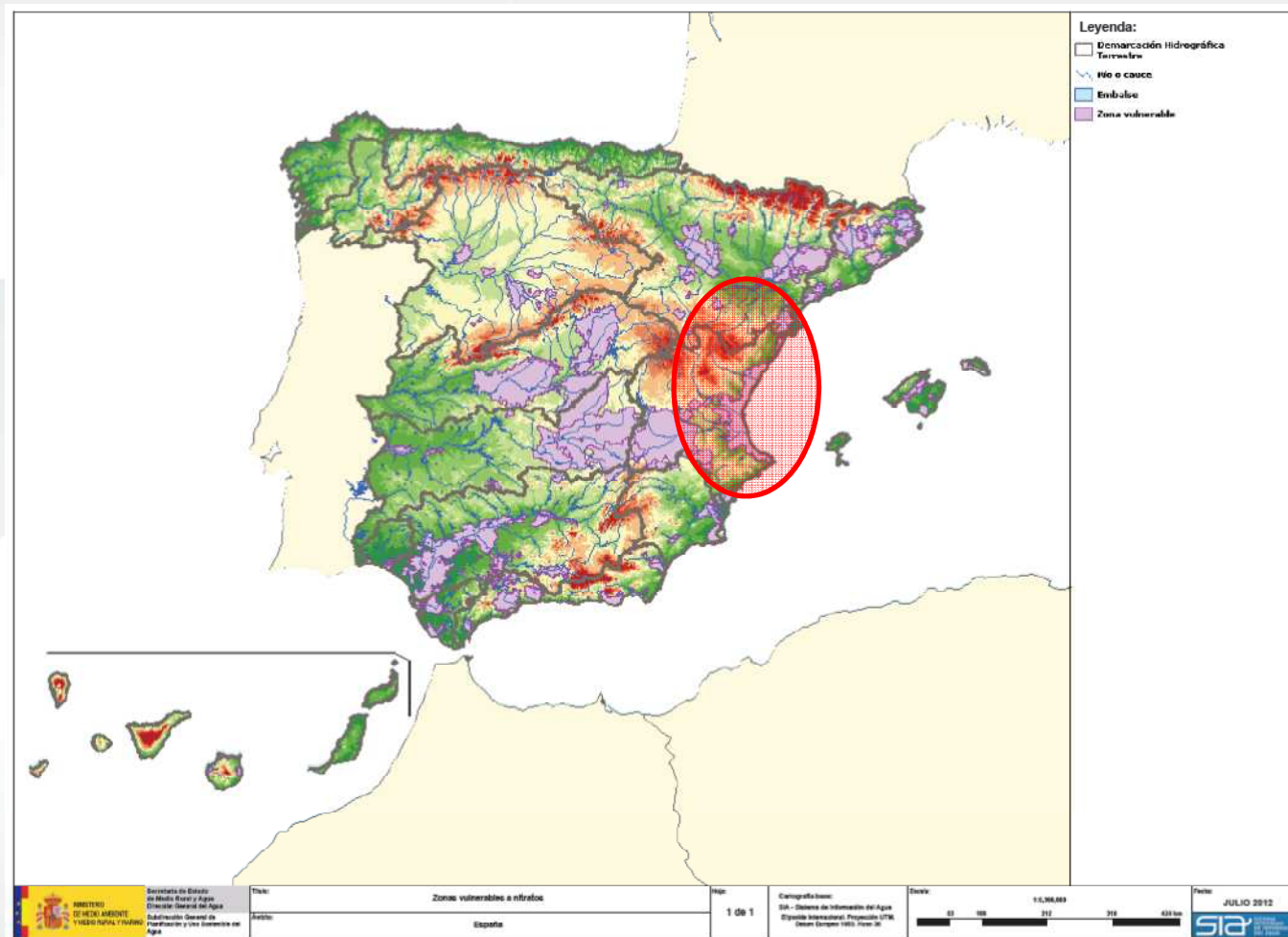


# Introducción



# Introducción

## Zonas vulnerables a nitratos en el territorio español



Fuente: : Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente. [www.magrama.gob.es](http://www.magrama.gob.es)

# → Introducción

## Problemática

Calidad del agua

Consumo excesivo



## Problemática. Calidad del agua

**Características del agua de consumo, año 2000**  
**Valores medios municipio tipo**

PARÁMETRO	VALOR	LÍMITE RD 1138/90	LÍMITE RD 140/2003
pH	7,6	9,5	6,5 – 9,5*
Conductividad	3.250 $\mu$ S/cm		2.500 $\mu$ S/cm*
Bicarbonatos	295 mg/l		
Cloruros	830 mg/l		250 mg/l
Sulfatos	460 mg/l	250 mg/l	250 mg/l
Nitratos	235 mg/l	50 mg/l	50 mg/l
Calcio	380 mg/l		*
Magnesio	163 mg/l	50 mg/l	*
Sodio	250 mg/l	150 mg/l	200 mg/l
Potasio	5 mg/l	12 mg/l	

\* El agua en ningún momento podrá ser ni agresiva ni incrustante.  
El resultado de calcular el Índice de Langelier debería estar comprendido entre +/- 0,5.

## Problemática. Calidad del agua

Características del agua de consumo, año 2000  
Valores medios municipio tipo

PARÁMETRO	VALOR	LÍMITE RD 1138/90	LÍMITE RD 140/2003
pH	7,6	9,5	6,5 – 9,5*
Conductividad	3.250 $\mu$ S/cm		2.500 $\mu$ S/cm*
Bicarbonatos	295 mg/l		
Cloruros	830 mg/l		250 mg/l
Sulfatos	460 mg/l	250 mg/l	250 mg/l
Nitratos	235 mg/l	50 mg/l	50 mg/l
Calcio	380 mg/l		*
Magnesio	163 mg/l	50 mg/l	*
Sodio	250 mg/l	150 mg/l	200 mg/l
Potasio	5 mg/l	12 mg/l	

- \* El agua en ningún momento podrá ser ni agresiva ni incrustante.  
El resultado de calcular el Índice de Langelier debería estar comprendido entre +/- 0,5.

## Problemática. Consumo excesivo

**Demanda de agua, año 2000**  
**Valores medios municipio tipo**

<b>DEMANDA</b>	<b>VALOR (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>DOTACIÓN (L/hab/d)</b>
Demanda media	4.650	406
Demanda punta	7.900	690

Población año 2000	11.453 hab.
--------------------	-------------

**INE 2000**  
**323 L/hab/d**

## Problemática. Consumo excesivo

Demanda de agua, año 2000

Planta de tratamiento

Demanda media	7.900	690
Demanda punta	7.900	690

P  
Campaña reducción  
consumo

INE 2000  
323 L/hab/d

## → Tecnología

Procesos a llevar a cabo en función de los contaminantes presentes



→ Tecnc

Proce  
contai

Processes/ Technologies	Impurities		Dissolved OM		Pathogenic organisms	Specific parameters Effectiveness
	Suspended solids	Colloids	NOM (humic acids)	"synthetic" OM (micro pollutants: pesticides...)"		
Desludging/Grit Removal	X					
Screening	X					
Coagulation } Flocculation } Sedimentation } Flottation	X	X	X	x	x	(Metals...) X (Algae...) X
Filtration	X	x			x	(Algae) X
Biological filtration	x	x	x	x	x	(NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , Fe, Mn, H <sub>2</sub> S...) X
Adsorption (PAC, GAC)	x		x	X	x	(Heavy metals) X
Oxidation-Disinfection (Cl <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> )			x	x to X	x to X	(Fe, Mn, As) X with subsequent separation
UV Disinfection				x	X	
Membrane filtration (UF)	X	X	x		X	
UF membranes + adsorbant (Cristal)	x	x	X	X	X	
Desalination membranes (NF, RO)			X	X	X	(All ions) X
Ion exchange			X	x to X		
Aeration						(NO <sub>3</sub> , hardness) X

