

# AGUA Y SOSTENIBILIDAD EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE CUENCAS DEFICITARIAS

Murcia, 17 de marzo de 2016

**Cátedra del Agua y de la Sostenibilidad**

UNIVERSIDAD DE  
MURCIA



## Alternativas para el tratamiento de efluentes industriales

Mercedes Lloréns Pascual  
del Riquelme

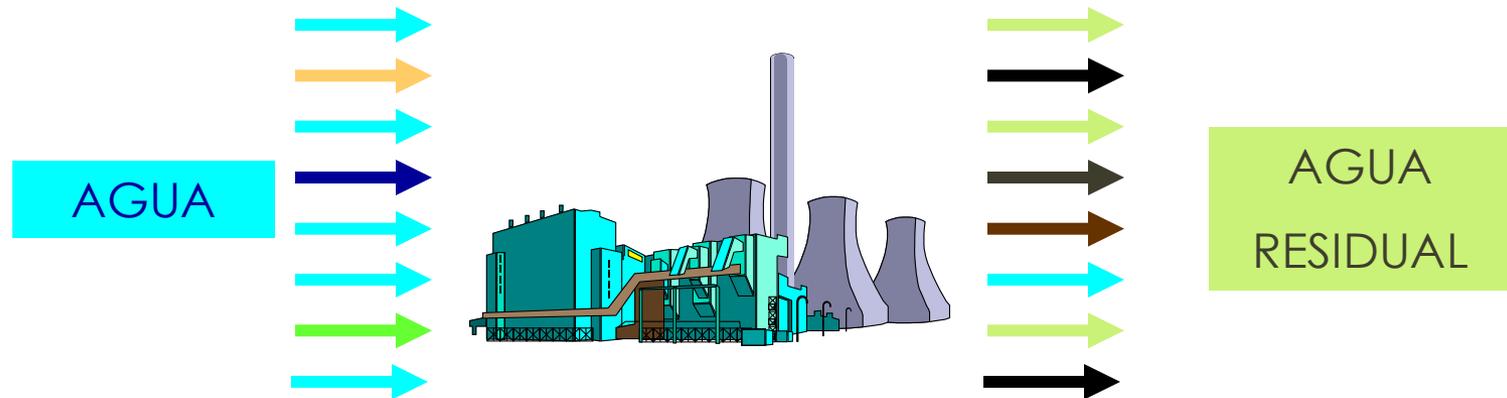
En la directiva 91/271/CEE, sobre Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, se define :

- **Aguas residuales industriales:**

Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

Las aguas utilizadas en la industria pueden proceder de diversas fuentes que principalmente son:

- Abastecimiento público
- Pozos
- Aguas superficiales
- Agua del mar
- Aguas de recuperación de procesos industriales



Aguas residuales industriales provienen principalmente de:

- Operaciones de fabricación por vía húmeda
- Precipitación
- Lavado y refrigeración de gases, líquidos y sólidos
- Producción de calor y energía
- Transporte
- Remojo o hinchado de sustancias no solubles
- Destilaciones
- Filtraciones
- Transformaciones químicas
- Limpieza de máquinas, botellas, etc.
- Higiene personal

**Líquidos residuales:** los que se derivan directamente de la fabricación de productos. Consisten en disoluciones que contienen los productos empleados en el proceso productivo. Por ejemplo: lejías negras, baños de curtido de pieles, alpechines, baños de electroplatinado, líquidos madre de industria alimentaria, etc.

**Aguas residuales de proceso:** se originan en la utilización del agua como medio de transporte, lavado, refrigeración directa, etc. y está contaminada con los productos de fabricación o con los líquidos residuales. Su concentración por agentes contaminantes es diez veces inferior a la de los líquidos residuales, pero su volumen puede llegar a ser 10-50 veces mayor.

**Aguas de refrigeración:** no han entrado en contacto con los productos y por tanto la contaminación que arrastran es su temperatura.

**Aguas de drenaje:** proceden principalmente de las pluviales. Su contaminación es baja y procede de zonas de almacenamiento de productos al aire libre, derrames, etc.

Las aguas industriales son **variables** en **volumen y composición** en cada rama de la industria e incluso para cada establecimiento del mismo ramo.

El vertido puede ser **continuo** o **discontinuo**, durante todo el año o únicamente en alguna estación determinada.

Desde el punto de vista de la contaminación, ésta puede ser:

**Física**

**Química**

**Microbiológica**

**Radiactiva**

Contaminantes:

**En disolución**

**En suspensión**

Según la naturaleza de los contaminantes:

**Orgánica**

**Inorgánica**

# Cómpoición aguas residuales

Industria	DBO	DQO	SST	pH	Aceites	Metales	NTK
Cloro Sosa			X	X		Hg	
Refino petróleo	X	X	X	X	X		X
Conservas vegetales	X	X	X	X			X
Lácteas	X	X	X	X	X		X
Mataderos	X	X	X		X		X
Fertilizantes			X	X			X
Fibras sintéticas	X	X		X			
Celulosa y papel	X	X	X	X			
Terminación superficies			X	X	X	Cr, Cd, Ni,...	
Curtición	X	X	X	X	X	Cr	X
Acero			X	X	X	Fe, Sn, Cr,...	
Azúcar	X	X	X				
Precocinados	X	X	X		X		X
Granjas	X	X	X				X
Automoción			X	X	X	Cr, Pb, Ni,...	

**Industrias con efluentes principalmente orgánicos:**

- Papeleras
- Azucareras
- Mataderos
- Curtidos
- Conservas (vegetales, carnes, pescado.....)
- Lácteas (leche, mantequilla, queso.....)
- Fermentación (fabricación de alcoholes, levaduras...)
- Preparación de productos alimenticios (aceites...)
- Bebidas
- Lavanderías

**Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos:**

- Refinerías y petroquímicas
- Coquerías
- Fabricación de productos químicos varios
- Textiles

**Industrias con efluentes principalmente inorgánicos:**

- Limpieza y recubrimiento de metales
- Explotaciones mineras y salinas
- Fabricación de productos químicos inorgánicos

**Industrias con efluentes con materias en suspensión:**

- Lavaderos de mineral y carbón
- Corte y pulido de mármol y otros minerales
- Laminación en caliente y colada continua

**Industrias con efluentes de refrigeración:**

- Centrales térmicas
- Centrales nucleares

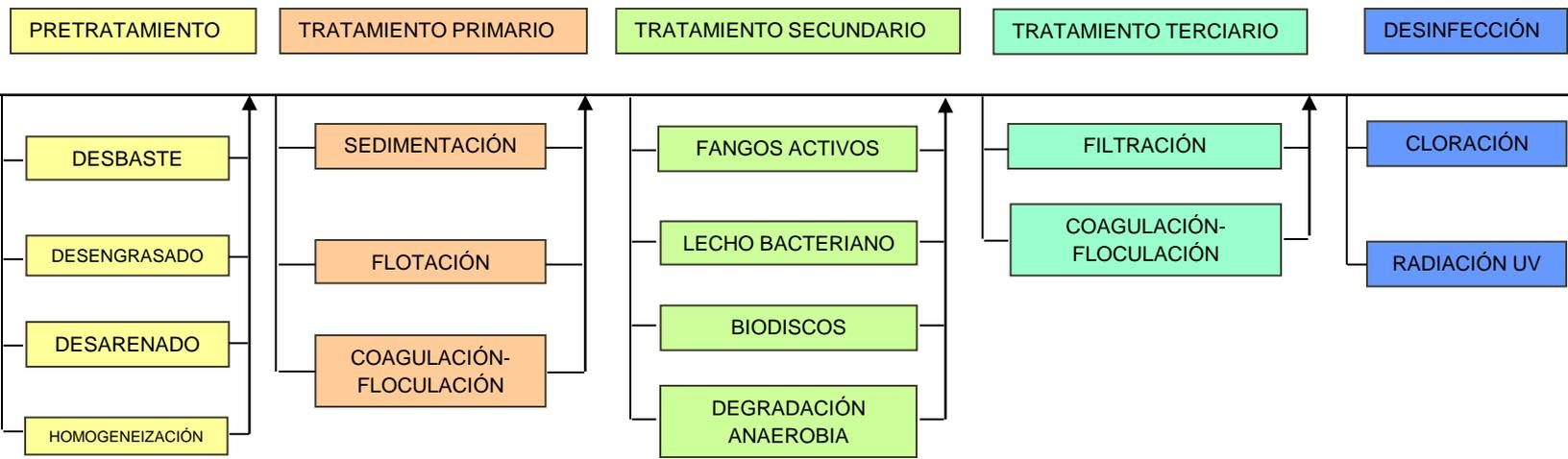
El tratamiento de aguas residuales consiste en la aplicación de unas operaciones básicas cuya secuencia y utilización vienen definidas por:

- Grado de depuración a alcanzar
- Características del agua a tratar
- Coste de instalaciones



