

2010-2011  
2012-2013  
2014-2015

GESTIÓ DEL CONEIXEMENT



Aigua no apte pel consum humà  
Tractaments. Millor tecnologia disponible  
Adaptabilitat pràctica

Data: febrero 2012

Ampliacions: 1 octubre 2013 i 31 gener 2016

Revisió:

### **Avis legal**

Aquesta obra està subjecta a una llicència Reconeixement 3.0 de Creative Commons. Se'n permet la reproducció, la distribució, la comunicació pública i la transformació per generar una obra derivada, sense cap restricció sempre que se'n citi el titular dels drets (Generalitat de Catalunya. Departament de Salut). La llicència completa es pot consultar a:

<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/es/legalcode.ca>



# Índex

<b>1.</b>	<b>Participants .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Introducció .....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Fitxes de paràmetres i de Tecnologia .....</b>	<b>6</b>
3.1.	Fitxa descriptiva del paràmetre i fitxa de camp .....	6
3.2.	Fitxa de Tecnologia .....	6
<b>4.</b>	<b>Fitxes elaborades fins ara per la nostra CoP .....</b>	<b>8</b>
4.1.	Paràmetres .....	8
4.2.	Tecnologia .....	8
<b>5.</b>	<b>Experiència i dificultats en la confecció de les fitxes .....</b>	<b>9</b>
<b>6.</b>	<b>Conclusions .....</b>	<b>11</b>
<b>7.</b>	<b>Annex I. Fitxa tipus de Paràmetres .....</b>	<b>12</b>
<b>8.</b>	<b>Annex II. Fitxa de camp tipus .....</b>	<b>12</b>
<b>9.</b>	<b>Annex III. Fitxa tecnològica tipus .....</b>	<b>12</b>
<b>10.</b>	<b>Annex IV. Fitxes elaborades fins ara .....</b>	<b>12</b>
10.1.	Nitrats .....	12
10.2.	Fluorours .....	12
10.3.	Tricloroetilè (TCE) i tetracloroetilè/percloroetilè (PCE) .....	12
10.4.	Manganès .....	12
10.5.	Ferro .....	12
10.6.	Electrodiàlisi reversible .....	12
10.7.	Intercanvi iònic .....	12
10.8.	Osmosi inversa .....	12
10.9.	Carbó activat .....	12
10.10	Stripping .....	12
10.11	Alúminica activada .....	12
10.12	Nanofiltració .....	12

## 1. Participants

### Autors

#### *Moderadora:*

Cognoms, Nom	Professió	Lloc de treball	Correu electrònic
Pedrol Carol, Annabel	Farmacèutica	EPS Maresme. SR Barcelona	annabel.pedrol@gencat.cat

Cognoms, Nom	Professió	Lloc de treball	Correu electrònic
Veciana García-Boente, Pilar	Farmacèutica	Àrea de Gestió de Riscos. SR Barcelona	pilar.veciana@gencat.cat
Escofet Pujol, Anna	Farmacèutica	ETSP Alt Penedès. SR Barcelona	annae@gencat.cat
Ortiz Boix, Elvira	Farmacèutica	ETSP Baix Llobregat. SR Barcelona	elvira.ortiz@gencat.cat
Carreras Torrus, Jordi	Farmacèutic	ETSP La Selva. SR Girona	jordi.carrerasto@gencat.cat
Castelltort Segura, Amàlia	Farmacèutica	Àrea de Gestió de Riscos. SR Cat. Central	acastelltorts@gencat.cat
Camps Comas, Gemma	Farmacèutica	ETSP Maresme. SR Barcelona	gcampsc@gencat.cat
Badia Del Romero, Joan Carles	Farmacèutic	ETSP Baix Llobregat. SR Barcelona	joancarles.badia@gencat.cat
Sureda Solà, Emma	Farmacèutica	ETSP Maresme. SR Barcelona	esuredas@gencat.cat
Belmonte Serra, Marta	Farmacèutica	ETSP Vallès Occidental Oest	marta.belmonte@gencat.cat
Puerto Casasnovas, Yolanda	Farmacèutica	ETSP Baix Penedès	yolanda.puerto@gencat.cat

### Col·laboradors

Lleonart Matia Ribot, d'AGBAR  
Joaquim Perelló, de Stenco

APS: Agència de Protecció de la Salut

SC: serveis centrals de l'APS

SR: serveis regionals de l'APS

ETSP: equip de protecció de la salut de l'APS

## 2. Introducció

L'àmbit de l'aigua de consum humà està força documentat pel que fa a l'aspecte tècnic. Hi ha diverses guies i recomanacions d'organismes oficials, com l'OMS, o d'associacions de subministradors professionals d'aigua que recullen tot el que cal saber sobre els efectes per a la salut dels contaminants, les tecnologies disponibles, les recomanacions de gestió del risc, etc. Si bé són guies molt útils i suficientment contrastades, només recullen aspectes parcials, fet que obliga a consultar-ne més d'una quan cal fer un informe tècnic sobre una nova captació d'aigua o quan s'ha de valorar si les mesures adoptades per una gestora davant d'un incompliment de la normativa són adients.

La nostra comunitat de pràctiques (CoP) es va formar a partir d'una idea original d'alguns dels components, que en la pràctica diària trobaven a faltar un recull de recomanacions simples i de consulta ràpida que servissin per avaluar, gestionar i comunicar el risc que suposa la presència de diferents contaminants en les aigües de consum humà. Ens estàvem plantejant com podíem encarar aquest projecte, quan va sorgir la idea de les comunitats de pràctiques, i vam veure que eren just el que necessitàvem per poder-lo tirar endavant. Així, doncs, aquell primer grup de tres persones s'ha anat ampliant amb nova gent, tots farmacèutics de professió, de tres serveis regionals (SR) diferents.

Com acostuma a succeir, els inicis d'un nou projecte són feixucs. Ha estat necessari definir exactament quin producte volíem i redefinir-lo més d'un cop perquè respongués clarament a les necessitats dels diferents nivells de la nostra organització. Ha calgut repartir-nos la feina i homogeneïtzar els criteris de disseny, ordre i contingut. El resultat ha estat un primer producte que es va presentar al 2011 i que ha tingut continuïtat en aquests anys : unes plantilles de fitxes i unes fitxes elaborades que permeten una consulta ràpida dels paràmetres que hem considerat d'interès en les aigües de consum humà, i de les tecnologies disponibles associades.

Esperem poder continuar amb la tasca que ens hem proposat i que any a any el nombre d fitxes vagi creixent.

Annabel Pedrol  
març de 2014

### 3. Fitxes de paràmetres i de tecnologia

S'han definit dos tipus de fitxes: la fitxa descriptiva dels paràmetres fisicoquímics i microbiològics d'interès en les aigües de consum humà i la fitxa de tecnologia actual en el tractament de les aigües de consum humà. A més, per a cada paràmetre s'ha definit el que nosaltres anomenem fitxa-resum o fitxa de camp.

El nostre objectiu és disposar d'un recull de fitxes de consulta ràpida, de tipus separata, que es vagin actualitzant a mesura que la tecnologia avança i que serveixin tant per als tècnics de camp (ETSP i SR), com per als que desenvolupen la seva feina diària al despatx (SR i SC).

#### 3.1. Fitxa descriptiva de paràmetre i fitxa de camp

Com el seu nom indica, és una fitxa i no un compendi d'informació. Hem intentat normalitzar-ne el disseny i el contingut fent un esforç de síntesi, amb l'objectiu de prioritzar la concisió per sobre de la informació. Cada tècnic pot ampliar la informació per mitjà de l'apartat de bibliografia i les fitxes de tecnologia.

Tant la descripció del paràmetre com la fitxa de camp tenen la mateixa estructura, si bé una és més resumida que l'altra:

- Nom del paràmetre
- Valors normatius de referència
- Efectes sobre la salut
- Origen del paràmetre
- Tractaments
- Control
- Alternatives al tractament
- Comunicació del risc
- Bibliografia

En els annexos I i II es poden veure les fitxes tipus dissenyades i la guia que cal seguir per emplenar-les.

#### 3.2. Fitxa de tecnologia

Com a informació complementària de les fitxes dels paràmetres, hem elaborat unes fitxes on es descriuen amb més detall les característiques de cada tecnologia. Sense arribar a fer una recopilació exhaustiva de la informació disponible, aquestes fitxes pretenen explicar els fonaments físics i químics en què es basen i els usos més freqüents (vegeu l'annex III).

L'estructura de l'apartat de tecnologia és la següent:

- Nom de la tècnica
- Fonament

- Descripció
- Usos
- Eficàcia
- Limitacions
- Tractaments complementaris obligats
- Valoració
- Bibliografia

## 4. Fitxes elaborades fins ara per la nostra CoP

### 4.1. Paràmetres

- Nitrats
- Percloroetilè (PCE) i tricloroetilè (TCE)
- Fluorurs
- Manganès

Hem triat aquests paràmetres i no uns altres per diverses raons:

- Són paràmetres estretament relacionats amb problemes de salut quan se supera un valor paramètric determinat: nitrats, fluorurs, TCE i PCE.
- Són els paràmetres que donen més problemes en els àmbits territorials d'on provenen els components de la CoP.
- Són paràmetres dels quals sabíem que trobaríem prou documentació tècnica per avançar en la tasca que ens havíem proposat.

A l'annex IV trobareu les fitxes acabades.

### 4.2. Tecnologia

Com ja hem comentat, per tal de facilitar la lectura de les fitxes dels paràmetres i perquè no siguin massa feixugues, hem considerat convenient fer unes fitxes de tecnologia en què es descriguin més detalladament els fonaments, l'eficàcia i les limitacions de les tecnologies que es poden emprar per al tractament de més d'un paràmetre, i deixar per a les fitxes de paràmetres les especificacions d'ús per a cada paràmetre en concret.

En l'annex IV us presentem les fitxes acabades.

- T1- Electrodiàlisi reversible
- T2- Intercanvi iònic
- T3- Osmosi inversa
- T4- Carbó activat
- T5- *Stripping*
- T6- Alúmina activada
- T7- Nanofiltració



## 5. Experiència i dificultats en la confecció de les fitxes

D'entrada sabíem que el que ens proposàvem no seria fàcil. Com ja hem comentat, hi ha una extensa bibliografia sobre el tema als organismes oficials i en revistes especialitzades. A més, no és un tema nou per a l'organització. Tant les unitats dels serveis centrals (SC) com dels SR anteriors a la constitució de l'APS portaven un llarg recorregut de recollida i elaboració de documentació en aquest àmbit, que l'APS ha continuat. Així doncs, el repte era recollir tota aquesta informació, analitzar-la, digerir-la, seleccionar-la i transformar-la en un producte senzill i d'ús diari.

En la primera reunió, al 2010, es van decidir els paràmetres de treball, es van formar els grups, es va repartir la feina i es va establir el calendari. Es va proposar un esborrany d'estructura i de contingut de les fitxes dels paràmetres, que calia provar i comentar en la reunió següent. La idea era provar la fitxa, tot fent-la servir des del primer moment.

A la segona reunió es van presentar els primers esborranys de fitxes i va aparèixer el primer problema: com s'havia de tractar el tema de la tecnologia. Una opció era limitar-se a posar el nom de la tècnica, o bé descriure'n el fonament perquè qualsevol persona pogués entendre'n millor l'ús en cada cas. La pregunta era com fer-ho. Es podien repetir els fonaments de la tècnica en cada paràmetre en què fos necessari o fer un apartat comú. En aquell moment ja es va reformular el producte que estàvem treballant. Es va fer evident que no es podien incloure tots els fonaments de les diferents tècniques a les fitxes dels paràmetres, ja que serien massa llargues i, a més, era bastant absurd que cada grup hagués de treballar el mateix quan hi havia tècniques comunes per al tractament dels diferents paràmetres. Així doncs, va sorgir la idea de fer unes fitxes de tecnologia comunes, a més de les de paràmetres.

A la tercera reunió va sorgir un dels esculls més importants, fruit dels diferents enfocaments i necessitats dels membres de la CoP. El nostre grup està format per membres de les àrees de riscos dels SR, coordinadors farmacèutics i tècnics inspectors d'EPS. La moderadora, a més, és responsable d'un EPS. Les persones que treballaven sobre el territori volien unes fitxes que es poguessin endur durant les inspeccions i que, en cas de trobar-se amb un problema *in situ*, poguessin consultar per obtenir una primera recomanació. Havien de ser simples i clares, sense massa explicacions tècniques. Per contra, els tècnics dels SR necessitaven una informació més extensa i detallada que els permetés informar, des del despatx, de projectes de noves captacions i tractaments proposats per les gestores i, fins i tot, rebatre propostes de línies de tractament que constaven en els expedients que havien d'informar. En un terme mitjà hi havia les coordinadores farmacèutiques que, si bé trobaven molt útils les fitxes de camp, necessitaven més informació per poder donar resposta a les consultes de les gestores del seu àmbit territorial, o donar suport a les mesures dictades per una persona membre del seu equip durant una inspecció. A més, ja s'havia fet molta feina i s'havia recollit molta informació. No es volia perdre el que ja s'havia fet, que és el que alguns membres argumentaven si ens limitàvem a les fitxes de camp. Finalment es va arribar a una solució de consens: calia elaborar una tercera fitxa, la fitxa de camp, a partir de la fitxa de paràmetre.

Un altre tema que va portar molta polèmica va ser com enfocar la part de comunicació del risc. En un primer moment es va pensar a fer una proposta de comunicat de risc adreçada a les gestores i els

ajuntaments, que posteriorment havia de rebre el vistiplau dels SC de l'APS, però en reunions posteriors es va canviar d'opinió. Tenim molt clar que tots nosaltres formem part d'una organització i que allò que diem de manera oficial, ja sigui durant una inspecció o mitjançant un escrit del SR, ha d'estar aprovat per la direcció de l'Agència de Salut Pública. Per tant, es va decidir que en aquest apartat es recollirien aquells punts que d'acord amb la cerca bibliogràfica i la nostra experiència calia tenir en compte en un comunicat de risc, i en cas que hi hagués un model de comunicat oficial, s'adjuntaria a la fitxa de paràmetre en qüestió.

Tot i els esforços esmerçats al 2011 no vam poder complir el calendari que ens havíem marcat i no vam poder presentar acabades totes les fitxes que ens havíem proposat. Potser vam ser poc realistes, o potser senzillament ens vam trobar enmig d'una situació no prevista de retallades pressupostàries i d'una manca de cobertura de les baixes del personal, fet que ens va fer alentir els resultats. Durant l'any 2012, la CoP va alentir la seva activitat i gairebé no es va fer res. Ha estat al 2013 que hem tornat a revifar-la i hem pogut acabar tot allò que ens havíem proposat.

Esperem poder continuar amb aquest projecte que, si més no, i això és un sentiment general dels membres, ens ha enriquit com a persones i ens ha permès aprofundir tècnicament en temes que d'una altra manera no hauríem tingut l'oportunitat d'analitzar.

## 6. Conclusions

En la nostra CoP hem decidit dissenyar i elaborar un recull de fitxes de consulta, adreçat tant als inspectors de camp com als tècnics del SR. Aquestes fitxes inclouen la informació mínima que consideràvem indispensable tenir a mà a l'hora de donar resposta a una gestora d'aigua, un particular, un informe per a una altra administració, o qualsevol situació relacionada amb l'incompliment de la normativa d'aigües de consum humà. Cal tenir en compte, a més, que ens correspon a nosaltres, els tècnics del territori i dels SR, decidir com fer l'avaluació i la gestió del risc davant de qualsevol contaminació, així com avaluar si les mesures preses per una gestora davant d'un incompliment dels valors paramètrics de l'aigua de distribució, o si la línia de tractament prevista en una nova captació són les adequades.

Aquestes fitxes són:

- Fitxes de paràmetres fisicoquímics i microbiològics inclosos a la normativa d'aigua de consum humà, amb informació sobre: els efectes sobre la salut, l'origen, els valors normatius de referència, la millor tecnologia per tractar l'aigua, com fer-ne el control i les qüestions que cal tenir en compte en la comunicació del risc.
- Fitxes de camp: fitxes per als inspectors, que contenen la mateixa informació que les fitxes de paràmetres, però resumida i en format reduït.
- Fitxes de tecnologia de tractament d'aigua de consum humà, amb informació sobre el fonament de la tècnica, la disponibilitat, els usos, les limitacions i l'eficàcia.

Presentem la plantilla de les fitxes amb les guies d'elaboració i les fitxes dels paràmetres i les tecnologies fetes fins ara..

Per acabar, volem donar les gràcies a Lleonart Matia, d'Aigües de Barcelona, i a Joaquim Perelló, de Stenco, pel seu assessorament.

Pilar Veciana García-Boente  
Anna Escofet Pujol  
Elvira Ortiz Boix  
Jordi Carreras Torrus  
Yolanda Puerto Casasnovas  
Annabel Pedrol Carol

Gemma Camps Comas  
Amàlia Castelltort Segura  
Emma Sureda Solà  
Joan Carles Badia Del Romero  
Marta Belmonte Serra

7. Annex I. Fitxa de paràmetre
8. Annex II. Fitxa de camp
9. Annex III. Fitxa de tecnologia
10. Annex IV. Fitxes elaborades

- 10.1. **Nitrats:**
- 10.2. **Fluorurs**
- 10.3. **Tricloroetilè (TCE) i tetracloroetilè/percloroetilè (PCE)**
- 10.4. **Manganès**
- 10.5. **Ferro**
- 10.6. **Electrodiàlisi reversible**
- 10.7. **Intercanvi iònic**
- 10.8. **Osmosi inversa**
- 10.9. **Carbó activat**
- 10.10. **Stripping**
- 10.11. **Alúmina activada**
- 10.12. **Nanofiltració**

PARÀMETRE:				Data:	Revisat per:			
VALORS MÀXIMS DE REFERÈNCIA	Normatius de l'Estat espanyol		Altres de Catalunya o de l'Estat Espanyol		Recomanacions i normatives d'altres països			
	RD 140/2003		Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància	OMS	Salut Canadà	EPA (SDWA) EUA	Altres
EFECTES SOBRE LA SALUT					ORIGEN			
TRACTAMENTS	Nom de la tècnica	Tractaments complementaris	Limitacions/condicions d'ús	Subproductes	Eficàcia/disponibilitat	Valoració		
CONTROL				ALTERNATIVES DE TRACTAMENT				
QUESTIONS QUE CAL TENIR EN COMPTE EN LA COMUNICACIÓ DEL RISC								

PARÀMETRE:		Data de revisió:		
VALORS MÀXIMS DE REFERÈNCIA	Normatius de l'Estat espanyol		Altres de Catalunya o de l'Estat espanyol	
	RD 140/2003		Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància
	Recomanacions i normatives d'altres països			
	OMS	Salut Canadà	EPA (SDWA) EUA	Altres
EFFECTES SOBRE LA SALUT				
ORIGEN				
TRACTAMENTS	<u>Nom i fonament de la tecnologia</u> <u>Tractaments complementaris obligats (pretractament i posttractament) i coadjuvants</u> <u>Condicions d'ús o factors que la limiten</u> <u>Subproductes</u> <u>Eficàcia i disponibilitat</u> <u>Valoració</u>			
CONTROL				
Alternatives de tractament				

## QÜESTIONS QUE CAL TENIR EN COMPTE EN LA COMUNICACIÓ DEL RISC

**Paràmetre:**

**Normativa:** Annex .... del RD 140/2003

**Valor paramètric:**

**Efectes sobre la salut:**

**Població de risc:**

1.

**Recomanacions:**

**Model oficial de comunicació del risc de l'APS:**

## BIBLIOGRAFIA

Revisat per:

## Guia per emplenar la fitxa de paràmetre

**Paràmetre:** *Nom del paràmetre*

**Data:** *Data de l'última revisió*

**Valors màxims de referència:** *Poseu dins de cada casella els valors màxims de referència d'aquests organismes o documents amb les seves unitats. Si no n'hi ha, poseu '-----' segons: 1. RD 140/2003, 2. Pla de vigilància de les aigües de consum de Catalunya, 3. Document consensuat el 9-3-2005 sobre els valors paramètrics de la part C de l'Annex I de l'RD 140/03 (MISACO i CCAA), 4. OMS, 5. Ministeri de Salut del Canadà, 6. EPA (SDWA) EUA.*

**Efectes sobre la salut:** *De manera breu, poseu quins són els efectes sobre la salut descrits en cas d'ingesta a través de l'aigua. Baseu-vos en la guia de l'OMS. Si l'OMS no en diu res i hi ha un altre organisme que ho indiqui, especifiqueu-ho.*

**Origen del contaminant:** *Descriviu si es tracta d'un contaminant d'origen natural o antropogènic i, en cada cas, amb què s'associa. Exemple: s'associa amb terrenys granítics o s'associa amb fàbriques de metall, etc.*

**Tractaments:** *Descriviu per a cada tractament de manera breu*

1. Nom i fonament de la tecnologia: *Fonament teòric de per què és útil per a aquest contaminant (petit resum)<sup>i</sup>*
2. Tractaments complementaris obligats (pretractament i posttractament) i coadjuvants
3. Condicions d'ús o factors que la limiten: *Qualitat de l'aigua (presència d'altres contaminants), quantitat d'aigua disponible, subproductes que es generen (aigua de rebuig), coadjuvants necessaris, cost, complexitat tècnica, adaptabilitat en relació amb el tipus de gestora*
4. Subproductes
5. Eficàcia i disponibilitat
6. Valoració

**Control:** *Paràmetres que cal controlar.*

**Alternatives de tractament:** *Alternatives mentre no s'instaura un tractament adient, per exemple, la dilució.*

**Qüestions que cal tenir en compte en la comunicació del risc:** *Feu referència a l'annex de l'RD 140/2003 en què es troba el paràmetre i el seu valor paramètric, als efectes sobre la salut i a aquelles precaucions que cal tenir en compte en l'ús de l'aigua quan se superi el valor paramètric estipulat a l'RD 140/2003, fent especial èmfasi en els grups de població que són més susceptibles. Especifiqueu si existeixen documents oficials de comunicació del risc per a aquest paràmetre de l'APS.*

**Bibliografia:** *Especifiqueu la bibliografia que s'ha utilitzat per fer la fitxa.*

**Revisat per:** *Poseu els noms de les persones que han confeccionat aquesta fitxa.*

**Adreces d'interès:**

<http://water.epa.gov/drink/>

<http://www.epa.gov/espanol/agua.htm>

<http://www.hc-sc.gc.ca/ahc-asc/index-fra.php>

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwg/gdwq3rev/en/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq3rev/en/index.html)

---

<sup>i</sup> Quan la tècnica no és específica per a aquest paràmetre, cal fer una fitxa de tecnologia.



