

Introducción general a procesos avanzados de oxidación y desinfección y su aplicación en potabilización y depuración, en el control de emergentes

Dra. Natividad Miguel Salcedo

*Grupo de Investigación Calidad y Tratamiento de Aguas
Profesora de la Escuela Politécnica Superior de Huesca*



Instituto Universitario de Investigación
en Ciencias Ambientales
de Aragón
Universidad Zaragoza



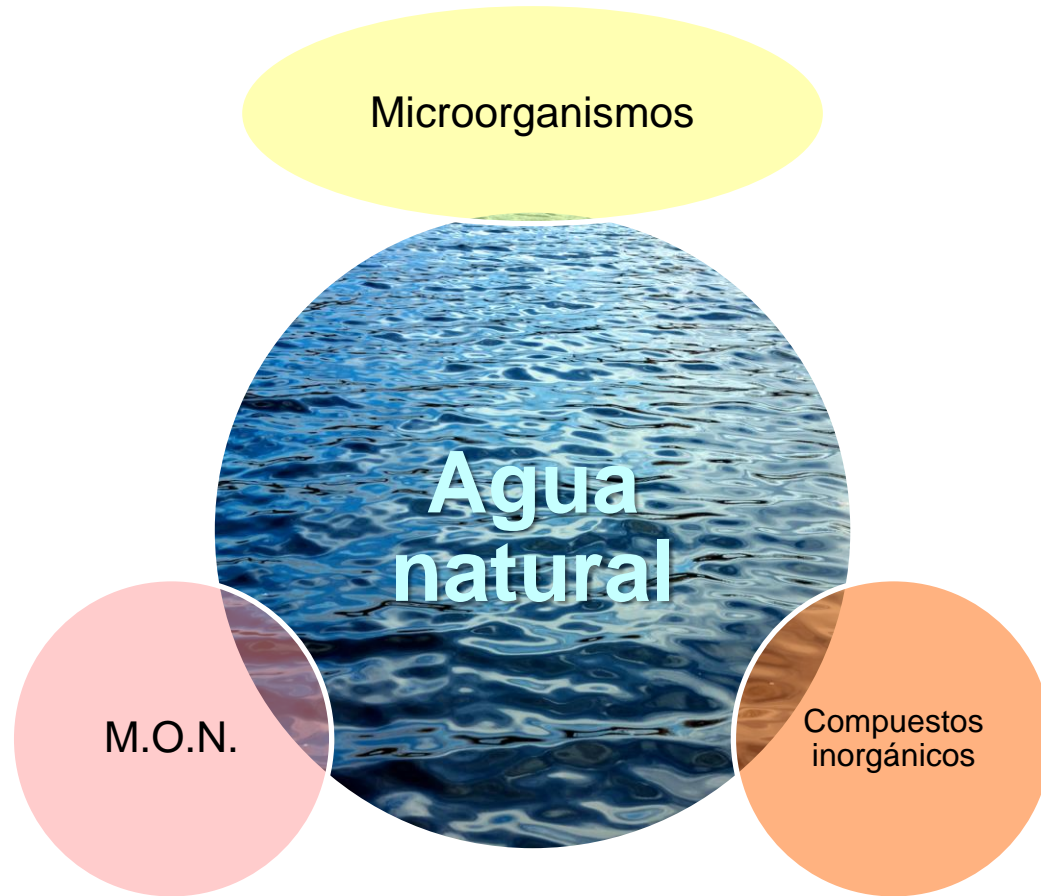
Departamento de Ingeniería
Química y Tecnologías
del Medio Ambiente
Universidad Zaragoza



ÍNDICE

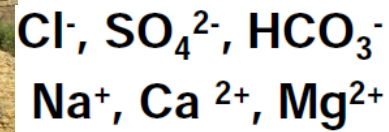
- 1. AGUA NATURAL: usos, contaminación y presencia de contaminantes emergentes**
- 2. TRATAMIENTOS DE AGUAS - DEPURACIÓN Y POTABILIZACIÓN: operaciones de tratamiento y eliminación de contaminantes emergentes**
- 3. PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN: fundamento y aplicaciones**

Agua natural



Agua natural

Compuestos inorgánicos



Microorganismos

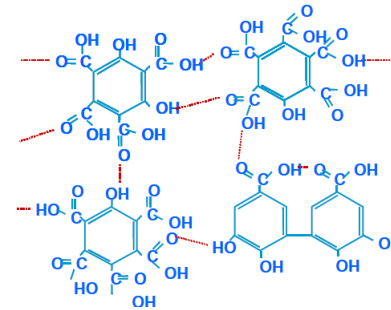


M.O.N.

Comp. Inorgánicos

M.O.N.