# Etapas de una EDAR

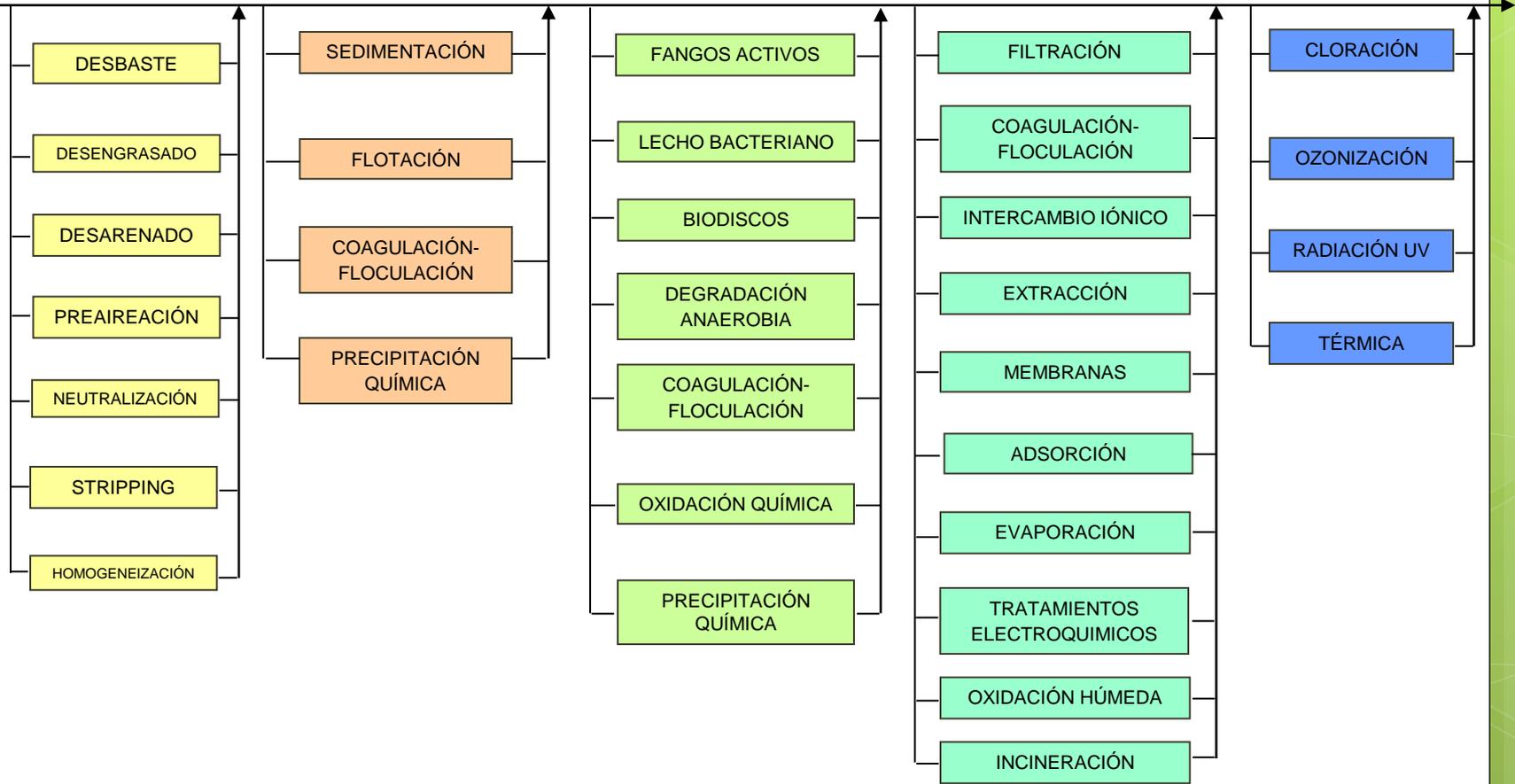
AGUA BRUTA



# Etapas de una EDAR

AGUA BRUTA

PRETRATAMIENTO      TRATAMIENTO PRIMARIO      TRATAMIENTO SECUNDARIO      TRATAMIENTO TERCIARIO      DESINFECCIÓN



## OPERACIONES DE PRETRATAMIENTO

OPERACIÓN	TIPO (*)	COMPONENTE A ELIMINAR
Desbaste	F	Cuerpos flotantes y partículas arrastradas
Dilaceración	F	Gruesos
Desarenado	F	Sólidos inorgánicos sedimentables
Desengrasado-desaceitado	F	Aceites y grasas
Preaireación	F	---
Neutralización	Q	---
Homogeneización	F	---
Desorción-stripping	F	Compuestos volátiles
Medida de caudal	F	---

(\*) F: operación física, Q: operación química



## OPERACIONES DE TRATAMIENTO PRIMARIO

OPERACIÓN	TIPO (*)	COMPONENTE A ELIMINAR
Sedimentación primaria	F	Sólidos sedimentables
Flotación	F	Material flotante o flotable
Coagulación-floculación	F, Q	Material coloidal

(\*) F: operación física, Q: operación química



Puede ser de tipo físico-químico o de tipo biológico

## **TIPOS DE PROCESOS BIOLÓGICOS**

---

Procesos aerobios.

Procesos anaerobios.

Procesos anóxicos.

Procesos aerobios, anaerobios y anóxicos combinados.

Se pueden dividir a su vez, dependiendo de si el tratamiento se lleva a cabo en:

Sistemas en cultivo en suspensión.

Sistemas en cultivo fijo.

Sistemas resultantes de la combinación de ambos.

## Eliminación de materia carbonosa

Aerobios:

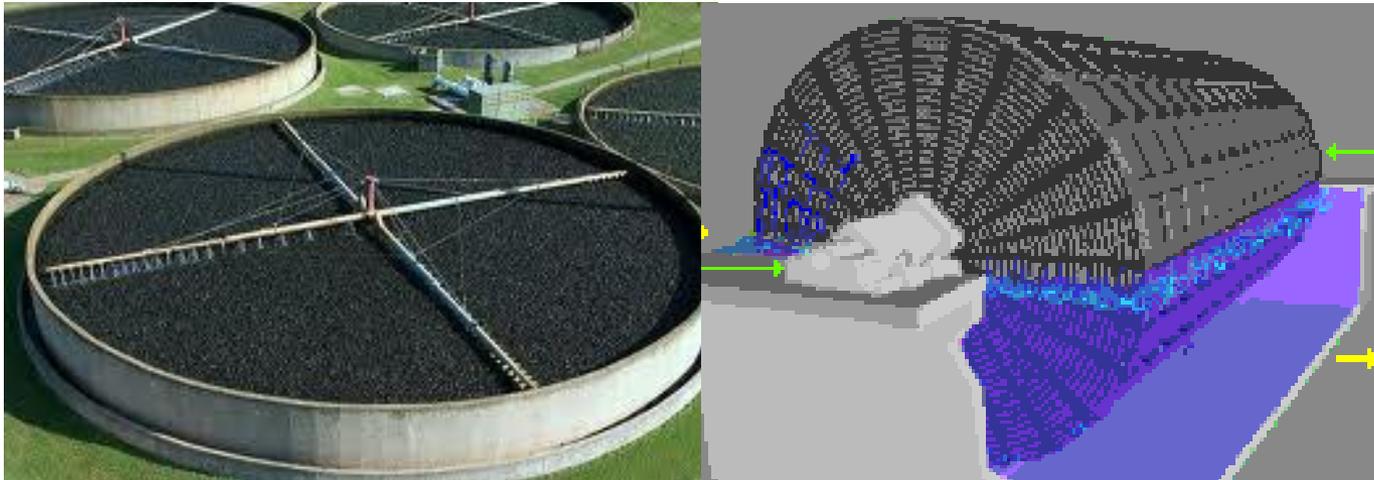
- Cultivo suspensión: fangos activados



## Eliminación de materia carbonosa

Aerobios:

- Cultivo fijo: lechos bacterianos, biodiscos



## Procesos aerobios

Cultivo suspensión	<p>Fangos activados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Convencional</li> <li>• Mezcla completa</li> <li>• Aireación graduada</li> <li>• Alimentación escalonada</li> <li>• Aireación prolongada</li> <li>• Canales de oxidación</li> <li>• Aireación de alta carga</li> <li>• Aireación modificada</li> <li>• Oxígeno puro</li> <li>• MBR</li> <li>• SBR</li> </ul>
Cultivo fijo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lechos bacterianos</li> <li>• Biodiscos</li> </ul>
Procesos combinados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biofiltros activados</li> </ul>

## Procesos anaerobios

Cultivo suspensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla completa</li> <li>• Contacto anaerobio</li> <li>• ASBR</li> <li>• UASB</li> <li>• MBR</li> </ul>
Cultivo fijo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro anaerobio (AF)</li> <li>• Lecho expandido</li> <li>• Lecho fluidizado</li> <li>• Película fija (DSFF)</li> </ul>



## Eliminación de nitrógeno

Requiere zona aerobia (nitrificación) y anóxica (desnitrificación)

✧ Fango único:

- ✓ Preanóxicos
- ✓ Postanóxicos
- ✓ Nitrificación/desnitrificación simultánea

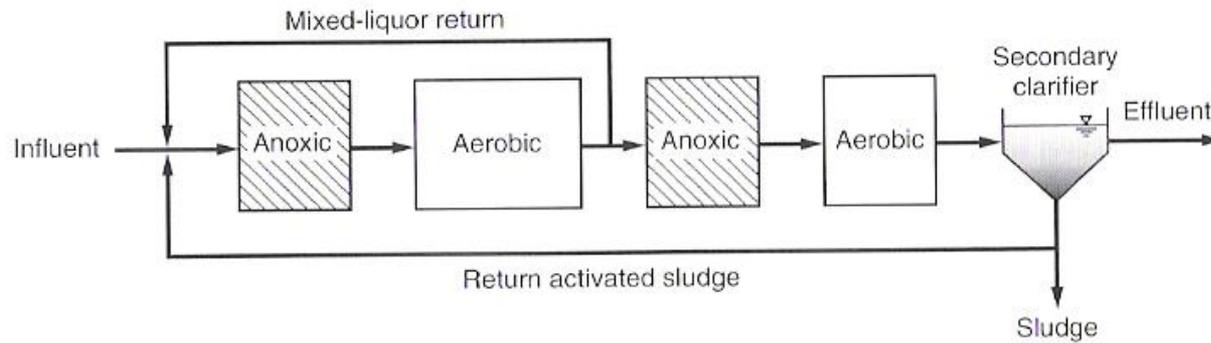
✧ Dos fangos



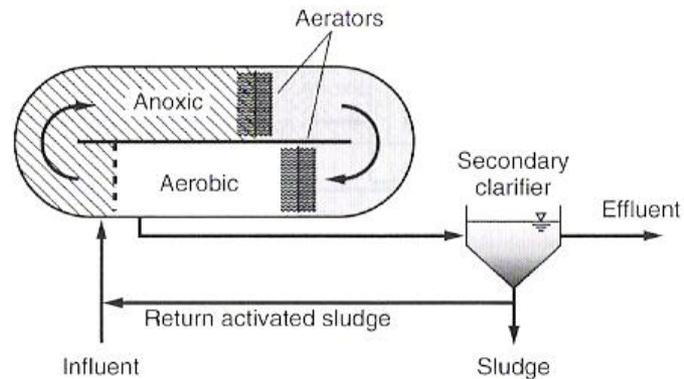
Ejemplos típicos de procesos de fango único: Bardenpho de cuatro etapas y canales de oxidación

## Eliminación de nitrógeno

Bardenpho de cuatro etapas



Canales de oxidación



## Eliminación de fósforo

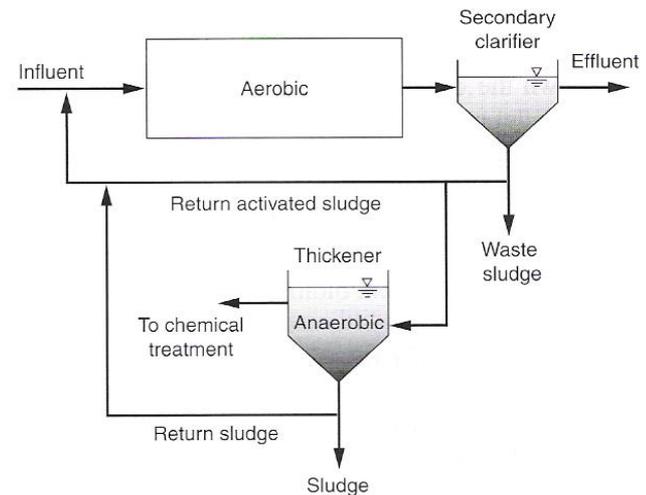
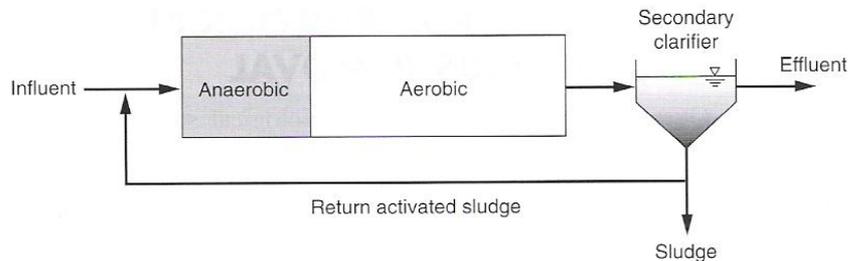
Requiere zona anaerobia seguida de aerobia

✧ Eliminación en la corriente principal:

- ✓ A/O
- ✓ SBR

✧ Eliminación en la corriente auxiliar (línea de recirculación de fangos)

- ✓ Proceso PhoStrip

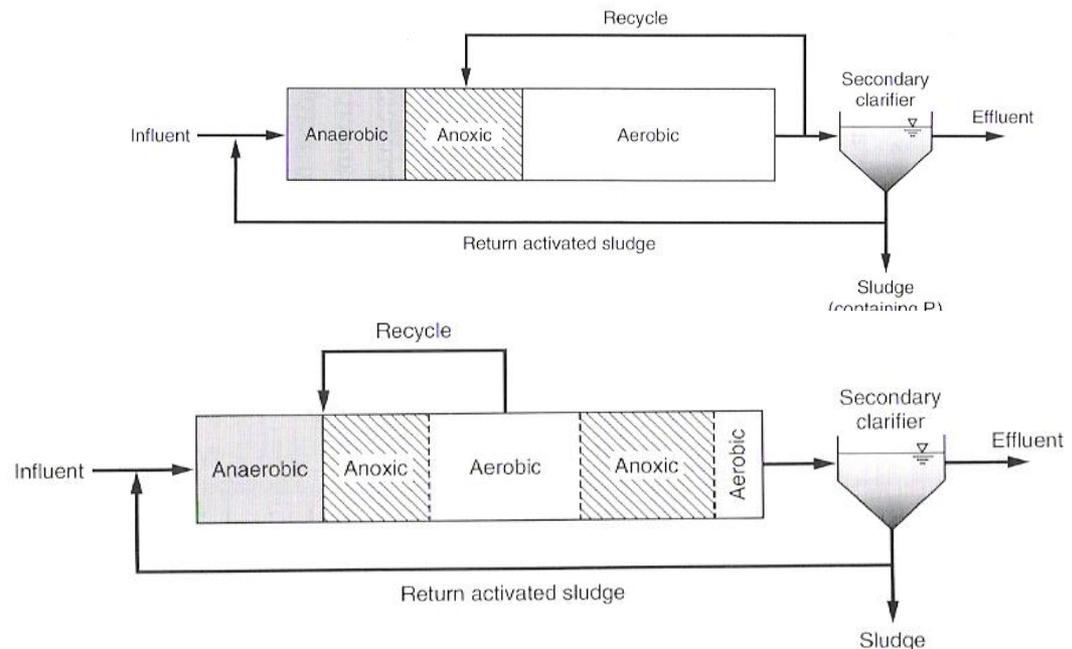


## Eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo

Requiere zonas anaerobias, anóxicas y aerobias

Procesos típicos:

- ✓ A<sup>2</sup>O
- ✓ Bardenpho de cinco etapas
- ✓ UCT
- ✓ VIP
- ✓ SBR



## Tratamientos terciarios o avanzados

Principal función de eliminación	Descripción de la operación o proceso
Eliminación de sólidos en suspensión	Filtración medio granular Microtamizado
Oxidación de amoníaco	Nitrificación biológica
Eliminación de nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación biológica
Eliminación de nitratos	Desnitrificación biológica
Eliminación de fósforo	Eliminación biológica en la línea principal y en la línea auxiliar
Eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo	Nitrificación/desnitrificación y eliminación biológica de fósforo
Eliminación física o química de nitrógeno	Arrastre por aire Cloración al breakpoint Intercambio iónico
Eliminación química de fósforo por adición de reactivos químicos	Adición sales metálicas Adición cal
Eliminación de compuestos tóxicos y materia refractaria	Adsorción en carbón activado Fangos activados-carbón activado en polvo Oxidación química Procesos avanzados de oxidación
Eliminación sólidos inorgánicos disueltos	Precipitación química Intercambio iónico Ultrafiltración, nanofiltración Ósmosis inversa Electrodialisis
Eliminación de compuestos orgánicos volátiles	Volatilización y arrastre con aire
Eliminación de patógenos	Oxidación química Desinfección ultravioleta

## Tratamientos terciarios o avanzados

Principal función de eliminación	Descripción de la operación o proceso
Eliminación de sólidos en suspensión	Filtración medio granular Microtamizado
Oxidación de amoníaco	Nitrificación biológica
Eliminación de nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación biológica
Eliminación de nitratos	Desnitrificación biológica
Eliminación de fósforo	Eliminación biológica en la línea principal y en la línea auxiliar
Eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo	Nitrificación/desnitrificación y eliminación biológica de fósforo
Eliminación física o química de nitrógeno	Arrastre por aire Cloración al breakpoint Intercambio iónico
Eliminación química de fósforo por adición de reactivos químicos	Adición sales metálicas Adición cal
Eliminación de compuestos tóxicos y materia refractaria	Adsorción en carbón activado Fangos activados-carbón activado en polvo Oxidación química Procesos avanzados de oxidación
Eliminación sólidos inorgánicos disueltos	Precipitación química Intercambio iónico Ultrafiltración, nanofiltración Ósmosis inversa Electrodialisis
Eliminación de compuestos orgánicos volátiles	Volatilización y arrastre con aire
Eliminación de patógenos	Oxidación química Desinfección ultravioleta