## Ranking de complejidad técnica y coste de procesos de tratamiento de agua

Ranking	Examples of treatment processes
1	Simple chlorination Plain filtration (rapid sand, slow sand)
2	Prechlorination plus filtration Aeration
3	Chemical coagulation Process optimization for control of DBPs
4	Granular activated carbon treatment Ion exchange
5	Ozonation
6	Advanced oxidation processes Membrane treatment

## ➤ Tecnología

### Tecnologías de tratamiento

- **Intercambio iónico (IX)**
- **Electrodiálisis reversible (EDR)**
- **Ósmosis inversa (OI)**
- **Nanofiltración (NF)**



## Tecnologías de tratamiento. Criterios de selección

Criterio	IX	EDR	OI	NF
Eliminación de MO <sup>(1)</sup>	NO	NO	SI	SI
Rango de TDS <sup>(2)</sup> (mg/l)	<500	<2.000	>1.000	>500
Sensibilidad	SO <sub>4</sub> , Cl y MO		MO y TDS	MO y TDS
Facilidad de control	SI	SI	SI	SI
Funcionamiento continuo	NO	SI	SI	SI
Seguridad bacteriológica	NO	NO	SI	SI
Postratamiento	SI	NO	SI	NO
Eliminación de nitratos	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta
Modularidad	Media	Media	Alta	Alta

(1) Materia orgánica. (2) Total Dissolved Solids (Sólidos Disueltos Totales).

## Tecnologías de tratamiento. Criterios de selección

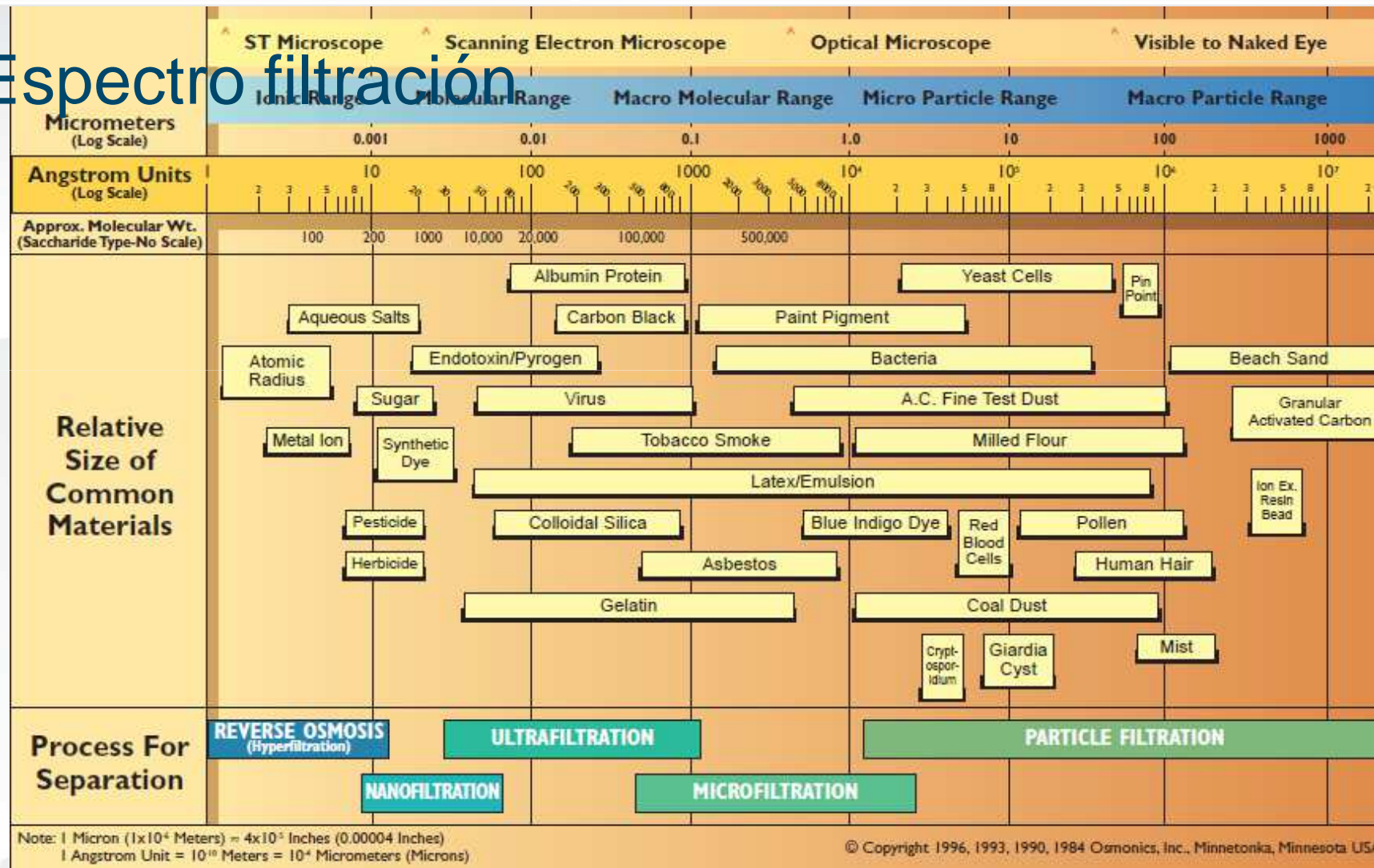
Criterio	IX	EDR	OI	NF
Eliminación de MO <sup>(1)</sup>	NO	NO	SI	SI
Rango de TDS <sup>(2)</sup> (mg/l)	<500	<2.000	>1.000	>500
Sensibilidad	SO <sub>4</sub> , Cl y MO		MO y TDS	MO y TDS
Facilidad de control	SI	SI	SI	SI
Funcionamiento continuo	NO	SI	SI	SI
Seguridad bacteriológica	NO	NO	SI	SI
Postratamiento	SI	NO	SI	NO
Eliminación de nitratos	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta
Modularidad	Media	Media	Alta	Alta

(1) Materia orgánica. (2) Total Dissolved Solids (Sólidos Disueltos Totales).

## Espectro filtración



## Espectro filtración



Fuente: Osmonics, Inc. Minnetonka, Minnesota USA.