**DESCOMPOSICIÓN
RESIDUOS DE
PLANTAS Y ANIMALES**

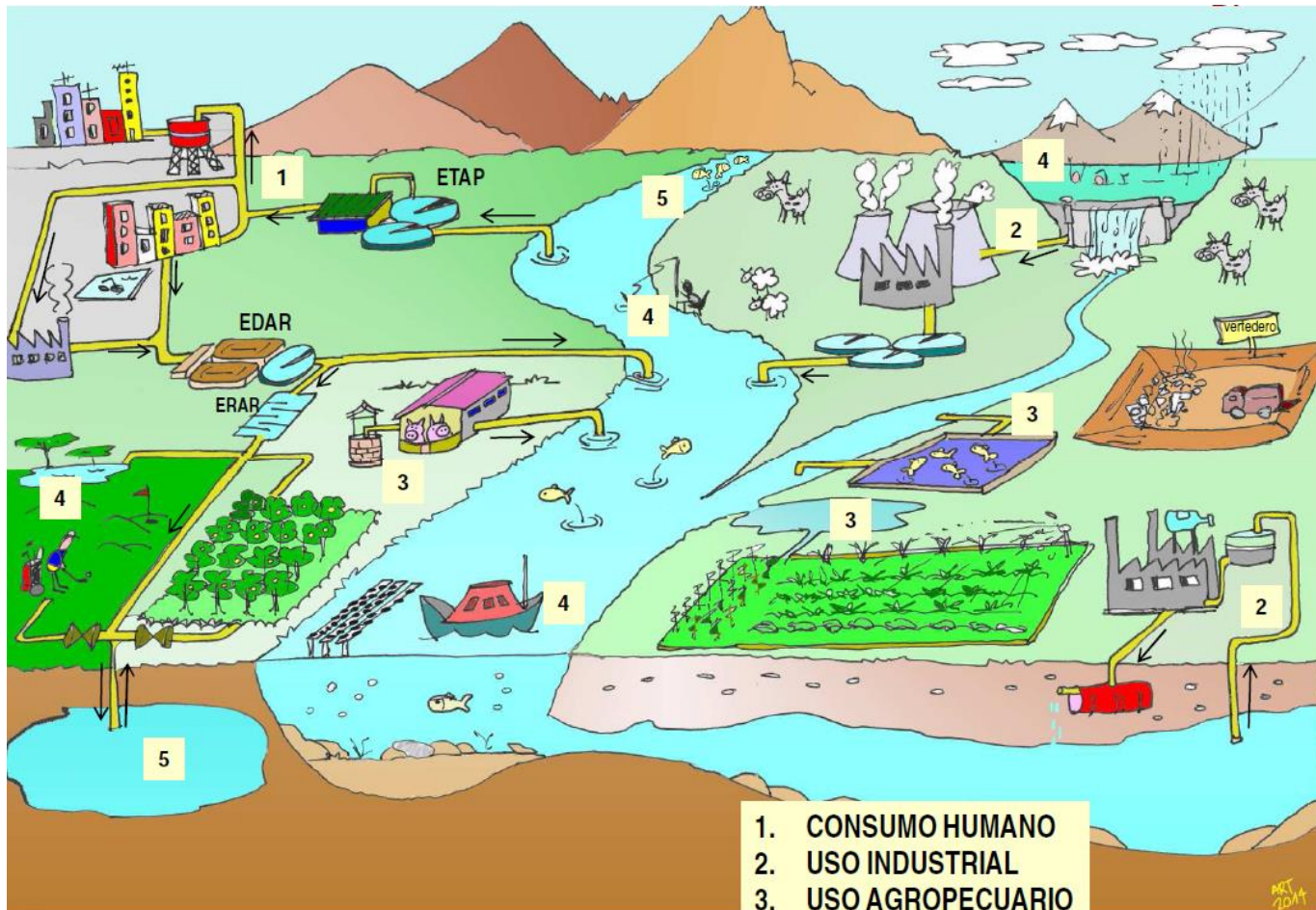


Microorganismos

**BACTERIAS
PROTOZOOS
HELMINTOS
VIRUS
ALGAS**

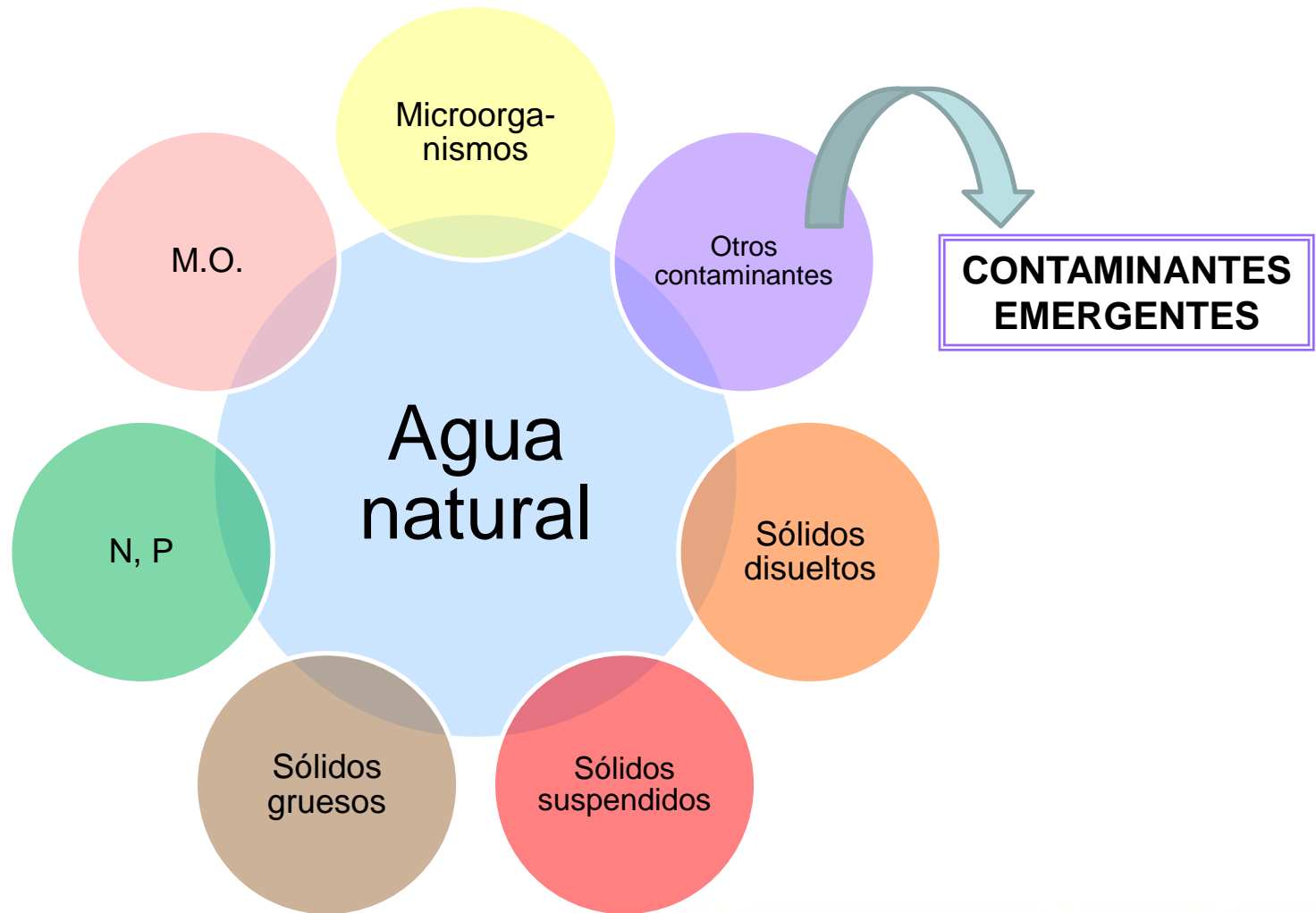


Usos del agua

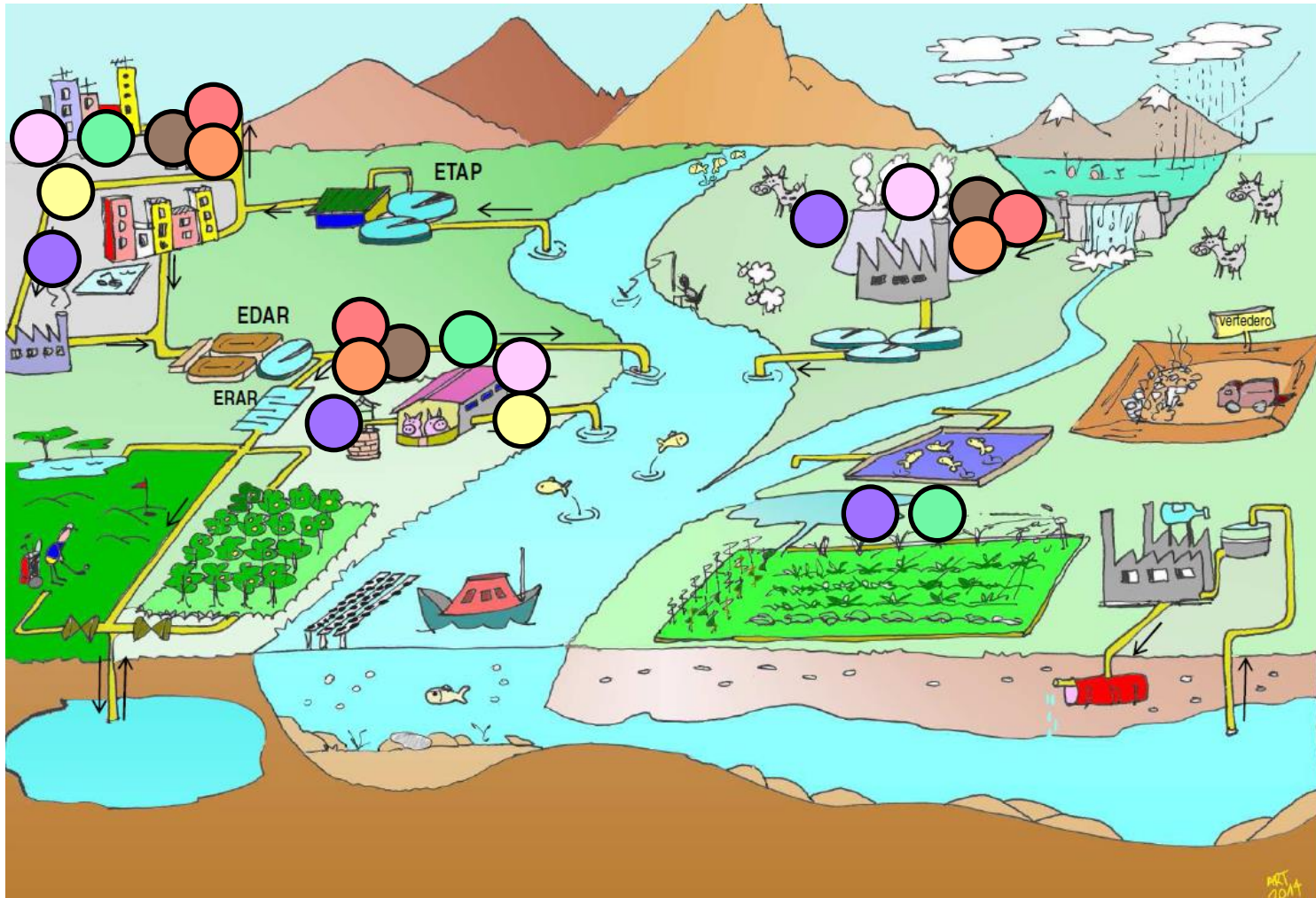


1. CONSUMO HUMANO
2. USO INDUSTRIAL
3. USO AGROPECUARIO
4. USO RECREATIVO
5. USO AMBIENTAL

Composición del agua contaminada



Origen de la contaminación



-  M.O.
-  N, P
-  Microorgan.
-  Sólidos gruesos
-  Sólidos susp.
-  Sólidos disueltos
-  Otros contamin.

Emergentes en aguas superficiales

PROYECTO AQUATERRA: Contaminantes emergentes en la Cuenca del Ebro

(Barceló y López de Alda, 2008)

Plaguicidas



Fármacos

TOTAL fármacos (30) → ~3.000 Kg/año



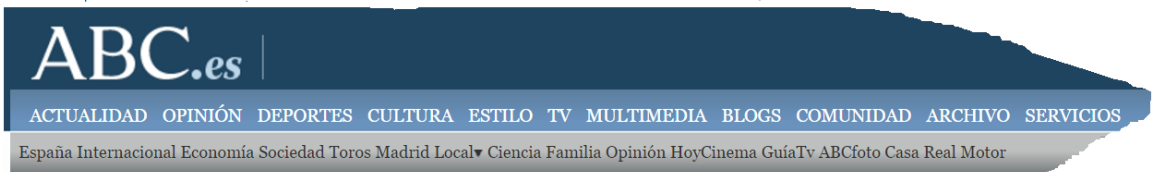
Emergentes en aguas superficiales

≡ EL PAÍS 

REPORTAJE:

El atlas de la cocaína flotante

El rastro de droga en las aguas del Ebro permite comparar su uso en siete puntos del río - Zaragoza lidera el consumo, que se duplica el fin de semana



El río Ebro arrastra una tonelada de droga, según una investigación del CSIC

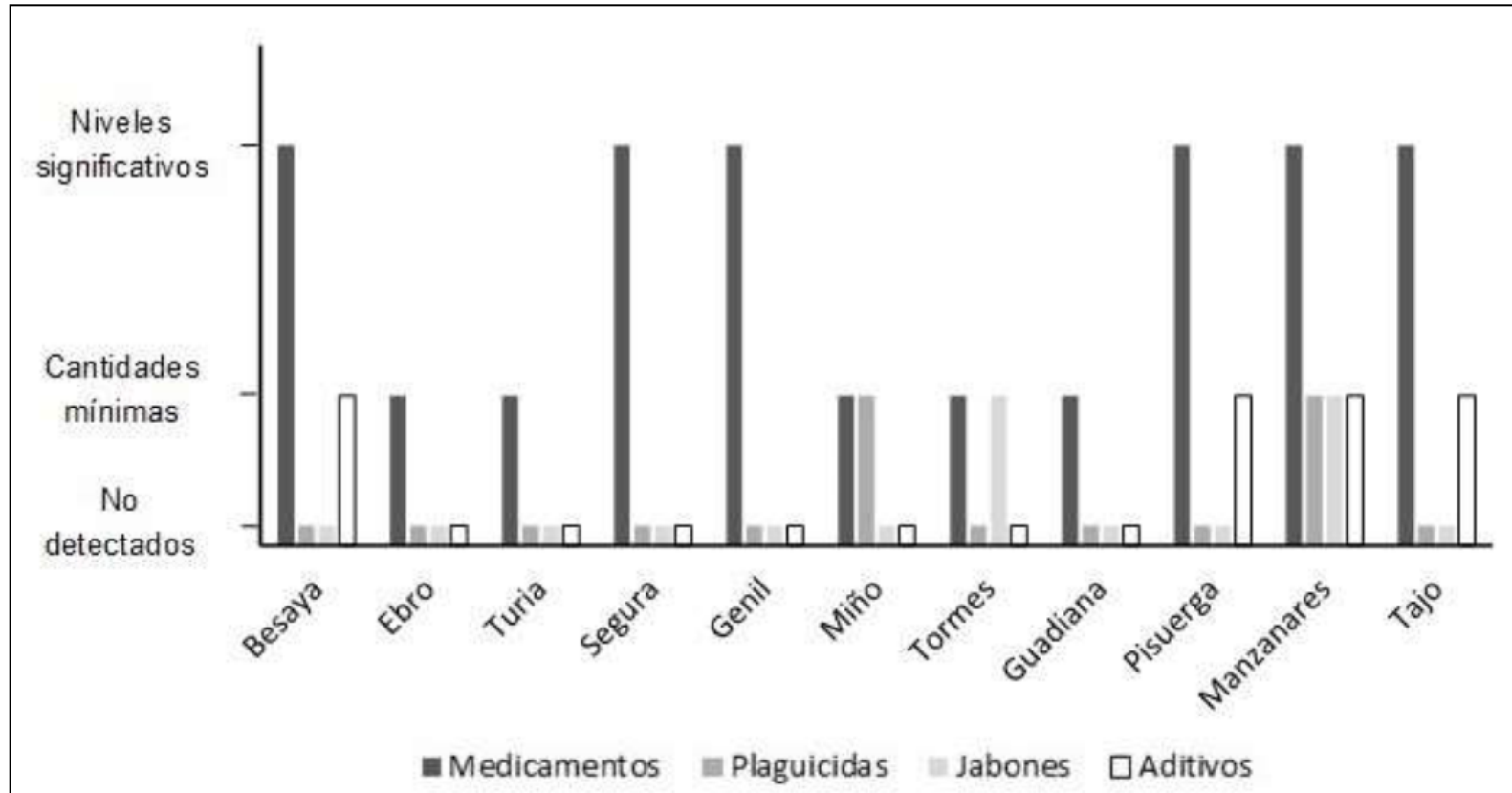


REPORTAJE DE INVESTIGACIÓN EN INTERVIÚ

El Ebro recibe kilos de coca con el agua que llega de la depuradora



Emergentes en aguas superficiales



(OCU, 2013)

Emergentes en aguas superficiales



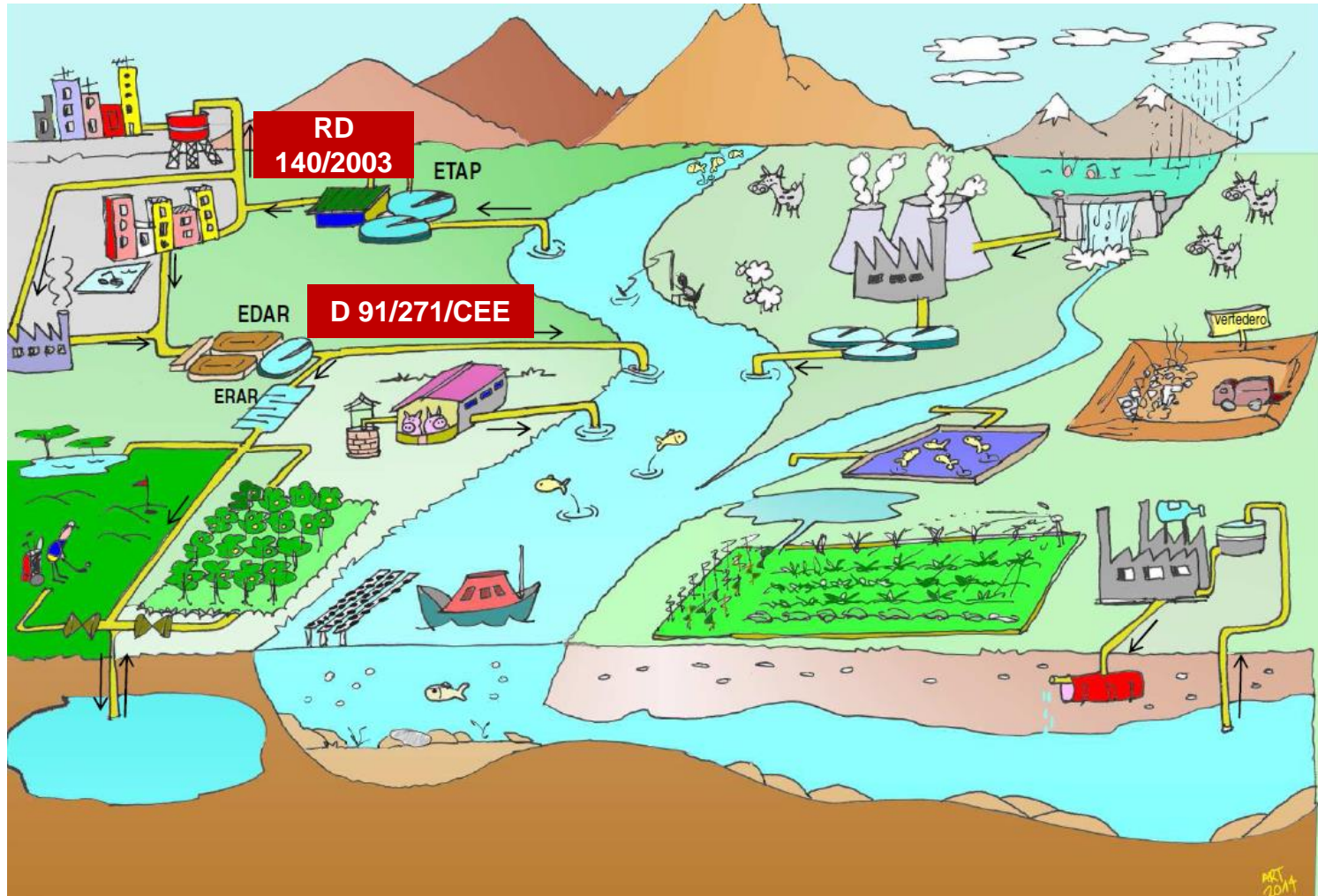
ORIGEN?