**FITXA núm. X - NOM DE LA TÈCNICA****1. Fonament teòric**

*Cal explicar en quin fenomen físic o reacció química es basa la tècnica d'eliminació del contaminant.*

**2. Descripció**

*Cal descriure l'aparellatge i el seu funcionament. Si es disposa d'esquemes o d'imatges, molt millor.*

**3. Usos**

*Cal especificar en quines circumstàncies i per a quins paràmetres és útil la tècnica.*

**4. Eficàcia**

*Si es coneix, cal expressar el percentatge d'eficàcia d'eliminació del contaminant.*

**5. Limitacions**

*Quins són els factors que limiten l'eficàcia de la tècnica, tant els derivats de la qualitat i la quantitat d'aigua d'origen, com els derivats del manteniment i l'explotació.*

**6. Tractaments complementaris obligats**

*Cal descriure molt breument quins són els tractaments que forçosament han d'acompanyar la tècnica en qüestió perquè funcioni correctament; per exemple, filtració prèvia per eliminar la terbolesa.*

**7. Valoració**

*Cal valorar la utilitat i la disponibilitat de la tècnica, tenint en compte la realitat dels diferents tipus de gestores i el seu personal.*

**8. Bibliografia****9. Revisat per:**

*Noms de les persones que han fet la fitxa, com a referents per a qualsevol pregunta.*

<b>VALORS MÀXIMS DE REFERÈNCIA</b>	<b>Normatius de l'Estat espanyol</b>		<b>Altres de Catalunya o de l'Estat espanyol</b>	
	<b>RD 140/2003</b>		<b>Doc. MISACO (2005)</b>	<b>Pla de vigilància</b>
	50 mg/l		----- -----	50 mg/l
	<b>Recomanacions i normatives d'altres països</b>			
	<b>OMS</b>	<b>Salut Canadà</b>	<b>EPA (SDWA) EUA</b>	<b>Altres</b>
50 mg/l que equivalen a 11,3 mg/l de nitrogen, per a una ingesta diària de 219 mg/dia	45 mg/l	10 mg/l de nitrogen		

<b>EFFECTES SOBRE LA SALUT</b>	<p>La toxicitat dels nitrats es deu a la capacitat del cos humà per reduir-los a nitrits. Aquesta reacció es produeix a la saliva de la boca, i també té lloc a l'estómac dels infants durant els primers tres mesos de vida<sup>(1)</sup>.</p> <p>El principal efecte perjudicial per a la salut és la metahemoglobinèmia, coneguda també com a "síndrome del nadó cianòtic". Els nitrats es redueixen a nitrits, que poden oxidar l'hemoglobina a metahemoglobina, fet que impedeix el transport d'oxigen per l'organisme. La disminució del transport d'oxigen es manifesta clínicament quan la concentració de metahemoglobina arriba o supera el 10% de la concentració normal d'hemoglobina; aquesta malaltia, denominada metahemoglobinèmia, produeix cianosi i, en concentracions més altes, asfíxia. La proporció normal de metahemoglobina en lactants menors de tres mesos és inferior al 3%.</p> <p>L'hemoglobina dels lactants més petits té més tendència a transformar-se en metahemoglobina que la dels nens de més edat i dels adults: es considera que això es deu a la gran proporció d'hemoglobina fetal encara present a la sang dels lactants, que s'oxida amb més facilitat a metahemoglobina. A més, els lactants tenen un dèficit de metahemoglobina-reductasa, l'enzim que s'encarrega de reduir la metahemoglobina a hemoglobina. Cal afegir-hi que els bacteris gàstrics que redueixen els nitrats a nitrits són més actius en els lactants, com a conseqüència de la baixa acidesa gàstrica.</p> <p>La concentració de nitrat en la llet materna és relativament baixa; en canvi, alimentar els lactants més petits amb biberó suposa un risc per a la salut per la possibilitat d'exposició als nitrats o nitrits presents en l'aigua de consum i per la ingesta relativament elevada d'aigua en relació amb el seu pes corporal. Sembla que, tot i que no està ben quantificat, les infeccions intestinals dels lactants més petits potencien la reducció més elevada de nitrat a nitrit<sup>(2)</sup>.</p> <p>Pel que fa a la resta de població, les persones que podrien patir efectes adversos són aquelles que presenten alteracions que provoquen un augment de la formació de nitrits, que tenen una hemoglobina anòmala o que pateixen mancances en el sistema enzimàtic encarregat de transformar la metahemoglobina en hemoglobina. Aquests grups de població més sensibles són:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les dones embarassades</li> <li>- Les persones amb hipoclorhídria gàstrica natural o provocada pel tractament amb antiàcids</li> <li>- Els individus amb dèficits hereditaris de la forma reduïda de la nicotinamida-adenina-dinucleòtid (NADH)</li> <li>- Els individus amb una disminució de l'activitat de l'enzim metahemoglobina-reductasa als eritròcits</li> <li>- Els individus amb anomalies estructurals de l'hemoglobina (Hb-Ms)<sup>(3)</sup></li> </ul> <p>(1) Llensa A. Tecnologies per a l'eliminació de nitrats en aigües potables a les zones vulnerables de Catalunya. 2006.                  (2) Organització Mundial de la Salut. Guia para la calidad del agua potable. 2a edició. 2005.                  (3) Generalitat de Catalunya. Departament de Salut. Els nitrats a l'aigua de consum. 2011.</p>
--------------------------------	---

**ORIGEN DELS NITRATS**

Els nitrats i els nitrits són ions d'origen natural que formen part del cicle del nitrogen.

La presència de nitrats en les aigües de subministrament públic es deu a la contaminació de les aigües naturals per compostos nitrogenats. La concentració de nitrats en aigües subterrànies i superficials normalment és baixa, però pot arribar a ser alta a causa de les filtracions, els escolaments de terrenys agrícoles o la contaminació per residus humans o animals. Les condicions anaeròbies poden afavorir la formació i la persistència dels nitrits<sup>(4)</sup>.

Hi ha dos tipus principals de fonts de contaminació: la contaminació puntual i la dispersa. El primer cas s'associa a activitats d'origen industrial, ramader o urbà (abocament de residus industrials, d'aigües residuals urbanes o d'efluents orgànics de les explotacions ramaderes; lixiviació d'abocadors, etc.) mentre que en el cas de la contaminació dispersa o difosa, l'activitat agronòmica n'és la causa principal.

Les fonts de contaminació puntual poden exercir un gran impacte en les aigües superficials o sobre localitzacions concretes de les aigües subterrànies, les pràctiques d'adob amb fertilitzants (orgànics o inorgànics) generalment causen la contaminació generalitzada de les aigües subterrànies.

Hi ha determinats processos de potabilització de les aigües naturals destinats al subministrament de la població, com és el cas de la desinfecció, que comporten l'oxidació dels compostos nitrogenats a nitrats. La cloraminació pot ocasionar la formació de nitrits en el sistema de distribució si no es controla la formació de cloramines. Per tant, en les aigües de consum públic la presència de nitrats és conseqüència del contingut d'aquest compost en les aigües naturals i de la transformació dels altres compostos nitrogenats en nitrats, a causa de la desinfecció necessària<sup>(5)</sup>.

(4) Organització Mundial de la Salut. Guia para la calidad del agua potable. 2a edició. 2005.  
 (5) Generalitat de Catalunya. Departament de Salut. Els nitrats a l'aigua de consum. 2011.

**TRACTAMENTS: INTERCANVI IÒNIC**

**1. Intercanvi iònic (fitxa T2)**

- a) Fonament de la tecnologia  
 Consisteix a fer passar l'aigua que s'ha de tractar a través de resines aniòniques, en què els ions NO<sub>3</sub><sup>-</sup> extrets de l'aigua són substituïts per ions Cl<sup>-</sup>, segons la reacció següent:  

$$RCl + NO_3^- \rightarrow RNO_3 + Cl^-$$
 (en què R: resina de bescanvi iònic)
- b) Tractaments complementaris (pretractament i posttractament) i coadjuvants  
 Filtració prèvia de l'aigua per eliminar-ne la terbolesa i les matèries en suspensió.  
 Decloració amb filtre de carbó actiu, si s'ha clorat prèviament, per protegir la resina.  
 Cloració de l'aigua per aconseguir 0,5 ppm abans de la distribució.  
 Els propis de la resina: regeneració de la resina quan acaba el seu cicle amb una solució de ClNa i disposició del rebuig.
- c) Condicions d'ús o factors que la limiten  
 Sulfats: si a l'aigua que s'ha de tractar SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > 1 cal usar resines selectives.  
 Clorurs: augmenta la concentració de clorurs en l'aigua producte.  
 Terbolesa, ferro i sals d'alumini: poden afectar l'eficàcia del sistema, cal un tractament previ.  
 Oxidants forts (clor, oxigen): poden atacar la resina: decloració.  
 Matèries en suspensió: poden obturar la resina. Cal filtrar-les per sobre d'1 ppm.  
 El funcionament és cíclic. Variacions en la composició de l'aigua segons el moment del cicle.
- d) Subproductes  
 La regeneració provoca un corrent residual amb un alt contingut de nitrats que cal gestionar.
- e) Eficàcia i disponibilitat  
 La reducció dels nitrats per valors d'aigua d'entrada de 90 i 115 ppm és del 90%.  
 La recuperació de l'aigua tractada és del 100%.  
 Cabal domèstic: 0,4 m<sup>3</sup>/h.  
 Equips més sofisticats: fins a 25-40 m<sup>3</sup>/h.  
 Possibilitat d'incrementar aquests cabals un 30% amb aigua provinent de la derivació (by pass).
- f) Valoració  
 Tractament de primera opció en petites col·lectivitats (hotels, cases de colònies, etc.).  
 Cost d'inversió baix.  
 Funcionament econòmic.  
 Sistema molt simple de manipular.

**2. Osmosi inversa (Fitxa T3)**

- a) Fonament de la tecnologia  
 Consisteix a injectar, mitjançant una bomba de pressió elevada, un corrent d'aigua que cal tractar a través d'una membrana semipermeable que permeti el pas de l'aigua però no dels diferents ions.
- b) Tractaments complementaris (pretractament i posttractament) i coadjuvants  
 Filtració  
 Decloració (si escau) amb filtre de carbó actiu o bisulfit sòdic , si s'ha clorat prèviament, per protegir la membrana  
 Addició d'àcid sulfúric per regular l'equilibri carbonats-bicarbonats  
 Addició d'antiincrustant  
 Remineralització de l'aigua tractada  
 Cloració de l'aigua per aconseguir 0,5 ppm abans de la distribució  
 Coadjuvants necessaris abans del pretractament  
     Bisulfit sòdic (en funció del potencial redox)  
     Àcid sulfúric per regular l'equilibri carbonats-bicarbonats  
     Antiincrustant  
 Coadjuvants necessaris post-tractament  
     Hidròxid sòdic
- c) Condicions d'ús o factors que la limiten
- Qualitat de l'aigua que s'ha de tractar  
 Oxidants forts (clor, oxigen): poden atacar la membrana a partir d'un potencial redox > 300 mV.  
 Carbonat càlcic i sulfats, fosfats i clorurs de Ba, Ca i Mg: problemes d'incrustació  
 Matèries en suspensió: poden obturar la membrana per sobre d'1 ppm.
  - Qualitat de l'aigua tractada  
 Aigua excessivament desmineralitzada  
 pH molt àcid
  - Quantitat d'aigua disponible  
 El factor limitant és la velocitat del pas de l'aigua a través de la membrana. Si n'augmentem la superfície o el nombre, augmentarem la quantitat d'aigua disponible.  
 Hi ha equips per a l'ús domèstic que permeten un cabal d'1,8 m<sup>3</sup>/h.  
 Possibilitat d'incrementar aquests cabals un 30% amb aigua provinent de canals de derivació.
- d) Subproductes  
 Es genera un rebuig amb altes concentracions salines
- e) Eficàcia i disponibilitat  
 La reducció dels nitrats és d'un 90% per a una aigua d'entrada amb 95 ppm de nitrats.  
 La recuperació de l'aigua tractada és del 80%, sense recirculació. Amb la recirculació es pot augmentar el percentatge de recuperació.  
 Hi ha equips per a l'ús domèstic que permeten un cabal d'1,8 m<sup>3</sup>/h.  
 Possibilitat d'incrementar aquests cabals un 30% amb aigua provinent de canals de derivació.  
 Tècnicament es pot adaptar a qualsevol situació, des de l'ús domèstic fins a l'abastament d'una població (tècnica utilitzada normalment a les dessaladores).  
 La disponibilitat en el mercat és molt gran i variada.
- f) Valoració  
 Per vèncer la pressió osmòtica cal una despesa energètica, que ha de ser més gran com més alta sigui la salinitat de l'aigua que s'ha de tractar o el volum desitjat.  
 És un sistema poc selectiu.  
 El cost d'instal·lació i de manteniment és superior al sistema d'intercanvi iònic.  
 És una segona o tercera opció si no es pot disposar del bescanvi iònic.

**3. Electrodiàlisi reversible (Fitxa T1)**

- a) Fonament de la tecnologia  
L'electrodiàlisi és una tecnologia de membranes semipermeables selectives en cations i anions, en què s'alterna una membrana aniònica amb una de catiònica progressivament. La paraula reversible fa referència al fet que se'n pot canviar periòdicament la polaritat, invertint la posició de l'ànode i del càtode.
- b) Tractaments complementaris (pretractament i posttractament) i coadjuvants  
Filtració  
Declaració (si escau) amb filtre de carbó actiu o addició de bisulfit sòdic  
Addició d'àcid clorhídric al corrent de recirculació per evitar precipitacions  
Aplicació d'una dissolució d'esbandit als elèctrodes per eliminar-ne subproductes generats  
Cloració
- c) Condicions d'ús o factors que la limiten  
Matèries en suspensió > 1 mg/l provoquen problemes d'obturació.  
Oxidants forts: poden afectar les membranes.  
Factor limitant: la velocitat de pas de l'aigua a través de la membrana convencional és de 0,14m/h. Augmentant-ne la superfície o el nombre, s'augmenta la quantitat d'aigua disponible.
- d) Subproductes  
A l'ànode es formen àcid i oxigen.  
Al càtode es formen hidrogen i hidròxid sòdic  
Rebuig: corrent residual amb una concentració de sals elevada.
- e) Eficàcia i disponibilitat  
L'eficàcia del sistema és d'una reducció de nitrats del 75%.  
La recuperació de l'aigua tractada és del 90%.  
No es pot fer passar l'aigua pel canal de derivació. Tota l'aigua producte és aigua tractada.  
El sistema de polaritat reversible fa que no calgui addicionar antiincrustants.  
Els equips comercials petits consten d'entre 300 i 500 parells-cel·la i els grans entre 500 i 900 parells-cel·la. Cada parell-cel·la disposa de dues membranes de 0,2 m<sup>2</sup> de superfície útil cadascuna.  
Tècnicament es pot adaptar a qualsevol situació.  
La disponibilitat en el mercat és bastant limitada i l'oferta, pràcticament única.
- f) Valoració  
L'eficàcia és semblant a la d'altres sistemes però el cost d'instal·lació i manteniment és superior. Per tant, serà un mètode de segona o tercera opció per motius econòmics i de disponibilitat.

**4. Desnitrificació**

- a) Fonament de la tecnologia  
La desnitrificació és un procés natural de reducció biològica dels nitrats a nitrogen gas molecular, mitjançant bacteris heteròtrofs, que necessiten una font de carbó orgànic.  
  
$$\text{NO}_3^- + \text{carbó orgànic} \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{carbó orgànic} \rightarrow \text{N}_2 (\text{g}) + \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O}$$
  
Aquest fenomen (**desnitrificació biològica**) es pot reproduir mitjançant altres substrats, com ferro (**desnitrificació química**) o diferents catalitzadors (**desnitrificació catalítica**).
- b) Disponibilitat  
Aquests processos s'utilitzen sobretot en aigües residuals i abocaments industrials.  
Hi ha hagut diversos intents d'aplicació en aigües potables però de moment són experimentals. El problema principal és el cost d'instal·lació i la utilitat limitada per a concentracions que sobrepassen lleugerament el valor paramètric normatiu de 50 ppm.  
La característica principal és que es tracta d'un procés net i que no genera subproductes.

**CONTROL**

1. Intercanvi iònic:  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{Cl}^-$  de l'aigua producte i l'aigua d'entrada.
2. Osmosi inversa:  $\text{NO}_3^-$  i potencial redox a l'aigua d'entrada i  $\text{NO}_3^-$ , conductivitat, terbolesa, i pH a l'aigua producte.
3. Electrodiàlisi reversible:  $\text{NO}_3^-$  i potencial redox a l'aigua d'entrada i  $\text{NO}_3^-$  a l'aigua producte.

**Alternatives de tractament**

1. Dilució si hi ha altres fonts de subministrament.
2. Connexió a la xarxa municipal, si és possible.
3. Aportació d'aigua amb camions cisterna.

**QÜESTIONS QUE CAL TENIR EN COMPTE EN LA COMUNICACIÓ DEL RISC**

**Paràmetre:** Nitrats

**Normativa:** Annex B del RD 140/2003

**Valor paramètric:** > 50 mg/l, aigua no apta per a la salut

**Efectes sobre la salut:** Metahemoglobinèmia

**Població de risc:**

1. Els lactants
2. Les dones embarassades
3. Les persones amb hipoclorhídria gàstrica natural o provocada per tractaments amb antiàcids
4. Els individus amb dèficits hereditaris de la forma reduïda de la nicotinamida-adenina-dinucleòtid (NADH)
5. Els individus amb una activitat disminuïda de l'enzim metahemoglobina reductasa als eritròcits
6. Els individus amb anomalies estructurals de l'hemoglobina (Hb-Ms)<sup>(3)</sup>

**Recomanacions:**

1. Per als nadons, cal que es preparin biberons amb aigua envasada.
2. Pel que fa a la resta de població de risc, cal que s'abstingui de consumir aigua de la xarxa per beure i cuinar.

Encara que l'aigua tingui un contingut elevat de nitrats, es pot utilitzar per dutxar-se, rentar la roba o rentar els estris de cuina, sense cap risc per a la salut.

**Model oficial de comunicació del risc de l'APS:** Sí (adjunt)

**BIBLIOGRAFIA**

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [Internet]. Washington: Office of Water [actualitzat 26 d'abril de 2012]. EPA en español. Disponible a: <http://www.epa.gov/espanol/agua.htm>

Eliminació de nitrats. Bescanvi iònic, osmosi inversa i desnitrificació biològica. Documentació facilitada en el curs impartit per Stenco en l'àmbit de la formació interna; 2000.

Gonzalo M. Reducción de la concentración de nitratos. Jornada tècnica sobre descontaminació d'aigües subterrànies; 15 mar 2002; Zaragoza.

Institut National de la Santé Publique du Québec. Groupe scientifique sur l'eau. Fiche Nitrates/Nitrites. Juliol 2003.

Llensa A. Tecnologies per a l'eliminació de nitrats en aigües potables a les zones vulnerables de Catalunya. 2006.

Queralt R. Influencia de los nitratos en la gestión de las aguas. Tecnología del agua. Núm. 206. Novembre 2000.

Santé Canada [Internet]. Ottawa: Santé Canada [actualitzat 26 d'abril de 2012]. À propos de Santé Canada. Disponible a: <http://www.hc-sc.gc.ca/ahc-asc/index-fra.php>

Sistemes de tractament d'aigües de consum humà. Documentació facilitada en el curs impartit per Andreu Pujades en l'àmbit de la formació interna; 17 mar 2008; Barcelona.

Stenco. Tratamiento de aguas. Febrer 2000. 1a edició.

Stenco. Tratamiento de aguas. Gener 2004. 3a edició.

United States Environmental Protection Agency [Internet]. Washington: Office of Water [actualitzat 26 d'abril de 2012]. Water: Drinking Water. Disponible a: <http://water.epa.gov/drink/>

World Health Organization [Internet]. Geneva: World Health Organization [actualitzat 26 d'abril de 2012]. Drinking-water quality. Disponible a: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html)

Revisat per: Gemma Camps, Jordi Carreras

**MODEL DE COMUNICACIÓ DEL RISC****Paràmetre:** NITRATS**Valors de referència:**

	<b>Estat Espanyol RD 140/2003</b>	<b>Directiva Europea 1998</b>	<b>OMS 2003</b>
Nitrats (NO <sub>3</sub> )	50 mg/l	50 mg/l	50 mg/l

**Informació que ha de lliurar el gestor als seus usuaris, de forma periòdica fins que no s'hagi comprovat que els nivells de nitrats són inferiors a 50 mg/l, d'acord amb el que estableix l'art. 27 del RD 140/03:**

Mitjançant els controls de qualitat de l'aigua que es fan de forma periòdica, \_\_\_\_\_ (*gestora del subministrament*) ha detectat un augment en el nivell de nitrats superior a 50 mg/l en la zona que subministra a \_\_\_\_\_ (*especificació del municipi, part del municipi, nucli habitat, barri, etc...*)

D'acord amb els criteris de la FAO-OMS, la ingesta tolerable de nitrats és de 219 mg/dia per persona. Malgrat això, cal tenir en compte que en determinades persones i en alguns grups de població, la ingesta habitual de quantitats elevades de nitrats pot produir una alteració de la capacitat de transport d'oxigen de la sang (metahemoglobinèmia).

Aquests grups de població més sensibles són:

- Les dones embarassades i els lactants.
- Els adults amb acidesa gàstrica reduïda.

i altres amb alteracions poc freqüents com:

- Els individus amb dèficits hereditaris de la forma reduïda de la nicotinamida-adenina-dinucleòtid (NADH)
- Els individus amb una activitat disminuïda de l'enzim metahemoglobina reductasa, als eritròcits.
- Els individus amb anomalies estructurals de l'hemoglobina (Hb-Ms).

Es recomana que les persones incloses dins d'algun grup de risc dels esmentats, s'abstinguin de consumir aigua de la xarxa per a beure o cuinar. El grup de més risc són els lactants alimentats amb llet artificial, per la qual cosa, a l'hora de preparar biberons, cal utilitzar aigua envasada.

Encara que l'aigua tingui elevats continguts de nitrats, es pot utilitzar per a dutxar-se, rentar la roba o rentar els estris de cuina, sense risc per a la salut.

Per a consultes, podeu posar-vos en contacte amb \_\_\_\_\_ (*Entitat gestora/Ajuntament/Serveis Territorials*)



PARÀMETRE:				Data: 21.06.2011		Gemma Camps, Jordi Carreras		
VALORS MÀXIMS DE REFERÈNCIA	Normatius de l'Estat espanyol		Altres de Catalunya o l'Estat espanyol		Recomanacions i normatives d'altres països			
	RD 140/2003		Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància	OMS	Salut Canadà	EPA (SDWA) EUA	Altres
	50 mg/l		-----	50 mg/l	50 mg/l, que equivalen a 11,3 mg/l de nitrogen per a una ingesta diària de 219 mg/dia	45 mg/l	10 mg/l de nitrogen	
EFECTES SOBRE LA SALUT	El principal efecte perjudicial per a la salut és la metahemoglobinèmia, una modificació (oxidació) de l'hemoglobina que impedeix la fixació de l'oxigen i en limita el transport als teixits. El grup de població que presenta més risc són els lactants alimentats exclusivament amb llet artificial. En la resta de la població, les persones que podrien patir efectes adversos són les que presenten alteracions que provoquen un augment de la formació de nitrats, que tenen una hemoglobina anòmala o que pateixen mancances en el sistema enzimàtic encarregat de transformar la metahemoglobina en hemoglobina.				ORIGEN	La presència de nitrats es deu a la contaminació de les aigües naturals per compostos nitrogenats. Hi ha dos tipus principals de fonts de contaminació: la contaminació puntual i la dispersa. El primer cas s'associa a activitats d'origen industrial, ramader o urbà (abocament de residus industrials, d'aigües residuals urbanes o d'efluents orgànics de les explotacions ramaderes; lixiviació d'abocadors, etc.) mentre que en el cas de la contaminació dispersa o difosa, l'activitat agronòmica n'és la causa principal.		
TRACTAMENTS	Nom de la tècnica	Tractaments complementaris	Limitacions/condicions d'ús	Subproductes	Eficàcia/disponibilitat	Valoració		
	Intercanvi iònic	Filtració Declaració Regeneració amb ClNa	<ul style="list-style-type: none"> <li>SO<sub>4</sub>-2/NO<sub>3</sub>- &lt; 1</li> <li>MeS &lt; 1 mg/l</li> <li>Terbolesa</li> </ul>	Efluent amb NO <sub>3</sub> - alts	90%/Immediata Facilitat d'instal·lació i d'ús	1a elecció Econòmic Sistema robust		
	Osmosi inversa	Cloració Filtració Declaració: carbó actiu o NaHSO <sub>3</sub> Coadjuvants: SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> i desincrustant Remineralització Cloració	<ul style="list-style-type: none"> <li>MeS &lt; 1 mg/l</li> <li>Oxidants forts (Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>): &gt; 300 mV pot. Redox</li> <li>CO<sub>3</sub>Ca, sals de Ba, Ca i Mg</li> </ul>	Efluent amb contingut salí elevat	90%/Immediata Facilitat d'instal·lació Manteniment acurat	2a o 3a elecció Despesa més elevada Sistema poc selectiu		
	Electrodiàlisi reversible	Filtració/declaració Coadjuvants: bisulfit sòdic, àcid clorhídric i solució d'esbandit Cloració	<ul style="list-style-type: none"> <li>MeS &lt; 1 mg/l</li> <li>Oxidants forts (Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>)</li> </ul>	Efluent amb contingut salí elevat	75%/Limitada	2a o 3a elecció No calen antiincrustants Cost econòmic més elevat		
<b>CONTROL</b>				<b>ALTERNATIVES DE TRACTAMENT</b>				
	Aigua entrada		Aigua producte		1. Connexió a la xarxa municipal, si és possible 2. Dilució, si és possible 3. Transport en cisternes			
Intercanvi iònic	Nitrats, clorurs		Nitrats, clorurs					
Osmosi inversa	Nitrats potencial redox		Nitrats, pH, LS, l conductivitat, terbolesa					
Electrodiàlisi reversible	Nitrats, potencial redox		Nitrats					
<b>QÜESTIONS QUE CAL TENIR EN COMPTE EN LA COMUNICACIÓ DEL RISC</b>								
<p>1) Annex B del RD 140/2003. Incompliment &gt; 50 mg/l, aigua no apta per al consum humà. Efecte per a la salut: metahemoglobinèmia. No l'utilitzeu per beure o cuinar. Precaució especial en grups de risc: lactants menors d'un any, dones embarassades, etc. (vegeu la fitxa dels nitrats).</p> <p>2) Si l'incompliment persisteix – model de comunicació oficial del risc a la població.</p>								