# Tecnología

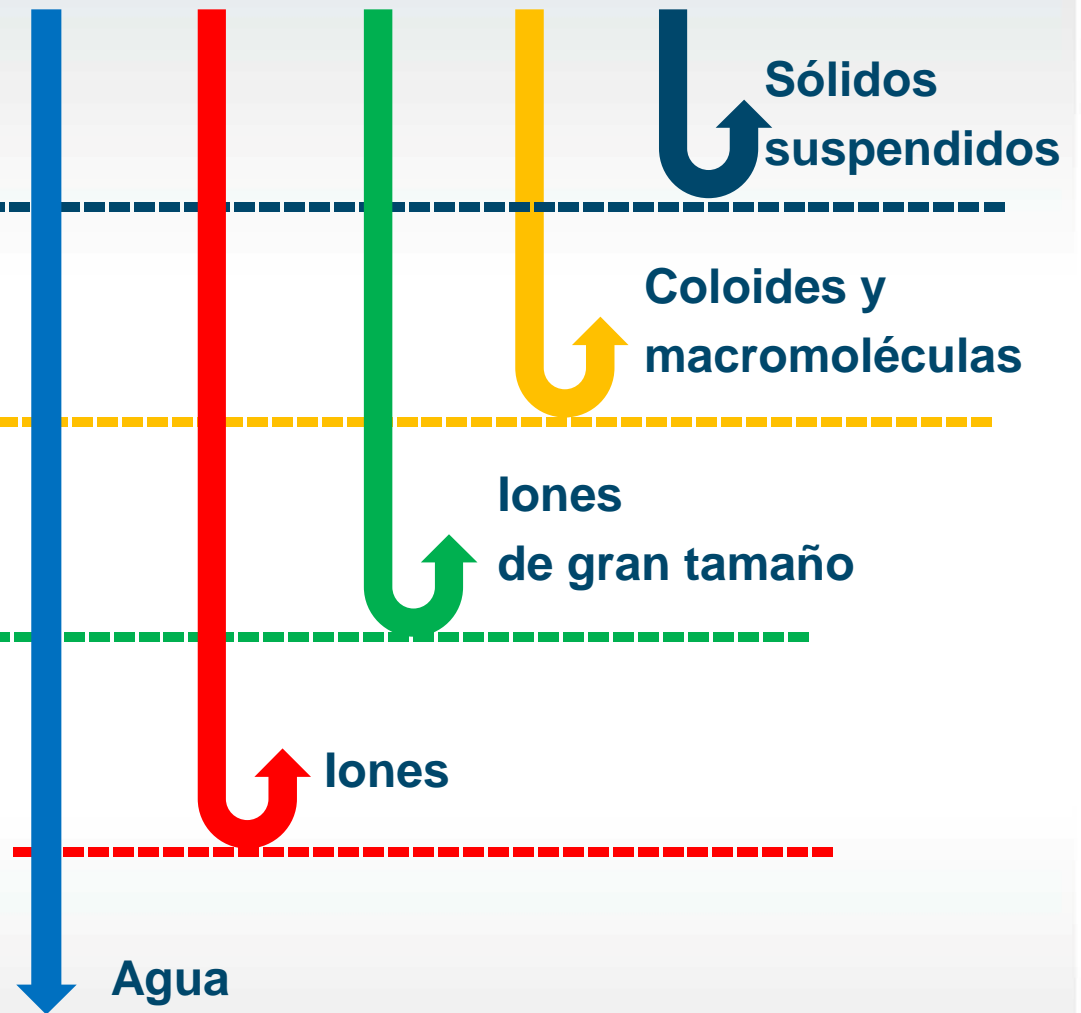
## Espectro filtración

**Microfiltración (MF)**

**Ultrafiltración (UF)**

**Nanofiltración (NF)**

**Ósmosis inversa (OI)**



→ Tecnología

**Facsa**<sup>f</sup>  
ciclo integral del agua



ÓSMOSIS INVERSA



MEMBRANAS

# Tecnología





## Comparación entre las distintas membranas

Modelo membrana	Rechazo de sales (%)	Flujo (m <sup>3</sup> /d)	Área activa (m <sup>2</sup> )	Presión operación (bar)
<b>Agua salobre</b>				
Alto rechazo (HR)	99,7	48,0	41	15,5
Bajo consumo (LE)	99,3	48,0	41	10,3
Ultra bajo consumo (ULE, XLE)	99,0	53,0	41	8,6
<b>Agua de mar</b>				
Alto rechazo	99,82	25,0	41	55
Alto rechazo + bajo consumo	99,8	30,2	41	55
Bajo consumo	99,6	34,1	41	48
Ultra bajo consumo	99,3	34,2	41	41
<b>Nanofiltración</b>				
	97,0			4,8

## Selección de la membrana adecuada

Parámetro	Entrada (ppm)	Ultra baja presión	Baja presión	Alto rechazo	Mar (LE)
Calcio	360	8,49	4,36	1,70	0,68
Magnesio	155	3,71	1,91	0,74	0,30
Sodio	250	32,36	14,61	5,21	4,14
Bicarbonatos	295	8,79	12,17	4,96	2,70
Sulfatos	460	8,23	3,73	1,47	0,36
Cloruros	830	31,01	14,53	5,79	3,34
Nitratos	235	59,13	20,50	6,24	5,91
pH	7,6	6,2	6,3	6,0	5,7
TDS	2.592	15,2	72	26,2	17,5
Presión operación (bar)		9,5	10,8	14,3	18,4
Consumo (kWh/m <sup>3</sup> )		0,44	0,50	0,66	0,85

Límite RD 140/2003  
50 ppm

# Fiabilidad programas simulación

The image displays two software interfaces used for water treatment simulation. On the left is the 'Projection Software' interface, and on the right is the 'Toray System Design 2' interface.