AGUAS RESIDUALES URBANAS

Plaguicidas → Contaminación difusa



Ciclo urbano del agua



Tratamientos de aguas



TRATAMIENTO MÍNIMO NECESARIO:

1. *ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA BRUTA*
2. *DESTINO Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA TRATADA*

Depuración: agua residual

D 91/271/CEE

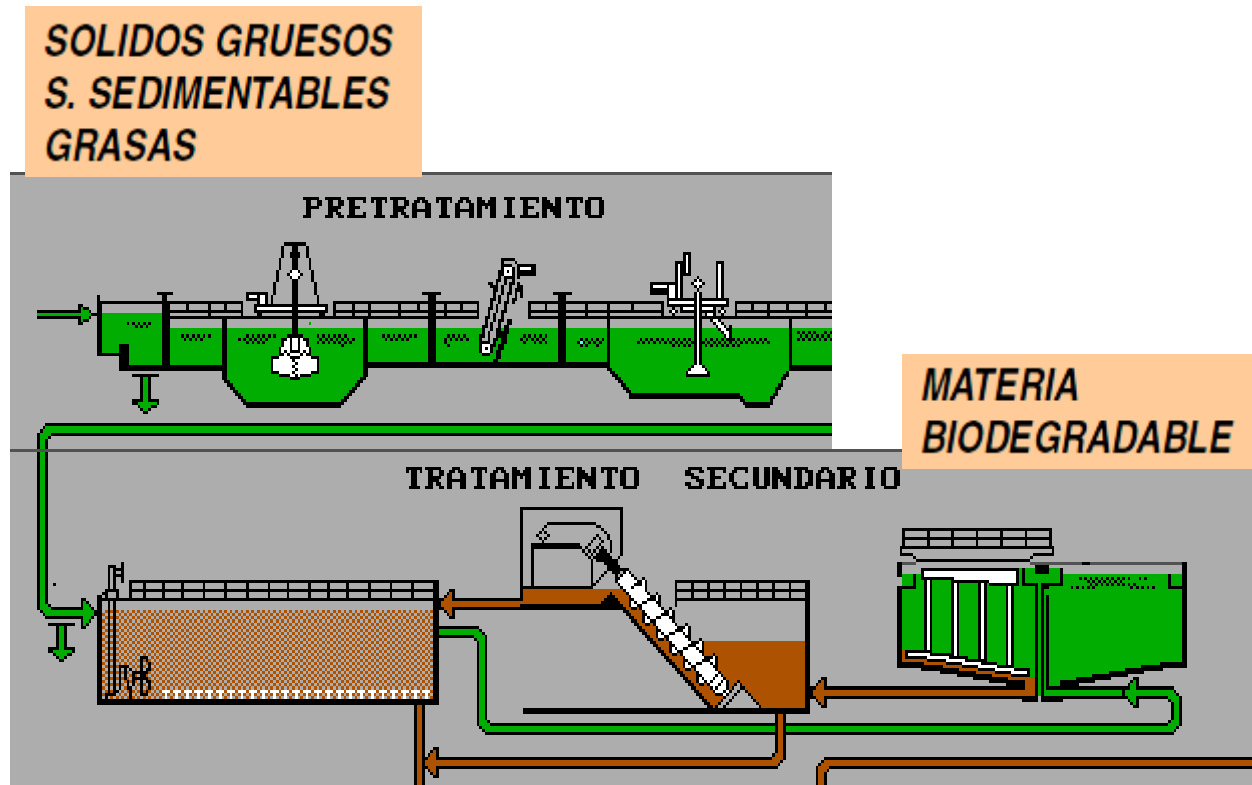
TABLA 2. REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS MEDIANTE TRATAMIENTO SECUNDARIO (a)

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (b)
DBO ₅ (c) (a 20° C sin nitrificación)	25 mg/L O ₂	70-90 %
DQO	125 mg/L O ₂	75 %
Total sólidos en suspensión	35 mg/L (d)	90 % (d)

TABLA 5. REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS MEDIANTE TRATAMIENTO MÁS RIGUROSO (a)

Parámetros	Concentración		Porcentaje mínimo de reducción (b)
	10.000 a 100.000 h-e	> 100.000 h-e	
Fósforo total	2 mg/L P	1 mg/L P	80 %
Nitrógeno total (c) (mg/L N)	15 mg/L N (d)	10 mg/L N	70-80 %

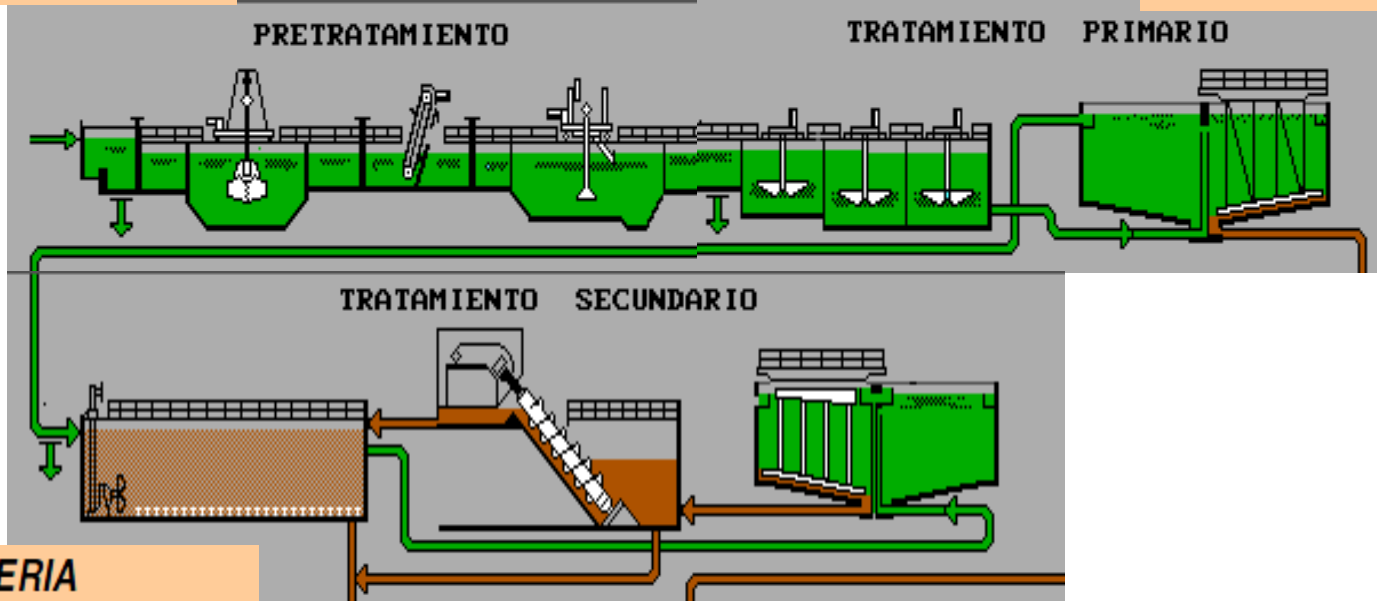
Sistemas de depuración



Sistemas de depuración

**SOLIDOS GRUESOS
S. SEDIMENTABLES
GRASAS**

S. SUSPENSIÓN



**MATERIA
BIODEGRADABLE**

Sistemas de depuración: eliminación de emergentes

Operaciones convencionales de depuración → Capacidad limitada en la eliminación de emergentes

PRETRATAMIENTO

Desbaste



Desarenado/Desengrasado



Sin
eliminación

Sistemas de depuración: eliminación de emergentes

TRATAMIENTO PRIMARIO

Decantación



Sin
eliminación

Eliminación
parcial

Precipitación química

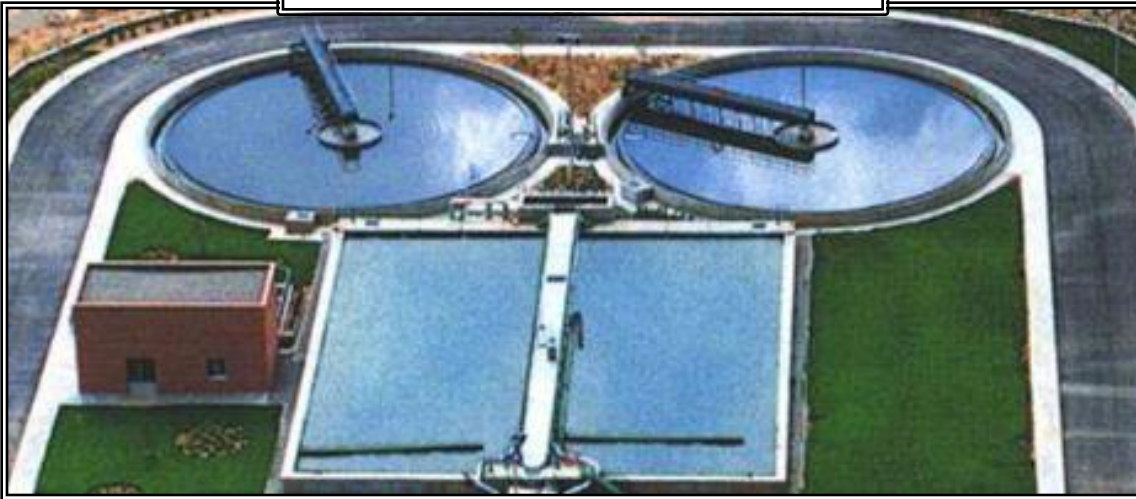


7 antibióticos → **Elim. No significativa** (Adams et al., 2002)
35 fármacos → **Elim. <30%** (Huerta-Fontela et al., 2011)
44 plaguicidas → **Elim. ~12%** (Miguel, 2010)

Sistemas de depuración: eliminación de emergentes

TRATAMIENTO SECUNDARIO

Tratamiento biológico



Eliminación
parcial

2 estrógenos, 2 disruptores endocrinos, 10 fármacos → Elim. <30% (*Uruse & Kikuta, 2005*)
30 fármacos → Elim. <40% (*Sipma et al., 2010*)

Emergentes en aguas depuradas

Un estudio calcula que en Zaragoza se consumen hasta 1,3 kilos de cocaína al día

La estimación máxima se detectó en una muestra recogida en julio del año pasado

ZARAGOZA. Un estudio realizado por científicos del CSIC sobre la presencia de drogas en las aguas residuales de varias ciudades de la cuenca del Ebro calcula que en Zaragoza hay días en los que el consumo de cocaína alcanza las 30 dosis por cada 1.000 habitantes de entre 15 y 64 años -cifras similares a Barcelona-. Esto equivale a decir que en la capital aragonesa se pueden llegar a esnifar -o a fumar- hasta 1,3 kilos de cocaína diarios. Lógicamente, estas cifras, las más altas de todo el informe, solo se alcanzarían en momentos muy concretos: fines de semana y grandes celebraciones como la Nochevieja o las fiestas del Pilar. De hecho, el mismo estudio ofrece otros datos correspondientes a una campaña de muestreos distinta que rebajan el consumo de cocaína al entorno de las 10 dosis por cada 1.000 habitantes de entre 15 y 65 años -en total, unos 500 gramos diarios-.

Todos estos números se han calculado midiendo los niveles de distintas drogas -o de compuestos derivados de ellas- en las aguas fecales que llegan a las depuradoras de Zaragoza, Lérida, Pamplona, Logroño, Tudela, Tortosa y Miranda de Ebro. Una vez obtenidas, esas concentraciones se han utilizado para hacer una estimación de cuál es el consumo aproximado de las sustancias analizadas en cada una de esas ciudades.

"Al igual que sucede con los medicamentos, las drogas de abuso se expulsan por el aparato excretor y acaban en las alcantarillas -explica Damià Barceló, científico del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua que el CSIC tiene en Barcelona-. Midiendo cuánta droga llega a las depura-



JUAN CARLOS ARCOS

Kilos de droga en las depuradoras. Las depuradoras de Zaragoza -en la imagen, la de La Cartuja- reciben cada año varios cientos de kilos de cocaína, cannabis y otras drogas. Una pequeña parte va al Ebro.