PARÀMETRE: Fluorurs		Data de revisió: 28.2.2013		
VALORS MÀXIMS DE REFERÈNCIA	Normatius de l'Estat espanyol		Altres de Catalunya o de l'Estat espanyol	
	RD 140/2003		Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància
	1,5 mg/l		No annex C	1,5 mg/l (no modifica RD)
	Recomanacions i normatives d'altres països			
	OMS 2006	Salut Canadà	EPA (SDWA) EUA	Altres (Austràlia 2004)
1,5 mg/l (valor guia)	1,5 mg/l (valor màxim)	4 mg/l (valor màxim)	1,5 mg/l (valor màxim)	
EFECTES SOBRE LA SALUT	<p>La ingesta continuada de fluorurs a través de l'aigua de beguda pot causar efectes adversos en la salut a mig i llarg termini.</p> <p>Atesa l'afinitat dels fluorurs pels òrgans de mineralització, el primer efecte dels fluorurs es produeix sobre els teixits esquelètics (ossos i dents). Concentracions baixes en l'aigua de beguda es relacionen amb una alta incidència de càries dental, però concentracions de més d'1,5 mg/l poden ocasionar alteracions en la mineralització de les dents en infants d'entre 6 i 8 anys, als quals pot aparèixer fluorosi dental. Fins i tot, pot tenir efectes perjudicials sobre l'esmalt dental, fluorosi dental mitjana, a nivells d'entre 0,9 i 1,2 mg/l. No obstant això, la ingesta total de l'element és la que determinarà les conseqüències per a la salut de la població exposada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'associació entre el risc d'efectes adversos i ingestes totals de 14 mg/dia és clara.</li> <li>- Les ingestes totals d'uns 6 mg/l incrementen el risc d'alteracions als teixits durs.</li> <li>- El consum habitual d'aigua amb concentracions de fluorurs de més de 4 mg/l augmenta progressivament el risc de fluorosi esquelètica.</li> </ul> <p>Els fluorurs s'eliminen ràpidament del plasma per excreció urinària. Per aquest motiu, les persones amb insuficiència renal, que tenen disminuïda l'excreció, són més susceptibles a l'acció dels fluorurs.</p> <p>No existeixen estudis ni evidències que relacionin els fluorurs amb la incidència de càncer. En aquest sentit, la International Agency for Research on Cancer (IARC) ha determinat que no es poden classificar com a carcinogen per als humans o animals.</p>			
	<p><b>Efectes sobre la salut</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre 1,5-4 mg/l, risc de fluorosi dental en la població infantil i juvenil (fins a 16 anys).</li> <li>• Concentracions superiors a 1,5 mg/l poden suposar un risc de fluorosi òssia en la gent gran.</li> <li>• Valors superiors a 4 mg/l, risc de fluorosi dental en la població infantil i juvenil i risc elevat de fluorosi òssia en la població en general.</li> </ul>		<p><b>Població de risc</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gent gran (fluorosi òssia).</li> <li>• Població infantil i juvenil (fluorosi dental).</li> <li>• Persones amb deficiència de calci, magnesi i vitamina C.</li> <li>• Persones amb problemes cardiovasculars i renals.</li> <li>• Nadons.</li> </ul>	
ORIGEN	<p>L'ió fluorur [F<sup>-</sup>] és la forma iònica (anió) del fluor. Aquest ió és un reductor extremadament feble i és l'anió més petit, cosa que explica l'elevada capacitat de fixació i de recombinació a diverses molècules (com les que fan les dents i l'os) i en gran part la seva toxicitat. Els fluorurs acostumen a ser compostos incoloros. Els fluorurs dels metalls alcalins són solubles en aigua i higroscòpics, i els fluorurs dels elements alcalinoterris, especialment del calci i del bari, són poc solubles.</p> <p>Normalment, en l'aigua els fluorurs es troben en forma d'àcid fluorhídric (HF).</p> <p>Majoritàriament, els fluorurs en l'aigua de beguda tenen origen natural. Aquesta situació deriva de l'amplíssima distribució del fluor a l'escorça terrestre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Al sòl, el contingut de fluorurs se situa al voltant dels 300 mg/kg.</li> <li>- L'aigua de mar conté al voltant de 1,4 mg/l de fluorurs.</li> <li>- En aigua subterrània, les concentracions varien en funció del tipus de roques amb les quals entri en contacte, però no acostuma a superar els 10 mg/l.</li> <li>- En aigües superficials les concentracions són baixes: 0,1-0,5 mg/l.</li> <li>- En els aliments es poden trobar traces de fluorurs, si bé alguns poden presentar-ne continguts alts, com les infusions de te.</li> </ul> <p>Els minerals que contenen fluorurs inorgànics s'utilitzen àmpliament a la indústria per a molts objectius, com la producció d'alumini, acer i fibra de vidre, fertilitzants fosfatats, rajoles i ceràmiques.</p> <p>Els fluorurs també s'afegeixin a algunes fonts d'abastament d'aigua, procés conegut com a fluoració, per tal de prevenir la càries dental.</p> <p>Depenent de l'origen de l'increment de fluorurs, es pot relacionar l'origen amb altres indicadors de la qualitat, aquest és el cas del bromur quan el motiu és la intrusió marina; el cianur, el nitrat i els plaguicides en la contaminació agrícola; el bor en la contaminació d'origen volcànic o els contaminants específics en la contaminació d'origen industrial.</p>			

Les tècniques que es poden utilitzar per reduir la concentració de fluorurs a l'aigua són nombroses:

- Adsorció amb alúmina activada (per quantitats < 10 mg/l)
- Osmosi inversa
- Precipitació–floculació amb sals de calci i alumini
- Electrodiàlisi
- Destil·lació
- Descalcificació

Tot i això, es considera que l'adsorció amb alúmina activada i l'osmosi inversa són les millors tècniques disponibles per reduir fluorurs.

**1. Adsorció amb alúmina activada (fitxa T6)**

L'alúmina activada és un material porós i amb una gran superfície de contacte que s'utilitza com a adsorbent (produïda per escalfament dels precursors de l'hidròxid d'alumini). La capacitat d'adsorció dels fluorurs depèn de la forma cristal·lina de l'alúmina, del pH de la solució d'on es volen remoure els fluorurs i de la concentració d'aquests. La regeneració de l'alúmina activada es fa amb sosa càustica.

**2. Osmosi inversa (fitxa T3)**

Difusió mitjançant pressió del solvent a través d'una membrana semipermeable, des de la solució d'una concentració més elevada a la d'una concentració menor. Consisteix a invertir el procés d'osmosi natural aplicant una pressió superior a la pressió osmòtica corresponent, a la part de la solució més concentrada. Amb això s'aconsegueix que la direcció del flux de l'aigua es dirigeixi de la solució més concentrada a la solució més diluïda. Permet remoure la major part dels sòlids dissolts, matèria en suspensió i també alguns microorganismes.

Aquest mètode és d'elecció quan també cal eliminar matèria en suspensió i altres contaminants.

**3. Coagulació amb sulfat d'alúmina i altres coagulants**

La coagulació amb sulfat d'alúmina redueix els nivells de fluor a valors acceptables, però requereix grans quantitats de sulfat d'alumini. Hi ha estudis que mostren reduccions de fluor de 3,6 a 1,4 mg/l utilitzant 250 mg/l de sulfat d'alumini (l'aigua tractada pot contenir quantitats elevades d'alumini dissolt i, a més, es generen grans quantitats de fangs). El pH més adequat es troba entre 5,5 i 7.

És una tècnica de baix cost.

**4. Electrodiàlisi reversible (fitxa T1)**

Separació d'un solvent i un solut mitjançant una membrana semipermeable, s'utilitza un camp elèctric com a força impulsora. Quan la polaritat del camp elèctric canvia periòdicament de sentit es denomina *electrodiàlisi reversible* (EDR).

**5. Destil·lació**

Separació per canvi de fase: se separen, mitjançant evaporació i condensació, els diferents components líquids, sòlids dissolts en líquids o gasos líquids d'una mescla aprofitant els diferents punts d'ebullició de cadascuna de les substàncies. Consisteix a escalfar un líquid fins que els components més volàtils passen a la fase de vapor i, a continuació, refredar el vapor per tal de recuperar aquests components en forma líquida mitjançant la condensació.

**6. Descalcificació**

La descalcificació remou els fluorurs de l'aigua i forma un precipitat insoluble i per coprecipitació amb hidròxid de magnesi (Mg(OH)<sub>2</sub>). La relativament alta solubilitat del fluorur de calci limita la reducció del fluor per descalcificació; tot i que igualment pot reduir nivells alts de fluor a nivells més acceptables.

Les aigües amb concentracions de magnesi elevades que s'hagin de descalcificar de qualsevol manera poden reduir els seus nivells de fluor per coprecipitació.

Existeix una equació teòrica per predir la quantitat de magnesi necessària per reduir el nivell de fluor a un nivell donat:

$$F_{\text{residual}} = F_{\text{Inicial}} - (0,07 F_{\text{Inicial}} \times mg)$$

Aquesta equació suggereix que per reduir el nivell de fluor de 5,0 a 1,5 mg/l calen 100 mg/l de magnesi, que és un nivell de magnesi alt que no es troba de forma natural a l'aigua. L'altra opció que se segueix generalment és agregar magnesi per a la descalcificació (per exemple, addicionant sulfat de magnesi); el desavantatge d'aquest procés és que es produeixen una gran quantitat de llots.

**Comparació de l'eficàcia i les limitacions de les tècniques més emprades**

Tecnologia	Remoció (%)	Avantatges	Desavantatges
<b>Adsorció amb alumina activada</b>	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operació d'acord amb la demanda.</li> <li>Altament selectiva per a fluorurs i arsènic.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>És necessari reduir el pH a 5,5.</li> <li>Es requereix una base i un àcid per regenerar-se.</li> <li>El medi tendeix a dissoldre's i produeix partícules fines.</li> <li>Cal disposar del residu.</li> </ul>
<b>Osmosi inversa</b>	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Molt bona eficàcia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cal un pretractament de l'aigua.</li> <li>La producció d'aigua té un cost elevat.</li> <li>S'ha de canviar de membrana cada 4 anys.</li> <li>Disposició final del refús.</li> </ul>
<b>Coagulació amb sulfat d'alumini</b>	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mètode senzill.</li> <li>Baix cost.</li> <li>Productes químics fàcils d'obtenir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>És poc eficient en concentracions elevades de fluorurs en l'aigua que s'ha de tractar (es necessiten 23-30 mg/l de coagulant a pH 7,0-7,3 per reduir la concentració de fluorurs de 2-2,6 a &lt; 1,8).</li> <li>Cal reduir el pH a valors de 5,5-7,0.</li> <li>Disposició del fang.</li> </ul>
<b>Intercanvi iònic</b>	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tècnica selectiva d'ions.</li> <li>Operació d'acord amb la demanda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El tractament té un cost elevat.</li> <li>Les resines es regeneren.</li> <li>Disposició final del residu.</li> </ul>
<b>Descalcificació (coprecipitació)</b>	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mètode senzill.</li> <li>Baix cost.</li> <li>Productes químics fàcils d'obtenir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cal basificar el pH.</li> <li>Disposició del fang.</li> </ul>

A = alta = més de 80%; M = mitjana = de 20 a 80%; B = baixa = menys de 20%

**Cuadro 8.12 Reducción alcanzable mediante tratamiento de la concentración de sustancias químicas de origen natural para las que se han establecido valores de referencia<sup>a,b</sup>**

	Cloración	Coagulación	Intercambio de iones	Ablandamiento por precipitación	Alumina activada	Carbón activado	Ozonización	Membranas
Arsénico		+++ <0,005	+++ <0,005	+++ <0,005	+++ <0,005			+++ <0,005
Fluoruro		++			+++ <1			+++ <1

<sup>a</sup> El significado de los símbolos es el siguiente:

++: 50% o más de reducción de la concentración  
 +++: 80% o más de reducción de la concentración

<sup>b</sup> Se incluyen en el cuadro únicamente las sustancias químicas de las que se dispone de datos sobre tratamientos. La ausencia de datos en una casilla del cuadro indica que el proceso es completamente ineficaz o que no hay datos sobre su eficacia. Para los procesos más eficaces, el cuadro indica la concentración de la sustancia química, en mg/l, que debería poderse alcanzar.

**CONTROL**

En funció de la tecnologia emprada i dels reactius necessaris per dur-les a terme, els paràmetres de control varien:

- Adsorció per alúmina activada → control de fluor, arsènic, pH, alumini i sodi (principalment).
- Osmosi inversa/nanofiltració → control de fluor, conductivitat, pH.
- Resina d'intercanvi iònic → control de fluor, arsènic i dels ions d'intercanvi.
- Electrodiàlisi reversible → control de fluor.

**Alternatives de tractament**

Dilució de l'aigua de la captació amb altres fonts de subministrament: captacions, cubes, altres xarxes d'abastament, etc. amb nivells de fluorurs inferiors al valor paramètric i amb un percentatge d'aportació d'aigua que permeti garantir l'aptitud de l'aigua distribuïda.

- Les captacions han de disposar de l'informe sanitari del Departament de Salut i de l'autorització administrativa de l'administració hidràulica competent.
- Les cubes han de disposar de l'autorització sanitària de funcionament (RSIPAC) corresponent.
- Les xarxes d'abastament han de controlar-se sanitàriament i l'aigua ha de complir tots els valors paramètrics establerts al RD 140/2003.

**QÜESTIONS QUE CAL TENIR EN COMPTE EN LA COMUNICACIÓ DEL RISC**

**Paràmetre:** fluorurs

**Normativa:** annex II part B del RD 140/2003

**Valor paramètric:** 1,5 mg (els valors superiors qualifiquen l'aigua com a no apta per al consum).

**Efectes sobre la salut:** fluorosi dental i fluorosi òssia

- Entre 1,5-4 mg/l, risc de fluorosi dental per a la població infantil i juvenil (infants i joves fins a 16 anys). Per a gent gran, concentracions superiors a 1,5 mg/l poden suposar risc de fluorosi òssia.
- Superior a 4 mg/l, risc de fluorosi dental per a la població infantil i juvenil i risc elevat de fluorosi òssia per a la població en general.

**Població de risc**

- Gent gran (fluorosi òssia)
- Població infantil i juvenil (fluorosi dental)
- Persones amb deficiència de calci, magnesi i vitamina C
- Persones amb problemes cardiovasculars i renals
- Nadons

**Recomanacions**

Els infants i joves de fins a 16 anys i les persones de més de 60 anys, cal que s'abstinguin de consumir aigua de la xarxa per beure o cuinar. En el cas dels nadons, cal que la llet artificial es prepari amb aigua embotellada amb un màxim de contingut de fluor de 0,5 mg/l (el nivell mínim de risc calculat per l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) és de 0,05 mg/kg/dia en el cas d'una exposició oral crònica).

Totes les persones poden utilitzar l'aigua per dutxar-se, rentar la roba o rentar els estris de cuina, sense cap risc per a la salut.

**Model de comunicació del risc oficial de l'ASPCAT:** a l'annex hi ha els dos models de comunicació del risc corresponents a:

- Nivells de fluorurs superiors a 1,5 i inferiors a 4 mg/l.
- Nivells de fluorurs superiors a 4 mg/l.

**BIBLIOGRAFIA**

1. Environmental Fact Sheet. Fluoride in drinking water [Internet]. 2007 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://des.nh.gov/organization/commissioner/pip/factsheets/dwgb/documents/dwgb-3-5.pdf>
2. Fawell J, Bailey K, Chilton J, Dahi E, Fewtrell L, Magara Y. Fluoride in drinking-water. World Health Organization [Internet]. 2006 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/fluoride\\_drinking\\_water\\_full.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/fluoride_drinking_water_full.pdf)
3. Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water. Health Canada. Fluoride in drinking water. [Internet]. 2009 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt\\_formats/hecs-sesc/pdf/consult/2009/fluoride-fluorure/consult\\_fluor\\_water-eau-eng.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/consult/2009/fluoride-fluorure/consult_fluor_water-eau-eng.pdf)
4. Rubel, F. Design manual. Removal of fluoride from drinking water supplies by activated alumina [Internet]. US Environmental Protection Agency. Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati 1984 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://docs.watsan.net/Scanned\\_PDF\\_Files/Class\\_Code\\_2\\_Water/257-84DE-1766.pdf](http://docs.watsan.net/Scanned_PDF_Files/Class_Code_2_Water/257-84DE-1766.pdf)

**Revisat per:** Pilar Veciana i Amàlia Castellort

## Annex

### MODEL DE COMUNICACIÓ DEL RISC PER A AIGÜES DE SUBMINISTRAMENT AMB NIVELLS DE FLUORURS SUPERIORS A 1,5mg/l i INFERIORS A 4,0mg/l

Paràmetre: FLUORURS

Valors de referència:

	Reial decret 140/2003	Directiva 98/83/CE	OMS 2006
Fluorurs	1,5 mg/l	1,5 mg/l	1,5 mg/l

**Informació que ha de lliurar el gestor als seus usuaris, de forma periòdica fins que no s'hagi comprovat que els nivells de fluorurs són inferiors a 1,5 mg/l, d'acord amb el que estableix l'art. 27 del Rd 140/2003:**

Mitjançant els controls de qualitat de l'aigua que es fan de forma periòdica, \_\_\_\_\_ (gestora del subministrament) ha detectat un augment en el nivell de fluorurs superior a 1,5mg/l en la zona que subministra a \_\_\_\_\_ (especificació del municipi, part del municipi, nucli habitat, barri, etc...).

Tot i que el fluor no és considerat com un element tòxic agut, la seva ingesta **continuada** pot representar un perill per a la salut del consumidor. Així, concentracions entre 0,5 i 1mg/l protegeixen la població infantil de la càries dental, en canvi, concentracions superiors a 1,5mg/l poden suposar un risc de fluorosi dental per a la població infantil i juvenil (fins a 16 anys).

Per a gent gran, concentracions superiors a 1,5mg/l poden suposar risc de fluorosi òssia.

Per tant, caldrà que **nens i joves fins a 16 anys i gent gran (majors de 60 anys)** s'abstinguin de consumir aigua de la xarxa per beure o cuinar. Per nadons, caldrà que la llet artificial es prepari amb aigua embotellada (amb un màxim de contingut en fluor de 0,5mg/l).

Tothom podrà utilitzar l'aigua per a dutxar-se, rentar la roba o rentar els estris de cuina, sense cap risc per la salut.

El seu consum esporàdic no suposa cap risc.

Per a consultes, podeu posar-vos en contacte amb \_\_\_\_\_ (Entitat gestora/Ajuntament/Serveis Regionals del Departament de Salut)

**MODEL DE COMUNICACIÓ DEL RISC PER A AIGÜES DE SUBMINISTRAMENT AMB NIVELLS DE FLUORURS SUPERIORS A 4,0mg/l**

**Paràmetre:** FLUORURS

**Valors de referència:**

	<b>Reial decret 140/2003</b>	<b>Directiva 98/83/CE</b>	<b>OMS 2006</b>
Fluorurs	1,5 mg/l	1,5 mg/l	1,5 mg/l

**Informació que ha de lliurar el gestor als seus usuaris, de forma periòdica fins que no s'hagi comprovat que els nivells de fluorurs són inferiors a 1,5 mg/l, d'acord amb el que estableix l'art. 27 del Rd 140/2003:**

Mitjançant els controls de qualitat de l'aigua que es fan de forma periòdica, \_\_\_\_\_ (gestora del subministrament) ha detectat un augment en el nivell de fluorurs superior a 1,5mg/l en la zona que subministra a \_\_\_\_\_ (especificació del municipi, part del municipi, nucli habitat, barri, etc...).

Tot i que el fluor no és considerat com un element tòxic agut, la seva ingesta **continuada** pot representar un perill per a la salut del consumidor. Així, concentracions entre 0,5 i 1mg/l protegeixen la població infantil de la càries dental, en canvi, concentracions superiors a 1,5mg/l poden suposar un risc de fluorosi dental per a la població infantil i juvenil (fins a 16 anys).

Per a gent gran, concentracions superiors a 1,5mg/l poden suposar risc de fluorosi òssia.

Concentracions superiors a 4,0mg/l suposen un risc per a la salut per a qualsevol persona. Per a la població infantil, la ingesta constant d'aigua amb concentracions superiors pot ocasionar fluorosi dental i, per a la població en general, tot i que varia segons l'edat, hi ha un risc elevat de fluorosi òssia.

Per tant, caldrà que **la població** s'abstingui de consumir aigua de la xarxa per beure o cuinar. Tothom podrà utilitzar l'aigua per a dutxar-se, rentar la roba o rentar els estris de cuina, sense cap risc per la salut.

El seu consum esporàdic no suposa cap risc.

Per a consultes, podeu posar-vos en contacte amb \_\_\_\_\_ (Entitat gestora/Ajuntament/Servei Regional del Departament de Salut)



PARÀMETRE: Fluorurs				Data: 28.2.2013		P. Veciana i A. Castellort		
VALORS MÀXIMS DE REFERÈNCIA	Normatius de l'Estat espanyol		Altres de Catalunya o de l'Estat espanyol		Recomanacions i normatives d'altres països			
	RD 140/2003		Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància	OMS	Salut Canadà	EPA (SDWA) EUA	Altres
	1,5 mg/l		-----	1,5 mg/l	1,5 mg/l	1,5 mg/l	4 mg/l	(Austràlia) 1,5 mg/l
EFECTES SOBRE LA SALUT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fluorosi dental (hiperpigmentació) i fluorosi òssia (augment de la densitat òssia) a mitjà i llarg termini.</li> <li>Entre 1,5-4 mg/l: risc de fluorosi dental en la població infantil i juvenil (fins a 16 anys) i concentracions superiors a 1,5 mg/l poden suposar risc de fluorosi òssia en la gent gran.</li> <li>&gt; 4 mg/l: risc de fluorosi dental en població infantil i juvenil i risc elevat de fluorosi òssia en la població en general.</li> </ul> <p><b>Població de risc:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gent gran (fluorosi òssia).</li> <li>Població infantil i juvenil (fluorosi dental).</li> <li>Persones amb deficiència de Ca / Mg / vitamina C.</li> <li>Persones amb problemes cardiovasculars i renals.</li> </ul>				ORIGEN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Natural: a través del sòl, aigua de mar, aigües superficials i aigua subterrània per dissolució de dipòsits minerals amb contingut en fluor.</li> <li>Industrial: abocaments industrials que utilitzin fluor (fàbrica de productes químics/fusió de l'alumini).</li> <li>Addició de fluor a l'aigua de beguda per prevenir la càries.</li> <li>Activitat volcànica.</li> </ul>		
TRACTAMENTS PRINCIPALS	Nom tècnica	Tractaments complementaris		Limitacions / condicions d'ús	Subproductes	Eficàcia/disponibilitat	Valoració	
	Adsorció amb alumina activada	<p><b>Pretractament:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Oxidació</li> <li>Correcció pH = 5,5</li> <li>Anàlisi de l'aigua en origen</li> </ul> <p><b>Posttractament:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Substitució dels cartutxos d'alumina reblerts</li> <li>Regeneració dels cartutxos</li> </ul>		Ajustar el pH a 5,5, previ al pas pel llit filtrant <ul style="list-style-type: none"> <li>Avaluació d'altres contaminants concentració de F, As, Fe i Mn</li> <li>Interferències: Se/Cl/SO<sub>4</sub></li> <li>Mida partícules d'alumina</li> <li>Els dispositius d'alumina activada recontaminen microbiològicament l'aigua que s'ha de desinfectar posteriorment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'efluent de la regeneració amb contingut elevat en fluorurs</li> <li>Rebuig amb concentracions elevades de sals</li> </ul>	Cost elevat Bona eficàcia	1a elecció	
	Osmosi inversa	<p><b>Pretractament:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Prefiltració</li> <li>Decloració</li> </ul> <p><b>Posttractament:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Correcció del pH i de l'índex de Langelier</li> <li>Remineralització de l'aigua</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Rebuig elevat</li> <li>Contaminació microbiològica de les membranes</li> <li>Pèrdua d'aigua amb la salmorra i aigua de rebuig</li> <li>Recreixement bacterià</li> </ul>		Cost elevat Eficàcia molt bona		
<b>CONTROL</b>				<b>ALTERNATIVES DE TRACTAMENT</b>				
	Aigua abans de tractament		Aigua després de tractament		<ul style="list-style-type: none"> <li>Dilució amb una altra aigua amb baix contingut de fluor procedent d'altres captacions, cisternes mòbils o altres xarxes d'abastament, amb nivells de fluorurs inferiors al valor paramètric i amb un percentatge d'aportació d'aigua que permeti garantir l'aptitud de l'aigua distribuïda.</li> <li>Connexió amb una altra xarxa d'abastament amb garantia sanitària.</li> <li>Transport d'aigua en cisternes mòbils.</li> </ul>			
Adsorció	pH, fluor, As, Cl		Control de fluor, arsènic, pH, alumini i sodi (principalment)					
Osmosi inversa	Clor		Control de fluor, conductivitat, pH i índex de Langelier					
<b>COMUNICACIÓ DEL RISC</b>								
1) Model de comunicació del risc quan el fluor es troba en una concentració superior a 1,5 mg/l i inferior a 4 mg/l. 2) Model de comunicació del risc quan el fluor es troba en una concentració superior a 4 mg/l.								