## Tratamientos terciarios o avanzados

Principal función de eliminación	Descripción de la operación o proceso
Eliminación de sólidos en suspensión	Filtración medio granular Microtamizado
Oxidación de amoníaco	Nitrificación biológica
Eliminación de nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación biológica
Eliminación de nitratos	Desnitrificación biológica
Eliminación de fósforo	Eliminación biológica en la línea principal y en la línea auxiliar
Eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo	Nitrificación/desnitrificación y eliminación biológica de fósforo
Eliminación física o química de nitrógeno	Arrastre por aire Cloración al breakpoint Intercambio iónico
Eliminación química de fósforo por adición de reactivos químicos	Adición sales metálicas Adición cal
Eliminación de compuestos tóxicos y materia refractaria	Adsorción en carbón activado Fangos activados-carbón activado en polvo Oxidación química Procesos avanzados de oxidación
Eliminación sólidos inorgánicos disueltos	Precipitación química Intercambio iónico Ultrafiltración, nanofiltración Ósmosis inversa Electrodialisis
Eliminación de compuestos orgánicos volátiles	Volatilización y arrastre con aire
Eliminación de patógenos	Oxidación química Desinfección ultravioleta

## Tratamientos terciarios o avanzados

Principal función de eliminación	Descripción de la operación o proceso
Eliminación de sólidos en suspensión	Filtración medio granular Microtamizado
Oxidación de amoníaco	Nitrificación biológica
Eliminación de nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación biológica
Eliminación de nitratos	Desnitrificación biológica
Eliminación de fósforo	Eliminación biológica en la línea principal y en la línea auxiliar
Eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo	Nitrificación/desnitrificación y eliminación biológica de fósforo
Eliminación física o química de nitrógeno	Arrastre por aire Cloración al breakpoint Intercambio iónico
Eliminación química de fósforo por adición de reactivos químicos	Adición sales metálicas Adición cal
Eliminación de compuestos tóxicos y materia refractaria	Adsorción en carbón activado Fangos activados-carbón activado en polvo Oxidación química Procesos avanzados de oxidación
Eliminación sólidos inorgánicos disueltos	Precipitación química Intercambio iónico Ultrafiltración, nanofiltración Ósmosis inversa Electrodialisis
Eliminación de compuestos orgánicos volátiles	Volatilización y arrastre con aire
Eliminación de patógenos	Oxidación química Desinfección ultravioleta

## Tratamientos terciarios o avanzados

Principal función de eliminación	Descripción de la operación o proceso
Eliminación de sólidos en suspensión	Filtración medio granular Microtamizado
Oxidación de amoníaco	Nitrificación biológica
Eliminación de nitrógeno	Nitrificación/desnitrificación biológica
Eliminación de nitratos	Desnitrificación biológica
Eliminación de fósforo	Eliminación biológica en la línea principal y en la línea auxiliar
Eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo	Nitrificación/desnitrificación y eliminación biológica de fósforo
Eliminación física o química de nitrógeno	Arrastre por aire Cloración al breakpoint Intercambio iónico
Eliminación química de fósforo por adición de reactivos químicos	Adición sales metálicas Adición cal
<b>Eliminación de compuestos tóxicos y materia refractaria</b>	Adsorción en carbón activado Fangos activados-carbón activado en polvo <b>Oxidación química</b> <b>Procesos avanzados de oxidación</b>
<b>Eliminación sólidos inorgánicos disueltos</b>	Precipitación química Intercambio iónico <b>Ultrafiltración, nanofiltración</b> <b>Ósmosis inversa</b> <b>Electrodialisis</b>
Eliminación de compuestos orgánicos volátiles	Volatilización y arrastre con aire
Eliminación de patógenos	Oxidación química Desinfección ultravioleta

## ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS DE AGUAS RESIDUALES

- **Métodos de retención (no destructivos)**: adsorción, desorción (stripping), extracción con disolventes, tecnologías de membrana (microfiltración, ultrafiltración), etc.
- **Métodos de transformación (destructivos)**: tratamiento biológico (aerobio, anaerobio), **procesos de oxidación**, etc.

Efluentes líquidos industriales con compuestos orgánicos de elevada toxicidad y/o elevada estabilidad química y/o baja biodegradabilidad → **No se pueden someter a tratamientos biológicos de depuración convencionales.**

**Materia orgánica + Oxidante  $\longrightarrow$  Productos oxidados + Subproductos**

**Oxidación total de los contaminantes (mineralización):** productos finales  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y sales minerales, sin formación de subproductos parcialmente oxidados.

**Oxidación parcial de los contaminantes:** productos finales aptos para el tratamiento biológico o para el vertido.

- **Pretratamiento:** aguas residuales que contienen compuestos tóxicos y/o refractarios al tratamiento biológico. Se oxidan con el objetivo de eliminar la toxicidad y/o aumentar la biodegradabilidad, haciendo posible el tratamiento biológico posterior.

- **Post-tratamiento:** aguas residuales que no contienen compuestos tóxicos pero sí biodegradables y refractarios al tratamiento biológico. La fracción biodegradable se elimina mediante tratamiento biológico y la fracción refractaria mediante oxidación previa al vertido.

## ➤ Procesos de oxidación convencionales

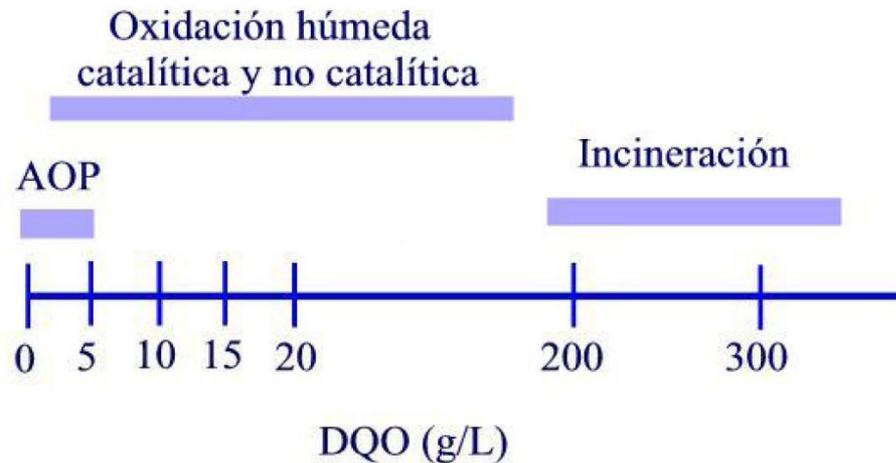
Oxidantes:  $O_2$ , compuestos de cloro,  $H_2O_2$ ,  $O_3$

## ➤ Procesos de oxidación directa (procesos térmicos)

Oxidante  $O_2$  a presión y temperatura elevadas

- Incineración
- Oxidación húmeda (combustión por vía húmeda)

## ➤ Procesos avanzados de oxidación (*Advanced oxidation processes, AOPs*)



Tratamiento	Condiciones	Rendimientos
<b>Incineración</b>	<b>&gt; 800 °C</b>	<b>&gt; 99 %</b>
<p><b>Limitaciones:</b>                      Si el poder calorífico es inferior a 3000 kJ/kg (DQO &lt; 200 g/l) es necesario utilizar un combustible adicional</p>		
<b>Oxidación húmeda no catalítica</b>	<b>150-350°C, 20-200 bar</b>	<b>75-90 %</b>
<p><b>Limitaciones:</b>                      DQO inicial 500 – 15000 mg/l                      Condiciones muy enérgicas                      No se alcanza mineralización completa</p>		
<b>Oxidación húmeda catalítica</b>	<b>120-250°C, 5-25 bar</b>	<b>75-99 %</b>
<p><b>Limitaciones:</b>                      DQO inicial &gt; 10000 mg/l                      El proceso es muy dependiente del tipo de catalizador                      La estabilidad de algunos catalizadores no es satisfactoria</p>		
<b>Oxidación húmeda supercrítica</b>	<b>400-650°C, &gt;200 bar</b>	<b>&gt; 99.9 %</b>
<p><b>Limitaciones:</b>                      DQO inicial &gt; 50 g/l                      El medio de reacción es corrosivo                      La deposición de sales puede bloquear los equipos                      Los compuestos que tienen nitrógeno mineralizan con dificultad</p>		

❑ Implican la generación de radicales hidroxilo ( $\text{HO}^\bullet$ ) a temperatura y presión próximas a las ambientales

Características del radical hidroxilo:

- Poder oxidante muy alto
- Elevada reactividad → baja selectividad
- Velocidad de oxidación muy elevada
- Muy inestable

❑ Para generar los radicales hidroxilo se utilizan combinaciones de ozono, peróxido de hidrógeno, radiación ultravioleta y fotocatalisis

❑ Elevado coste de reactivos y/o energía → utilizarlos cuando otros procesos más baratos, como los biológicos, no sean posibles

❑ Capacidad para tratar efluentes con concentraciones menores de 5 g/l, ya que mayores concentraciones implicarían elevados costes de reactivos

❑ Eficacia elevada, capaces de lograr la mineralización completa de los contaminantes