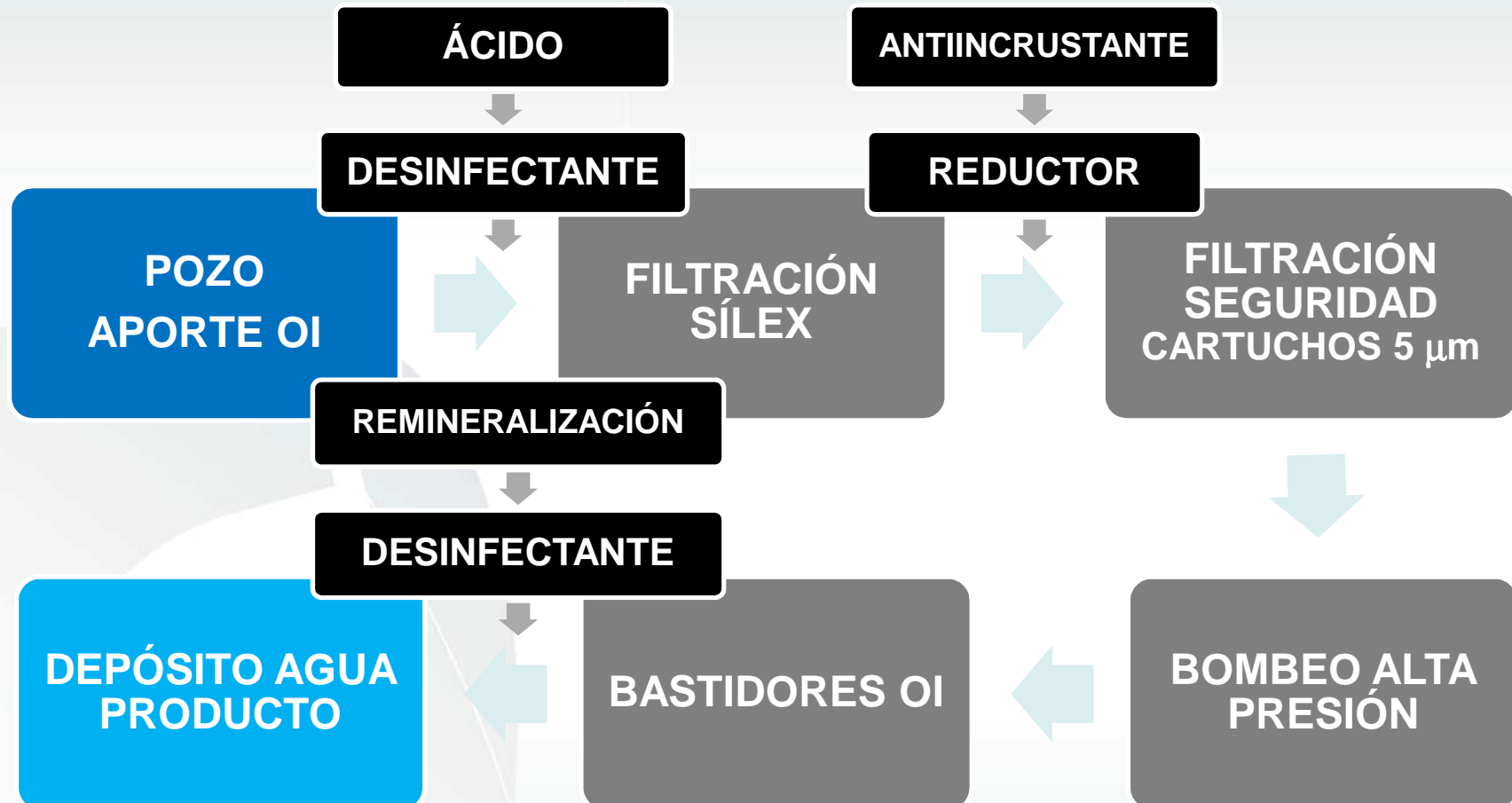
**Projection Software Interface:**

- System Input:**
  - FEED WATER: Water Type: Seawater, 32000PPM
  - Temp: 25 °C
  - pH: 7.8
  - Membrane Age: 0.0
- Specify Feed Water...**
- FLOW RATE:**
  - Permeate: [ ] gpd
  - Feed: [ ] gpd
  - Concentrate: [ ] gpd
  - Recovery: [ ] %
- ENERGY EFFICIENCY:**
  - ERD Type: None
  - Pump Efficiency: 100.0 %
- Specify Efficiencies...**
- UNITS:**
  - Temp: °C-Celsius
  - Flow: GPD
  - Pressure: PSI
  - Flux: GFD
- Project Name:** [ ] **Company Name:** [ ] **Username:** [ ]

**Toray System Design 2 Interface:**

- Untitled Project - Case 1**
- Configuration:**
  - Flow:  gpm  m<sup>3</sup>/h
  - Pressure:  psi  bar
  - Temperature:  °F  °C
  - Flux:  gfd  LMH
- Water Chemistry Adjustments:**
  - Adjust Final pH
  - RO TOC Rejection
  - UF TOC Rejection
- Process Flow Diagram:**
  - Feed Water: 100 m<sup>3</sup>/h
  - RO (Reverse Osmosis) stage
  - Product Water: 75 m<sup>3</sup>/h
  - Water Type: Well Water
- Technologies Panel:**
  - Pre-treatment
  - Bulk Demineralization: RO, RO/ROSC
  - Polishing: IX/MB
  - Split and Mix Points

# → Descripción de la planta



Esquema de tratamiento tipo de una IDAS

# → Descripción de la planta



# → Descripción de la planta



# → Descripción de la planta



## → Descripción de la planta



Cortesía: Desaladora de Moncofa. FACSA (Acuamed).

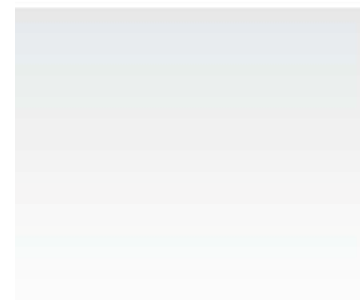


Reducción costes  
explotación



Consumo energético

# Objetivo



## ➤ Metodología

- **RECUPERADORES DE ENERGÍA**
- **AVANCES EN TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS**
- **ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN/BOMBEO DE ALTA PRESIÓN**
- **SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN EN CONTINUO**

## ➤ Metodología

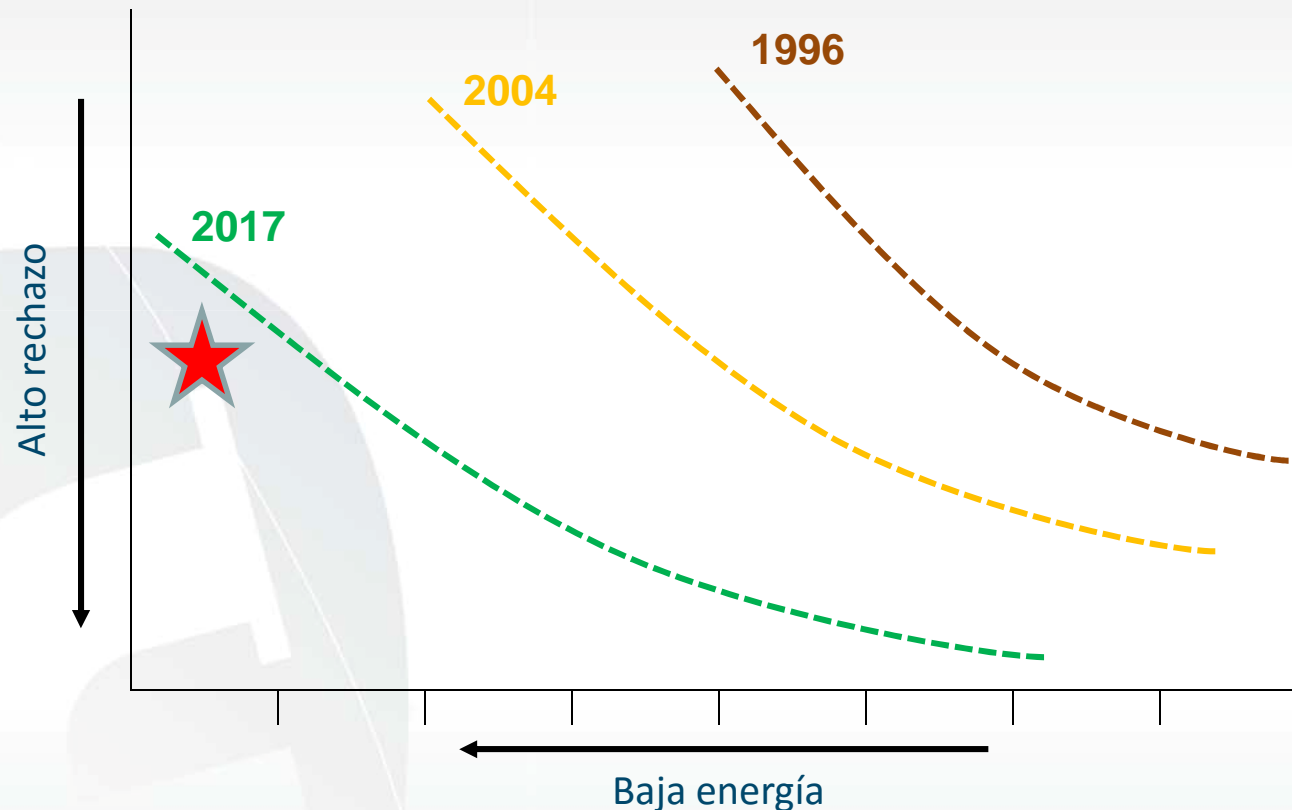
- RECUPERADORES DE ENERGÍA
- **AVANCES EN TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS**
- ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN/BOMBEO DE ALTA PRESIÓN
- SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN EN CONTINUO