PARÀMETRE: Tricloroetilè (TCE) i tetracloroetilè (PCE)		Data de revisió: 13.7.2013		
VALORS MÀXIMS DE REFERÈNCIA	Normatius de l'Estat espanyol		Altres de Catalunya o de l'Estat espanyol	
	RD 140/2003		Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància
	Tricloroetilè + Tetracloroetilè: 10 µg/l		No referència	No en fa referència
	Recomanacions i normatives d'altres països			
	OMS	Salut Canadà	EPA (SDWA) EUA (3)	Altres
Tricloroetilè: 20 µg/l Tetracloroetilè: 40 µg/l	TCE: 5 µg/l (1) PCE: 30 µg/l (2)	TCE: 5 µg/l PCE: 5 µg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>UE (Directiva 98/83/CE) Tricloroetilè: 5 µg/l Tetracloroetilè: 5 µg/l</li> <li>Salut Quebec (4): Tricloroetilè: 50 µg/l</li> </ul>	
EFECTES SOBRE LA SALUT: VIES D'EXPOSICIÓ	<b>1. Vies d'exposició</b>			
	<p><b>Tricloroetilè(TCE)</b></p> <p>Fora de l'àmbit laboral, la població està exposada al TCE per l'aire ambiental i d'ambients interiors, l'aigua de consum i els aliments. Les principals vies d'exposició són: per <u>ingestió, inhalació o contacte a través de la pell</u>. L'exposició per <u>via cutània i per inhalació</u> es produeix principalment en l'àmbit domèstic, durant el bany i la dutxa amb aigua que conté TCE, a causa de la seva volatilitat i liposolubilitat. L'exposició per ingesta, a través dels <u>aliments</u>, ultra l'aigua de consum, és molt baixa. L'Agència de Protecció Ambiental dels Estats Units (Environmental Protection Agency, USEPA) ha conclòs que no hi ha evidències suficients per fer estimacions fiables de l'exposició per aquesta via, tot i que se n'ha detectat també a la llet materna.</p> <p>Les dades sobre la importància de les diferents vies d'exposició al <u>tricloroetilè</u> són contradictòries. Per a alguns autors, l'exposició procedent de l'aire és més elevada que l'exposició per aliments o aigua de consum, i l'absorció cutània i per inhalació de TCE podria arribar a duplicar o triplicar la dosi per ingesta d'aigua en el cas de vivendes amb poca ventilació i /o durant el bany o la dutxa si aquests són freqüents. No obstant això, altres autors consideren que la quantitat de TCE ingerit procedent de l'aigua és més important que la quantitat inhalada, i aquesta darrera més que la via cutània. (5)</p> <p>S'ha estimat que quan l'aigua utilitzada per a la dutxa té concentracions de TCE de 40 µg/l, la concentració a l'aire de l'habitació pot augmentar fins a 40 µg/l i la dosi inhalada setmanalment seria de 48 µg TCE. (6)</p> <p><b>Tetracloroetilè (PCE)</b></p> <p>En el cas del <u>tetracloroetilè (també anomenat percloroetilè)</u>, cal tenir en compte, a més, l'exposició a l'aire en condicions normals d'ús de l'aigua per a la neteja personal, dutxa i bany. Per al PCE, la quantitat que s'ingeriria equival a la mateixa quantitat que s'absorbiria per via dèrmica. (7) Un cop a l'organisme, només es metabolitza un 3%, i la resta torna a l'ambient sense canvis a través de la respiració. (8)</p>			
EFECTES DEL TCE SOBRE LA SALUT	<b>2. Efectes del TCE sobre la salut</b>			
	<p>L'exposició <u>aguda, per inhalació o ingesta</u>, a dosis entre 500 i 10.000 ppm provoca efectes generals sobre l'SNC, cardiotoxicitat, hepatotoxicitat, nefrotoxicitat i la mort.</p> <p>L'exposició <u>crònica</u> a dosis altes desencadena hepatotoxicitat, nefrotoxicitat, neurotoxicitat i immunotoxicitat. (4)</p> <p>L'Agència de Protecció Ambiental de Califòrnia (CaEPA, California Environmental Protection Agency) estima en 0,6 mg/m<sup>3</sup> d'aire el nivell màxim per sota del qual no s'aprecien efectes adversos sobre la salut. (9) El Centre Internacional d'Investigacions sobre el Càncer afiliat a l'OMS (CIIC) el classifica dins de la categoria 2A (probablement cancerigen per a l'ésser humà).</p> <p>Els tipus de càncer en humans que s'associen més sovint a l'exposició al TCE són el de ronyó i, en menor mesura, el limfoma no hodgkinià i el càncer de fetge. (4)</p> <p>Actualment, l'USEPA està revisant els riscos per a la salut de l'exposició al TCE.</p> <p>La capacitat <u>genotòxica</u> del tricloroetilè sembla que és dèbil. No obstant això, diversos dels seus metabòlits són genotòxics i alguns s'han classificat com a cancerígens per a l'ésser humà, concretament, el clorur de vinil està classificat en el grup 1 segons el CIIC. El principal efecte no cancerigen és l'embriotoxicitat, generalment malformacions i anomalies cardíaques. (10)</p> <p>L'exposició conjunta a altres contaminants, com els mateixos metabòlits de degradació del TCE (1,2-dicloroetilè, clorur de vinil), o altres dissolvents i els seus metabòlits (com el PCE), pot afectar l'absorció del TCE, el seu metabolisme, l'acumulació en els òrgans i l'eliminació. (4)</p>			

**3. Efectes del PCE sobre la salut**

L'exposició aguda a concentracions baixes (fins a 106-2.000 ppm) provoca irritació ocular, nasal, anestèsia, danys hepàtics i renals. A concentracions més altes, es produeixen efectes hepatotòxics, nefrotòxics, depressió de l'SNC i la mort. (4)

L'Agència Europea de Seguretat i Salut en el Treball (OSHA, European Agency for Safety and Health at Work) limita a 100 ppm la quantitat de PCE present a l'aire en una àrea tancada, per a una jornada de 8 hores i una setmana laboral de 40 hores. (11)

A concentracions de 0,04 ppm o bé 0,3 mg/m<sup>3</sup> d'aire es detecten efectes crònics. Aquest valor seria el màxim per evitar problemes de salut segons l'ATSDR (Agència per al Registre de Substàncies Tòxiques i Malalties). (12)

El CIIC el classifica dins de la categoria 2A (probablement cancerigen per a l'ésser humà). (10) No és genotòxic. S'emmagatzema al teixit gras i s'allibera gradualment al teixit sanguini. A la sang i l'orina es poden detectar el PCE i l'àcid tricloroacètic (TCA), producte de degradació del PCE. (8)

El TCE s'utilitza com a dissolvent per desengreixar metalls. No es troba en el medi de forma natural, sinó que, pel seu caràcter volàtil, s'allibera a l'aire i també a través de vessaments o abocaments industrials accidentals inadequats, pot contaminar el sòl i arribar fins a les aigües subterrànies. A partir d'efluents industrials, pot contaminar les aigües superficials. També es troba en productes d'ús domèstic com ara adhesius, correctors de tipus Tipp-Ex i llevataques de roba. (11)

El PCE s'utilitza principalment com a dissolvent en la indústria de neteja en sec, en la fabricació de papers i també, tot i que en menor mesura, com a dissolvent desengreixant de metalls.

Tant un com l'altre provenen de fonts industrials i nuclis habitats. (10) La contaminació de l'aigua pot produir-se directament, per abocaments de les indústries, o indirectament, per fonts difuses derivades de l'ús i rebuig de materials i productes que tenen la substància química.

A partir dels vessaments en el terreny, la contaminació de les aigües subterrànies per tricloroetilè i tetracloroetilè es veu afavorida, perquè són persistents en el sòl, malgrat que no són gaire solubles en aigua (el TCE és més polar que el PCE i, per això, més soluble).

El seu moviment a través de la zona no saturada és vertical i lateral. A la zona no saturada, el líquid residual pot estar adsorbit, dissolt a la humitat del sòl o es pot començar a degradar i produir nous compostos organoclorats que, en part, es volatilitzen migrant lateralment. (21) La fracció més important, perquè són compostos poc solubles i més densos que l'aigua, arriba al nivell freàtic i s'acumula a la base de l'aquífer o bé al damunt de lleties menys permeables. (21)

En aigües subterrànies, el TCE i PCE pateixen una transformació anaeròbica, la qual cosa dóna isòmers del dicloroetilè i clorur de vinil. (21) S'ha descrit la presència de clorur de vinil en aigües subterrànies com a producte de degradació de tricloroetilè i tetracloroetilè, però també cal pensar la possibilitat que la seva presència en l'aigua de consum sigui conseqüència de la migració d'aquest monòmer des de canonades de PVC del sistema de distribució. (10)

Les concentracions de TCE acostumen a ser més baixes en aigües superficials que en aigües subterrànies. En les aigües subterrànies la volatilització i la biodegradació són limitades i la vida mitjana és d'anys; mentre que, en les aigües superficials, la vida mitjana és d'hores a dies. (4) El TCE també es pot formar a les aigües subterrànies a partir de la biodegradació del tetracloroetilè. (4)

Per saber si la contaminació és antiga o recent, es pot determinar l'isòmer cis, el c-1,2- dicloroetilè. És un producte de degradació del tricloroetilè més soluble en aigua i molt menys dens que el tricloroetilè. Quan la concentració de c-1,2- dicloroetilè és molt superior a la de tricloroetilè en una aigua subterrània, es podria deduir que no es tracta d'una contaminació recent. (21)

L'elecció del tractament s'ha de fer en funció de la complexitat i del cost, i cal tenir en compte les circumstàncies locals. Pot ser avantatjós utilitzar una combinació de processos. (4.4)

	Tractaments disponibles			
	Arrossegament amb aire ( <i>stripping</i> )	Carbó activat	Ozonització	Oxidació avançada
Tetracloroetilè	+++ < 0,001 mg/l (*)	+++ < 0,001mg/l	-----	-----
Tricloroetilè	+++ < 0,02 mg/l	+++ < 0,02 mg/l	+++ < 0,02 mg/l	+++ < 0,02 mg/l

+++ reducció > = 80%

++ reducció > = 50%

+ reducció escassa

(\*) concentració que es pot arribar a assolir

En el nostre medi, les dues tècniques d'elecció són l'arrossegament amb aire o stripping i l'adsorció per carbó actiu. Aquestes dues tècniques utilitzades com a tractament de dues etapes permeten reduir les concentracions de TCE a menys d'1 mcg/l (4) (fitxes T4 i T5)

### 1. Adsorció per carbó actiu

#### a) Fonament de la tecnologia

L'adsorció per carbó actiu és la remoció, per adherència, de les impureses presents a l'aigua. En el tractament d'aigües destinades al consum s'utilitza, entre d'altres, per eliminar plaguicides, COV i trihalometans.

El carbó actiu és un material porós amb una gran superfície específica i una alta afinitat pels compostos orgànics, que actua adsorbint els contaminants en la seva superfície. Hi ha una gran varietat de tipus i qualitats que es diferencien per l'estructura interna (distribució dels porus i superfície específica) i per la granulometria. (18)

Existeixen dues formes d'ús: el carbó actiu en pols (CAP; en anglès, PAC) i el carbó actiu granular (CAG; en anglès, GAC). El CAP s'utilitza en forma de pols i sempre a la capçalera de la línia de tractament. D'altra banda, el CAG s'utilitza en forma de grànuls en filtres de columnes o de llit que s'intercalen a la línia de tractament.

L'elecció d'un o altre depèn principalment de la freqüència d'ús i de la dosi: el CAP es limita a usos en contaminacions esporàdiques i puntuals. En el nostre àmbit es fa servir molt més el CAG, perquè és més fàcil d'utilitzar i més eficient. La capacitat d'adsorció del carbó activat disminueix amb el temps, perquè el filtre se satura. Quan s'esgota, es pot reactivar cremant de forma controlada les substàncies orgàniques adherides o bé s'ha de canviar. Existeixen diferents índexs de qualitat per controlar quin és l'estat del grau d'adsorció del carbó.

#### b) Tractaments complementaris obligats (pre i posttractaments) i coadjuvants

##### – Pretractament

- Físic o fisicoquímic encaminat a disminuir la terbolesa i les matèries en suspensió per evitar el reblliment del filtre de CAG: floculació-coagulació i decantació i/o filtració per sorra.
- Decloració abans de filtre de CAG si s'ha fet una precloració a l'aigua abans del tractament físic o fisicoquímic.

##### – Posttractament

Sempre cal una cloració després de la filtració amb carbó actiu per mantenir el clor residual, tal com exigeix la normativa.

Especificitats del CAP: el CAP sempre es dosifica a la capçalera de l'estació de tractament d'aigua potable (ETAP) en forma de pols, normalment en els decantadors; per la qual cosa cal decantar-lo i/o filtrar-lo ajudat per floculants, si cal, per separar-lo totalment de l'aigua abans de permetre que l'aigua continuï les etapes de tractament següents.

c) Condicions d'ús o factors que la limiten

Són necessàries proves prèvies per establir el dimensionat definitiu del filtre de CAG per a cada planta i la qualitat d'aigua, encara que hi ha taules teòriques. La velocitat de filtració ha de ser d'uns 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h, amb una alçada del llit d'entre 800 i 1.200 mm (17), però sempre cal disposar de la documentació tècnica del fabricant per determinar les condicions de funcionament. L'adsorció és més elevada com més gran sigui la superfície de contacte, que ve donada per la mida del grànul i pot variar des de 500 a 1.500 m<sup>2</sup>/g.

En relació amb la qualitat de l'aigua d'origen, els principals factors limitants són la terbolesa, les partícules en suspensió i la duresa. Durant el procés, trobem com a factors limitants, la colonització bacteriana del filtre i la presència d'altres compostos orgànics o clor que ens poden interferir en el grau d'adsorció del TCE i PCE (*vegeu* T4). També influeix el pH de l'aigua, que si és alt afavoreix l'adsorció d'ions alcalins i si és baixa la de compostos àcids, i la temperatura de l'aigua, que pot produir l'efecte contrari, la desadsorció del TCE i PCE del carbó cap a l'aigua, quan l'aigua passa de temperatures altes a baixes.

d) Subproductes

A part de la presència de contaminants orgànics per desadsorció i per rebliment del filtre, el deteriorament del mateix carbó actiu pot incrementar el carboni orgànic total (COT; en anglès TOC) present a l'aigua de distribució, el qual és un molt bon nutrient per a algunes espècies de microorganismes presents de manera sapròfita a l'interior de les canonades, i que poden ser causa de l'aparició de biofilms.

e) Eficàcia i disponibilitat

La tècnica és més eficaç per eliminar el PCE i TCE, tot i que per als dos contaminants dona bons resultats. És fàcil d'obtenir en el mercat i el seu cost no és gaire elevat.

Els filtres de CAG són relativament fàcils d'usar per a petites col·lectivitats i requereixen uns controls assequibles, per la qual cosa és la tècnica d'elecció en petits abastaments.

L'ús del CAP s'ha de limitar a les gestores amb uns serveis professionals en tractaments d'aigües i només en cas de contaminacions puntuals. No és habitual en el cas de PCE i TCE que acostumen a ser presents en aigües subterrànies contaminades antropogènicament.

f) Valoració

- Bona relació del cost amb l'eficàcia.
- Disponibilitat immediata i no requereix grans equipaments.
- Adient per a petites col·lectivitats.

**2. Arrossegament amb aire (*stripping*)**

a) Fonament de la tecnologia

L'arrossegament (*stripping*) amb aire consisteix a separar els compostos orgànics presents a l'aigua per aeració a contracorrent en una columna. L'aigua entra per la part superior de la torre, mentre que l'aire s'introdueix per la part inferior i, mitjançant un ventilador, es força cap amunt. El contacte entre la fase líquida (aigua) i l'aire és continu i s'afavoreix perquè l'aigua cau per gravetat i en forma de pel·lícula fina. Els contaminants volàtils (TCE i PCE) es transfereixen de la fase aquosa a la gasosa. L'aigua es recull a la base de la torre. No hi ha recirculació d'aigua. (15)

Les dimensions de la columna depenen del cabal d'aigua que cal tractar, dels nivells de contaminants que s'han d'eliminar, de la difusió molecular, de la temperatura de l'aigua i la temperatura de l'aire. (16)

L'arrossegament amb aire es pot efectuar mitjançant sistemes d'aeració difusa, mecànica, en torre de safata i en torre de rectificació. (18)

Hi pot haver problemes de proliferació de legionel·la i de precipitació de carbonat de calci (*vegeu* T5).

b) Tractaments complementaris obligats (pre i posttractaments) i coadjuvants

- Pretractament: pot ser necessari fer una filtració i una precloració per evitar el creixement microbià en el rebliment.
- Posttractament: recarbonatació amb CO<sub>2</sub> per restablir l'equilibri calcocarbònic i postcloració.

A més, cal fer tractaments desincrustants, neteges i desinfeccions periòdiques de la torre.

c) Condicions d'ús o factors que la limiten

No hi ha limitacions pel que fa a l'aigua. Les limitacions més importants són les derivades de la complexitat tècnica, el cost d'instal·lació i manteniment, inclosos els dels controls que cal fer per assegurar un bon rendiment i que es compleixi la normativa d'emissions de contaminants a l'atmosfera.

d) Subproductes

No n'hi ha pel que fa a l'aigua de consum, ultra la possibilitat de contaminació de l'aigua de distribució per un manteniment deficient del rebliment que pugui aportar altres contaminants o microorganismes. En relació amb l'aire que s'emet, cal vigilar el límit normatiu d'emissions i la possible presència de legionel·la, si n'hi ha, a l'aigua d'origen o si el rebliment està colonitzat.

e) Eficàcia i disponibilitat

L'*stripping* per aire és un dels processos més utilitzats per depurar aigües subterrànies contaminades per compostos orgànics volàtils. El procés és adequat per a concentracions baixes < 200 µg/l. (17)

f) Valoració

Tècnica apropiada per a una entitat gestora mitjana que tracti un cabal d'aigua aproximadament de 10.000 m<sup>3</sup>/dia. Necessita que el personal que en fa la gestió, el control i el manteniment tingui la formació adequada. És una instal·lació de gran complexitat tècnica i de cost elevat.

**3. Oxidació avançada**

Les tècniques d'oxidació avançada (TAO) es basen en processos fisicoquímics capaços de produir canvis profunds en l'estructura química dels contaminants mitjançant la generació d'espècies transitòries, principalment el radical hidroxil. Algunes de les TAO també utilitzen reductors químics per al tractament de contaminants poc susceptibles a l'oxidació, com els ions metàl·lics o compostos halogenats. (19)

Dins de les TAO s'inclouria l'ozonització, que és un procés d'oxidació avançada de tipus no fotoquímic d'un substrat orgànic, mitjançant una reacció directa o una reacció radicalària afavorida en medi àlcali (procés més eficient). Alguns autors defensen que exclusivament per ozonització no es poden eliminar els compostos orgànics volàtils (COV), altres autors opinen que l'eliminació és parcial i causada pel fet que l'O<sub>3</sub> actua sobre molècules orgàniques amb dobles enllaços i anells aromàtics. En qualsevol cas, l'eficàcia millora perquè l'ozonització suposa aeració, ja que l'O<sub>3</sub> s'injecta a través de difusors i és produeix un *stripping* (20).

Una de les TAO ideals per tractar compostos orgànics volàtils i semivolàtils en aigües subterrànies és la radiòlisi i els processos amb raigs d'electrons.

Actualment, el desenvolupament de les TAO i la comercialització corresponent és variable, només algunes estan totalment o parcialment comercialitzades.

**CONTROL**

Els controls específics que cal fer quan s'utilitza per tractar aigües contaminades amb TCE i PCE són:

a) Tractament amb carbó actiu

- Control microbiològic: en els filtres de CAG hi pot haver activitat bacteriana, però en tot cas cal fer control microbiològic (clostridis, aerobis, etc.) com a indicadors de colonitzacions possibles.
- Determinació de TCE i PCE a l'aigua tractada, per controlar si es produeix el fenomen físic de desadsorció.

b) Tractament per stripping

Es verifica periòdicament (freqüència setmanal) el pH, clor residual i la concentració de TCE + PCE a l'aigua d'entrada i l'aigua tractada.

**Alternatives de tractament**

No es pot acceptar la dilució en cas de TCE i PCE, atès que no té un origen natural, sinó antropogènic, pot estar subjecte a variacions notables en les concentracions i existeixen tècniques simples com el carbó actiu. La dilució en tot cas hauria de quedar reservada a petits abastaments amb valors de TCE i PCE no gaire allunyats dels 10 µg/l.

**QÜESTIONS QUE CAL TENIR EN COMPTE EN LA COMUNICACIÓ DEL RISC**

**Paràmetre:** TCE i PCE

**Normativa:** annex B del RD 140/2003.

**Valor paramètric:** la suma de PCE i TCE no pot superar els 10 µg/l. Si se supera aquest valor, l'aigua no és apta per al consum.

**Efectes sobre la salut i població de risc**

El valor paramètric del RD 140/2003 és inferior al nivell guia establert per l'OMS, per sota del qual considera que no té efectes sobre la salut, que és de 20 µg/l per al TCE i de 40 µg/l per al PCE. Per tant, les actuacions han de ser diferents: d'una banda, els casos en què se superi els 10 µg/l de TCE + PCE que marca la normativa, sense que s'arribin a superar els nivells guia de l'OMS i, de l'altra, els casos en què algun dels dos contaminants supera els nivells de l'OMS.

En el primer supòsit, ens trobem davant d'un incompliment de la norma que no comporta necessàriament la necessitat de fer cap comunicat de risc a la població, tot i que és necessari, per descomptat, que la gestora prengui les mesures oportunes per reduir els nivells fins a aconseguir una aigua per sota dels 10 µg/l de TCE + PCE.

En el segon supòsit, cal valorar cas per cas la necessitat de fer un comunicat de risc a la població. Atès que els efectes sobre la salut per ingesta d'aigua amb aquests contaminants són essencialment crònics (genotoxicitat i carcinogenicitat), és determinant per decidir si cal fer o no el comunicat sobre la concentració del contaminant en l'aigua i la capacitat de resposta de la gestora de posar a disposició de la població una aigua apta en un termini breu.

Pel que fa a la població que cal considerar de risc en l'àmbit domèstic és tota, tant adults com infants. La població més susceptible serien les persones amb malalties respiratòries, per la possibilitat d'inhalació dels contaminants en el moment del bany o la dutxa a partir d'aigua calenta, que afavoreix el pas del contaminant de l'aigua a l'aire. Els lactants també tindrien risc, a causa de la possibilitat d'exposició a través de la llet materna.



Per tant:

1. En el moment en què una aigua de consum humà supera els 20 µg/l de TCE o els 40 µg/l de PCE, cal plantejar-se la necessitat de fer un comunicat de risc a la població. És determinant valorar la concentració del contaminant i la capacitat de resposta de la gestora.
2. El comunicat ha d'adreçar-se a la població en general, amb un èmfasi especial en els grups més susceptibles, com poden ser els lactants i les persones amb malalties respiratòries.
3. Les recomanacions encaminades a protegir la salut de la població han de:
  - a) Prohibir l'ús de l'aigua per beure i cuinar.
  - b) Aconsellar netejar mecànicament l'utilitatge domèstic i la roba (rentadora i rentavaixelles) per minimitzar l'exposició cutània i per inhalació.
  - c) En la higiene personal, aconsellar banys i dutxes de curta durada, a una temperatura regulada i en espais que es puguin ventilar a l'exterior.

### Mesures que han de fer les gestores

Des del moment en què se supera el valor paramètric del RD 140/2003, encara que no s'arribi als nivells guia de l'OMS, les gestores tenen les opcions següents:

- a) Deixar d'utilitzar aquella aigua i utilitzar una font de subministrament alternativa.
- b) Instal·lar un tractament específic per a la captació afectada.

Com a mesura temporal, es pot valorar la possibilitat de diluir els contaminants amb una aigua apta per al consum sense TCE i PCE fins a concentracions inferiors al valor paramètric.