## Procesos homogéneos

### a) Sin aporte externo de energía:

Ozonización en medio alcalino ( $O_3/OH^-$ )

Ozonización con peróxido de hidrógeno ( $O_3/H_2O_2$ ) y ( $O_3/H_2O_2/OH^-$ )

Proceso Fenton (Peróxido de hidrógeno y catalizador,  $H_2O_2/Fe^{2+}$ )

### b) Con aporte externo de energía:

b<sub>1</sub>) Energía procedente de la radiación ultravioleta (UV)

Ozonización y radiación ultravioleta ( $O_3/UV$ )

Peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta ( $H_2O_2/UV$ )

Ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta ( $O_3/H_2O_2/UV$ )

Fotofenton ( $Fe^{2+}/H_2O_2/UV$ )

b<sub>2</sub>) Energía procedente de ultrasonidos (US)

Ozonización y ultrasonidos ( $O_3/US$ )

Peróxido de hidrógeno y ultrasonidos ( $H_2O_2/US$ )

b<sub>3</sub>) Electroquímica

Oxidación electroquímica

Oxidación anódica

Electro-Fenton

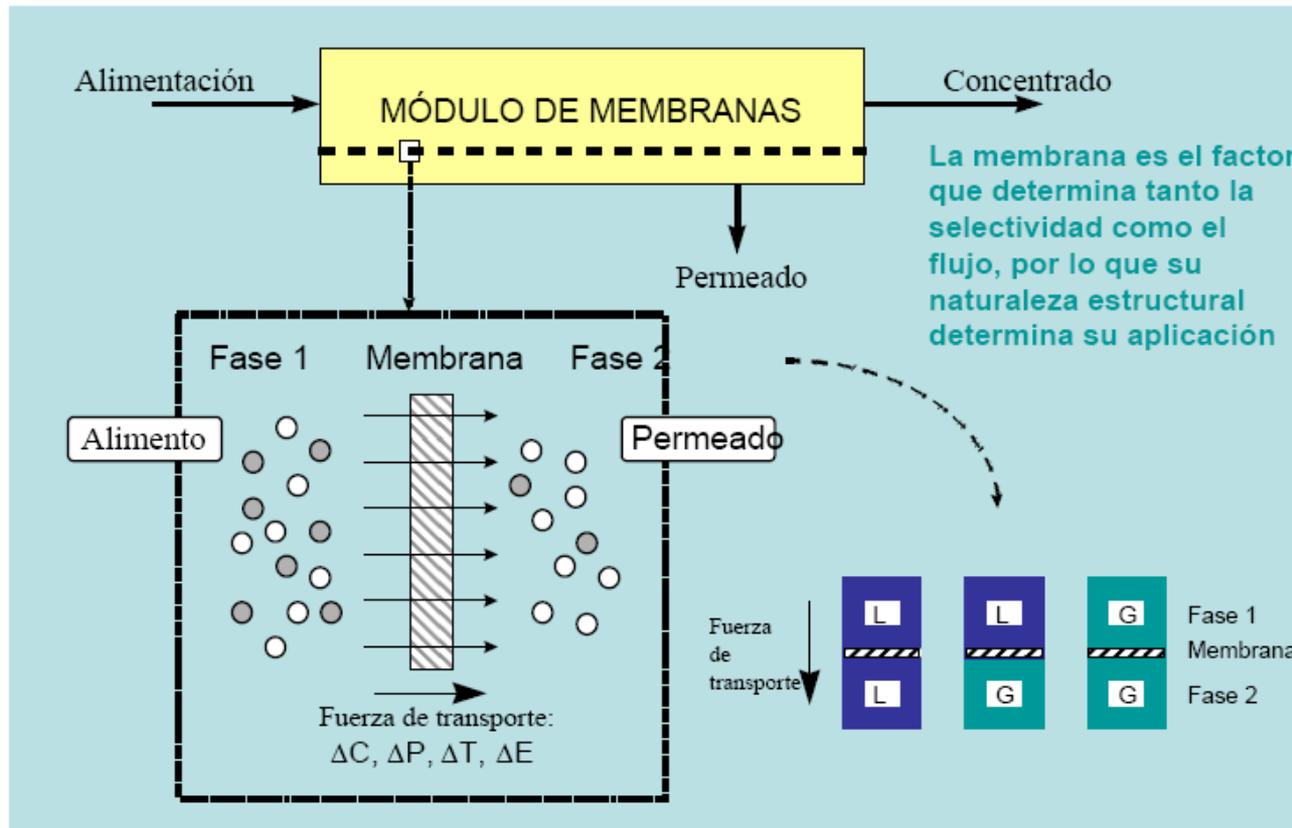
## Procesos heterogéneos

Ozonización catalítica ( $O_3/cat.$ )

Ozonización fotocatalítica ( $O_3/TiO_2/UV$ )

Fotocatálisis heterogénea ( $H_2O_2/TiO_2/UV$ )

Las técnicas con membranas constituyen un conjunto de operaciones de separación/concentración o purificación incluidas entre las que forman parte del tratamiento terciario.



## PROCESOS DE MEMBRANAS EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS

Basados en el gradiente de presión:

Microfiltración

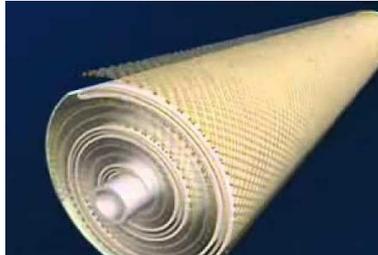
Ultrafiltración

Nanofiltración

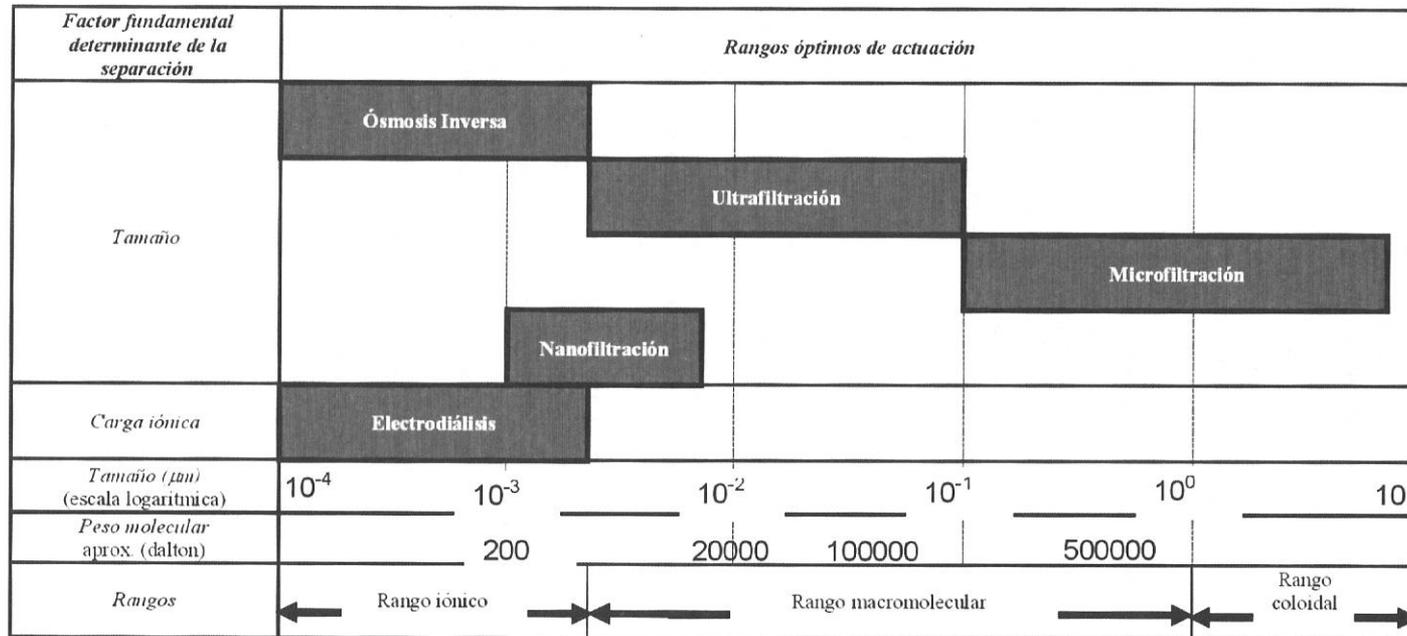
Ósmosis inversa

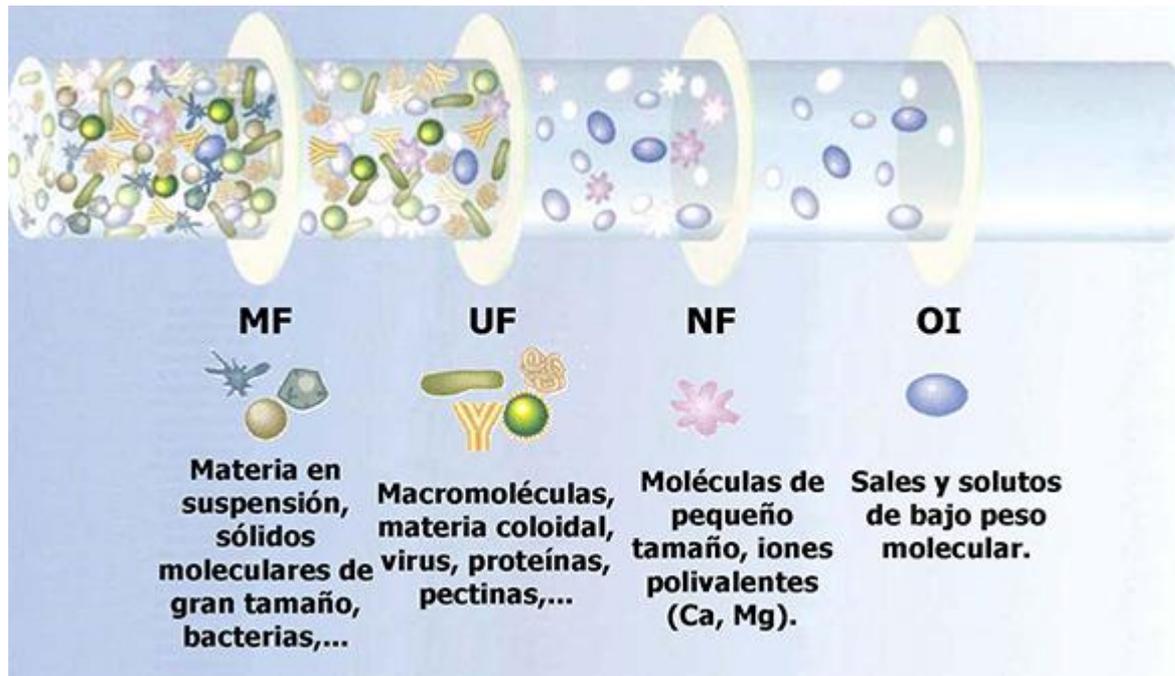
Basados en el gradiente de potencial:

Electrodiálisis



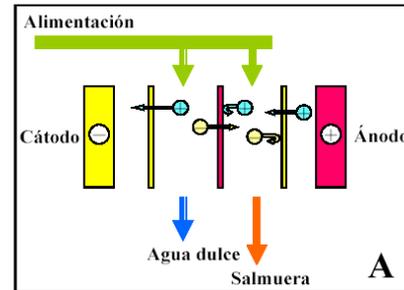
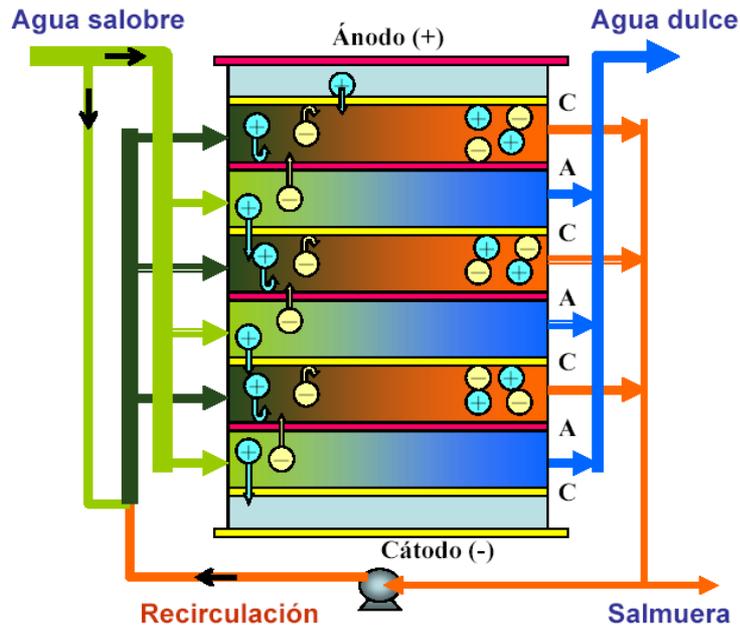
## Procesos de separación con membranas aplicados al tratamiento de aguas





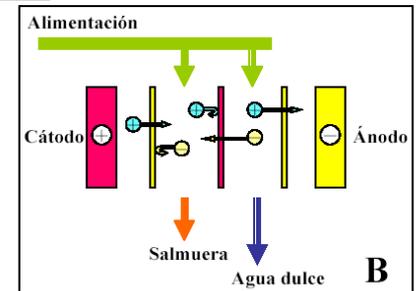
Membrana	Tamaño poro ( $\mu\text{m}$ )	Presión (bar)
Microfiltración	0,1 - 10	0,5 - 3
Ultrafiltración	0,001 - 0,1	1 - 10
Nanofiltración	0,0005 - 0,005	5 - 30
Ósmosis inversa	< 0,0005	10 - 80

# Electrodiálisis



**Electrodiálisis reversible**

Cambio de polaridad de los electrodos



## Aplicaciones

### Microfiltración

- Pretratamiento de aguas potables
- Aclarado de zumos de frutas, vinos y cerveza.
- Separación de bacterias del agua (tratamiento biológico de aguas residuales).
- Separación de emulsiones de agua y aceite.
- Pretratamiento del agua para nano filtración y ósmosis inversa.
- Separación sólido-líquido para industria farmacéutica e industrias alimentarias

### Ultrafiltración

- Eliminación de virus en aguas residuales
- La industria de productos lácteos (leche, queso)
- La industria alimentaria (proteínas)
- Separación de emulsiones agua/aceite
- La industria textil
- Pretratamiento del agua antes de la nanofiltración o de la ósmosis inversa
- Separación de aceites
- Recuperación de colorantes y aprestos (industria textil)

### Nanofiltración

- Recuperación de cáusticos y ácidos
- Eliminación de pesticidas
- Eliminación de metales pesados
- Reciclado de agua en lavanderías
- Ablandamiento del agua

### Ósmosis inversa

- Desalación de aguas salobres y agua de mar
- Producción de agua pura
- Concentración de solventes moleculares para industria alimentaria
- Recuperación colorantes industria textil
- Recuperar metales en la industria de electrodeposición

### Electrodiálisis

- Desalinizar aguas salobres
- Aguas de aclarado de industria de electrodeposición de metales

El **tratamiento electroquímico** utiliza el electrón como reactivo, como fuerza impulsora de los procesos depurativos, en sustitución de los reactivos químicos convencionales o de los lodos activos, de las depuradoras biológicas.

La electroquímica está clasificada como **tecnología limpia**.

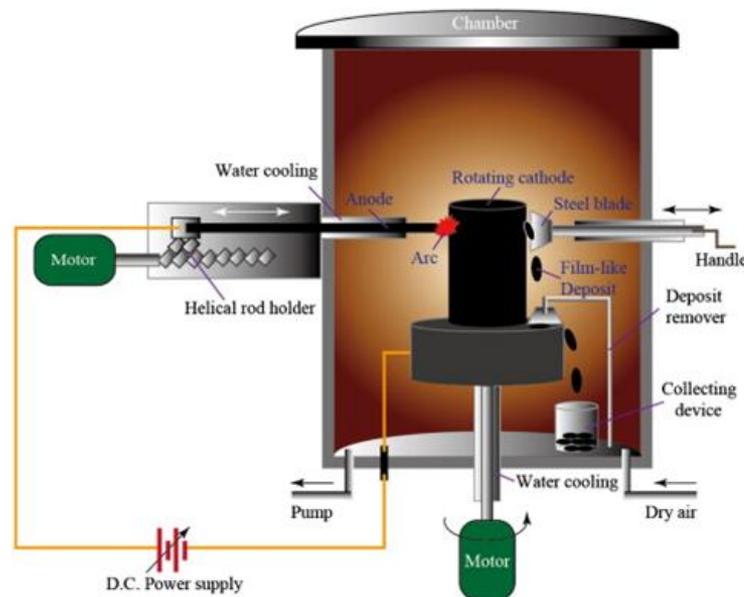
Las principales tecnologías electroquímicas aplicadas al tratamiento del agua o del agua residual son:

- Electrodeposición
- Electrocoagulación
- Electroflotación
- Electrooxidación

## ELECTRODEPOSICIÓN

La electrodeposición es efectiva en la recuperación de iones metálicos presentes en aguas residuales.

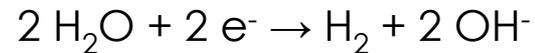
El mecanismo electroquímico para la recuperación de metales consiste en la deposición en el cátodo según el proceso de reducción:



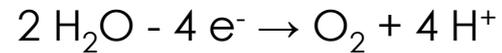
## ELECTROFLOTACIÓN

Los contaminantes se unen a pequeñas burbujas de hidrógeno y oxígeno, siendo arrastradas hacia la superficie. El hidrógeno y el oxígeno se generan por electrolisis del agua.