DRUGA EN LOS RÍOS

EL HUERVA, EL CAUCE CON MAYORES NIVELES

El estudio también analiza los niveles de droga en los caudales del Ebro y de varios de sus afluentes. Tanto en 2007 como en 2008 el cauce con mayor cantidad de estas sustancias fue el Huerva a su paso por Zaragoza, que en ambos casos superó los 200 nanogramos por litro duplicando o triplicando las concentraciones de otros

ríos. Al igual que sucede con los medicamentos, las drogas son un contaminante orgánico emergente que, aunque no supone un riesgo para la salud humana -haría falta beber 100.000 litros de agua para ingerir una dosis de cocaína-, puede tener efectos negativos para la flora y la fauna. En todos los tramos de río analiza-

dos se encontraron restos de cocaína o de sus derivados y de efedrina (un tipo de anfetamina). El éxtasis fue otra de las sustancias más detectadas, pero en concentraciones mucho menores. En cualquier caso, los niveles son muy inferiores al de las aguas residuales gracias a la labor de las depuradoras. **I. A. U.**

La campaña de muestreos reanuda el año pasado detectó mayores niveles de droga que la de 2007, lo que los autores achacan al aumento del consumo durante las vacaciones de verano. En Zaragoza, esas muestras se tomaron coincidiendo con la Expo.

En julio de 2008, la capital aragonesa no solo arrojó el consumo más alto de cocaína con 31 dosis por cada mil habitantes de entre 15 y 64 años, sino que también lideró el ranking de la heroína y estuvo a punto de hacer lo mismo con el cannabis. En ese último apartado, solo le superó Pamplona, con 13 dosis frente a las 12 de Zaragoza. En cuanto a la heroína, la ciudad aragonesa sextuplicó el consumo estimado de esta sustancia en el resto de ciudades.

En cuanto a los muestreos de octubre de 2007, los cálculos de los investigadores sitúan a Zaragoza en la línea del resto de poblaciones respecto a la cocaína, con un consumo de unas 11 dosis por cada mil habitantes de entre 15 y 64 años. El nivel de heroína también bajó bastante, aunque en este caso siguió siendo muy superior al del resto.

En cantidades totales de consumo diario, la capital aragonesa se mueve entre los 1,3 kilos y los 500 gramos de cocaína -la primera estimación es siempre la de 2008-; entre los 228 y los 104 gramos de anfetamina; entre los 45 y los 8 gramos de éxtasis; entre los 616 y los 374 gramos de heroína; y en torno a los 639 gramos de cannabis, ya que en este apartado no hay cifras respecto a 2007.

"Se trata de una primera aproximación al nivel de consumo de las drogas de abuso, pero puede valer para hacerse una idea de qué cantidades hablamos -opina Barceló-. Lógicamente, para tener datos fiables de Zaragoza o de cualquier otra ciudad hace falta hacer muestreos todos los días de la semana durante un período de al menos seis meses". De momento, esto ya se ha hecho en Barcelona, y los resultados indican que en el fin de semana se dobla el consumo de estupefacientes.

L. ARISTU

Emergentes en aguas depuradas



Fármacos → 0.2- 0.4 µg/L

(Petrovic, 2005)

Plaguicidas → 0.1-1.3 µg/L

Cafeína → 0.8 µg/L

(Grupo CTA)

Fármacos → 1.1-10 µg/L

Cafeína → 6 µg/L

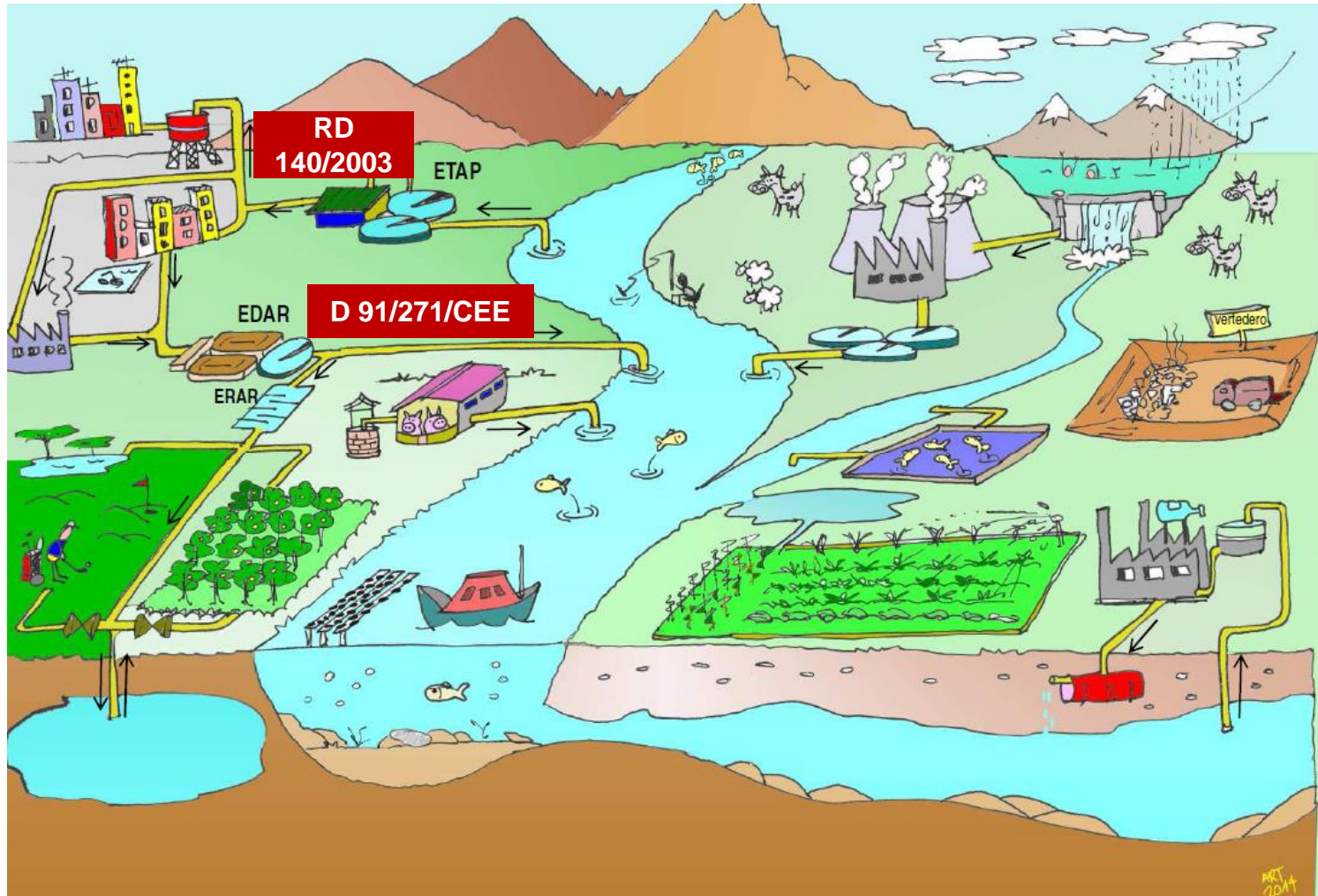
(Daughton & Ternes, 1999; Boxal, 2004)

Plaguicidas → 0.1-2.6 µg/L

(Miguel, 2010)



Ciclo urbano del agua



Potabilización: agua bruta

RD 140/2003

A. Parámetros microbiológicos.

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
1. Escherichia coli	0 UFC en 100 ml	
2. Enterococo	0 UFC en 100 ml	
3. Clostridium perfringens (incluidas las esporas)	0 UFC en 100 ml	1 y 2

C. Parámetros indicadores

Parámetro	Valor paramétrico		Notas
31. Bacterias coliformes	0 UFC	En 100 ml	
32. Recuento de colonias a 22 °C			
A la salida de ETAP	100 UFC	En 1 ml	
En red de distribución	Sin cambios anómalos		
33. Aluminio	200	µg/l	
34. Amonio	0,50	mg/l	
35. Carbono orgánico total	Sin cambios anómalos		1
36. Cloro combinado residual	2,0	mg/l	2, 3 y 4
37. Cloro libre residual	1,0	mg/l	2 y 3
38. Cloruro	250	mg/l	
39. Color	15	mg/l Pt/Co	
40. Conductividad	2.500	µS/cm ⁻¹ a 20 °C	5
41. Hierro	200	µg/l	
42. Manganeseo	50	µg/l	
43. Olor	3 a 25 °C	Índice de dilución	
44. Oxidabilidad	5,0	mg O ₂ /l	1
45. pH:			5 y 6
Valor paramétrico mínimo	6,5	Unidades de pH	
Valor paramétrico máximo	9,5	Unidades de pH	
46. Sabor	3 a 25 °C	Índice de dilución	
47. Sodio	200	mg/l	
48. Sulfato	250	mg/l	
49. Turbidez:			
A la salida de ETAP y/o depósito	1	UNF	
En red de distribución	5	UNF	

Potabilización: agua bruta

B.1 Parámetros químicos

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
4. Antimonio	5,0 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	10,0 µg/l	
5. Arsénico	10 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	50 µg/l	
6. Benceno	1,0 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
7. Benzo(a)pireno	0,010 µg/l	
8. Boro	1,0 mg/l	
9. Bromato:		1
A partir de 01/01/2009	10 µg/l	
De 01/01/2004 a 31/12/2008	25 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
10. Cadmio	5,0 µg/l	
11. Cianuro	50 µg/l	
12. Cobre	2,0 mg/l	
13. Cromo	50 µg/l	
14. 1,2-Dicloroetano	3,0 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
15. Fluoruro	1,5 mg/l	
16. Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA)	0,10 µg/l	
Suma de:		
Benzo(b)fluoranteno	µg/l	
Benzo(ghi)perileno	µg/l	
Benzo(k)fluoranteno	µg/l	
Indeno(1,2,3-cd)pireno	µg/l	
17. Mercurio	1,0 µg/l	
18. Microcistina	1 µg/l	2
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
19. Níquel	20 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	50 µg/l	
20. Nitrato	50 mg/l	3
21. Nitritos:		3 y 4
Red de distribución	0,5 mg/l	
En la salida de la ETAP/depósito 0,1 mg/l	0,1 mg/l	

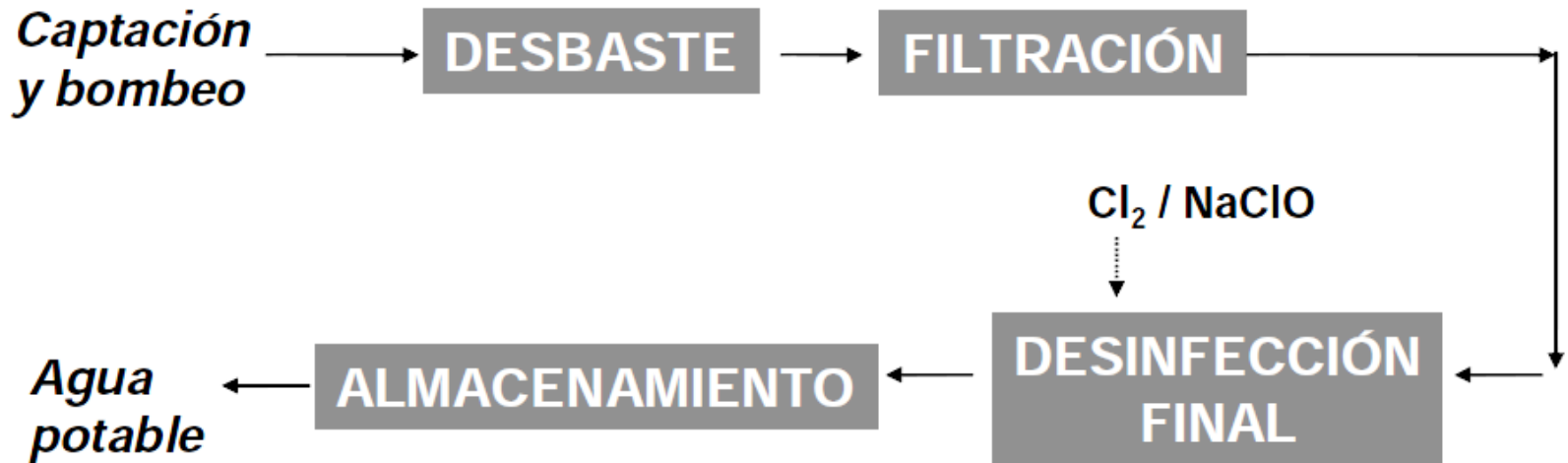
RD 140/2003

B.1 Parámetros químicos

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
22. Total de plaguicidas	0,50 µg/l	5 y 6
23. Plaguicida individual	0,10 µg/l	6
Excepto para los casos de:		
Aldrín	0,03 µg/l	
Dieldrín	0,03 µg/l	
Heptacloro	0,03 µg/l	
Heptacloro epóxido	0,03 µg/l	
24. Plomo:		
A partir de 01/01/2014	10 µg/l	
De 01/01/2004 a 31/12/2013	25 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	50 µg/l	
25. Selenio	10 µg/l	
26. Trihalometanos (THMs):		7 y 8
Suma de:		
A partir de 01/01/2009	100 µg/l	
De 01/01/2004 a 31/12/2008	150 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
Bromodiclorometano	µg/l	
Bromoformo	µg/l	
Cloroformo	µg/l	
Dibromoclorometano	µg/l	
27. Tricloroetano + Tetracloroetano	10 µg/l	
Hasta el 31/12/2003	- µg/l	
Tetracloroetano	µg/l	
Tricloroetano	µg/l	