**Model de comunicació del risc oficial de l'APSCAT:** no n'hi ha cap.

### REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- (1) Santé Canada. Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada [Internet]. Desembre de 2010 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a:  
<http://www.dieppe.ca/fr/hoteldeville/resources/RecommandationspourlaqualitdeleaupotableauCanada.pdf>
- (2) Santé Canada. Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada [Internet]. (última revisió maig de 1996)
- (3) United States Environment Protection Agency (USEPA). Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable [Internet]. Abril de 2000 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a:  
<http://water.epa.gov/drink/agua/estandares.cfm>
- (4) Institut National de Santé Publique du Québec. Groupe scientifique sur l'eau. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Trichloroéthylène [Internet]. Juny de 2010 [consultat el 30 de juliol de 2013];162. Disponible a:  
[http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/198-CartableEau/198\\_FichesSynthesesEauPotable.pdf](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/198-CartableEau/198_FichesSynthesesEauPotable.pdf)
- (5) Santé Canada. Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada: Documentations à l'appui. Le trichloroéthylène [Internet]. Maig de 2005 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a:  
<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/trichloroethylene/index-fra.php>
- (6) Organització Mundial de la Salut. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Dry cleaning, some chlorinated solvents and other industrial chemicals [Internet]. Febrer de 1995 [citat el 30 de juliol de 2013];63. Disponible a:  
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol63/mono63.pdf>

- (7) Santé Canada. Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada: Documentations à l'appui. Le tétrachloroéthylène [Internet]. Última revisió maig de 1996 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt\\_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/tetrachloroethylene/Tetrachloroethylene-fra.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/tetrachloroethylene/Tetrachloroethylene-fra.pdf)
- (8) Departamento Administrativo Distrital del Medio Ambiente. Tetracloroetileno. Guía ambiental n.º 23 [www.dadma.gov.co](http://www.dadma.gov.co)
- (9) United States Environmental Protection Agency. Trichloroethylene: technology transfer network air toxics web site [Internet]. Última actualització novembre de 2007 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/tri-ethy.html](http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/tri-ethy.html)
- (10) Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable, tercera edición [Internet]. 2008 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwg/gdwq3rev/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq3rev/es/)
- (11) Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades. Resúmenes de salud pública. Tricloroetileno (Trichloroethylene) [Internet]. Setembre de 1997 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs19.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs19.html)
- (12) United States Environmental Protection Agency. Tetrachloroethylene: technology transfer network air toxics web site [Internet]. Última actualització febrer de 2013 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/tet-ethy.html](http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/tet-ethy.html)
- (13) URSO Servicios Medioambientales [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [www.urso.es](http://www.urso.es)
- (14) Proyecto 2005 - Tratamientos propuestos para el agua subterránea del Delta del Llobregat. Disponible a: <http://www.portalbita.net>
- (15) Martí Deulofeu JM. Tratamientos de aguas = Tractaments d'aigües = Water treatment. 3a ed. Barcelona: STENCO, 2000:237.
- (16) Miró J, Sanz J, García A, Nadal S. Stripping de aguas subterráneas: tecnología del agua. 1999;188:71-77.
- (17) Moral Luque S. Impacto ambiental global de las estaciones de servicio y su singularidad por lo que respecta al vertido accidental de aguas hidrocarbonadas. Capítulo 5. Medidas correctoras [tesina] [Internet]. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental; 2 de setembre de 2002 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5815/6/05.pdf>
- (18) National Academy of Sciences. Global Health and Education Foundation.
- (19) Domènech X, Jardim WF, Litter MI. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. Treball dins del projecte CNEA-CAC-UAQ #95-Q-03-05 [Internet] [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://www.psa.es/webeng/solwater/files/CYTED01/06cap01.pdf>
- (20) Pérez Calvo, MM. Tratamiento avanzado de aguas residuales para riego mediante oxidación con ozono: una alternativa ecológica [Internet]. CONAMA: Congreso Nacional de Medio Ambiente; gener de 2008 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.anella.cat/c/document\\_library/get\\_file?folderId=555053&name=DLFE-1294.pdf](http://www.anella.cat/c/document_library/get_file?folderId=555053&name=DLFE-1294.pdf)
- (21) Informe de l'ACA de la contaminació d'una captació subterrània per TCE i PCE. [Documentació no disponible per a consulta.]



VALORS MÀXIMS DE REFERÈNCIA	Normatius de l'Estat espanyol		Altres de Catalunya o de l'Estat espanyol		Recomanacions i normatives d'altres països			
	RD 140/2003	Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància	UE	OMS	Salut Canadà	EPA (SDWA) EUA	Altres
	TCE + PCE ≤ 10 µg/l	-----	-----	TCE ≤ 5 µg/l PCE ≤ 5 µg/l	TCE ≤ 20 µg/l PCE ≤ 40 µg/l	TCE ≤ 5 µg/l PCE ≤ 30 µg/l	TCE ≤ 5 µg/l PCE ≤ 5 µg/l	Salut Quebec: TCE ≤ 50 µg/l

EFECTES SOBRE LA SALUT	ORIGEN	
	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>TCE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exposició aguda (500-10.000 ppm) per inhalació i ingesta: efectes generals, sobre l'SNC, cardiotoxicitat, hepatotoxicitat, nefrotoxicitat, mort.</li> <li>- Exposició crònica: hepatotoxicitat, nefrotoxicitat, neurotoxicitat i immunotoxicitat. Està classificat en el grup 2A (probablement cancerigen per als éssers humans). Els càncers associats més freqüents són: ronyó, limfoma no hodgkinià i fetge.</li> </ul> </li> <li><b>PCE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exposició aguda (106-2.000 ppm): irritació ocular, nasal, anestèsia, danys hepàtics i renals. A dosis més altes: efectes hepatotòxics, nefrotòxics, depressió de l'SNC i mort.</li> <li>- Exposició crònica: està classificat en el grup 2A (probablement cancerigen per a l'ésser humà).</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>TCE:</b> Antropogènic                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desengreixant de metalls en aplicacions industrials.</li> <li>- Productes domèstics: adhesius, llevataques i Tipp-Ex.</li> </ul> </li> <li><b>PCE:</b> Antropogènic                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dissolvent industrial neteja en sec.</li> <li>- Fabricació de paper.</li> <li>- Desengreixant de metalls en aplicacions industrials.</li> </ul> </li> </ul>

TRACTAMENTS PRINCIPALS	Nom tècnica	Tractaments complementaris	Limitacions / condicions d'ús	Subproducte	Eficàcia/disponibilitat	Valoració
	Arrossegament amb aire ( <i>stripping</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Pretractament: filtració + precloració per evitar creixement microbià en el rebliment.</li> <li>⊕ Posttractament: recarbonatació per restablir l'equilibri calcocarbònic + cloració.</li> <li>⊕ Manteniment: tractaments desincrustants, neteges i desinfeccions periòdiques de la torre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Compliment normativa emissió contaminants a l'atmosfera.</li> <li>⊕ Control emissió legionel·la.</li> </ul>	No n'hi ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cost elevat.</li> <li>• Bona eficàcia, més per a PCE que per a TCE.</li> <li>• Gran complexitat tècnica de la instal·lació.</li> <li>• Pot requerir espais importants, impacte paisatgístic.</li> </ul>	No adequada per a petites col·lectivitats. Manteniment per personal especialitzat.
Carbó activat (CAG; en anglès, GAC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Pretractament: floculació-coagulació + filtració + decoloració si hi ha hagut precloració.</li> <li>⊕ Posttractament: cloració.</li> <li>⊕ Manteniment: rentat filtres i regeneració carbó actiu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Qualitat de l'aigua: terbolesa, partícules en suspensió i duresa, pH.</li> <li>⊕ Colonització bacteriana del filtre.</li> <li>⊕ Presència de clor o altres compostos orgànics que poden interferir.</li> <li>⊕ Gradient temperatura aigua: desadsorció.</li> </ul>	COT (en anglès, TOC): carboni orgànic total que afavoreix la presència de biofilm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baix cost, fàcil utilització i disponibilitat immediata.</li> <li>• Eficax tant per a TCE com per a PCE.</li> </ul>	Apte per a petites col·lectivitats.	

CONTROL			ALTERNATIVES DE TRACTAMENT	
	Aigua abans del tractament	Aigua després del tractament		
<i>Stripping</i>	pH, clor residual, TCE, PCE.	PCE, TCE, pH, clor residual, índex de Langelier.	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Canvi de font de subministrament.</li> <li>⊕ Transport d'aigua amb cisternes mòbils.</li> <li>⊕ La dilució amb una altra aigua només es pot acceptar per a petits abastaments amb continguts de PCE + TCE poc allunyats dels 10 µg/l i mentre es troba una altra solució.</li> </ul>	
Carbó activat	Terbolesa, MES, temperatura, pH, duresa. PCE, TCE, clor.	PCE, TCE, pH, aerobis, clostridis.		

**COMUNICACIÓ DEL RISC**

**No hi ha model de comunicació del risc oficial.** Recomanacions si se superen els nivells de l'OMS: comunicat a la població general fent èmfasi en els grups més susceptibles, és a dir, lactants i persones amb malaltia respiratòria, per:

- 1) Prohibir l'ús de l'aigua per beure i cuinar.
- 2) Aconsellar la neteja mecànica d'utilatge domèstic i roba (rentadora i rentavaixelles) per minimitzar l'exposició cutània i per inhalació.
- 3) En la higiene personal, aconsellar banys i dutxes de curta durada, amb temperatura regulada i en espais que es puguin ventilar a l'exterior.

Si se superen els 10 µg/l de TCE + PCE, però no els nivells de l'OMS: no cal comunicar el risc, però, en canvi, sí requerir a la gestora que deixi d'utilitzar aquella aigua i faci servir una font de subministrament alternativa, o que instal·li un tractament específic de la captació afectada.

PARÀMETRE: Manganès			Data de revisió: 28.2.2013	
VALORS MÀXIMS DE REFERÈNCIA	Normatius de l'Estat espanyol		Altres de Catalunya o de l'Estat espanyol	
	RD 140/2003		Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància
	50 µg/l (annex C)		400 µg/l	Taula1: 50-400 µg/l: anomalia > 400 µg/l: incompliment
	Recomanacions i normatives d'altres països			
	OMS	Salut Canadà	EPA (SDWA) EUA	Altres
	---	50 µg/l	50 µg/l	
EFECTES SOBRE LA SALUT	<b><u>Vies d'exposició</u></b>			
	<p>El manganès és un element essencial per als éssers humans. Les vies d'exposició són els aliments, l'aigua i l'aire. Es troba de forma natural en molts aliments, com ara verdures de fulla verda, fruits secs, cereals i productes d'origen animal. De fet, la via d'exposició principal en la població general és l'alimentació. The Food and Nutrition Board de l'Institute of Medicine dels Estats Units va determinar que una ingesta de manganès de 2,3 mg/dia per als homes i d'1,8 mg/dia per a les dones era adequada. Els adults consumeixen entre 0,7 i 10,9 mg/dia (els consums més elevats s'associen a dietes vegetarianes o a un consum de te elevat) amb una mitjana de 3 mg/dia. L'OMS afirma que la ingesta diària tolerable de manganès és de 0,06 mg/kg de pes corporal. Es basa en el nivell superior d'ingesta de manganès d'11 mg/dia de les dietes vegetarianes que es determina en el NOAEL (<i>no-observed-adverse-effect-level</i>), nivell màxim en què no s'han observat efectes adversos. La ingesta de manganès amb l'aigua potable acostuma a ser substancialment menor que amb la ingesta d'aliments. Considerant un nivell mitjà de manganès en aigua potable de 10 µg/l, en un consum mitjà diari de 2 litres d'aigua, la ingesta de manganès seria de 20 µg/l. L'exposició al manganès en l'aire és, en general, marcadament menor que en la dieta, en general al voltant de 0,04 ng/dia de mitjana. Tot i que això pot variar notablement en funció de la proximitat a una font de manganès, com poden ser les emissions industrials relacionades amb la producció d'aliatges metàl·lics que contenen òxids de manganès, les emissions procedents de vehicles de motor de benzina o la crema de carbó per generar energia, la incineració de residus sòlids i l'aplicació de plaguicides. (2)</p>			
	<b><u>Efectes sobre la salut</u></b>			
	<p>Hi ha diversos estudis epidemiològics que han notificat efectes adversos de tipus neurològic que s'originen per l'exposició perllongada a concentracions molt elevades de manganès en l'aigua de consum. No obstant això, no són conclouents, ja que hi ha factors de confusió significatius en aquests estudis. En altres estudis, no s'han observat efectes adversos després de l'exposició amb l'aigua de consum.</p> <p>El valor basat en la salut de 0,4 mg/l que va determinar l'OMS en la 3a edició de les <i>Guies per a la qualitat de l'aigua potable</i>, es troba molt per sobre de les concentracions de manganès que es detecten habitualment en l'aigua de consum. Per tant, l'OMS ha considerat que no és necessari introduir un valor de referència formal en la 4a edició de les <i>Guies</i> de juny de 2011. (2,17)</p>			
	<b><u>Inconvenients</u></b>			
<p>En concentracions superiors a 0,1 mg/l, la presència de manganès fa que l'aigua i les begudes tinguin un gust desagradable i que puguin aparèixer taques de color marró o negre a la roba i als accessoris de plomeria (aixetes, piques). Quan el manganès (II) s'oxida en l'aigua potable, precipita, amb els problemes d'incrustacions consegüents. En concentracions tan baixes com ara 0,02 mg/l, es poden formar capes de manganès a les canonades que més tard poden desprendre's com a un precipitat negre. (2)</p> <p>Atesa la capacitat de reacció que presenta amb el clor, la presència en quantitats elevades pot augmentar la demanda de desinfectant i, per tant, disminuir la quantitat de clor residual present en la xarxa de distribució. Per ell mateix, el manganès pot contribuir a formar biofilm, fet que pot implicar un creixement microbià a les canonades. (5,13,15)</p>				

**ORIGEN**

El manganès és un element abundant que constitueix aproximadament el 0,1% de l'escorça terrestre. Tot i que no es produeix de forma natural en el medi ambient en forma de metall, el manganès és un component de més de 100 sals comunes i minerals que es troben àmpliament distribuïdes en les roques, els sòls i parcialment solubilitzades a la part profunda dels llacs i els oceans. La majoria de les formes comunes de minerals inclouen el diòxid de manganès, el carbonat de manganès i el silicat de manganès. Sovint s'associa a la presència de ferro, especialment en condicions d'anaerobiosi.

El manganès existeix en 11 estats oxidatius, les valències més comunes són 2+, 4+ i 7+. (2)

**TRACTAMENTS: COAGULACIÓ**

**1. Coagulació (3,9,18)**

a) Fonament de la tecnologia

És el fenomen de desestabilització de les partícules col·loïdals per neutralització de les seves càrregues elèctriques. Aquesta desestabilització produeix una precipitació de l'element, el qual es pot separar per decantació o filtració. Juntament amb els coagulants, també s'utilitzen floculants, la missió dels quals és la d'agregar en floculs les partícules desestabilitzades per facilitar-ne la precipitació i posterior separació.

Els compostos químics més emprats com a coagulants són els següents: clorur d'alumini, clorur ferrós, sulfat ferrós, sulfat d'alúmina, hidròxid sòdic i carbonat sòdic, entre d'altres.

b) Tractaments complementaris obligats (posttractaments) i coadjuvants

Després d'una coagulació cal flocular les partícules (agrupar-les formant floculs que siguin capaços de ser retinguts en una fase posterior). Més endavant, cal separar l'aigua del flocul format mitjançant:

- decantació seguida o no de filtració
- flotació seguida o no de filtració
- filtració simple

Com a floculants, es poden utilitzar: sílice activada, carbonat de calci precipitat, sorra fina i floculants orgànics (policlorur d'alúmina).

c) Condicions d'ús o factors que la limiten

El pH és molt important en els fenòmens de coagulació/floculació. El pH òptim es troba entre 7,5 i 9, en funció del coagulant que s'utilitzi. Part de la càrrega de les partícules col·loïdals que han adsorbit ions  $\text{OH}^-$  queda destruïda per un augment de la concentració en ions  $\text{H}^+$ , fet que disminueix l'estabilitat de la suspensió col·loïdal. És preferible que el pH estigui dins de la zona corresponent al mínim de la solubilitat dels ions metàl·lics del coagulant que s'ha utilitzat.

d) Subproductes

Alumini o ferro en el cas que s'hagi utilitzat com a coagulant.

Com a rebuig s'obtenen els llots on hi haurà el producte floculat.

e) Eficàcia i disponibilitat

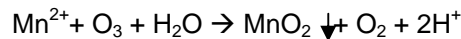
Es pot reduir en un 50% la concentració de manganès.

f) Valoració

Tot i que no es poden aportar dades quantitatives exactes, el cost d'aquest tractament és més elevat que l'oxidació, però més baix que el d'ozonització i que el tractament de membranes.

**TRACTAMENTS: OXIDACIÓ**

- **Ozonització**



- Quan s'utilitzi ozó, la torre de contacte aire-ozó substitueix en principi l'aeració clàssica. Pot ser convenient, però, una preaeració amb aire de la torre de contacte.
- S'ha de generar in situ.
- La barreja ozó-aire pot introduir-se a l'aigua, polvoritzant l'aigua en una atmosfera d'ozó, descarregant l'aire ozonitzat en un rentador o per injecció en una càmera de mescla. Les torres de contacte proporcionen temps de contacte de 10 a 20 minuts. S'hauria de poder dissoldre almenys el 80% de l'ozó aplicat. L'aire que surt de la torre que conté la resta d'ozó es fa passar per un destructor d'ozó i s'expulsa a l'atmosfera.

b) Tractaments complementaris obligats (posttractaments) i coadjuvants

- Filtració/decantació: el flocul de manganès es retira mitjançant un filtre de sorra o un decantador. Pot ser necessari ajudar la precipitació del flocul amb floculants o coagulants previs al filtre o al decantador.
- Desozonització, en cas d'oxidació amb ozó: l'aigua tractada no pot contenir ozó residual, s'ha d'eliminar amb desgasadors finals en el circuit de tractament.
- Recloració.

c) Condicions d'ús o factors que la limiten

- Sovint s'ha d'airejar l'aigua quan s'afegeix l'oxidant, ja que ajuda a oxidar el manganès.
- Cal utilitzar velocitats de filtració moderades i capes filtrants d'una espessor superior a 1 m, atès que la separació dels òxids de manganès és força complicada.
- La terbolesa de l'aigua obstrueix els espais intersticials que hi ha al llit filtrant. Per aconseguir que es retengui la terbolesa és necessari fer una coagulació-floculació.

d) Subproductes

- Trihalometans si s'utilitza clor com a oxidant.
- Clorits i clorats si s'utilitza ClO<sub>2</sub> com a oxidant.
- Es pot formar permanganat si existeix un excés d'ozó.
- En el cas de l'ozonització, bromats per l'oxidació dels bromurs presents a l'aigua.

e) Eficàcia i disponibilitat

- Es redueix un 80% o més la concentració de manganès, i així s'aconsegueixen concentracions inferiors als 0,05 mg/l que estipula la normativa.
- Com a oxidant, l'ozó té un preu prohibitiu. El cost d'energia i d'instal·lació és molt elevat.
- Per a cada mol de manganès, calen entre 1,5 i 5 mols d'ozó, fet que encareix el tractament.
- Disponibilitat immediata.

f) Valoració

- Baix cost, excepte l'ozonització.
- Cost elevat (ozonització).

### 3. Membranes: osmosi inversa (12) (T-3)

#### a) Fonament de la tecnologia

És el procés mitjançant el qual s'obté una solució diluïda a partir d'una solució concentrada invertint el procés natural d'osmosi. S'injecta l'aigua a pressió a través d'una membrana semipermeable, d'aquesta manera, els ions queden retinguts a la membrana i, alhora, s'obté aigua pura.

#### b) Tractaments complementaris obligats (pretractaments i posttractaments) i coadjuvants

Cal pretractar l'aigua per evitar que es pugui deteriorar la membrana mitjançant:

- L'addició de bisulfit sòdic per disminuir el caràcter oxidant de l'aigua i treure-li el clor.
- L'acidificació de l'aigua per evitar el precipitat de carbonat de calci.
- L'addició d'antiincrustants per evitar la formació i incrustació a les membranes de sals insolubles de calci, magnesi i bari com ara sulfats, fluorurs o fosfats.
- Una filtració efectiva per evitar danys o possibles precipitacions damunt de la membrana.

Es recomana disposar d'un dipòsit previ per cobrir puntes hidràuliques de demanda i addicionar els reactius.

Cal disposar d'un dipòsit posttractament per neutralitzar el pH (ja que és molt àcid) i remineralitzar l'aigua.

#### c) Condicions d'ús o factors que la limiten

- La presència de matèries en suspensió poden obturar les membranes.
- Les substàncies oxidants com el clor o l'oxigen degraden les membranes.
- La precipitació calcària en forma d'incrustacions deguda a la concentració de carbonat de calci.
- La precipitació d'altres sals com ara el sulfat de calci, d'estronci o de bari.
- La proliferació bacteriana a l'interior del sistema.
- El cabal d'aigua és directament proporcional a la superfície de la membrana i a la diferència entre el diferencial de pressió hidràulica en ambdós costats de la membrana i el diferencial de pressions osmòtiques de les solucions que hi ha abans i després de la membrana. Alhora, és inversament proporcional a l'espessor de la membrana. Si augmentem el nombre o la superfície de membrana, augmentarem la quantitat d'aigua disponible.

#### d) Subproductes

El rebuig de l'osmosi té concentracions elevades de clorurs, nitrats, carbonats de calci, magnesi i sodi i sulfats.

#### e) Eficàcia i disponibilitat

Es redueix un 80% o més la concentració de manganès, amb la qual cosa s'assoleixen concentracions inferiors als 0,05 mg/l que marca la normativa.

#### f) Valoració

Té un cost elevat si ho comparem amb l'oxidació-filtració.

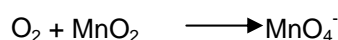
4. Oxidació catalítica sobre filtres de pirolusita o diòxid de manganès (15,16)a) Fonament de la tecnologia

El manganès que es troba a l'aigua s'oxida quan entra en contacte amb el llit filtrant catalític format per diòxid de manganès (pirolusita), aleshores precipita com a òxid insoluble i es reté en el llit filtrant. El llit filtrant està format en un 20% per volum de diòxid de manganès, i en un 80% per volum de sorra silícia.

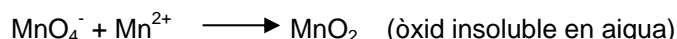
La velocitat de la reacció catalítica i la transformació obtinguda depèn de les característiques de l'aigua que cal tractar i de les condicions operatives, com ara la velocitat de filtració i el temps de contacte entre l'aigua i el llit catalític. Es pot efectuar de dues maneres diferents:

- 1) Amb dosis en continu de químics oxidants. Davant de químics oxidants, el filtre catalitza l'oxidació del manganès segons la reacció següent:

Formulació de permanganat sota l'estrat superficial de la granulometria de pirolusita:



Oxidació del manganès dissolt a l'aigua:



L'acció catalítica del filtre la suporta un oxidant químic enèrgic i, de forma autoregenerativa, el manganès precipitat en forma de diòxid de manganès queda retingut en el llit filtrant i augmenta la quantitat de catalitzadors disponibles. Durant el contraretrat, s'elimina periòdicament l'excedent de diòxid de manganès precipitat.

- 2) Aeració simple de l'aigua i regeneració del llit catalític. Sense presència d'agents químics oxidants, l'oxidació es produeix mitjançant la reacció següent:



Aquest òxid no té activitat catalítica i, per tant, amb el temps s'arriba a la saturació. L'òxid precipitat recobreix els estrats externs dels grans de diòxid de manganès, cosa que comporta la disminució de l'eficàcia del filtre fins que perd totalment la capacitat catalítica del llit filtrant.

b) Tractaments complementaris obligats (posttractaments) i coadjuvants

- Agents químics oxidants (quan s'utilitzi aquest mètode).
- Regeneració del llit catalític que es pot efectuar a través d'un contraretrat periòdic, dosificant hipoclorit o un altre oxidant químic capaç de convertir l'òxid mangànic en diòxid de manganès.

c) Condicions d'ús o factors que la limiten

- Quan el pH < 6, el manganès oxidat es pot solubilitzar, i també ho pot fer el diòxid de manganès del filtre, cosa que impedeix l'aplicació del procés.
- Per afavorir l'oxidació catalítica, és necessària la presència d'oxigen dissolt fins a 6 ppm. S'obté amb una aeració de l'aigua o bé afegint-hi químics oxidants.
- Tot i que l'amoniac no interfereix, s'aconsella eliminar-lo abans del filtre catalític per evitar restar oxigen dissolt durant el procés d'oxidació catalítica.

d) Subproductes

- No n'hi ha.

e) Eficàcia i disponibilitat

- És un mètode eficaç i que proporciona una disponibilitat immediata.
- El temps de contacte estàndard és de 12 minuts, i la velocitat de filtració estàndard de 9 m<sup>3</sup>/h.

f) Valoració

Baix cost i funcionament senzill.