## ➔ Metodología

### Avances en tecnología de membranas

- **NUEVOS MODELOS DE MEMBRANAS**
  - ✓ **MAYOR SUPERFICIE y PERMEABILIDAD**
  - ✓ **MAYOR RECHAZO**
  - ✓ **MENOR CONSUMO ENERGÉTICO**

## Avances en tecnología de membranas



Fuente: Adaptado de Vila, S., Gasià, E., Chang, R., Blazheska, J., Salgado, B., García-Molina, V. (2014). EFICIENCIA ENERGÉTICA EN DESALACIÓN: REFERENCIAS CON ELEMENTOS DE ÓSMOSIS INVERSA DE ÚLTIMA GENERACIÓN DE DOW CHEMICAL. X Congreso Internacional AEDyR. Sevilla, España.

## ➔ Metodología

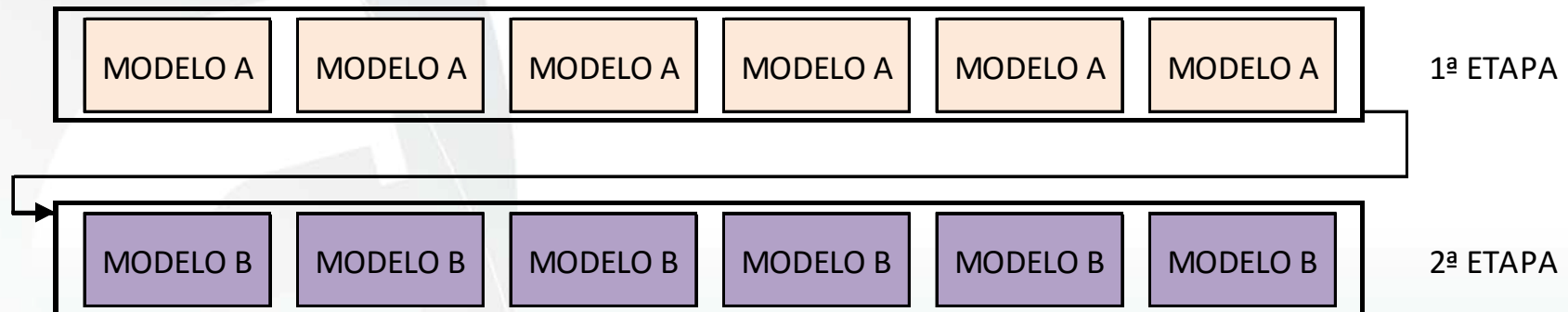
### Avances en tecnología de membranas

- NUEVOS MODELOS DE MEMBRANAS
- CONFIGURACIONES HÍBRIDAS
  - ✓ 1<sup>a</sup>/2<sup>a</sup> ETAPA
  - ✓ INTERIOR TUBOS PRESIÓN

# Metodología

## Avances en tecnología de membranas

- NUEVOS MODELOS DE MEMBRANAS
- CONFIGURACIONES HÍBRIDAS
  - ✓ 1ª/2ª ETAPA

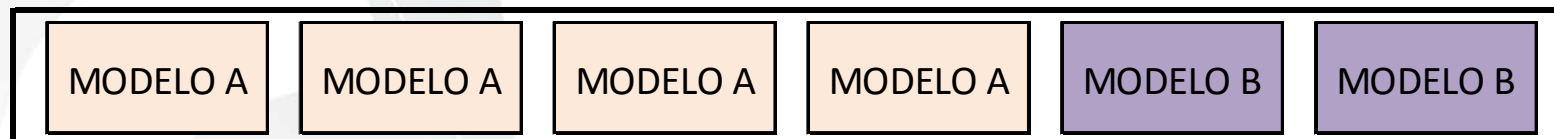




## → Metodología

### Avances en tecnología de membranas

- NUEVOS MODELOS DE MEMBRANAS
- CONFIGURACIONES HÍBRIDAS
  - ✓ 1<sup>a</sup>/2<sup>a</sup> ETAPA
  - ✓ INTERIOR TUBOS PRESIÓN