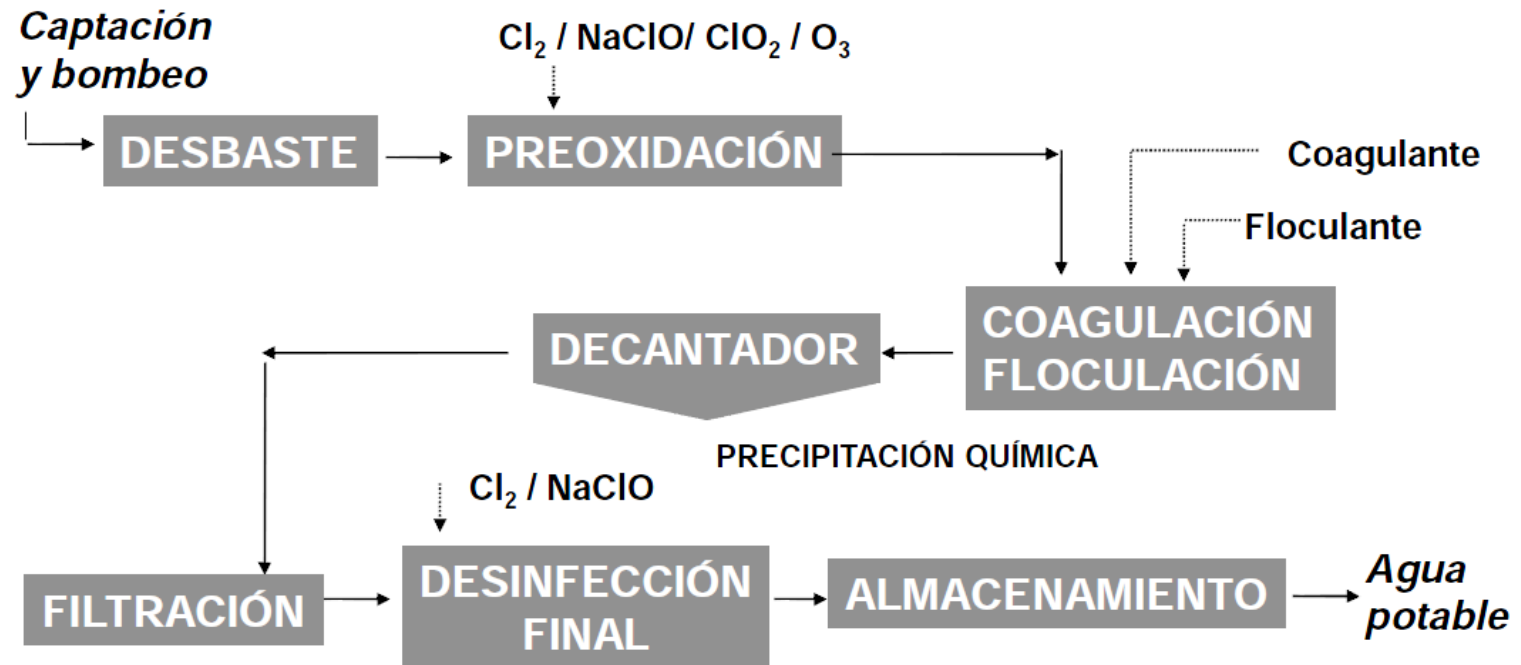
Sistemas de potabilización

SISTEMA DE POTABILIZACIÓN SIMPLE



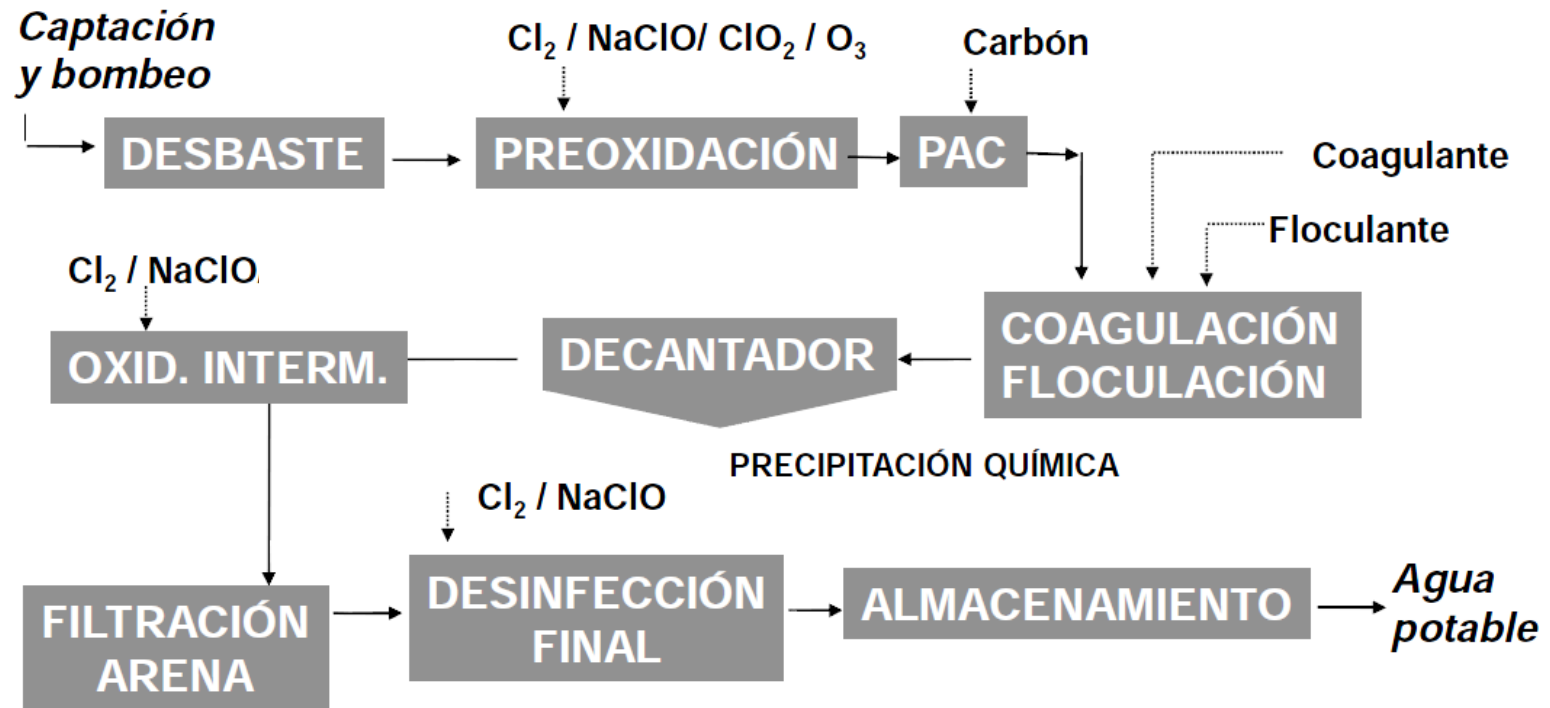
Sistemas de potabilización

SISTEMA DE POTABILIZACIÓN NORMAL



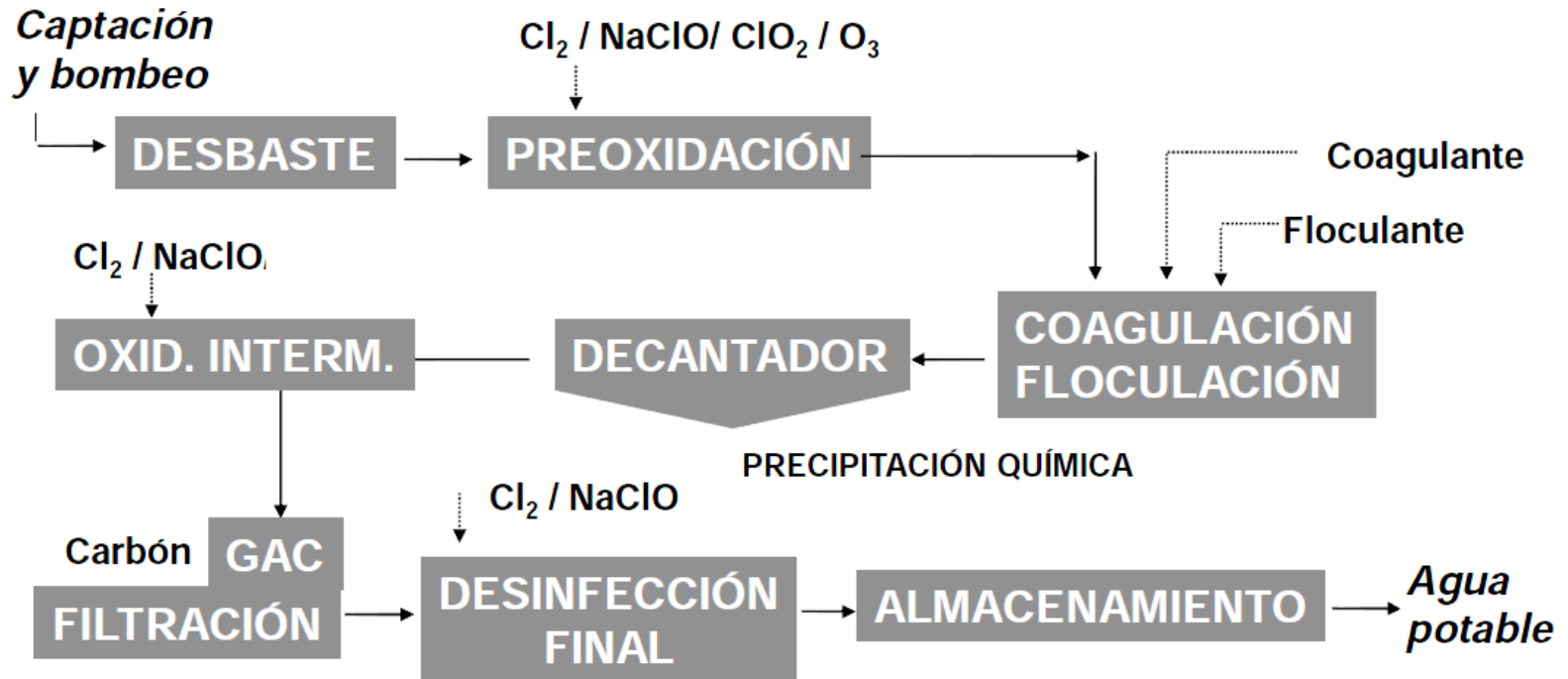
Sistemas de potabilización

SISTEMA DE POTABILIZACIÓN INTENSIVO



Sistemas de potabilización

SISTEMA DE POTABILIZACIÓN INTENSIVO



Sistemas de potabilización: eliminación de emergentes

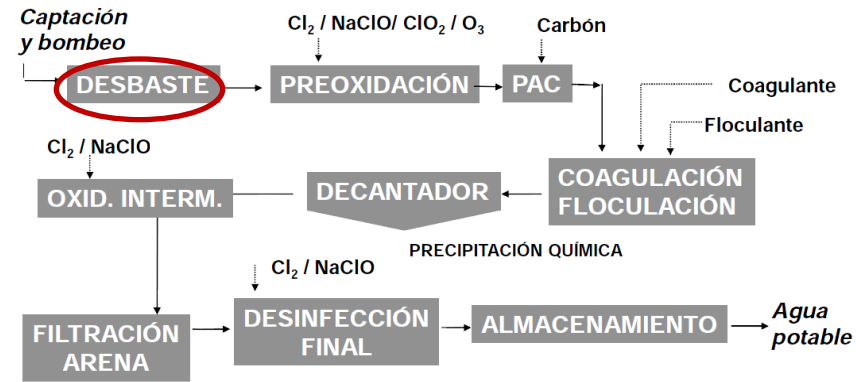
Operaciones convencionales de potabilización → Distinta capacidad de eliminación de emergentes



DESBASTE



Sin
eliminación

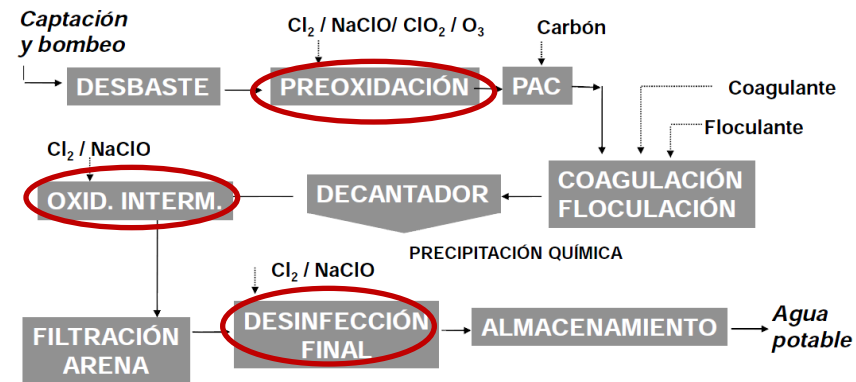


Sistemas de potabilización: eliminación de emergentes

OXIDACIÓN

ELIMINACIÓN DE:

- Gérmenes patógenos
- Olor, sabor, color
- Contaminantes inorgánicos (Fe, Mn, etc.)
- Contaminantes orgánicos (M.O., plaguicidas, fenoles, etc.)