<b>COMPARACIÓ DE TRACTAMENTS</b>	Segons l'Organització Mundial de la Salut (3a edició de les <i>Guies</i> ), els tractaments possibles per eliminar el manganès són els següents (3):				
	<b>TRACTAMENTS</b>				
		<b>Oxidació</b>	<b>Coagulació</b>	<b>Ozonització</b>	<b>Membranes</b>
	<b>Manganès</b>	+++ (<0,05 mg/l) <sup>(*)</sup>	++	+++ (<0,05 mg/l) <sup>(*)</sup>	+++ (<0,05 mg/l) <sup>(*)</sup>
	++: 50% o més de reducció de la concentració. +++: 80% o més de reducció de la concentració. (*) concentració que es pot arribar a assolir.				
<b>CONTROL</b>	1. Coagulació: manganès, pH, alumini i ferro (si s'utilitzen com a coagulants) (3). 2. Oxidació (excepte ozonització): manganès al final del tractament, trihalometans, clorits. 3. Ozonització: manganès, bromats i permanganat (3). 4. Osmosi inversa: manganès i pH (3). 5. Oxidació catalítica: manganès (15,16).				
<b>Alternatives de tractament</b>	No s'accepta la dilució amb aigua sense manganès, atès que no evita que es formin precipitats de manganès a l'interior de les canonades.				

**QÜESTIONS QUE CAL TENIR EN COMPTE EN LA COMUNICACIÓ DEL RISC**

**Paràmetre:** manganès

**Normativa:** annex C del RD 140/2003 i taula 1 del Pla de vigilància

**Valors paramètrics:**

- > 50-400 µg/l, aigua apta per al consum amb anomalia (RD 140/2003)
- > 400 µg/l, aigua no apta per al consum (taula 1 del Pla de vigilància)

**Efectes sobre la salut i població de risc:** no hi ha estudis concloents sobre la toxicitat per via oral del manganès. L'OMS no ha establert cap nivell guia, per la qual cosa no es proposa cap model de comunicació del risc.

**Recomanacions:** no se'n deriven.

**Actuacions que han d'efectuar les gestores:**

- Instal·lar un tractament específic per eliminar el manganès.
- Mentrestant, cal:
  - Fer un sanejament de les canonades mitjançant neteges i purgues.
  - Fer un seguiment microbiològic dels punts terminals de la xarxa per controlar el risc que implica la formació de biofilm.
  - Intensificar els controls de clor residual lliure en punts terminals de la xarxa, sobretot en els de menys ús.

**Model de comunicació del risc oficial de l'ASPCAT:** no n'hi ha.



## REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

1. Health Canada. Working Group on Domestic Reclaimed Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment. Canadian guidelines for domestic reclaimed water for use in toilet and urinal flushing. Environmental and workplace health [Internet]. Gener de 2011 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/reclaimed\\_water-eaux\\_recyclees/index-eng.php](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/reclaimed_water-eaux_recyclees/index-eng.php)
2. World Health Organisation. Manganese in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality [Internet]. 2011 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/manganese.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/manganese.pdf)
3. World Health Organisation. Chemical aspects. Guidelines for drinking-water quality [Internet]. 2011 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/GDW8rev1and2.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDW8rev1and2.pdf)
4. EPA. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Agua [Internet]. Octubre de 2003 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://www.epa.gov/espanol/agua.htm>
5. Barraque Ch et al. Manual técnico del agua [Internet]. 1979 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/etap/unidades/documen.alu/degremo/pr01.htm>
6. Aigües de Barcelona. La teva aigua [Internet]. 2012 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://www.aiguesdebarcelona.cat/cat/agua.asp>
7. Burbano L, Sánchez LD. Remoción de hierro y manganeso por oxidación –filtración para agua potable. Seminario Internacional: Visión Integral en el Mejoramiento de la Calidad del Agua [Internet]. [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://objetos.univalle.edu.co/files/Remocion\\_de\\_hierro\\_y\\_manganeso\\_por\\_oxidacion.pdf](http://objetos.univalle.edu.co/files/Remocion_de_hierro_y_manganeso_por_oxidacion.pdf)
8. Martí Deulofeu JM. Tratamientos de aguas = Tractaments d'aigües = Water treatment. 3a ed. Barcelona: STENCO, 2000.
9. Reial decret 140/2003, de 7 de febrer, pel qual s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà.
10. Coll C, Homedes C, Miralles S, Mínguez R, Monterde MR, Moscatel M, et al., Generalitat de Catalunya. Departament de Salut. Direcció General de Salut Pública. Subdirecció General de Protecció de la Salut. Vigilància i control sanitaris de les aigües de consum humà de Catalunya [Internet]. Desembre de 2005 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www20.gencat.cat/docs/salut/Home/Ambits%20tematics/Per%20perfils/Empreses%20i%20establiments/Empreses%20gestores%20de%20subministrament%20daigua/Programa\\_Vigilancia\\_i\\_control\\_sanitari\\_aigues\\_consum\\_huma\\_Catalunya/Documents/Arxius/vicachcat.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/salut/Home/Ambits%20tematics/Per%20perfils/Empreses%20i%20establiments/Empreses%20gestores%20de%20subministrament%20daigua/Programa_Vigilancia_i_control_sanitari_aigues_consum_huma_Catalunya/Documents/Arxius/vicachcat.pdf)
11. Carreras J. Document osmosi inversa. CoP Aigua de Consum Humà.
12. [http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Eliminacion\\_Fe2.pdf](http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Eliminacion_Fe2.pdf)
13. Orellana JA. Tratamiento de las aguas: Unidad temática n.º 6. Ingeniería Sanitaria-UTN-FRRO [Internet]. 2005 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_06\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas.pdf](http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf)
14. Aleix Barrufet. Oxidación catalítica de hierro y manganeso mediante filtración sobre pirolusita. Kemira Ibérica, S.A.
15. World Health Organisation. Chemical fact sheets. Guidelines for drinking-water quality [Internet]. 2011 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/9789241548151\\_ch12.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/9789241548151_ch12.pdf)
16. Calvet M, Corbella E, García A, López C, Tayà X, Tomàs R. Diputació de Barcelona. Xarxa de municipis. Autocontrol en el servei de subministrament d'aigua: Manual bàsic de gestió dels riscos per a la salut. Col·lecció Documents de Treball [Internet]. Setembre de 2007 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://www.diba.cat/documents/471045/471155/salutpublica-descarrega-manuaigua-pdf.pdf>

Revisat per: Emma Sureda i Marta Belmonte

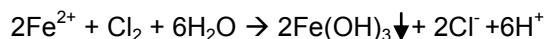
PARÀMETRE: Manganès				Data: 28.2.2013		Emma Sureda i Marta Belmonte		
VALORS DE REFERÈNCIA	Normatius de l'Estat espanyol		Altres de Catalunya o de l'Estat espanyol		Recomanacions i normatives d'altres països			
	RD 140/2003		Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància	OMS	Salut Canadà	EPA (SDWA) EUA	Altres
	> 50 µg/l (incompliment)		> 400 µg/l	> 50-400 µg/l: anomalia 400 µg/l: incompliment	---	50 µg/l	50 µg/l	
EFFECTES SOBRE LA SALUT	<p>Hi ha diversos estudis epidemiològics que han notificat efectes adversos de tipus neurològic originats per l'exposició perllongada a concentracions molt elevades de manganès en l'aigua de consum, tot i que no són concloents atès que hi ha factors de confusió significatius en aquests estudis. En altres estudis no s'han observat efectes adversos després de l'exposició per l'aigua de consum. Per això, l'OMS no estableix valors de referència per a la salut en les seves últimes <i>Guies</i></p>			ORIGEN	<p>El manganès és un element abundant que constitueix aproximadament el 0,1% de l'escorça terrestre. Tot i que no es produeix de forma natural en el medi ambient en forma de metall, el manganès és un component de més de 100 sals comunes i minerals que es troben àmpliament distribuïdes en les roques, els sòls, els llacs i els oceans. La majoria de les formes comunes de minerals inclouen el diòxid de manganès, el carbonat de manganès i el silicat de manganès. Sovint s'associa a la presència de ferro, especialment en condicions d'anaerobiosi. El manganès existeix en 11 estats oxidatius, les valències més comunes són 2+, 4+ i 7+.</p>			
TRACTAMENTS	Nom tècnica	Tractaments complementaris	Limitacions / condicions ús	Subproductes	Eficàcia/disponibilitat	Valoració		
	Oxidació (amb KMnO <sub>4</sub> , ClO <sub>2</sub> o Cl <sub>2</sub> )	Filtració del precipitat	Reacciona amb la matèria orgànica	THM si s'usa clor Clorits i clorats si s'usa ClO <sub>2</sub> com a oxidant	80%/immediata	Baix cost		
	Ozonització	Filtració o tractament amb carbó actiu granular	Barreja ozó-aire in situ	Permanganat Bromats	80%/immediata	Cost elevat		
	Osmosi inversa	Addició bisulfit sòdic (decloració), acidificació, antiincrustació, filtració, neutralització i remineralització	Precipitació de sals Obturgació de la membrana Proliferació bacteriana Degradació de la membrana	Efluent amb alt contingut salí	80%/immediata	Cost elevat		
	Coagulació	Floculació, decantació, filtració	Cal tenir molt en compte el pH (òptim 7,5-9 en funció del coagulant)	Alumini o ferro (si s'han usat com a coagulants) Rebuig: llots	Es desconeix	Cost mitjà		
	Oxidació i filtració sobre pirolusita	No n'hi ha	El pH ha de ser superior a 6 Cal presència d'oxigen		Disponibilitat immediata	Baix cost		
CONTROL				ALTERNATIVES DE TRACTAMENT				
<ol style="list-style-type: none"> <li>Oxidació: manganès al final del tractament, trihalometans, clorats i clorits</li> <li>Ozonització: manganès, bromats i permanganat</li> <li>Osmosi inversa: manganès i pH</li> <li>Coagulació: manganès, pH, alumini i ferro (si s'utilitzen com a coagulants)</li> <li>Oxidació catalítica: manganès</li> </ol>				No s'accepta la dilució amb aigua sense manganès, atès que no evita que es formin precipitats de manganès a l'interior de les canonades.				
COMUNICACIÓ DEL RISC								
No s'efectua cap comunicació del risc, ja que no hi ha estudis concloents sobre els efectes adversos del manganès per via oral.								

PARÀMETRE: Ferro			Data de revisió: 21/09/2015	
VALORS MÀXIMS DE REFERÈNCIA	Normatius a l'Estat espanyol		Altres de Catalunya o l'Estat espanyol	
	RD 140/2003		Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància
	200 µg/L		600 µg/L	–
	Recomanacions i normatives d'altres països			
	OMS	Salut Canadà	US EPA (SDWA)	Altres
	–	≤ 300 µg/L	300 µg/L	
EFECTES SOBRE LA SALUT	<b><u>VIES D'EXPOSICIÓ</u></b>			
	<p>El ferro és un element essencial per a la nutrició humana, particularment en la forma oxidada de ferro (II). Les necessitats diàries mínimes d'aquest element varien en funció de l'edat, el sexe, l'estat físic i la biodisponibilitat del ferro, i oscil·len entre 10 i 50 mg/dia.<sup>(1)</sup></p> <p>Les principals vies d'exposició són els aliments i l'aigua.</p> <p><b>Aliments:</b> El ferro és un component natural de les plantes i dels animals. El fetge, el ronyó, el peix i els vegetals verds contenen de 20 a 150 mg/kg, mentre que la carn vermella i el rovell d'ou contenen de 10 a 20 mg/kg. L'arròs i d'altres fruites i vegetals tenen nivells baixos de ferro (1-10 mg/kg). Aquesta és la principal via d'exposició.<sup>(3)</sup></p> <p><b>Aigua:</b> La concentració mitjana de ferro als rius és de 0,7 mg/L. En aigües subterrànies anaeròbiques, on el ferro està en forma de ferro (II), les concentracions solen ser de 0,5-10 mg/L, tot i que s'hi poden trobar concentracions de fins a 50 mg/L.<sup>(3)</sup></p>			
	<b><u>EFECTES SOBRE LA SALUT</u></b>			
	<p>Al 1983, el JECFA (Comitè Mixt de la FAO/OMS d'Experts en Additius Alimentaris) va establir una MIDTP (ingesta diària tolerable màxima provisional) de 0,8 mg/kg de pes corporal per prevenir l'acumulació excessiva de ferro en l'organisme. Si s'assigna un 10% de la MIDTP a l'aigua de consum, s'obté un valor de 2 mg/L, que no suposa un perill per a la salut. Per tant, les guidelines de l'OMS no proposen cap valor de referència per al ferro en l'aigua de consum.<sup>(1)</sup></p> <p>La dosi letal mitjana de ferro és 200-250 mg/kg de pes corporal, tot i que s'han produït morts després de la ingesta de dosis tan baixes com 40 mg/kg de pes corporal. Les autòpsies han mostrat necrosi hemorràgica i desprendiment de les àrees de la mucosa a l'estómac amb l'extensió a la submucosa. La sobrecàrrega crònica de ferro és deguda principalment a un desordre genètic (hemocromatosi) que es caracteritza per una major absorció de ferro i també a malalties que requereixen transfusions freqüents. Els adults sovint han pres suplementes de ferro durant períodes prolongats sense efectes adversos. Una ingesta de 0,4-1 mg/kg de pes corporal per dia és poc probable que causi efectes adversos en persones sanes.<sup>(3)</sup></p>			
<b><u>IMPORTÀNCIA SANITÀRIA EN L'AIGUA DE CONSUM</u></b>				
<p>Malgrat no ser per si mateix un problema per a la salut en les concentracions habituals en les aigües naturals, cal reduir-ne la presència en l'aigua de consum humà, ja que en quantitats superiors a 0,3 mg/L, i en funció de les característiques de la xarxa, pot arribar a ser un problema domèstic i, fins i tot, afavorir el creixement microbià i la formació de biofilms. Aquests biofilms poden actuar com a medis protectors per a certs tipus de microorganismes en front del clor residual lliure present en l'aigua. També cal tenir en compte la capacitat del ferro (II) de continuar oxidant-se dins el sistema de distribució en presència d'un agent oxidant com el clor, i precipitar en canonades amb poca circulació d'aigua. Aquests precipitats poden ser arrossegats cap a l'aixeta del consumidor quan es repren el consum, cosa que causa una gran alarma pel seu color i aspecte.</p> <p>En general no s'aprecia cap gust en l'aigua amb concentracions de ferro menors de 0,3 mg/L, tot i que pot aparèixer terbolesa i coloració vermellosa en concentracions de 0,05-0,1 mg/L.<sup>(3)</sup> Per sobre de 0,3 mg/L, el ferro taca la roba i els accessoris de fontaneria.<sup>(2)</sup></p> <p>El ferro també potencia la proliferació de bacteris ferruginosos, que obtenen la seva energia de l'oxidació del ferro ferrós a fèrric i que, en la seva activitat, dipositen una capa viscosa a les canonades.<sup>(2)</sup></p>				

	<p>D'altra banda, el ferro és un material que s'utilitza sovint en els sistemes de distribució d'aigua. La corrosió del ferro és problemàtica i pot ocasionar problemes en la qualitat de l'aigua. És un procés complex que consisteix en l'oxidació del metall normalment per oxigen dissolt fins a formar el precipitat de ferro (III). (4,5)</p> $\begin{aligned} \text{Fe} &\rightarrow \text{Fe}^{++} + 2\text{e}^- \\ \text{H}_2\text{O} &\leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^- \\ 4\text{Fe}^{++} + \text{O}_2 + 4\text{H}^+ &\leftrightarrow 4\text{Fe}^{+++} + 2\text{H}_2\text{O} \\ \text{Fe}^{+++} + 3\text{OH}^- &\rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow \end{aligned}$ <p>Aquest procés produeix la formació de tubercles sobre la superfície de la canonada. Els principals factors que determinen si el precipitat forma una crosta protectora són el pH i l'alcalinitat. Les concentracions de calci, clorurs i sulfats també influeixen en la corrosió del ferro. S'ha aconseguit controlar amb èxit la corrosió del ferro ajustant el pH en l'interval de 6,8 a 7,3 i la duresa i l'alcalinitat en almenys 40 mg/L (com carbonat càlcic).<sup>(4)</sup></p>
<b>ORIGEN</b>	<p>El ferro és el segon metall més abundant en l'escorça terrestre, de la qual representa al voltant del 5%. El ferro elemental es troba rarament en la naturalesa, els ions de ferro <math>\text{Fe}^{2+}</math> i <math>\text{Fe}^{3+}</math> es combinen fàcilment amb l'oxigen i els compostos que contenen sofre per formar òxids, hidròxids, carbonats i sulfurs.<sup>(3)</sup> També es poden formar complexos orgànics especialment amb els àcids húmics, fúlvics, tànnics, etc.<sup>(8)</sup> La forma més comuna a la naturalesa és el seu òxid.<sup>(3)</sup></p> <p>És present en aigües dolces naturals en concentracions de 0,5 a 50 mg/L.<sup>(1)</sup></p> <p>En aigües subterrànies anaeròbiques hi poden haver concentracions de ferro ferrós sense que es manifesti cap alteració del color ni de la terbolesa de l'aigua en bombejar-la directament des d'un pou. No obstant això, quan entra en contacte amb l'atmosfera, el ferro ferrós s'oxida a fèrric, i tenyeix l'aigua d'un color marró-vermellós no desitjable.<sup>(2)</sup></p> <p>També hi pot haver ferro a l'aigua de consum a causa de la utilització de coagulants de ferro, o per la corrosió de canonades d'acer o ferro colat durant la distribució de l'aigua.<sup>(1)</sup></p>
<b>TRACTAMENTS</b>	<p>Per definir el tractament d'elecció no és suficient amb conèixer el contingut total de ferro, sinó que cal conèixer les diferents formes en què es presenta l'element, i determinar <i>in situ</i> la major part de les característiques de l'aigua (pH, potencial redox, etc.).<sup>(8)</sup></p> <h3>1. OXIDACIÓ</h3> <p>a. <u>Fonament de la tecnologia</u></p> <p>Es tracta d'oxidar el ferro ferrós (<math>\text{Fe}^{2+}</math>) a òxid fèrric (<math>\text{Fe}^{3+}</math>), el qual forma fàcilment el complex insoluble hidròxid de ferro (III) (<math>\text{Fe}(\text{OH})_3</math>) per tal que precipiti i posteriorment es pugui separar per filtració o decantació.<sup>(7)</sup> Hi ha diferents opcions:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aeració<sup>(8)</sup></b> (Usat habitualment en la indústria i en les EDAR: Estació depuradora d'aigües residuals.) Aquest procés es refereix a aigües brutes amb un contingut màxim de ferro de 5 mg/L i que no presenti altres característiques desfavorables: manganès, color, terbolesa o àcids húmics. En alguns casos es podran tractar aigües amb un contingut de ferro de fins a 10 mg/L.</li> </ul> $4\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + 8\text{CO}_2$ <p>La velocitat de l'oxidació del ferro bivalent per l'oxigen depèn de diversos factors: temperatura, pH, contingut de ferro i d'oxigen dissolt.</p> <p>Com més elevat sigui el pH i més propera estigui l'aigua a la saturació d'oxigen, més ràpida serà la reacció. En canvi, la presència d'àcids húmics, silicats i fosfats endarrereix l'oxidació del ferro i la seva posterior precipitació i filtració.</p>

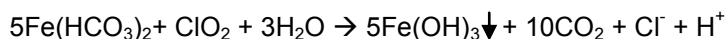
- **Oxidació amb clor**

S'utilitza sobretot en petits sistemes d'aigua subterrània.<sup>(7)</sup>  
El pH òptim per tal que el clor oxidi el ferro és entre 6,5 i 7,5.<sup>(9)</sup>



- Té el gran inconvenient que afavoreix la formació de trihalometans.

- **Oxidació amb diòxid de clor** (Aquest s'haurà de produir *in situ* mitjançant clor.)<sup>(10)</sup>



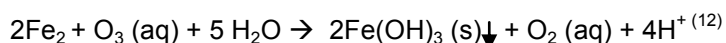
- El diòxid de clor oxida el ferro i reacciona amb el ferro a velocitats de reacció més grans que amb el clor.
- No forma clorofenols. No reacciona amb l'amoníac, per tant no forma cloramines.

- **Oxidació amb permanganat**



- La reacció sol tenir lloc en menys de 5 minuts a pH entre 5 i 9 i també està influïda per la temperatura i la presència de matèria orgànica.<sup>(11)</sup>
- No produeix trihalometans i fins i tot redueix els precursors d'aquests.<sup>(11)</sup>
- No es veu afectat per la quantitat d'amoníac present a l'aigua.

- **Ozonització**



- Quan s'utilitzi ozó, la torre de contacte aire-ozó substitueix, en principi, l'aeració clàssica. Pot ser convenient, però, una preaeració usant aire de la torre de contacte.
- S'ha de generar *in situ*.
- La barreja ozó-aire pot introduir-se a l'aigua, polvoritzant l'aigua en una atmosfera d'ozó, descarregant l'aire ozonitzat en un rentador o per injecció en una càmera de mescla. Les torres de contacte proporcionen temps de contacte de 10 a 20 minuts. S'hauria de poder dissoldre, almenys, el 80% de l'ozó aplicat. L'aire que surt de la torre que conté la resta d'ozó es fa passar per un destructor d'ozó i s'expulsa a l'atmosfera.

b. Tractaments complementaris obligats (pre i posttractaments) i coadjuvants

- Floculació/coagulació: pot ser necessari destruir els col·loides o compostos complexos abans d'oxidar el ferro.
- Filtració/decantació: el flocul de ferro es retira mitjançant un filtre de sorra o un decantador. Pot ser necessari ajudar a la precipitació del flocul amb floculants o coagulants previs al filtre o al decantador.
- Desozonització, en cas d'oxidació amb ozó: l'aigua tractada no pot contenir ozó residual, s'ha d'eliminar amb desgasadors finals en el circuit de tractament.
- Recloració: sempre per assegurar el clor residual lliure normatiu.

Una línia de tractament estàndard seria: pretractament (floculació/coagulació, no sempre necessari) / oxidació / floculació-coagulació (recomanat) / filtració o decantació / desozonització amb carbó actiu (en cas d'oxidació amb ozó) / postdesinfecció amb clor per obtenir clor lliure.

c. Condicions d'ús o factors que la limiten

- És necessari d'airejar l'aigua que conté poc oxigen quan s'hi afegeix l'oxidant.<sup>(8)</sup>
- Cal intercalar una decantació entre l'aeració i la filtració quan el contingut de ferro en l'aigua és molt alt i quan s'hi ha d'addicionar un coagulant atesa la mala qualitat de l'aigua (color, terbolesa, àcids húmics, etc.).<sup>(8)</sup>
- La terbolesa de l'aigua obstrueix els espais intersticials que hi ha al llit filtrant. Per aconseguir que es retengui la terbolesa és necessari fer una coagulació-floculació.
- La presència d'amoníac alenteix els efectes d'oxidació del clor, ja que part d'aquest es consumirà en la formació de cloramines.<sup>(5)</sup>
- Cal ajustar bé la dosi de permanganat de potassi, atès que si en manca no oxidaria i si n'hi hagués en excés podria entrar al sistema de distribució i causar un color rosat a l'aigua.<sup>(7)</sup>
- L'ozó no serà efectiu en presència de materials húmics i fúlvics.<sup>(7)</sup>

d. Subproductes

- Trihalometans i cloramines, si s'usa clor com a oxidant.<sup>(7)</sup>
- Clorits i clorats, si s'usa  $\text{ClO}_2$  com a oxidant.<sup>(10)</sup>
- Permanganats, si hi ha un excés d'ozó.
- Bromats per l'oxidació dels bromurs en l'ozonització.
- Alumini en cas d'utilitzar sals d'aquest metall com a coagulants.

e. Eficàcia i disponibilitat

- L'oxidació amb clor i amb permanganat dona bons resultats. Són tècniques amb una infraestructura relativament senzilla i fàcils de mantenir. Molt adequades per a petites col·lectivitats.
- La utilització de diòxid de clor i d'ozó, s'hauria de circumscriure a subministraments amb personal qualificat.

f. Valoració

- Baix cost (excepte l'ozonització) i fàcil de fer servir
- Com a oxidant, l'ozó té un preu prohibitiu. El cost d'energia i d'instal·lació és molt elevat.