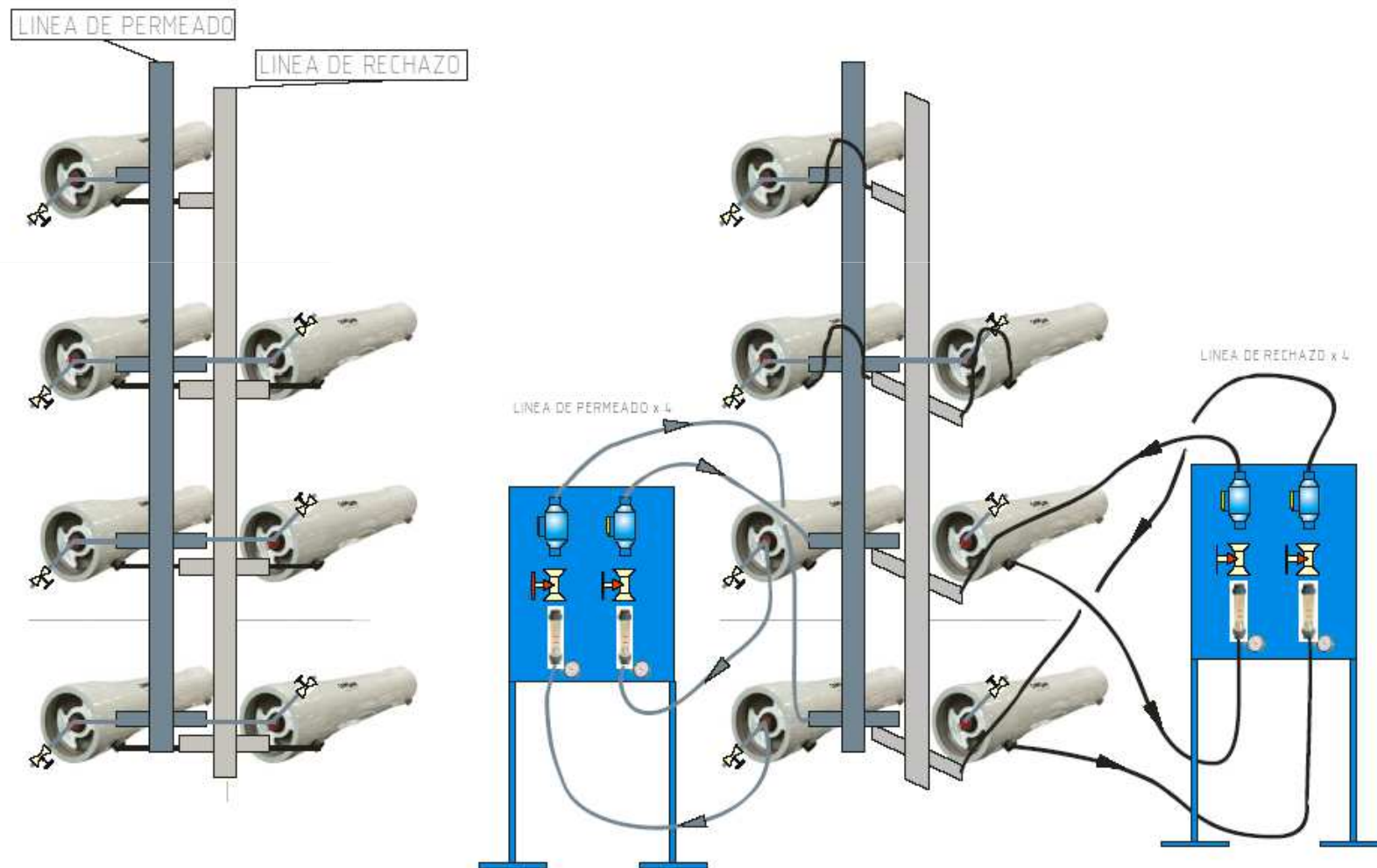


## ➔ Metodología

### Avances en tecnología de membranas

- NUEVOS MODELOS DE MEMBRANAS
- CONFIGURACIONES HÍBRIDAS
- NUEVOS PROTOTIPOS
  - ✓ SUPERFICIE ACTIVA
  - ✓ ESPACIADORES
  - ✓ RECHAZO SALES

## Avances en tecnología de membranas



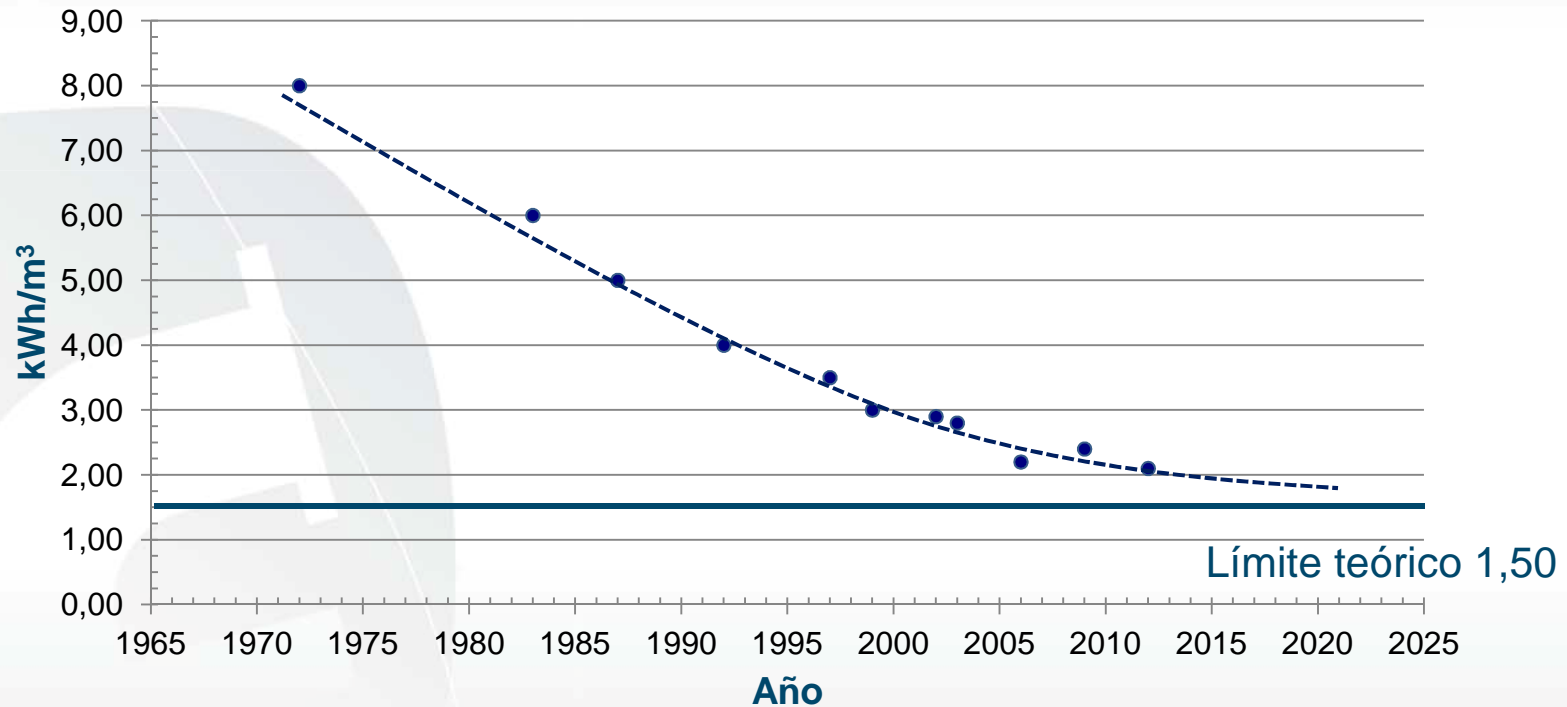
# → Metodología

## Avances en tecnología de membranas



## Avances en tecnología de membranas

### Evolución consumo específico en SWRO



Fuente: Adaptado de Sanz, M.A. (2016). SUEZ: Sustainable Solutions for Desalination & Water Reuse. SIWW: Desalination & Water Reuse Business Forum. Singapore.