USO DE REACTIVOS:

- Cloro gas
- Hipoclorito sódico
- Dióxido de cloro
- Ozono

Sistemas de potabilización: eliminación de emergentes

OXIDACIÓN CON CLORO GAS:

- Formación de subproductos: THMs (M.O.) y cloraminas (NH_4^+)
- Gas tóxico, envases a P
- Dosis 2-15 mg/L (15 min.)



OXIDACIÓN CON HIPOCLORITO SÓDICO:

- Formación de subproductos: THMs (M.O.) y cloraminas (NH_4^+)
- Líquido corrosivo
- Dosis 2-15 mg/L (15 min.)

OXIDACIÓN CON DIÓXIDO DE CLORO:

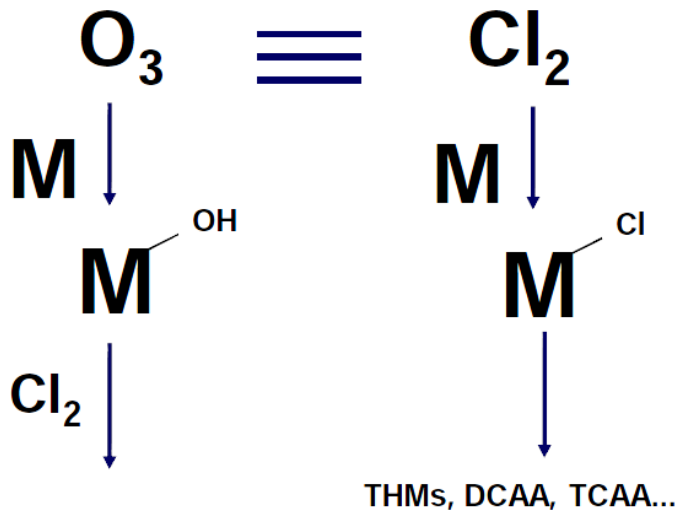
- Formación de subproductos: cloritos (máx. dosis aplicable 1.4ppm)
- Gas inestable, generación in situ

OXIDACIÓN CON OZONO:

- Formación de subproductos: bromatos (Br^-)
- Gas inestable, generación in situ
- Dosis 0.5-3 mg/L
- Mayor poder oxidante pero no poder residual



Sistemas de potabilización: eliminación de emergentes



¿ELIMINACIÓN DE
CONTAMINANTES
EMERGENTES?

Eliminación
parcial con cloro

Eliminación
parcial/total
con ozono

NO
ORGANOCLORADOS

SI
ORGANOCLORADOS

NO
PODER RESIDUAL

SI
PODER RESIDUAL

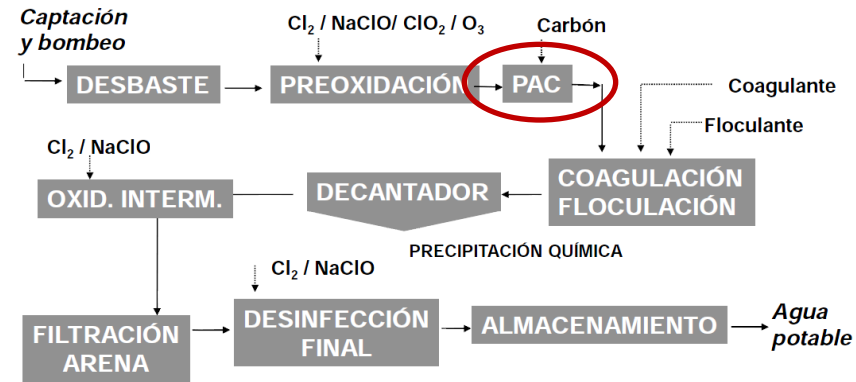
Fármacos y plaguicidas
(Adams et al., 2002)
(Miguel, 2010)
(Rivas et al., 2012)

Sistemas de potabilización: eliminación de emergentes

ADSORCIÓN

CARBÓN ACTIVADO

- En polvo (PAC)
- Granular (GAC)



Buena
eliminación!!!

Amoxicilina → Elim. ~95% (Putra et al., 2009)

Triclosán → Elim. ~60% (Behera et al., 2010)

Bisfenol A, ibuprofeno → Elim. 100% (Katsigiannis et al., 2015)

6 estrógenos → Elim. ~100% (Bodzek & Dudziak, 2006)

44 plaguicidas → Elim. ~70-80% (Miguel, 2010)

Otros → Elevada elim. (Deblonde et al., 2011; Mailler et al., 2015; Wang et al., 2016)

Sistemas de potabilización: eliminación de emergentes

FILTRACIÓN

- ARENA

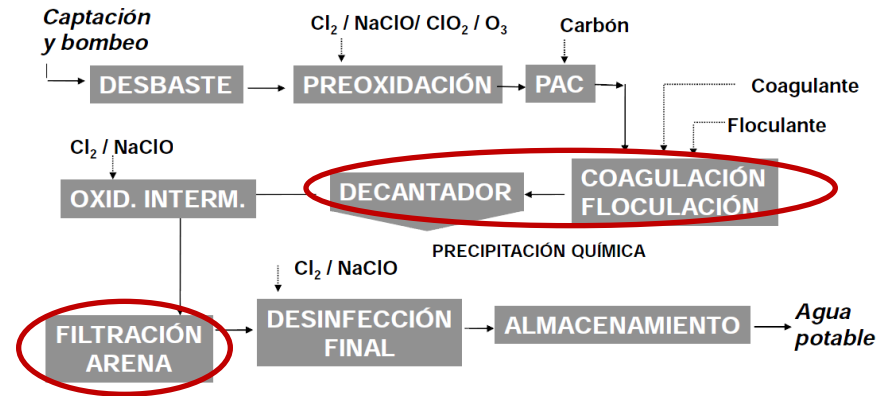


Sin eliminación

- CARBÓN ACTIVO GRANULAR

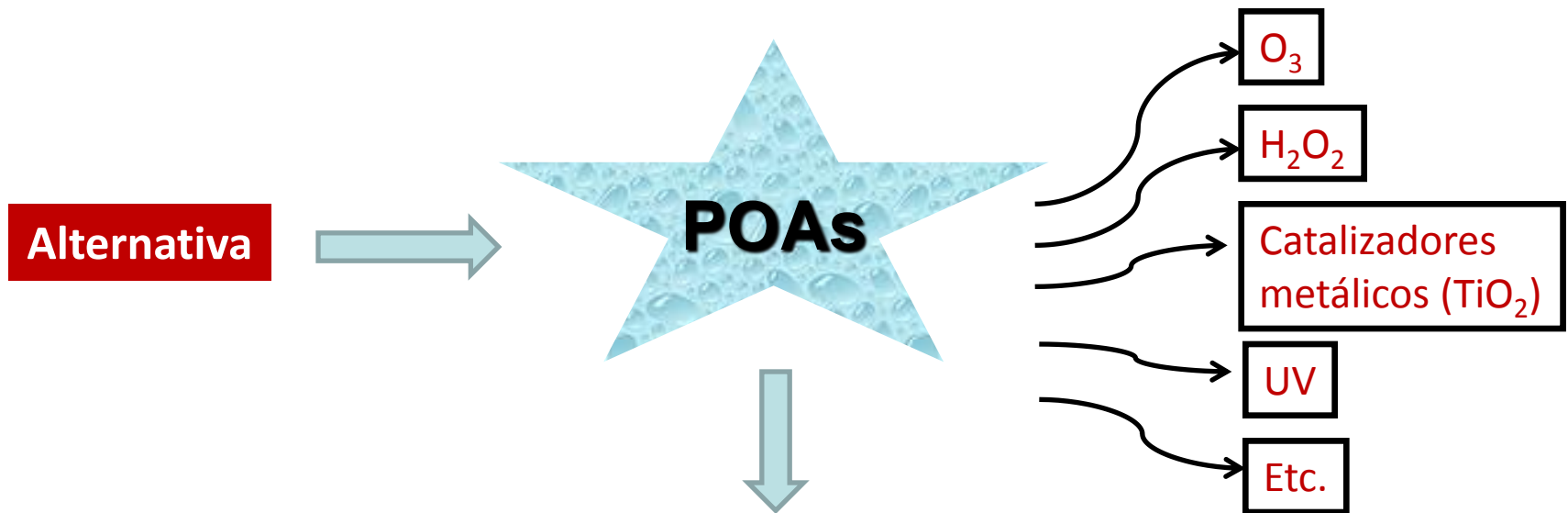


Buena eliminación



Procesos de oxidación avanzada

Tratamientos alternativos aplicables en plantas de tratamiento de aguas



Procesos basados en la generación de especies reactivas del oxígeno (ROS)

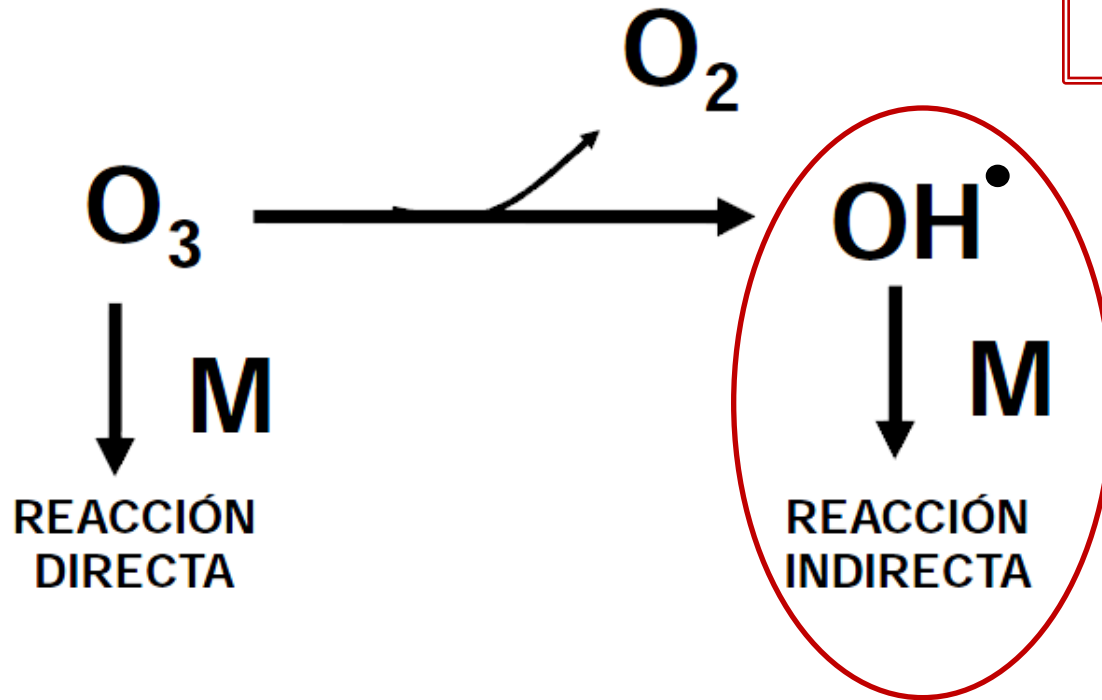
- Elevado potencial de oxidación/desinfección
- Ataque no selectivo (compuestos tóxicos, no biodegradables)
- Sin subproductos o subproductos más biodegradables