- En el cátodo se produce la reacción de reducción



-En el ánodo se produce la reacción de oxidación



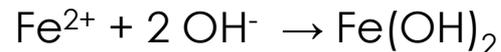
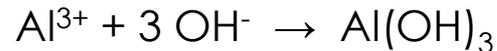
## ELECTROCOAGULACIÓN

La **electrocoagulación** es un proceso complejo que envuelve varios fenómenos físicos y químicos, y en el que los coagulantes se generan “in situ” por disolución electroquímica de **electrodos de sacrificio de Fe o Al que constituyen el ánodo.**

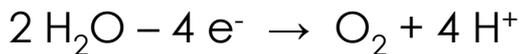
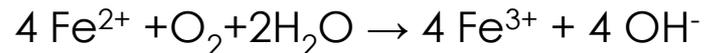
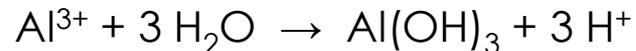
### Ánodo (oxidación)



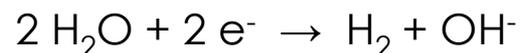
*En condiciones alcalinas*



*En condiciones ácidas*

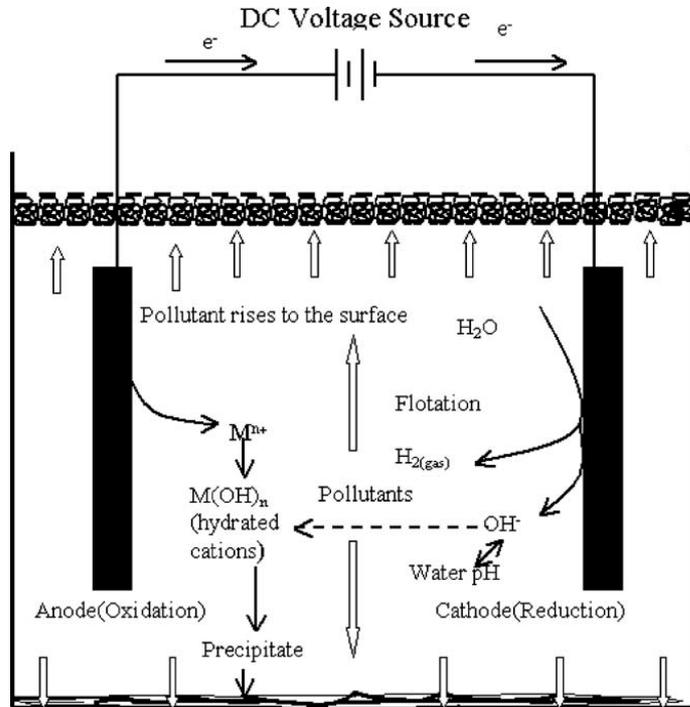


### Cátodo (reducción)



Adicionalmente se puede producir la reducción de iones metálicos

## ELECTROCOAGULACIÓN



La electrocoagulación es eficaz para eliminar sólidos en suspensión así como aceites y grasas. También se puede emplear para la eliminación de algas y microorganismos, en el tratamiento de efluentes procedentes de la industria textil, catering, petróleo, industria alimentaria, industria de recubrimientos metálicos, lavanderías comerciales, limpieza con vapor, etc

## ELECTROOXIDACIÓN

En la **electrooxidación** se aplica un campo eléctrico entre ánodo y cátodo, circulando el agua a tratar entre éstos. Se produce la oxidación total (mineralización) o parcial (conversión a compuestos más fácilmente biodegradables) de la materia orgánica. Los contaminantes se pueden oxidar en la superficie del ánodo (**oxidación directa**) o por la producción de oxidantes en el medio (ozono, radicales, peróxidos, hipoclorito, otros) (**oxidación indirecta**).

Se puede aplicar para la eliminación de:

- Materia orgánica soluble
- Fenoles y polifenoles
- Herbicidas y fungicidas
- Color y olor
- Otros microcontaminantes
- Higienización del agua tratada

El agua después de este proceso es transparente, sin color y olor , y apta para cualquier aplicación o uso.

## TRATAMIENTO HIDROCARBUROS (aguas sentinas)



VOLUMEN.- 100 m3/dia  
m3/h.- 10  
TRATAMIENTO.- EC

PARAM	ENT	SAL	%REND
DQO mg/l	18200	320	98,2
THP TOT. mg/l	3800	24	99,3

COSTE €/m3.- 0,45

## TRATAMIENTO PURINES



VOLUMEN.- 40 m3/dia  
m3/h.-4  
TRATAMIENTO.-EC+EO

PARAM	ENT	SAL	%REND
N TOTAL mg/L	6200	22	99,6
NH4 mg/l	4350	<4	99,9
DQO mg/l	12300	86	99,3
BACT.TOT	11x 10 <sup>11</sup>	<1	99,9
UFC/100ml			

COSTE €/m3.- 1,9

## PRODUCCIÓN ACEITE (ALPECHINES)



VOLUMEN .- 100 m3/dia  
m3/h.- 10  
TRATAMIENTO.- EC+EO

PARAM	ENT	SAL	%REND
DQO mg/l	23000	120	99,4
FENOLES mg/l	760	<1	99,9

COSTE €/m3 .- 2,2

## TRATAMIENTO LIXIVIADOS



VOLUMEN.- 100 m3/dia  
m3/h.-5m3/h  
TRATAMIENTO.-EC+EO

PARAM	ENT	SAL	%REND
DQO mg/l	8500	86	98,9
NH4 mg/l	2500	<4	99,9
ECOTOX	110	<1	99,9
Equitox/m3			
BACT. UFC/100ml	3x10 <sup>8</sup>	2	99,9

COSTE €/m3.- 5,5

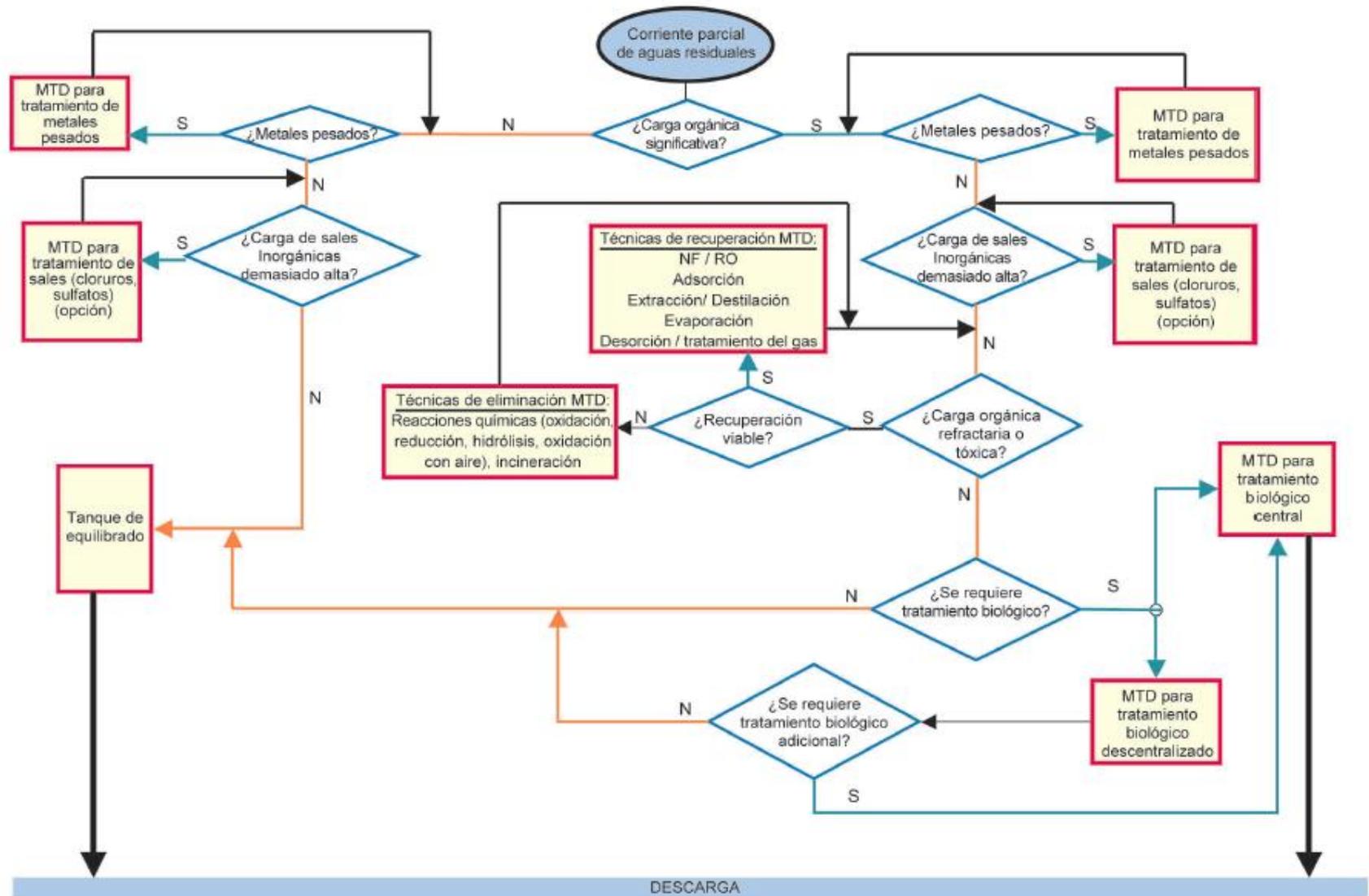
El **TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL** en el sector químico sigue al menos cuatro estrategias distintas:

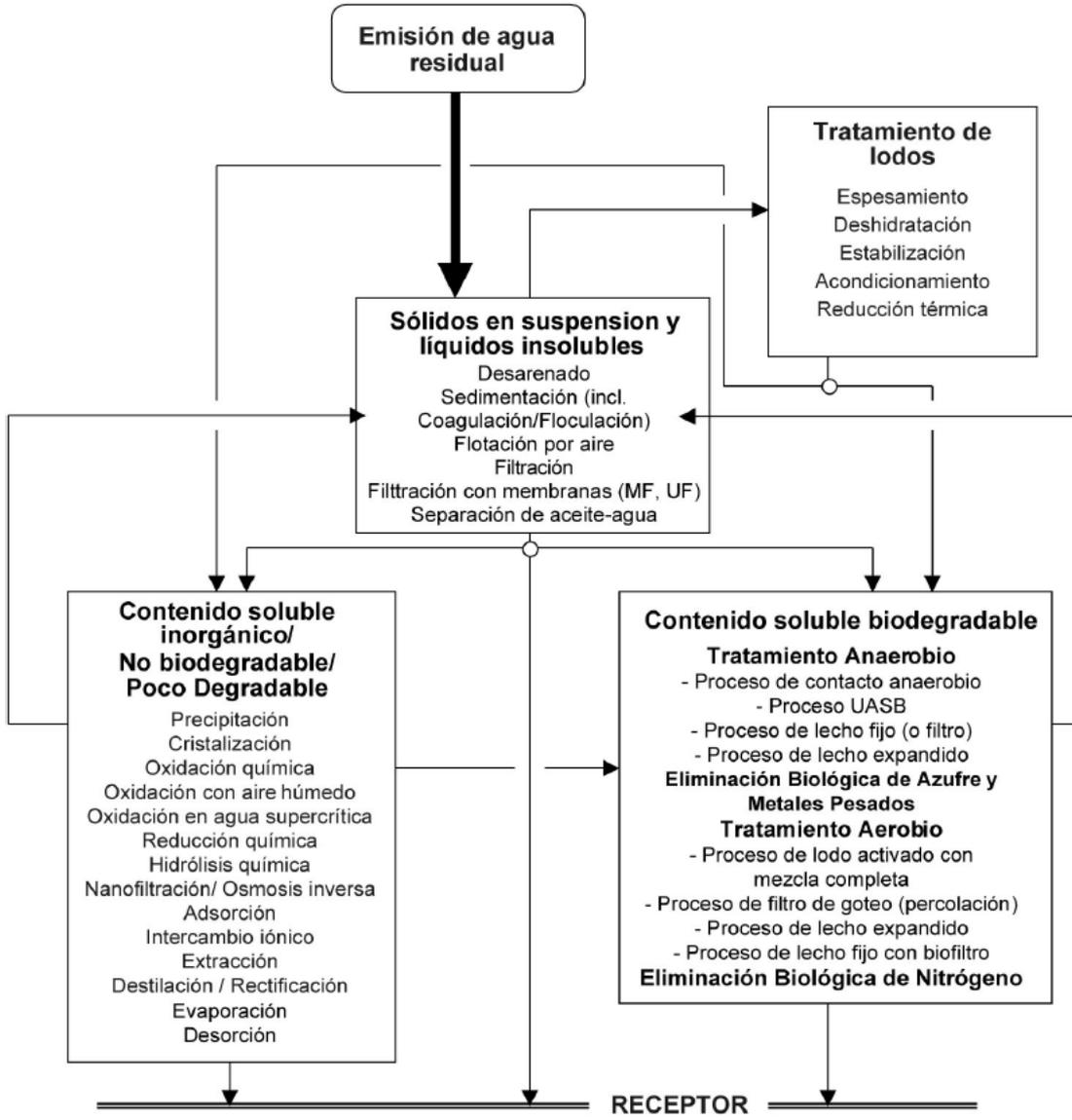
- ④ Tratamiento final centralizado en una EDAR biológica ubicada en el propio emplazamiento industrial.
- ④ Tratamiento final centralizado en una EDAR municipal.
- ④ Tratamiento final centralizado de agua residual inorgánica en una EDAR de tratamiento químico-mecánico.
- ④ Tratamientos descentralizados.

Ninguna de estas estrategias es preferible a las demás, siempre que se garantice un nivel de emisión equivalente para la protección del medio ambiente en su conjunto, y ello no conduzca a un incremento de los niveles de contaminación en el entorno.

## **PAUTAS A SEGUIR EN MATERIA DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

- Tratar en origen las corrientes separadas, antes de que se mezclen con otras corrientes
- Emplear técnicas que permitan una recuperación
- Si la recuperación no es viable utilizar técnicas de eliminación sin necesidad de combustible adicional
- Cuando no exista otro medio de eliminar toxicidad o efectos inhibidores, emplear técnicas de eliminación con consumo energético considerable





Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC)

Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea  
 Sistemas de Gestión y Tratamiento de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico

Documento BREF



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA



# Operación y coste

Tratamiento	Operación	Mante- nimiento	Seguridad	Coste de inversión	Coste de operación	Coste de energía
<b>Físicos</b>						
Sedimentación	F	B	M	B	B	B
Flotación	D	D	M	A	M	A
Filtración	F	A	M	M	M	B
Evaporación	F	D	M	A	M	A
Adsorción	F	A	M	B	B	B
Stripping	F	D	B	B	M	A
Extracción	F	D	B	B	M	A
Ósmosis inversa	F	D	R	A	A	A
<b>Químicos</b>						
Coagulación-floculación	F	B	R	B	M	B
Precipitación química	F	B	B	B	M	B
Oxidación-reducción	D	D	B	A	A	A
Recuperación electrolítica	F	D	R	A	A	A
Intercambio iónico	F	D	R	A	A	A
<b>Térmicos</b>						
Oxidación húmeda	D	D	R	A	A	A
Oxidación supercrítica	D	D	R	A	A	A
Incineración	D	D	R	A	A	A
<b>Biológicos</b>						
Filtros bacterianos	D	B	R	A	M	B
Lodos activos	F	B	R	B	B	A
Lagunas aireadas	F	B	R	M	B	M
Biodiscos	F	B	R	B	B	M
Degradación anaerobia	D	M	B	A	M	M

Fácil= F // Difícil= D // Relativo = R // Alto = A // Medio = M // Bajo = B

## Selección de alternativas

Tratamiento	Sólidos suspendidos	Aceites y grasas	Compuestos orgánicos	Compuestos inorgánicos	Metales	Compuestos volátiles	Compuestos tóxicos
<b>Físicos</b>							
Sedimentación	X	-	-	-	-	-	-
Flotación	X	X	-	-	-	-	-
Filtración	X	X	-	-	-	-	-
Evaporación	-	-	-	-	-	X	-
Adsorción	-	-	X	O	-	-	-
Stripping	-	-	-	-	-	X	-
Extracción	-	-	X	O	X	-	-
Ósmosis inversa	-	-	X	X	X	-	-
<b>Químicos</b>							
Coagulación-floculación	X	-	-	-	-	-	-
Precipitación química	-	-	-	X	X	-	-
Oxidación/reducción	-	-	X	O	-	-	X
Recuperación electrolítica	-	-	-	X	X	-	-
Intercambio iónico	-	-	-	X	X	-	-
<b>Térmicos</b>							
Oxidación húmeda	-	-	X	-	-	-	X
Oxidación supercrítica	-	-	X	-	-	-	X
Incineración	-	-	X	-	-	-	X
<b>Biológicos</b>							
Filtros bacterianos	-	-	X	O	-	-	-
Lodos activos	-	-	X	O	-	-	-
Lagunas aireadas	-	-	X	O	-	-	-
Biodiscos	-	-	X	O	-	-	-
Degradación anaerobia	-	-	X	X	-	-	-

Adecuado= X // Posible= O // Inadecuado= -

## ESPESAMIENTO

### Objetivo

Incrementar la concentración de sólidos

### Operaciones básicas

- Espesado por gravedad
- Espesado por flotación
- Centrifugación
- Tambores rotativos

**Procesos físicos**

## ESTABILIZACIÓN

### Objetivo

Reducir la fracción biodegradable de los lodos

### Procesos básicos

- Estabilización biológica
- Estabilización química
- Estabilización térmica

**Procesos físicos, químicos y biológicos**

## ACONDICIONAMIENTO

### Objetivo

Mejorar las características de los lodos para facilitar su deshidratación

### Procesos básicos

- Acondicionamiento térmico
- Acondicionamiento químico
- Elutriación

**Procesos físicos y químicos**

## DESHIDRATACIÓN

### Objetivo

Reducir el contenido de humedad del fango

### Procesos básicos

- Secado mecánico
- Secado térmico
- Eras de secado

**Procesos físicos**

**AGUA Y SOSTENIBILIDAD EN  
LOS PROCESOS PRODUCTIVOS  
DE CUENCAS DEFICITARIAS**

**Murcia, 17 de marzo de 2016**

**Muchas gracias por su  
atención**

**Cátedra del Agua y de la Sostenibilidad**

Mercedes Lloréns Pascual  
del Riquelme  
llorens@um.es

**UNIVERSIDAD DE  
MURCIA**