Mejora calidad  
producto y <P aporte



Ahorro energético 5%



Ahorro energético 5%

## Ejemplo

### Datos planta

Capacidad planta:	10.000 m <sup>3</sup> /d
Consumo específico:	1,1 kWh/m <sup>3</sup>
Potencia contratada:	505 kWh
Factor utilización	75%

Producción anual:	2.737.500 m <sup>3</sup> /año
Consumo energía anual:	3.011.250 kWh/año



## Ejemplo

### Coste energía

Término potencia (fijo)	105,00 €/kWh/año
Término energía (variable)	0,12 €/kWh

Coste energético TP	53.025 €/año TP
Coste energético TE	361.350 €/año TE
Coste energético TOTAL	414.375 €/año

### Ahorro

Ahorro 5% anual	<b>20.719 €/año</b>
-----------------	---------------------

## Ejemplo

### Coste membranas

Membranas instaladas	450 ud
Precio membrana	500 €/ud
Coste membranas instaladas	225.000 €

Tasa reposición anual	10%
Coste reposición anual	22.500 €/año

Coste membranas eficientes	+15%
Sobrecoste membranas	3.375 €/año

## Ejemplo

### Resumen

**Ahorro 5% anual**

20.719 €/año

**Sobrecoste membranas**

3.375 €/año

**Beneficio neto**

**17.344 €/año**

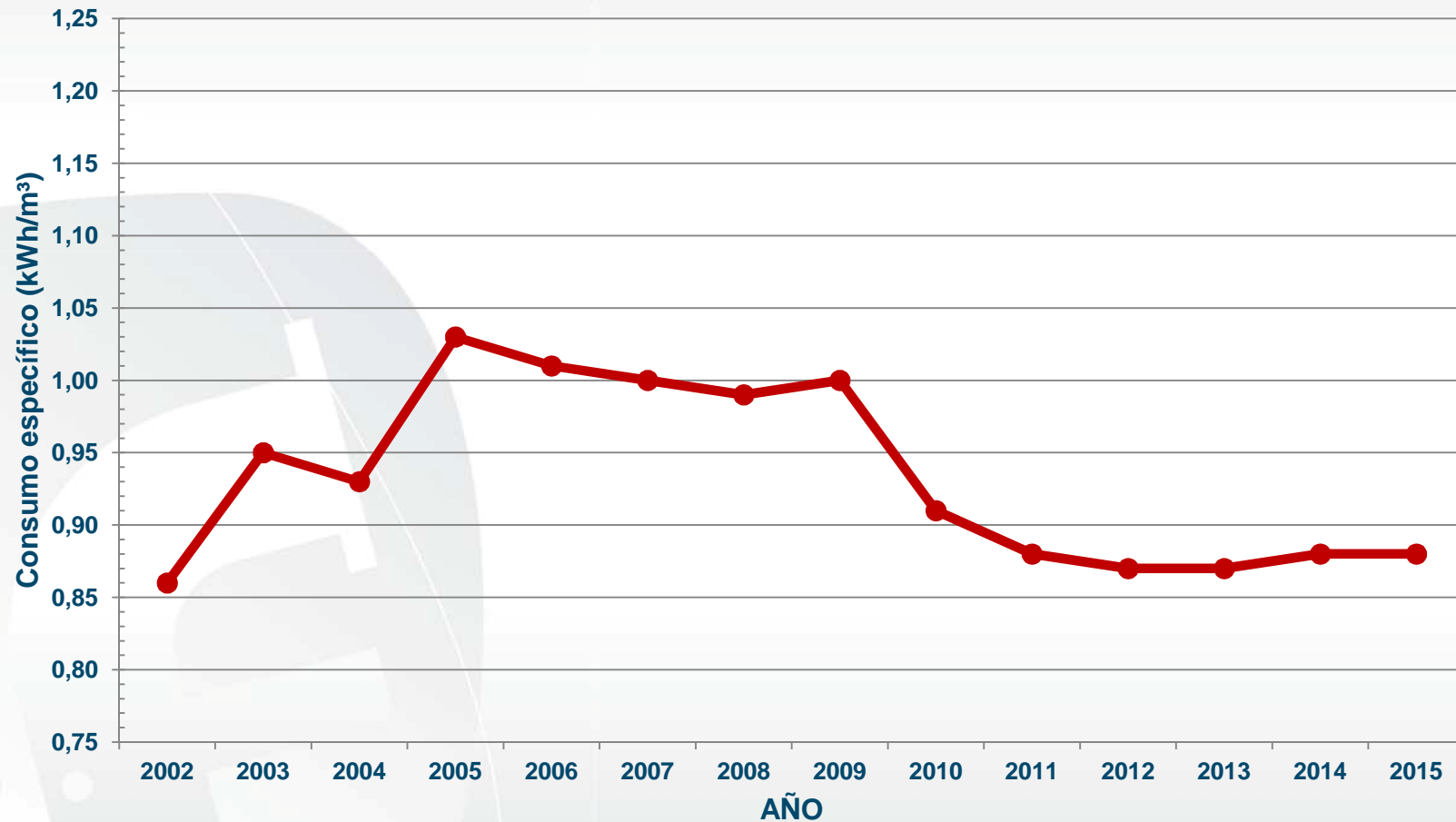
**Tasa reposición extra**

**+6,7%**

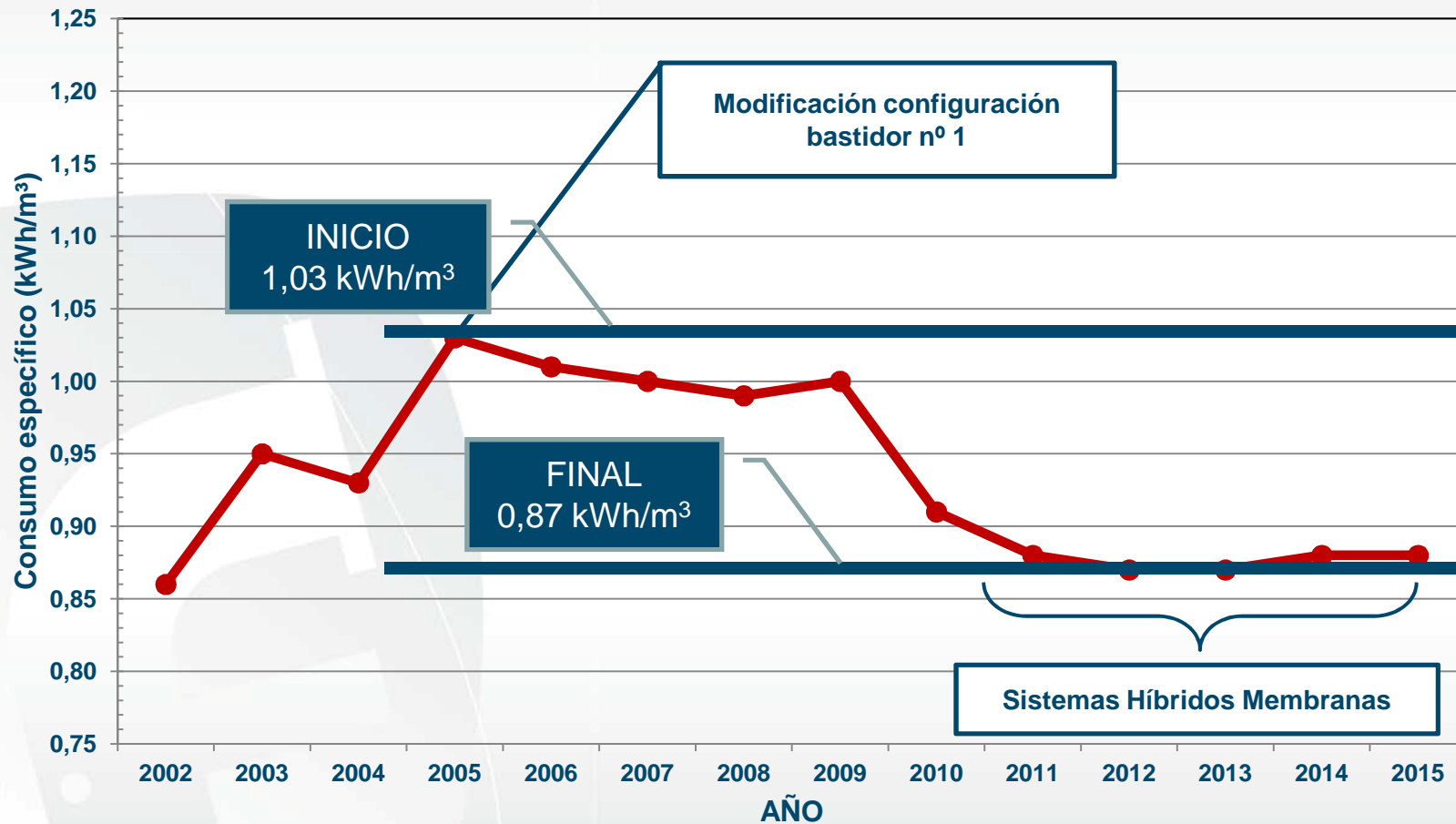
# Resultados

Año	Ahorro anual (%)	Ahorro anual (€)	Sobrecoste MEM LE (€)	Beneficio neto (€)
1	0,5	2.071,88	3.375,00	-1.303,13
2	1,0	4.143,75	3.375,00	768,75
3	1,5	6.215,63	3.375,00	2.840,63