Procesos de oxidación avanzada

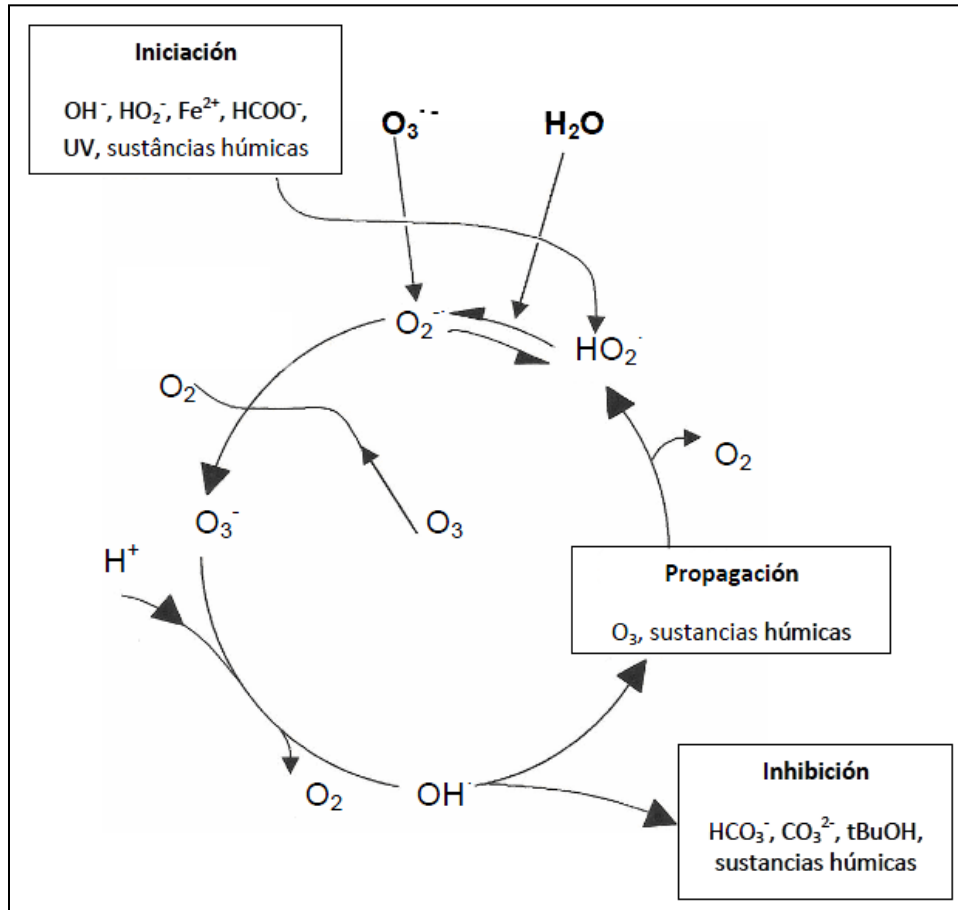
<i>Especie</i>	<i>E° (V, 25°C)</i>
Flúor	3,03
Radical hidroxilo	2,80
Oxígeno atómico	2,42
Ozono	2,07
Peróxido de hidrógeno	1,78
Radical perhidroxilo	1,70
Permanganato	1,68
Dióxido de cloro	1,57
Ácido hipocloroso	1,49
Cloro	1,36

POAs basados en ozono



Influenciado por el pH

POAs basados en ozono



(Langlais et al., 1991)

Eliminación de emergentes variable

✓ **Fármacos** → Elim. 80-100%
(Adams et al., 2002; Garoma et al., 2010; Rivas et al., 2012; Kuang et al., 2013)

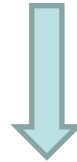
✓ **Plaguicidas** → triazinas, aldrín, etc.
(Lai et al., 1995; Wu et al., 2007)

✗ **Plaguicidas** → DDTs, diuron, etc.
(Ormad et al., 1994; Chen et al., 2008)

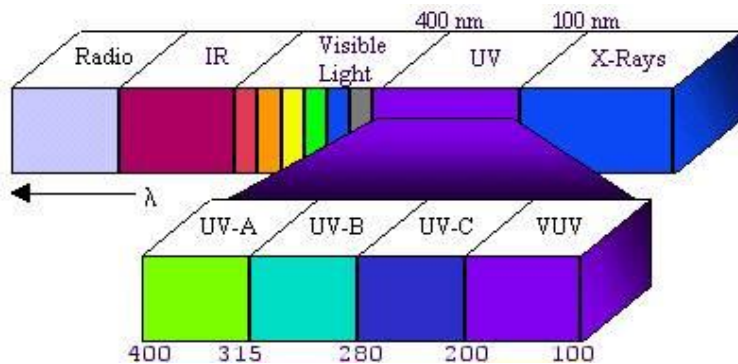


POAs basados en ozono

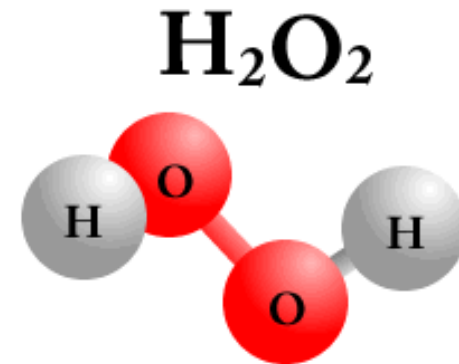
Degradación de los contaminantes a otros compuestos refractarios al ozono



Combinación del O₃ con:



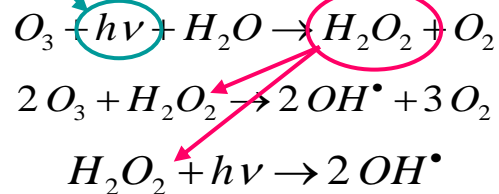
Y/O



POAs basados en ozono

O₃/UV

254 nm

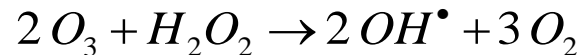


- En general, más efectivo que O₃
- Depende de:
 - Intensidad radiación
 - pH, matriz
 - Tipo contaminante

Disruptores endocrinos, fármacos

(Lau et al., 2007; Chávez et al., 2016)

O₃/H₂O₂



- Depende de:
 - Concentraciones
 - pH
 - Tipo contaminante
- Sinergia?

Ibuprofeno y diclofenaco

(Zwiener et al., 2000)



Plaguicidas

(Chen et al., 2008; Wu et al., 2008)



Plaguicidas, fármacos

(Beltrán et al., 1994; Oguz et al., 2007; Hansen et al., 2016)

O₃/H₂O₂/UV

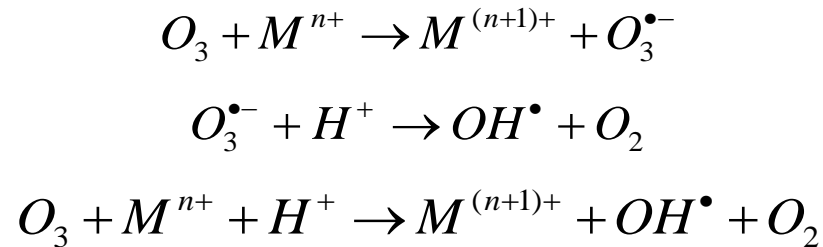
- Depende de:
 - Intensidad radiación
 - pH, matriz
 - Relación concentraciones
 - Tipo contaminante
- Sinergia?

Escasa bibliografía



POAs basados en ozono

Ozonización catalítica y fotocatalítica



- Hierro, manganeso, cromo y óxidos
- En fase homogénea → menor eficacia
- En fase heterogénea → eliminación del cat.
- Depende de:
 - Propiedades físico-químicas del catalizador
 - Tipo de contaminante
 - pH



Fármacos y PCPs (Giri et al., 2010)

Varios (Rodríguez et al., 2012)

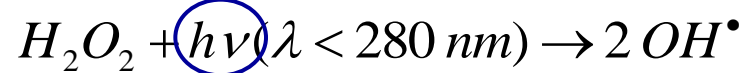


44 Plaguicidas (Miguel, 2010)

POAs basados en peróxido de hidrógeno

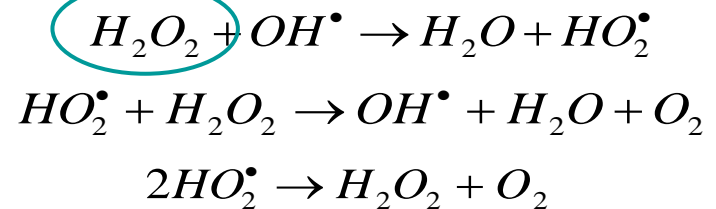
H₂O₂/UV

Especie	E° (V, 25°C)
Ozono	2,07
Peróxido de hidrógeno	1,78



máx. 220 nm

- Rad. UV → cierta eficacia en emergentes
- H₂O₂/UV aumenta la eficacia
- Depende de:
 - Concentración de H₂O₂
 - pH, matriz



Buena eliminación de emergentes

Octilfenol (Neamtu et al., 2009)

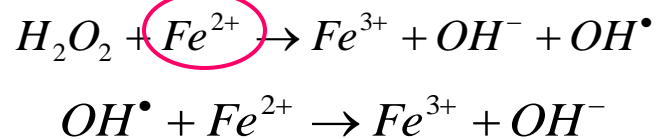
Plaguicidas (Gao et al., 2009; Chelme-Ayala et al., 2010)

Fármacos (Ryan et al., 2011; Yuan et al., 2011; Shu et al., 2013)

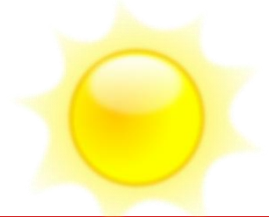
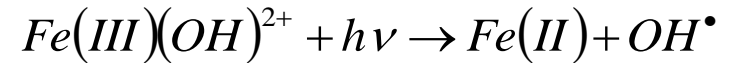


POAs: Fenton y Foto-Fenton

Fe/H₂O₂



Fe/H₂O₂/UV-Vis



- En general, Foto-Fenton más efectivo que Fenton
- Eficaz a pH ácido (3-5) → Limitación en su aplicación
- Depende de:
 - Intensidad radiación
 - pH, matriz
 - Concentración de H₂O₂

**Buena eliminación
de emergentes**

Antibióticos (Arslan-Alaton et al., 2004; Shemer et al., 2006; Bautitz & Nogueira, 2007)

Varios (Bernabeu et al., 2011; Prieto-Rodríguez et al., 2013)

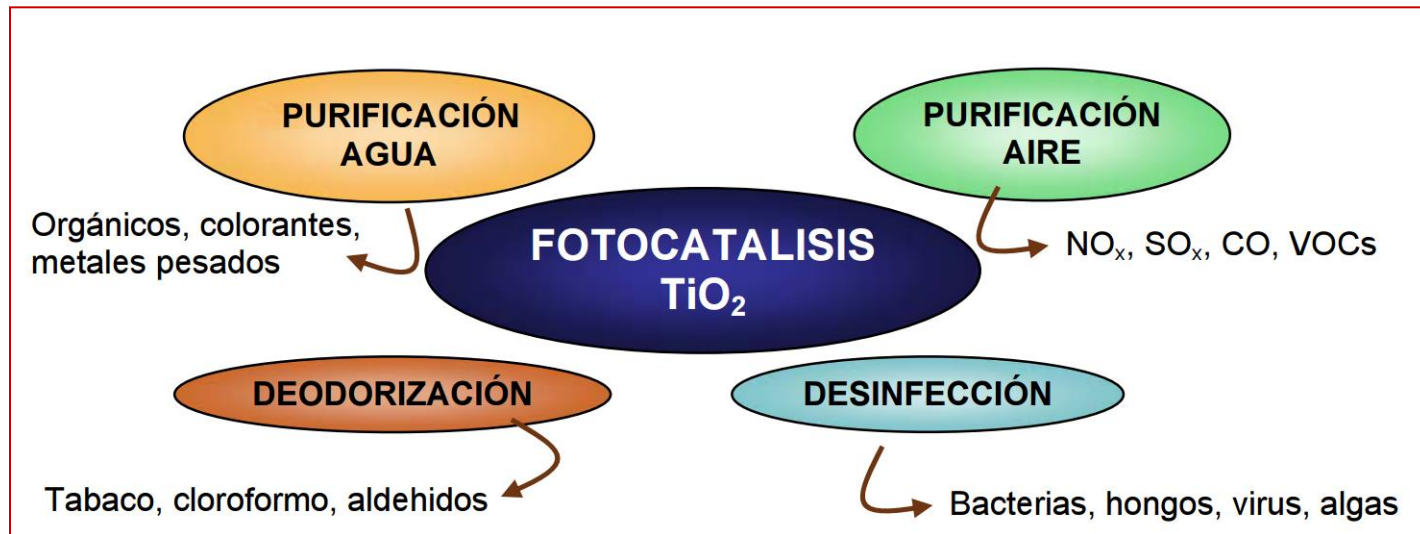
Antidepresivo (Giannakis et al., 2016)