## 2. FLOCULACIO/COAGULACIÓ

a. Fonament de la tecnologia

És el fenomen de desestabilització de les partícules col·loïdals per neutralització de les seves càrregues elèctriques. Aquesta desestabilització produeix una precipitació de l'element, el qual es pot separar per decantació o filtració. Juntament amb els coagulants, també s'utilitzen floculants, la missió dels quals és la d'agregar en flòculs les partícules desestabilitzades per facilitar-ne la precipitació i posterior separació.<sup>(5)</sup>

Els compostos químics més emprats com a coagulants són els següents: clorur d'alumini, sulfat d'alúmina, hidròxid sòdic i carbonat sòdic, entre d'altres.<sup>(5)</sup> El clorur ferrós i sulfat ferrós s'utilitzen en aigües residuals.

b. Tractaments complementaris obligats (posttractaments) i coadjuvants

Després d'una coagulació, cal flocular les partícules (agrupar-les formant flòculs que siguin capaços de ser retenguts en una fase posterior). Més endavant, cal separar l'aigua del flòcul format mitjançant:



- decantació, seguida o no de filtració
- flotació, seguida o no de filtració
- filtració, simple

Com a floculants, es poden utilitzar: sílice activada, carbonat de calci precipitat, sorra fina i floculants orgànics (policlorur d'alúmina).<sup>(5)</sup>

c. Condicions d'ús o factors que la limiten

El pH és molt important en els fenòmens de coagulació/floculació. El pH òptim es troba entre 7,5 i 9, en funció del coagulant que s'utilitzi. Part de la càrrega de les partícules col·loïdals que han adsorbit ions  $\text{OH}^-$  queda destruïda per un augment de la concentració en ions  $\text{H}^+$ , fet que disminueix l'estabilitat de la suspensió col·loïdal. És preferible que el pH estigui dins de la zona corresponent al mínim de la solubilitat dels ions metàl·lics del coagulant que s'ha utilitzat.<sup>(5)</sup>

d. Subproductes

Alumini en el cas que s'hagi utilitzat com a coagulant.  
Com a rebuig s'obtenen els llots on hi haurà el producte floculat.

e. Eficàcia i disponibilitat

Es pot reduir en més d'un 60% la concentració de ferro.<sup>(13)</sup>

f. Valoració

Tot i que no es poden aportar dades quantitatives exactes, el cost d'aquest tractament és més elevat que l'oxidació, però més baix que el d'ozonització i que el tractament de membranes.

**3. MEMBRANES: Osmosi inversa<sup>(15)</sup>**

a) Fonament de la tecnologia

És el procés mitjançant el qual s'obté una solució diluïda a partir d'una solució concentrada invertint el procés natural d'osmosi. S'injecta l'aigua a pressió a través d'una membrana semipermeable, d'aquesta manera, els ions queden retinguts a la membrana i, alhora, s'obté aigua pura.

b) Tractaments complementaris obligats (pretractaments i posttractaments) i coadjuvants

Cal pretractar l'aigua per evitar que es pugui deteriorar la membrana mitjançant:

- L'addició de bisulfit sòdic per disminuir el caràcter oxidant de l'aigua i treure-li el clor.
- L'acidificació de l'aigua per evitar el precipitat de carbonat de calci.
- L'addició d'antiincrustants per evitar la formació i incrustació a les membranes de sals insolubles de calci, magnesi i bari com ara sulfats, fluorurs o fosfats.
- Una filtració efectiva per evitar danys o possibles precipitacions damunt de la membrana.

Es recomana disposar d'un dipòsit previ per cobrir puntes hidràuliques de demanda i addicionar els reactius.

Cal disposar d'un dipòsit posttractament per neutralitzar el pH (ja que és molt àcid) i remineralitzar l'aigua.

c) Condicions d'ús o factors que la limiten

- La presència de matèries en suspensió pot obturar les membranes.
- Les substàncies oxidants com el clor o l'oxigen degraden les membranes.
- La precipitació calcària en forma d'incrustacions deguda a la concentració de carbonat de calci.
- La precipitació d'altres sals, com ara el sulfat de calci, d'estronci o de bari.
- La proliferació bacteriana a l'interior del sistema.
- El cabal d'aigua és directament proporcional a la superfície de la membrana i a la diferència entre el diferencial de pressió hidràulica en ambdós costats de la membrana i el diferencial de pressions osmòtiques de les solucions que hi ha abans i després de la membrana. Alhora, és inversament proporcional a l'espessor de la membrana. Si augmentem el nombre o la superfície de membrana, augmentarem la quantitat d'aigua disponible.

d) Subproductes

El rebuig de l'osmosi té concentracions elevades de clorurs, nitrats, carbonats de calci, magnesi i sodi i sulfats.

e) Eficàcia i disponibilitat

Es redueix un 80% o més la concentració de ferro.

f) Valoració: Té un cost elevat si ho comparem amb l'oxidació-filtració.4. Oxidació catalítica sobre filtres de pirolusita o diòxid de manganès<sup>(14)</sup>a) Fonament de la tecnologia

El ferro que es troba a l'aigua s'oxida quan entra en contacte amb el llit filtrant catalític format per diòxid de manganès (pirolusita), aleshores precipita com a òxid insoluble i es reté en el llit filtrant. El llit filtrant està format en un 20% per volum de diòxid de manganès, i en un 80% per volum de sorra silícia.

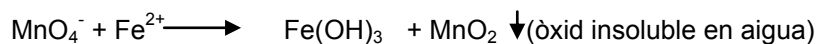
La velocitat de la reacció catalítica i la transformació obtinguda depèn de les característiques de l'aigua que cal tractar i de les condicions operatives, com ara la velocitat de filtració i el temps de contacte entre l'aigua i el llit catalític. Es pot efectuar de dues maneres diferents:

- 1) Amb dosis en continu de químics oxidants. Davant de químics oxidants, el filtre catalitza l'oxidació del ferro segons la reacció següent:

Formulació de permanganat sota l'estrat superficial de la granulometria de pirolusita:



Oxidació del ferro dissolt a l'aigua:



L'acció catalítica del filtre la suporta un oxidant químic enèrgic i, de forma autoregenerativa, el manganès precipitat en forma de diòxid de manganès queda retingut en el llit filtrant i augmenta la quantitat de catalitzadors disponibles. Durant el contraretat, s'elimina periòdicament l'hidroxid de ferro i l'excedent de diòxid de manganès precipitat.



<b>TRACTAMENTS</b>	<p>2) <u>Aeració simple</u> de l'aigua i regeneració del llit catalític. Sense presència d'agents químics oxidants, l'oxidació es produeix mitjançant la reacció següent:</p> $\text{MnO}_2 + \text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe(OH)}_3 + \text{Mn}_2\text{O}_3 \downarrow (\text{òxid insoluble en aigua})$ <p>Aquest òxid no té activitat catalítica i, per tant, amb el temps s'arriba a la saturació. L'òxid precipitat recobreix els estrats externs dels grans de diòxid de manganès, cosa que comporta la disminució de l'eficàcia del filtre fins que perd totalment la capacitat catalítica del llit filtrant.</p> <p>b) <u>Tractaments complementaris obligats (posttractaments) i coadjuvants</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agents químics oxidants (quan s'utilitzi aquest mètode).</li> <li>- Regeneració del llit catalític que es pot efectuar a través d'un contrarentat periòdic, dosificant hipoclorit o un altre oxidant químic capaç de convertir l'òxid mangànic en diòxid de manganès.</li> </ul> <p>c) <u>Condicions d'ús o factors que la limiten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Quan el pH &lt; 6, el diòxid de manganès del filtre es pot solubilitzar, cosa que impedeix l'aplicació del procés.</li> <li>- Per afavorir l'oxidació catalítica, és necessària la presència d'oxigen dissolt fins a 6 ppm. S'obté amb una aeració de l'aigua o bé afegint-hi químics oxidants.</li> <li>- Tot i que l'amoniac no interfereix, s'aconsella eliminar-lo abans del filtre catalític per evitar restar oxigen dissolt durant el procés d'oxidació catalítica.</li> </ul> <p>d) <u>Subproductes</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No n'hi ha.</li> </ul> <p>e) <u>Eficàcia i disponibilitat</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- És un mètode eficaç i que proporciona una disponibilitat immediata.</li> <li>- El temps de contacte estàndard és de 12 minuts, i la velocitat de filtració estàndard de 9 m<sup>3</sup>/h.</li> </ul> <p>f) <u>Valoració</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baix cost i funcionament senzill.</li> </ul>
<b>CONTROL</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coagulació: ferro, pH, alumini (si s'utilitza com a coagulant).<sup>(3)</sup></li> <li>2. Oxidació (excepte ozonització): ferro al final del tractament, trihalometans, clorits.<sup>(5)</sup></li> <li>3. Ozonització: ferro, bromats i permanganat.<sup>(3)</sup></li> <li>4. Osmosi inversa: ferro i pH.<sup>(3)</sup></li> <li>5. Oxidació catalítica: ferro. (14,15)</li> </ol>
<b>Alternatives tractament</b>	<p>No s'accepta la dilució amb aigua sense ferro, atès que no evita que es formin precipitats de ferro a l'interior de les canonades.</p>

## QÜESTIONS A TENIR EN COMPTE EN LA COMUNICACIÓ DEL RISC

**Paràmetre:** ferro

**Normativa:** annex C de l'RD 140/2003

**Valors paramètrics:**

- > 200 µg/l, aigua apta per al consum amb anomalia (RD 140/2003).<sup>(16)</sup>
- > 600 µg/l, aigua no apta per al consum (Document de desenvolupament de l'article 27.7 de l'RD 140/2003 – Ministeri de Sanitat i Consum).<sup>(17)</sup>

**Efectes sobre la salut i població de risc:** no hi ha estudis concloents sobre la toxicitat per via oral del ferro. L'OMS no ha establert cap nivell guia, per la qual cosa no es proposa cap model de comunicació del risc.

**Recomanacions:** no se'n deriven.

**Actuacions que han d'efectuar les gestores:**

- Instal·lar un tractament específic per eliminar el ferro.
- Mentrestant, cal:
  - Fer un sanejament de les canonades mitjançant neteges i purgues.
  - Fer un seguiment microbiològic dels punts terminals de la xarxa per controlar el risc que implica la formació de biofilm.
  - Intensificar els controls de clor residual lliure en punts terminals de la xarxa, sobretot en els de menys ús.

**Model de comunicació del risc oficial de l'ASPCAT:** no n'hi ha.

## REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

1. World Health Organisation. Chapter 12. Guidelines for drinking-water quality [Internet]. 2011 Disponible a: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/9789241548151\\_ch12.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/9789241548151_ch12.pdf)
2. World Health Organisation. Chapter 10. Guidelines for drinking-water quality [Internet]. 2011 Disponible a: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/9789241548151\\_ch10.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/9789241548151_ch10.pdf)
3. World Health Organisation. Iron in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality [Internet]. 2011. Disponible a: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwg/chemicals/iron.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/chemicals/iron.pdf)
4. World Health Organisation. Annex. Guidelines for drinking-water quality [Internet]. 2011 Disponible a: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/9789241548151\\_annex.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/9789241548151_annex.pdf)
5. Martí Deulofeu JM. Tratamientos de aguas = Tractaments d'aigües = Water treatment. 3a ed. Barcelona: STENCO, 2000.
6. Laboratori d'aigües de Girona, Salt i Sarrià de Ter. Disponible a: [http://www.laboratoriaiguesdegironasaltisarriadeter.cat/arxius/documentacio/2\\_Metodes\\_de\\_tractament\\_en\\_funcio\\_de\\_lorigen\\_de\\_laigua.pdf](http://www.laboratoriaiguesdegironasaltisarriadeter.cat/arxius/documentacio/2_Metodes_de_tractament_en_funcio_de_lorigen_de_laigua.pdf)
7. Tecnologia en breu. National Environmental Services Center at West Virginia University. Disponible a: [http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2010\\_tb/spanish/iron\\_manganese\\_DWFSOM14](http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2010_tb/spanish/iron_manganese_DWFSOM14)

[8.pdf](#)

8. Barraque Ch, et al. Manual técnico del agua [Internet]. 1979. Disponible a:  
<http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/etap/unidades/documen.alu/degremo/pr01.htm>
9. El sistema universitario Texas A&M. Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso. 2001.  
Disponible a: <http://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/I5451sironandman.pdf>
10. [http://www.elaguapotable.com/dioxido\\_de\\_cloro.htm](http://www.elaguapotable.com/dioxido_de_cloro.htm)
11. [http://www.elaguapotable.com/permanganato\\_potasico.htm](http://www.elaguapotable.com/permanganato_potasico.htm)
12. <http://www.hidritec.com/hidritec/eliminacion-de-fe-y-mn>
13. <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>
14. Orellana JA. Tratamiento de las aguas: Unidad temática n.º 6. Ingeniería Sanitaria-UTN-FRRO [Internet]. 2005 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a:  
[http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_06\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas.pdf](http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf)
15. Carreras J. Document osmosi inversa. CoP Aigua de Consum Humà.
16. Reial decret 140/2003, de 7 de febrer, pel qual s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà.
17. Document de desenvolupament de l'article 27.7 de l'RD 140/2003 – Ministeri de Sanitat i Consum  
Disponible a:  
[http://www.msssi.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/articulo\\_27\\_7\\_rd\\_140\\_2003.pdf](http://www.msssi.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/articulo_27_7_rd_140_2003.pdf)

Revisat per: **Marta Belmonte i Emma Sureda**

PARÀMETRE: Ferro				Data: 23/09/2015	Revisat per: Marta Belmonte i Emma Sureda																																				
VALORS REFERÈNCIA	Normatius a l'Estat espanyol	Altres de Catalunya o l'Estat espanyol		Recomanacions i normatives en altres països																																					
	RD 140/2003	Doc. MISACO (2005)	Pla de vigilància	OMS	Salut Canadà	US EPA (SDWA)	Altres																																		
	> 200 µg/l	> 600 µg/l	-	-	≤ 300 µg/L	300 µg/L																																			
EFECTES SOBRE LA SALUT	<p>El ferro és un element essencial per a la nutrició humana. Les necessitats diàries mínimes d'aquest element varien en funció de l'edat, el sexe, l'estat físic i la biodisponibilitat del ferro, i oscil·len entre 10 i 50 mg/dia.</p> <p>Al 1983, el JECFA (Comitè Mixt a la FAO/OMS d'Experts en Additius Alimentaris) va establir una MIDTP (ingesta diària tolerable màxima provisional) de 0,8 mg/kg de pes corporal per prevenir l'acumulació excessiva de ferro en l'organisme. Si s'assigna un 10% de la MIDTP a l'aigua de consum, s'obté un valor de 2 mg/L, que no suposa un perill per a la salut. Per tant, les guidelines de l'OMS no proposen cap valor de referència per al ferro a l'aigua de consum. Malgrat això, cal tractar les aigües que presenten concentracions elevades de ferro perquè poden suposar un problema domèstic (coloració i precipitació de flocs) i afavorir la formació de biofilms i la protecció contra microorganismes potencialment patògens.</p>			ORIGEN	<p>El ferro és el segon metall més abundant en l'escorça terrestre. El ferro elemental es troba rarament en la naturalesa, els ions de ferro Fe<sup>2+</sup> i Fe<sup>3+</sup> es combinen fàcilment amb l'oxigen i els compostos que contenen sofre per formar òxids (la forma més comuna), hidròxids, carbonats i sulfurs; també es poden formar complexos orgànics (àcids fúlvics, húmics, etc.).</p> <p>És present en aigües dolces naturals en concentracions de 0,5 a 50 mg/L. En aigües subterrànies anaeròbiques hi poden haver concentracions de ferro ferrós.</p>																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nom de la tècnica</th> <th>Tractaments complementaris</th> <th>Limitacions / condicions d'ús</th> <th>Subproductes</th> <th>Eficàcia/disponibilitat</th> <th>Valoració</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oxidació (amb KMnO<sub>4</sub>, ClO<sub>2</sub> o Cl<sub>2</sub>)</td> <td>Floculació/Filtració del precipitat</td> <td>Reacciona amb la matèria orgànica i l'amoníac</td> <td>THM si s'usa clor Clorits i clorats si s'usa ClO<sub>2</sub> com a oxidant</td> <td>Disponibilitat immediata</td> <td>Baix cost</td> </tr> <tr> <td>Ozonització</td> <td>Filtració o tractament amb carbó actiu granular</td> <td>Barreja ozó-aire <i>in situ</i></td> <td>Permanganat Bromats</td> <td>Disponibilitat immediata</td> <td>Cost elevat</td> </tr> <tr> <td>Osmosi inversa</td> <td>Addició bisulfit sòdic (decoloració), acidificació, antiincrustació, filtració, neutralització i remineralització</td> <td>Precipitació de sals Obturació de la membrana Proliferació bacteriana Degradació de la membrana</td> <td>Efluent amb alt contingut salí</td> <td>80%/immediata</td> <td>Cost elevat</td> </tr> <tr> <td>Coagulació</td> <td>Floculació, decantació, filtració</td> <td>Cal tenir molt en compte el pH (òptim 7,5-9 en funció del coagulant)</td> <td>Alumini (si s'ha usat com a coagulant) Rebuig: llots</td> <td>60%/immediata</td> <td>Cost mitjà</td> </tr> <tr> <td>Oxidació i filtració sobre pirolusita</td> <td>No n'hi ha</td> <td>El pH ha de ser superior a 6 Cal presència d'oxigen</td> <td></td> <td>Disponibilitat immediata</td> <td>Baix cost</td> </tr> </tbody> </table>						Nom de la tècnica	Tractaments complementaris	Limitacions / condicions d'ús	Subproductes	Eficàcia/disponibilitat	Valoració	Oxidació (amb KMnO <sub>4</sub> , ClO <sub>2</sub> o Cl <sub>2</sub> )	Floculació/Filtració del precipitat	Reacciona amb la matèria orgànica i l'amoníac	THM si s'usa clor Clorits i clorats si s'usa ClO <sub>2</sub> com a oxidant	Disponibilitat immediata	Baix cost	Ozonització	Filtració o tractament amb carbó actiu granular	Barreja ozó-aire <i>in situ</i>	Permanganat Bromats	Disponibilitat immediata	Cost elevat	Osmosi inversa	Addició bisulfit sòdic (decoloració), acidificació, antiincrustació, filtració, neutralització i remineralització	Precipitació de sals Obturació de la membrana Proliferació bacteriana Degradació de la membrana	Efluent amb alt contingut salí	80%/immediata	Cost elevat	Coagulació	Floculació, decantació, filtració	Cal tenir molt en compte el pH (òptim 7,5-9 en funció del coagulant)	Alumini (si s'ha usat com a coagulant) Rebuig: llots	60%/immediata	Cost mitjà	Oxidació i filtració sobre pirolusita	No n'hi ha	El pH ha de ser superior a 6 Cal presència d'oxigen		Disponibilitat immediata
Nom de la tècnica	Tractaments complementaris	Limitacions / condicions d'ús	Subproductes	Eficàcia/disponibilitat	Valoració																																				
Oxidació (amb KMnO <sub>4</sub> , ClO <sub>2</sub> o Cl <sub>2</sub> )	Floculació/Filtració del precipitat	Reacciona amb la matèria orgànica i l'amoníac	THM si s'usa clor Clorits i clorats si s'usa ClO <sub>2</sub> com a oxidant	Disponibilitat immediata	Baix cost																																				
Ozonització	Filtració o tractament amb carbó actiu granular	Barreja ozó-aire <i>in situ</i>	Permanganat Bromats	Disponibilitat immediata	Cost elevat																																				
Osmosi inversa	Addició bisulfit sòdic (decoloració), acidificació, antiincrustació, filtració, neutralització i remineralització	Precipitació de sals Obturació de la membrana Proliferació bacteriana Degradació de la membrana	Efluent amb alt contingut salí	80%/immediata	Cost elevat																																				
Coagulació	Floculació, decantació, filtració	Cal tenir molt en compte el pH (òptim 7,5-9 en funció del coagulant)	Alumini (si s'ha usat com a coagulant) Rebuig: llots	60%/immediata	Cost mitjà																																				
Oxidació i filtració sobre pirolusita	No n'hi ha	El pH ha de ser superior a 6 Cal presència d'oxigen		Disponibilitat immediata	Baix cost																																				
CONTROL				Alternatives de tractament																																					
<ol style="list-style-type: none"> <li>Coagulació: ferro, pH, alumini (si s'utilitza com a coagulant)</li> <li>Oxidació (excepte ozonització): ferro al final del tractament, trihalometans, clorits.</li> <li>Ozonització: ferro, bromats i permanganat</li> <li>Osmosi inversa: ferro i pH</li> <li>Oxidació catalítica: ferro</li> </ol>				No s'accepta la dilució amb aigua sense ferro, atès que no evita que es formin precipitats de ferro a l'interior de les canonades.																																					
<p align="center"><b>QÜESTIONS A TENIR EN COMPTE EN LA COMUNICACIÓ DEL RISC:</b></p>																																									
<p>En general no és necessari fer comunicació de risc per a la salut, sinó nota informativa sobre quines són les causes per les quals els usuaris observen coloració a l'aigua i precipitació, i, evidentment, fer accions de purga de canonades i d'eliminació de ferro en origen. Addicionalment, caldrà canviar canonades de ferro deteriorades si n'hi ha.</p>																																									

## FITXA núm. 1 - Electrodiàlisi reversible

### 1. Fonament teòric

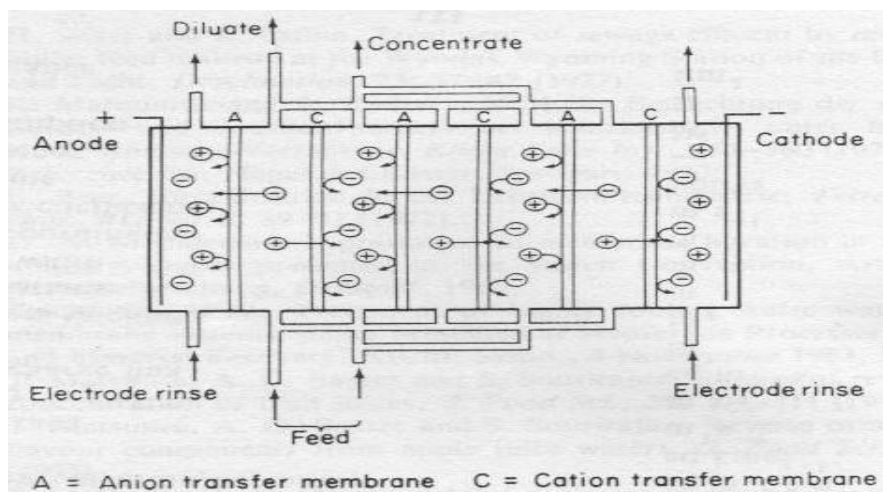
És una tecnologia de membranes semipermeables que permeten el pas dels ions dissolts en l'aigua però que, en canvi, no permeten el pas de l'aigua. A la sortida, s'obté un efluent amb un contingut baix d'ions i salmorra.

### 2. Descripció

Actualment les membranes d'electrodiàlisi que s'utilitzen són homogènies i s'obtenen per polimerització o policondensació de polielectròlits. El *pack* mínim s'anomena *parell-cel·la* i està format per una membrana catiònica, un canal de dilució, una membrana aniònica i un canal de concentració. Per quantificar la capacitat de la instal·lació es parla de  $n$  parells-cel·la.

La disposició dels parells-cel·la dins de la instal·lació és alterna, per tal d'obtenir canals de dilució i concentració de manera alterna.

A l'extrem de tots els parells-cel·la se situen els elèctrodes: en un costat se situa un ànode i, a l'altre, un càtode. S'aplica una diferència de potencial entre els dos elèctrodes dels extrems i es fa circular l'aigua que s'ha de tractar a través dels canals centrals de les cel·les.



Com a conseqüència del camp elèctric que es crea, els anions presents a l'aigua es desplacen cap a l'ànode i els cations, cap al càtode. Quan un anió troba una membrana catiònica en el seu camí, queda retingut. Passa el mateix amb els cations, davant la presència de membranes aniòniques. L'aigua que s'obté dels canals de dilució és la que s'aprofita i la dels canals de concentració (rebuig) es fa recircular a la capçalera del procés per reduir-ne el cabal.

S'anomena electrodiàlisi reversible perquè la direcció del corrent elèctric i, per tant, el flux de cations i anions, s'inverteix cada cert període de temps. Això s'aconsegueix canviant la polaritat dels elèctrodes. Aquestes inversions periòdiques de polaritat redueixen enormement la capacitat de formació d'incrustacions a les membranes, de manera que s'evita haver d'aplicar antiescalants a l'aigua d'entrada als equips.

## **FITXA núm. 1 - Electrodiàlisi reversible**

### **3. Usos**

Es pot utilitzar per a un ampli marge d'ions.

### **4. Eficàcia**

L'eficàcia del sistema és molt elevada. La recuperació de l'aigua tractada és del 90%.

No es pot derivar l'aigua. Tota l'aigua producte és aigua tractada.

El sistema de polaritat reversible fa que no calgui afegir-hi antiincrustants.

Els equips comercials petits consten d'entre 300 i 500 parells-cel·la i els grans, d'entre 500 i 900. Cada parell-cel·la disposa de dues membranes de 0,2 m<sup>2</sup> de superfície útil cadascuna.

### **5. Limitacions**

Tècnicament es pot adaptar a qualsevol situació.

La disponibilitat en el mercat és bastant limitada i l'oferta, pràcticament única.

Matèries en suspensió > 1 mg/l provoquen problemes d'obturació.

Oxidants forts: poden afectar les membranes.

Factor limitant: la velocitat de pas de l'aigua a través de la membrana convencional és de 0,14 m/h. Si se n'augmenta la superfície o el nombre, s'augmenta la quantitat d'aigua disponible.