4	2,0	8.287,50	3.375,00	4.912,50
5	2,5	10.359,38	3.375,00	6.984,38
6	3,0	12.431,25	3.375,00	9.056,25
7	3,5	14.503,13	3.375,00	11.128,13
8	4,0	16.575,00	3.375,00	13.200,00
9	4,5	18.646,88	3.375,00	15.271,88
10	5,0	20.718,75	3.375,00	17.343,75
<b>Total acumulado ...</b>		<b>113.953,13</b>	<b>33.750,00</b>	<b>80.203,13</b>
<b>Media anual ...</b>		<b>11.395,31</b>		<b>8.020,31</b>

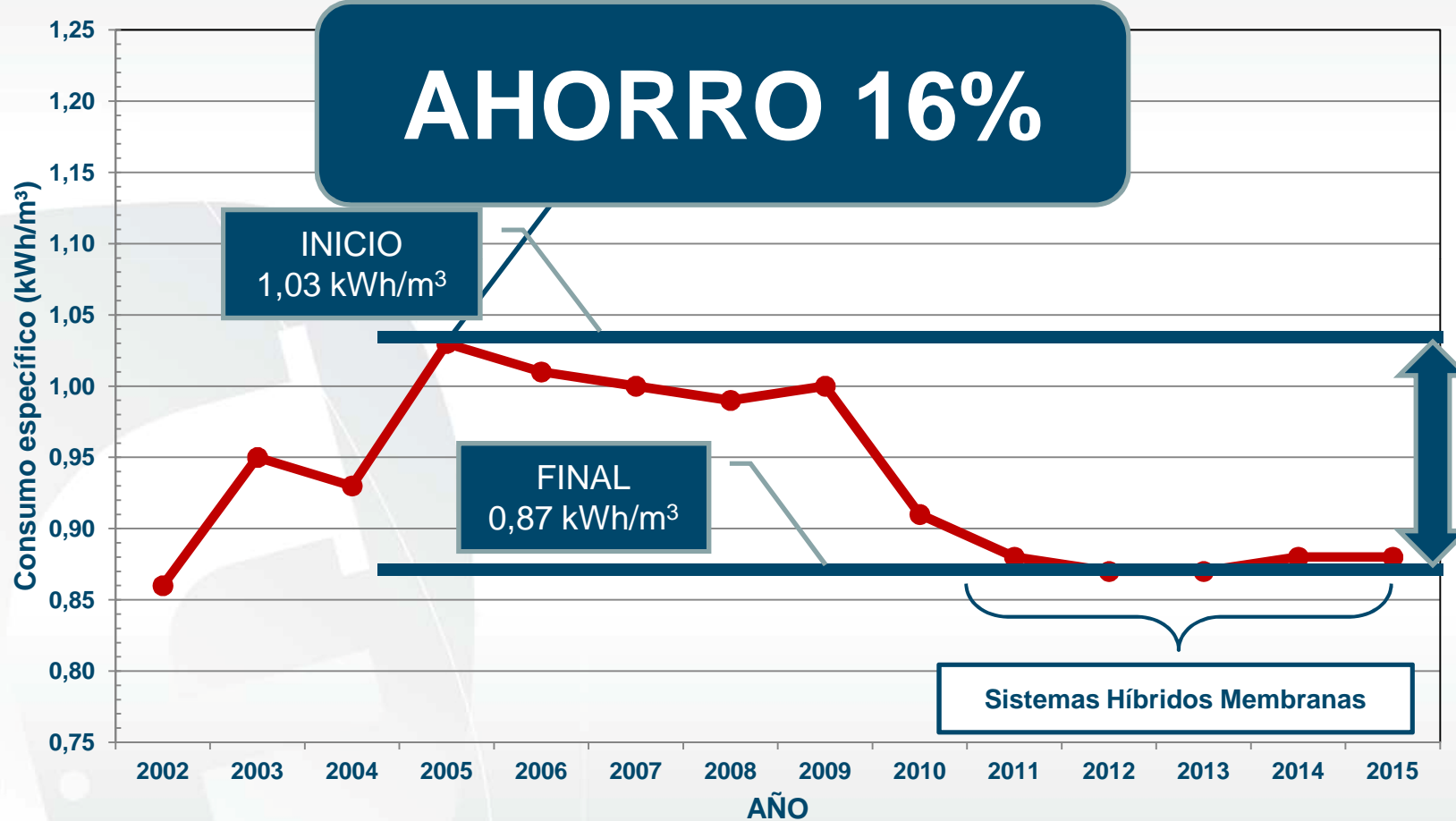
## Planta potabilizadora por OI Evolución del consumo específico



## Planta potabilizadora por OI Evolución del consumo específico



## Planta potabilizadora por OI Evolución del consumo específico



## ➔ Conclusiones

- ÓSMOSIS INVERSA: MTD TRATAMIENTO AGUA SALOBRE >2 G/L
- FASE DISEÑO: CALIDAD INICIAL/FINAL, MEMBRANA
- CONSUMO ENERGÉTICO FACTOR IMPORTANTE
- EQUILIBRIO CAPEX/OPEX
- INSTALACIONES EJECUTADAS EVALUAR VIDA ÚTIL
- PENDIENTES DEL MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL Y TARIFICACIÓN
- CONTACTO CONTINUO FABRICANTES Y PROVEEDORES





Cátedra FACSA de innovación  
en el ciclo integral del agua

UNIVERSITAT  
JAUME·I

## Ósmosis inversa aplicada al tratamiento de aguas salobres. Evolución de la eficiencia energética.

Ponente: F. Javier García Castillo  
[jgarcia@facsa.com](mailto:jgarcia@facsa.com)

Autores:  
F. Javier García Castillo – Manuel Ortiz Gómez

**Facsa**  
ciclo integral del agua