POAs: fotocatalisis

FOTOCATÁLISIS = RADIACIÓN + CATALIZADOR

CATALIZADORES → Semiconductores metálicos

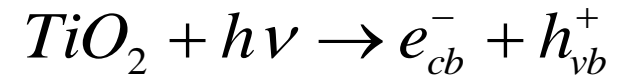
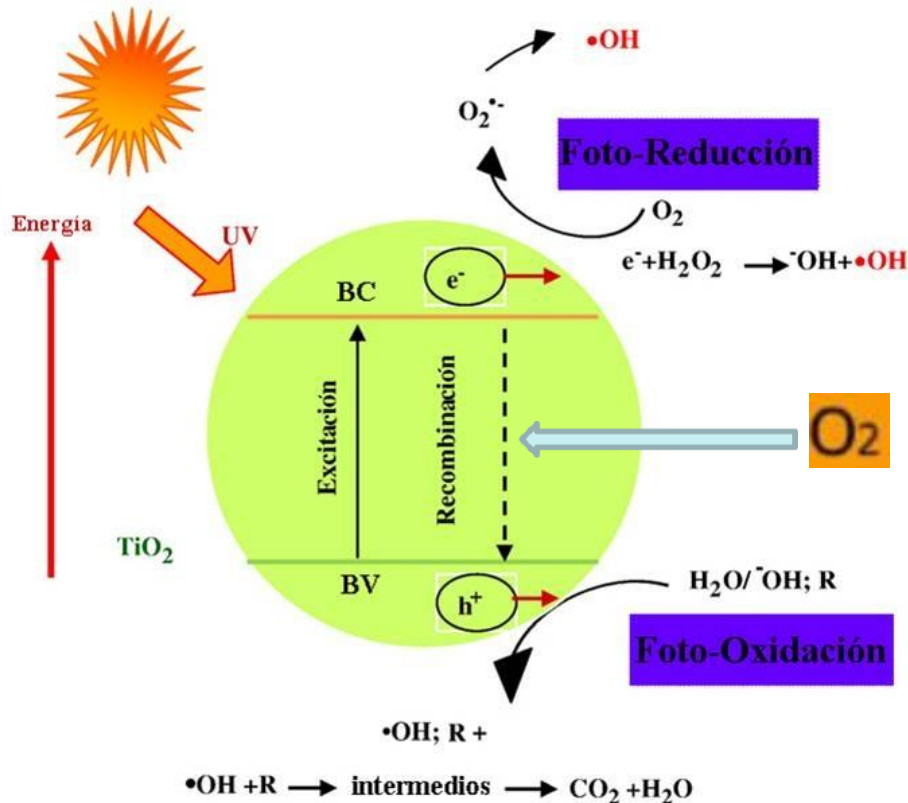
TiO₂



(divulgaucoquimica.blogspot.com)

POAs: fotocatalisis

ACTIVACIÓN DEL CATALIZADOR



POAs: fotocatalisis

Ventajas → *Reactivo económico*

Uso de luz solar

Desventajas → *Separación del catalizador
de la matriz acuosa*



Limitación en aplicación
Desarrollo de soportes

**Buena eliminación
de emergentes**

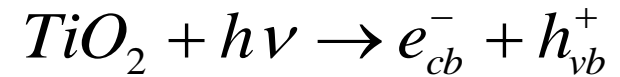
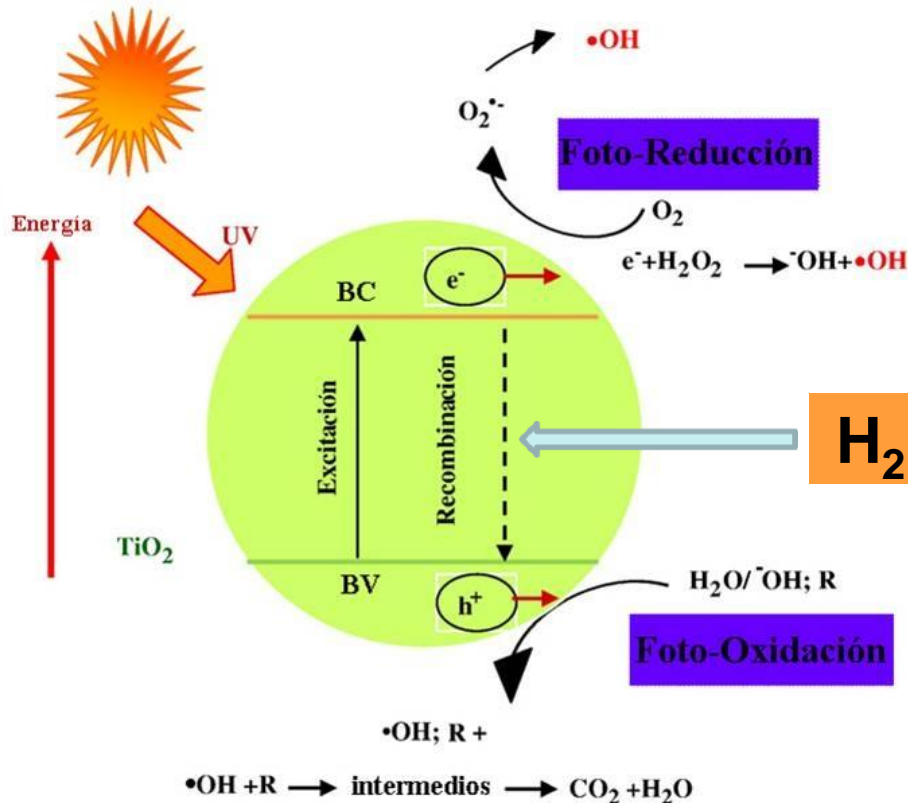
Plaguicidas (*Konstatinou et al., 2001; Parra et al., 2002; Wei et al., 2008; Sanches et al., 2010; Miguel, 2010*)

Fármacos (*Bernabeu et al., 2011*)

Varios (*Klavarioti et al., 2009; Prieto-Rodríguez et al., 2012*)

POAs: fotocatalisis con H₂O₂

ACTIVACIÓN DEL CATALIZADOR



POAs: fotocatálisis con H_2O_2

TiO_2/UV vs $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$?



Relación de concentraciones

Mezclas complejas de contaminantes



Plaguicidas (*Miguel, 2010; Affam & Chaudhuri, 2013*)

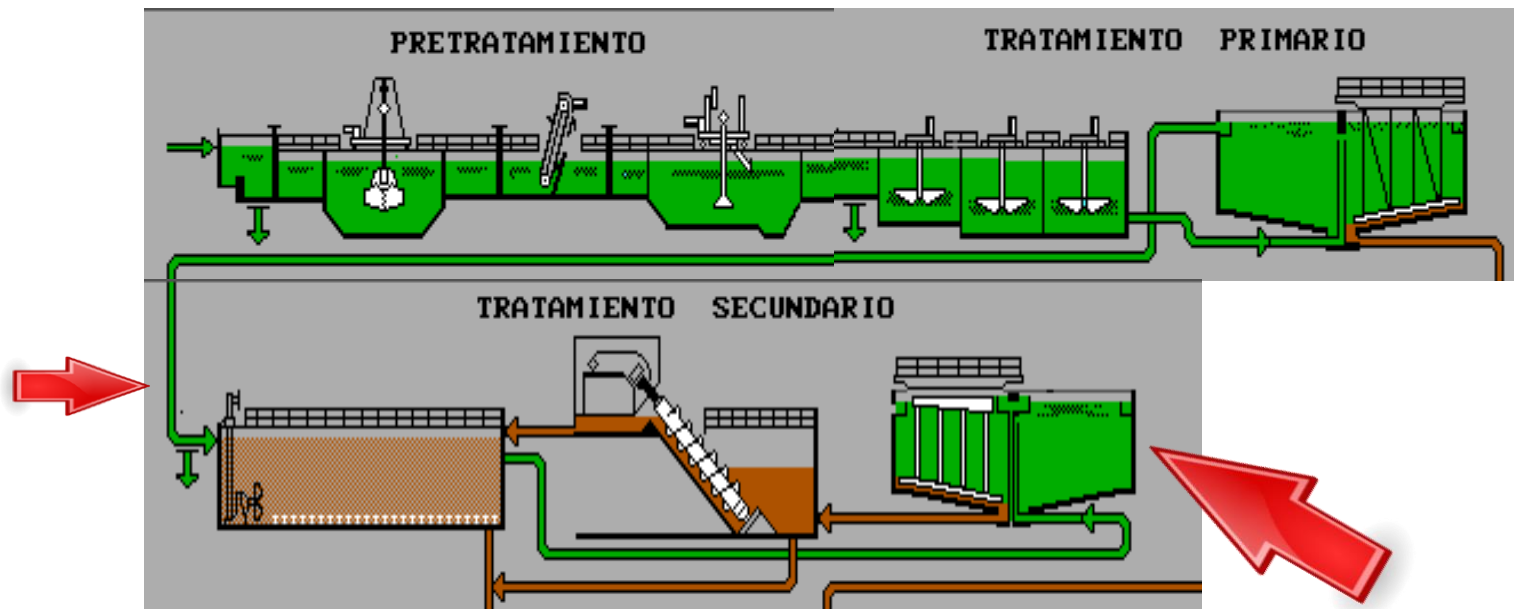
Antibióticos (*Elmolla & Chaudhuri, 2010*)

Escasa bibliografía

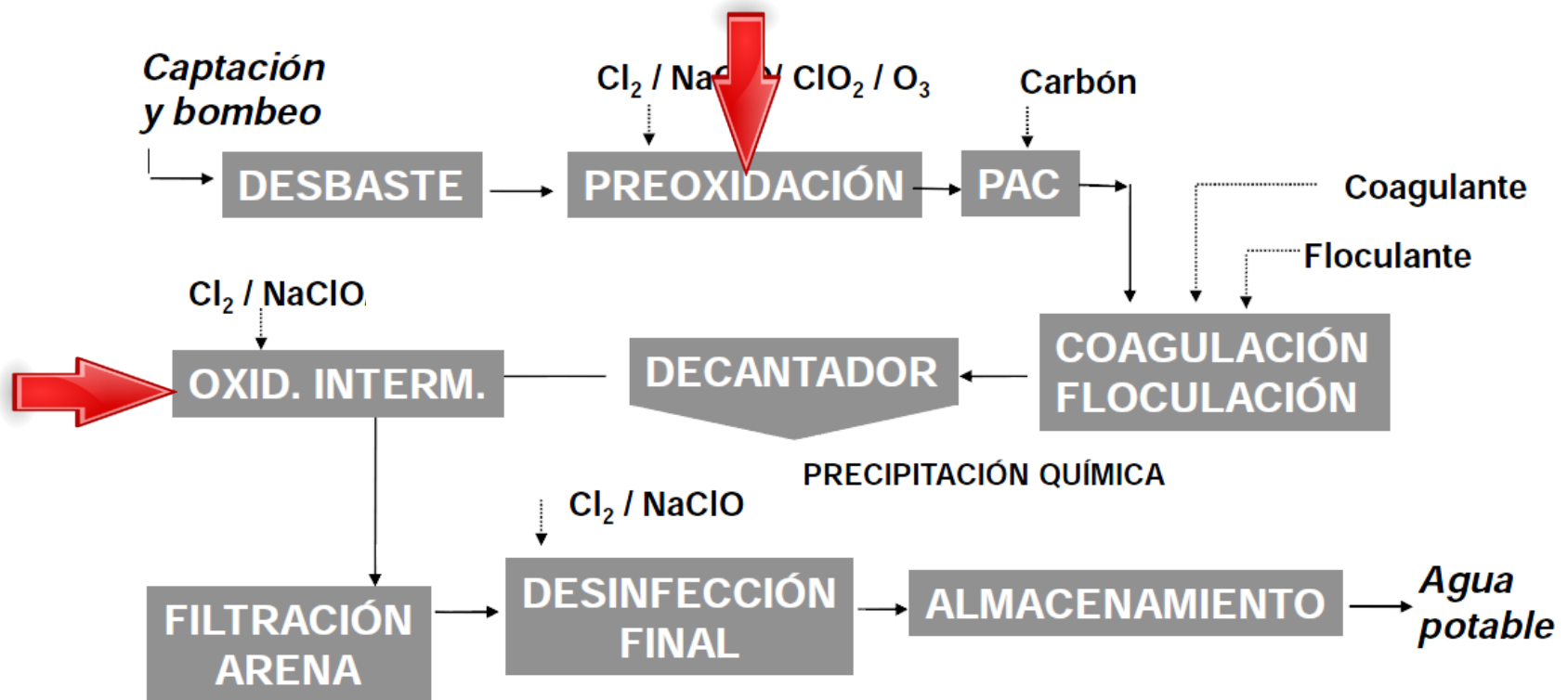


Fármacos (*Pablos et al., 2013*)

Aplicación de POAs: depuración



Aplicación de POAs: potabilización



Introducción general a procesos avanzados de oxidación y desinfección y su aplicación en potabilización y depuración, en el control de emergentes



Dra. Natividad Miguel Salcedo

*Grupo de Investigación Calidad y Tratamiento de Aguas
Profesora de la Escuela Politécnica Superior de Huesca*