### **6. Tractaments complementaris obligats**

Filtració prèvia.

Decloració (si escau) amb un filtre de carbó actiu o addició de bisulfat sòdic.

Addició d'àcid clorhídric al corrent de circulació per evitar precipitacions.

Aplicació d'una dissolució d'esbandida als elèctrodes per eliminar-ne els subproductes.

Cloració abans de la distribució.

### **7. Valoració**

L'eficàcia és semblant a la dels d'altres sistemes, però el cost d'instal·lació i el manteniment són superiors. El mètode no és de primera opció per motius econòmics i de disponibilitat.

### **8. Bibliografia**

- a) Barceló A. Electrodiàlisi i electrodiàlisi reversible. Theknos. Març 2011.
- b) Llensa A. Tecnologies per a l'eliminació de nitrats en aigües potables a les zones vulnerables de Catalunya. 2006.
- c) Stenco. Tratamiento de aguas. Febrer 2000. 1a edició.
- d) Stenco. Tratamiento de aguas. Gener 2004. 3a edició.

### **9. Revisat per:**

Gemma Camps

Jordi Carreras

## FITXA núm. 2 - Intercanvi iònic

### 1. Fonament teòric

L'intercanvi iònic és la tecnologia que permet un intercanvi reversible d'ions entre un sòlid (resina de bescanvi iònic) i un líquid, de manera que el sòlid no experimenta cap canvi permanent en la seva estructura.

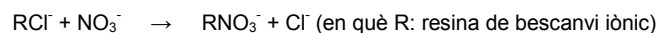
### 2. Descripció

Les resines de bescanvi iònic estan formades per una matriu polimèrica de forma granular, amb petites perles que són capaces d'absorbir ions d'una solució i cedir a canvi una quantitat equivalent d'un altre ió, sense que aparentment se'n modifiqui ni l'aspecte físic ni la solubilitat.

El funcionament de les resines de bescanvi iònic es basa a fer circular el líquid que s'ha de tractar a través seu, de manera que, a mesura que el líquid avança a través de la resina, es produeix l'intercanvi d'ions entre el líquid i la resina.

Hi ha diversos tipus de resines, en funció dels grups actius. Bàsicament s'agrupen en resines aniòniques, catiòniques i no iòniques.

En el cas concret de l'eliminació de nitrats, s'utilitzen resines aniòniques, en què els ions  $\text{NO}_3^-$  extrets de l'aigua són substituïts per ions  $\text{Cl}^-$ , segons la reacció següent:



Normalment s'utilitzen resines aniòniques de base forta, en què el grup funcional són les amines quaternàries (Dahab i Bogardi, 1990).

Per facilitar-ne el funcionament, les resines de bescanvi iònic se situen dins d'unes columnes o tancs que disposen de tota la instrumentació i les vàlvules necessàries per portar a terme els cicles d'operació i regeneració sense que s'hagin de desplaçar i sense que la matriu polimèrica s'hagi d'extreure en cap moment de la columna o el tanc. En el cas que interressi que el tractament d'intercanvi iònic pugui funcionar de manera contínua, com a mínim es necessiten dues columnes de treball, ja que mentre una està en funcionament, l'altra es regenera o està en espera.



Resina de bescanvi iònic industrial

Resina de bescanvi iònic domèstica

## FITXA núm. 2 - Intercanvi iònic

### Regeneració

Al cap d'un cert temps de funcionament, la resina comença a saturar-se i la seva capacitat d'intercanvi iònic es redueix dràsticament, de manera que la concentració de l'element que volem eliminar augmenta progressivament en l'aigua tractada. Quan això succeeix, el procés s'ha d'aturar per tal que la resina es pugui regenerar amb una solució regeneradora.

En el cas de la desnitrificació, la regeneració de la resina es porta a terme amb una dissolució de NaCl, segons la reacció següent:



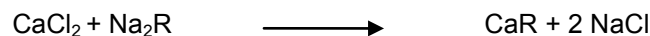
(en què R: resina de bescanvi iònic)

El sistema de regeneració de les resines normalment és a contracorrent, de manera que, quan estan en funcionament, l'aigua circula de dalt a baix però quan s'estan regenerant, la dissolució regeneradora circula de baix a dalt (Fletcher et al., 1991). Per aquesta raó, cal disposar d'un dipòsit annex al tractament, en què es prepara la solució regeneradora. Un cop regenerada, la resina s'esbandeix amb aigua neta i, a continuació, ja es pot tornar a utilitzar fins que es torni a esgotar.

### **3. Usos**

Desnitrificació: és l'exemple que s'ha posat durant l'explicació del procés.

Descalcificació o estovament de l'aigua: s'utilitzen resines catióniques, de manera que els ions de calci de l'aigua s'intercanvien amb els ions de sodi de la resina:



La resina es regenera amb clorur sòdic.

Desmineralització total: s'aconsegueix mitjançant un bescanvi catiónic (intercanvi per ions H+) seguit d'un segon bescanvi aniònic (intercanvi d'ions OH-).

Descarbonatació: s'utilitzen resines catióniques bàsiques dèbils, que intercanvien H+ per cations que es presenten com a sals d'àcids dèbils o hidròxids.

Retenció de partícules orgàniques i col·loides: s'utilitza resina aniònica i macroporosa.

Retenció massiva de metalls pesants: hi ha resines específiques per retenir de manera selectiva metalls pesants en general o algun metall específic en particular.

Retenció selectiva d'algun residu radioactiu

Retenció de tensioactius

Retardament iònic: és una tècnica de separació basada en el fet que el metall i l'àcid fort s'elueixen de la resina de manera escalonada.



**FITXA núm. 2 - Intercanvi iònic****4. Eficàcia**

L'eficàcia depèn de l'ús al qual estigui destinat i, per tant, del tipus de resina; però en termes generals, en condicions òptimes, és a dir, si evitem els factors limitants, és força alta: entre un 85% i un 90%.

En molts casos no es fa passar el 100% de l'aigua, sinó una part equivalent i es barreja a la sortida amb l'aigua sense tractar. D'aquesta manera es redueixen costos.

**5. Limitacions**

Els factors limitants poden produir-se per l'aigua d'entrada o les característiques del mateix procés.

**a) Aigua d'entrada**

<b>Factor limitant</b>	<b>Conseqüència</b>	<b>Acció preventiva</b>
Terbolesa	Obturació de la resina	Filtració prèvia
MeS (> 1 mg/l)	Obturació de la resina	Filtració prèvia
Fe i sals d'Al	Afecten l'eficàcia del sistema	Floculació i filtració prèvia
Sulfats <sup>1</sup> (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > 1)	Més afinitat sulfats que nitrats	Resines selectives
Contingut elevat de clorurs	Aigua salobre	Dilució posttractament

**b) Procés**

<b>Factor limitant</b>	<b>Conseqüència</b>	<b>Acció preventiva</b>
Rebuig amb salinitat elevada que no es pugui abocar	De la regeneració amb sal de la resina	Gestió de l'abocament
Canvis d'eficiència	Funcionament cíclic	2 columnes desfasades

**6. Tractaments complementaris obligats**

Una instal·lació d'intercanvi iònic ha de tenir les fases següents:

**a) Pretractament: Filtració**

L'aigua que arriba a les resines de bescanvi iònic no pot presentar un contingut elevat de terbolesa ni de partícules en suspensió o col·loides ja que, sinó, aquests obturarien fàcilment els porus de les resines i les farien malbé. Els fabricants de resines recomanen que l'aigua d'entrada no presenti una concentració de matèries en suspensió (MeS) superior a 1 mg/l (Dow Chemical, 2006). El pretractament necessari previ a les resines de bescanvi iònic per a aigües subterrànies poc problemàtiques es limita a una filtració de la matèria en suspensió (Dow Chemical, 2006).

L'etapa de filtració de la MeS és un pas essencial per al funcionament correcte de tota la planta i, en conseqüència, ha de tenir un funcionament continu i correcte. Per això és molt important portar a terme un manteniment adequat dels filtres de cartutxos i aturar-los de manera periòdica, per tal de revisar-los i netejar-los.

<sup>1</sup> És un factor limitant només en cas de desnitrificació.

**FITXA núm. 2 - Intercanvi iònic****b) Pretractament: Decloració**

Només cal eliminar-ne el clor en cas que es parteixi d'una aigua prèviament clorada, ja que les substàncies oxidants fortes poden atacar les resines. Això es pot fer mitjançant un filtre complementari de carbó actiu.

**c) Pretractament: Dipòsit previ**

No és imprescindible, però sí recomanable, disposar d'un dipòsit regulador previ al tractament per tal de cobrir puntes de demanda i per poder fer, si escau, una derivació per barrejar l'aigua tractada i no tractada fins arribar a la concentració desitjada.

**d) Posttractament: Dipòsit de posttractament**

Aquest dipòsit és necessari per cobrir puntes de demanda, per fer la barreja d'aigua tractada i aigua derivada, i per desinfectar-la correctament. Les dimensions del dipòsit dependran de les dades de consum, tenint en compte que no és recomanable un temps de retenció superior a 48 hores i que per desinfectar correctament es necessita un temps mínim de mitja hora de contacte entre l'aigua i el clor en una concentració mínima de 0,5 ppm.

**7. Valoració**

És la tècnica de primera opció, ja que té una eficiència elevada, l'operativitat és simple i es pot automatitzar a un cost raonable. La regeneració es fa amb un producte barat i de manipulació fàcil (sal comuna). És un sistema àmpliament comercialitzat, robust, poc tecnificat i està a l'abast de qualsevol instal·lador. El cost d'inversió és baix i el funcionament, econòmic. Es pot ajustar a qualsevol volum.

**8. Bibliografia**

- a) Eliminació de nitrats. Bescanvi iònic, osmosi inversa i desnitrificació biològica. Documentació facilitada en el curs impartit per Stenco en l'àmbit de la formació interna; 2000.
- b) Llensa A. Tecnologies per a l'eliminació de nitrats en aigües potables a les zones vulnerables de Catalunya. 2006.
- c) Sistemes de tractament d'aigües de consum humà. Documentació facilitada en el curs presentat per Andreu Pujades en l'àmbit de la formació interna; 17 mar 2008; Barcelona.
- d) Stenco. Tratamiento de aguas. Febrer 2000. 1a edició.
- e) Stenco. Tratamiento de aguas. Gener 2004. 3a edició.

**9. Revisat per:**

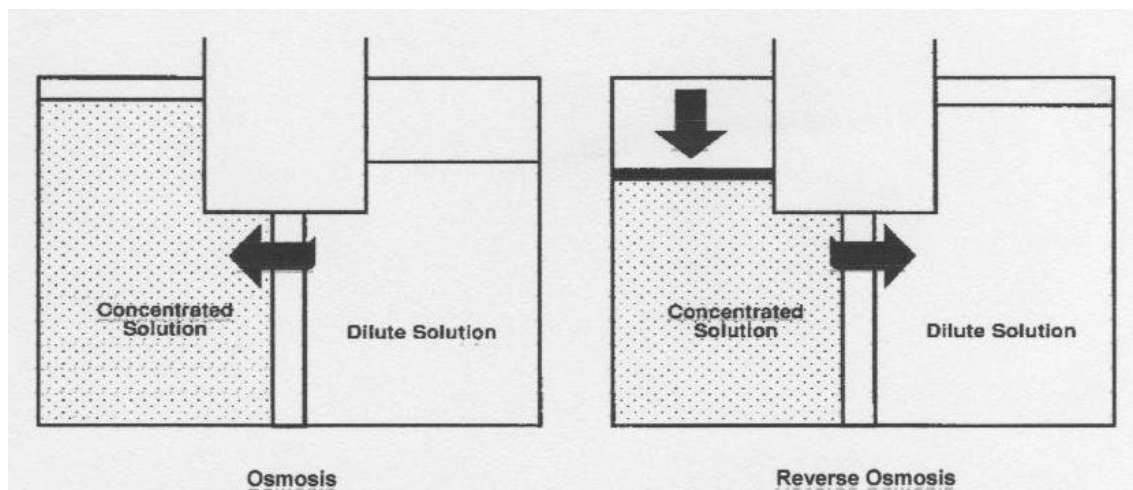
Gemma Camps i Jordi Carreras.

## FITXA núm. 3 - Osmosi inversa

### 1. Fonament teòric

Si situem dues dissolucions de diferent concentració separades per una membrana semipermeable que permeti el pas de l'aigua però no dels soluts, observarem que l'aigua travessa la membrana de la dissolució més diluïda cap a la més concentrada fins que s'igualen les concentracions de les dues dissolucions. Aquest fenomen es coneix com a *osmosi*. En el moment que s'igualen les concentracions, la dissolució inicialment diluïda fa pressió sobre la membrana, fet que s'anomena *pressió osmòtica*. Però si apliquem una pressió externa, superior a la pressió osmòtica, a la solució inicialment més concentrada, l'aigua comença a circular de la dissolució més concentrada cap a la més diluïda, de manera que la diferència de concentració entre les dues dissolucions tendeix a augmentar, en comptes de disminuir. Aquest fenomen s'anomena *osmosi inversa*.

Els conceptes d'osmosi natural i osmosi inversa es representen a la figura següent:



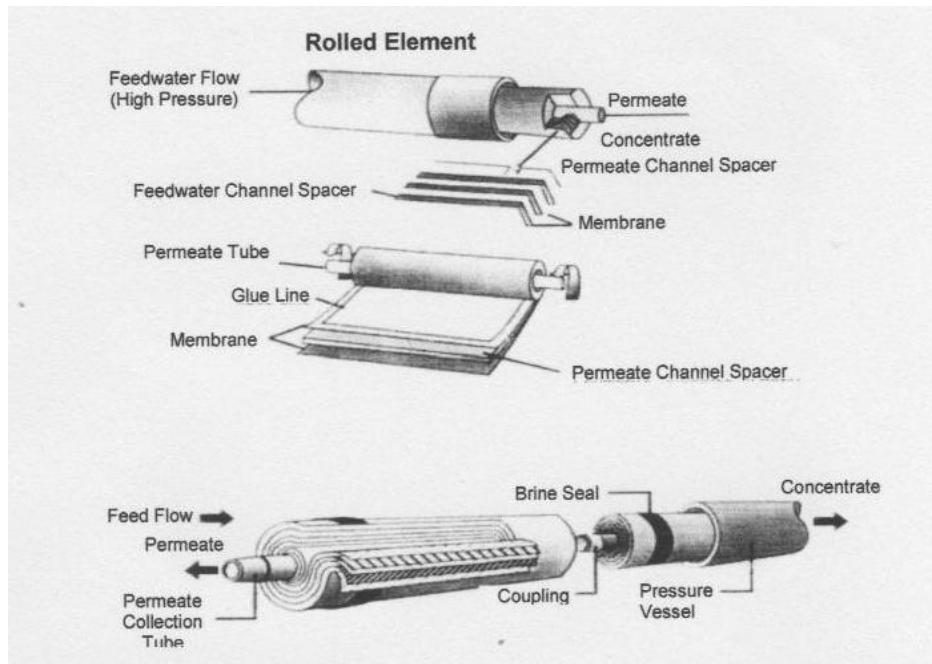
### 2. Descripció

Els equips d'osmosi inversa consisteixen en un mòdul de membranes semipermeables, a través de les quals s'introdueix el corrent d'aigua que cal tractar. Es generen dos corrents de sortida. Un dels corrents de sortida presenta una concentració elevada en sals i s'anomena *rebuig*, mentre que l'altre presenta una concentració molt baixa de sals, i s'anomena *ultrafiltrat o permeat*.

Les membranes actuals estan formades per poliamides. En el cas concret del tractament d'aigües, és molt comú usar poliamides aromàtiques.

En el mercat, els aparells d'osmosi inversa es presenten en mòduls, a l'interior dels quals les membranes d'osmosi inversa estan enrotllades en forma d'espiral, tal com es mostra a la figura. Normalment, a cada mòdul o tanc d'osmosi inversa hi ha entre 6 i 8 membranes (Dow Chemical, 2006).

## FITXA núm. 3 - Osmosi inversa



Mitjançant una bomba de pressió elevada, s'injecta el corrent d'aigua que s'ha de tractar al compartiment de concentració elevada de sals. Com que l'aigua que s'ha de tractar s'ha injectat a una pressió elevada, la força que exerceix sobre la membrana semipermeable supera la pressió osmòtica, i una gran part de l'aigua avança de la zona de concentració elevada cap a la zona diluïda.

El cabal d'ultrafiltrat o permeat que surt de la instal·lació és una aigua altament purificada, ja que les membranes d'osmosi inversa tenen una gran capacitat de retenció d'ions, col·loides, matèria orgànica, virus, bacteris, microorganismes i matèria en suspensió.

### 3. Usos

L'osmosi inversa és una tècnica àmpliament utilitzada per desmineralitzar l'aigua en camps molt diversos:

- Indústria farmacèutica: obtenció d'aigua per a injectables
- Indústria electrònica: aigua de procés
- Indústria alimentària: dilucions de sucs
- Potabilització d'aigua de mar
- Serveis hospitalaris: diàlisi, farmàcia, laboratoris, aire condicionat en ambients estèrils.

### 4. Eficàcia

L'eficàcia depèn molt del tipus de membrana. La membrana semipermeable perfecta és aquella que deixa passar únicament l'aigua i reté completament les sals. Això no

existeix: sempre hi ha una petita quantitat de sals que passen a través de la membrana. Segons aquesta quantitat, es parla de membranes més o menys selectives. No obstant això, una mateixa membrana varia la permeabilitat en funció de les condicions ambientals: la temperatura, la pressió i la concentració inicial. En termes generals, la desmineralització pot ser d'entre el 85% i el 99%. Això és el percentatge de reducció de sals respecte a l'aigua d'entrada. No obstant això, en aquesta tècnica també s'ha de tenir en compte el percentatge de recuperació, ja que hi haurà un efluent de rebuig. En membranes convencionals la recuperació sol ser d'un 40%, i segons la disposició pot arribar al 70%. És a dir, de cada 100 m<sup>3</sup> d'aigua per tractar hi hauria 70 m<sup>3</sup> d'ultrafiltrat o permeat i 30 m<sup>3</sup> de rebuig.

## 5. Limitacions

### a) Aigua d'entrada

- Substàncies oxidants (clor, oxigen)
- Carbonat càlcic
- Sulfats, fluorurs i fosfats de calci, magnesi i bari
- Terbolesa

### b) Procés

- Temperatura: la temperatura ambiental elevada augmenta la permeabilitat de la membrana
- Efluent de rebuig amb una concentració salina elevada
- Obtenció d'aigua desmineralitzada
- pH molt baix de l'ultrafiltrat o permeat.
- Despesa energètica per aconseguir pressions elevades

## 6. Tractaments complementaris obligats

Alguns elements determinats poden afectar i degradar enormement les membranes. Per això, per tal d'incrementar l'eficiència del procés, i allargar la vida útil de les membranes, el pretractament de l'aigua que s'ha filtrar és una etapa indispensable. Podem dividir el pretractament en dues etapes: addició de reactius químics i filtració.

### a) Pretractament: Condicionament químic de l'aigua

Addició de bisulfit sòdic: Les membranes d'osmosi inversa són molt sensibles a les substàncies oxidants, com per exemple l'oxigen o el clor. Per això, mitjançant l'addició de bisulfit sòdic es disminueix el caràcter oxidant de l'aigua, i s'evita una oxidació prematura de les membranes.

En determinades circumstàncies, és recomanable disposar d'un equip de dosificació de bisulfit sòdic controlat per una sonda de mesura de potencial redox. Aquesta sonda mesurarà les condicions oxidants/reductores de l'aigua que s'ha de tractar i, en cas de

**FITXA núm. 3 - Osmosi inversa**

detectar un potencial oxidant excessivament elevat, activarà la dosificació de bisulfít sòdic (Passanisi et al., 2000).

Tot i això, les aigües subterrànies normalment no presenten un poder oxidant elevat i, per tant, en condicions normals no és necessari afegir-hi bisulfít sòdic. En el cas de les aigües clorades també es pot utilitzar un filtre de carbó actiu per tal d'eliminar-ne el clor.

Addició d'àcid: Mitjançant l'acidificació de l'aigua que s'ha de tractar, s'aconsegueix mantenir l'equilibri bicarbonats/carbonats desplaçat cap als bicarbonats, de manera que s'evita la precipitació i la incrustació de carbonat càlcic a les membranes.

Addició d'antiincrustants: Els antiescalants són inhibidors comercials de la precipitació, que eviten la formació i la incrustació a les membranes de sals insolubles de calci, magnesi i bari, com per exemple sulfats, fluorurs o fosfats. Hi ha tres tipus d'antiincrustants: hexametafosfat de sodi, compostos organofosfonats i compostos poliacrílics. És habitual afegir uns 2-3,5 mg/l d'antiescalants en aigües no massa problemàtiques, com ara les aigües subterrànies (Cevaal et al., 1995; Filteau i Reilly, 1993).

b) Pretractament: Filtració

L'aigua que arriba a les membranes d'osmosi inversa no pot presentar un contingut elevat de partícules en suspensió o col·loides, ja que sinó aquests obturarien fàcilment els porus de les membranes i les farien malbé. Els fabricants de membranes recomanen que l'aigua d'entrada no presenti una concentració de matèries en suspensió (MeS) superior a 1 mg/l (Dow Chemical, 2006).

Per això, abans del pas per les membranes d'osmosi inversa, l'aigua es fa circular a través d'uns filtres de cartutxos, que retenen la matèria en suspensió. L'etapa de filtració de la MeS és un pas essencial perquè tota la planta funcioni correctament i, en conseqüència, ha de funcionar de manera contínua i correcta.

Per tal d'assegurar aquest funcionament correcte i continu de l'etapa de filtració de la MeS, és molt important portar a terme un manteniment adequat dels filtres de cartutxos, cosa que implica forçosament que cal aturar-ne periòdicament el funcionament per tal de revisar-los i netejar-los.

Per saber quan cal netejar un filtre és necessari instal·lar un manòmetre de pressió diferencial a cada filtre que mesuri la pressió a l'entrada i a la sortida del filtre. Quan el valor marcat pel manòmetre és superior a 1 bar, els cartutxos filtrants que hi ha a l'interior del filtre s'han de netejar amb una dissolució d'hipoclorít sòdic al 15% durant un període d'entre 45 i 55 minuts, i després ja es poden tornar a usar.

En cas que l'operació de neteja no aconsegueixi disminuir per sota d'1 bar la pressió diferencial del manòmetre, s'han de canviar els cartutxos.

c) Pretractament: Dipòsit previ

És recomanable disposar d'un dipòsit previ per tal de cobrir puntes hidràuliques de demanda i per poder afegir els reactius. El volum ideal del dipòsit és d'un 10% del total d'aigua que s'ha de subministrar diàriament. També ens pot servir per repartir l'aigua que es tracta a les membranes d'osmosi inversa i la que es deriva directament cap al final del procés, si escau.

**FITXA núm. 3 - Osmosi inversa****d) Posttractament: Remineralització**

El problema de l'aigua osmotitzada és la baixa mineralització i un pH molt àcid (al voltant de 5).

En la majoria dels casos n'hi ha prou amb barrejar l'aigua producte de l'osmosi amb aigua crua derivada. A part d'augmentar la salinitat fins a uns nivells tolerables per al cos humà, també reduïm els costos d'explotació. Altres maneres de remineralitzar:  $\text{CO}_2 + \text{CaOH}$ , filtre de calcita, filtre de dolomita,  $\text{CO}_2 + \text{NaOH}$ ,  $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca} + \text{SO}_4\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_3\text{HNa} + \text{Cl}_2\text{Ca}$ .

**e) Posttractament: Cloració i regulació del pH**

Sempre cal fer una cloració i assegurar que el temps de contacte de l'aigua amb el clor és de mitja hora com a mínim i amb una concentració mínima de clor de 0,5 ppm.

El pH recomanat per a l'aigua de consum, per tal que no sigui agressiva, és de 7-8. Cal tenir en compte que si el desinfectant és hipoclorit, aquest reacciona amb l'aigua i provoca una hidròlisi bàsica, que fa augmentar el pH. Si amb això no n'hi hagués prou, s'hauria de dosificar NaOH per tal d'anivellar el pH.

Per a tots aquests posttractaments cal disposar d'un dipòsit de posttractament.

**7. Valoració**

És una tècnica de desmineralització molt efectiva usada en àmbits molt diversos, però molt poc selectiva quan només ens interessa eliminar un element. Per tant, en aquests casos no és una primera opció. Només quan no hi ha un mètode selectiu o es tracta d'aigua molt mineralitzada (p. ex., aigua de mar), ens hem de decantar per l'osmosi inversa, tenint en compte que, si l'ús destinat és l'aigua de consum, s'ha de remineralitzar amb algun dels mètodes descrits.

**8. Bibliografia**

- a) Eliminació de nitrats. Bescanvi iònic, osmosi inversa i desnitrificació biològica. Documentació facilitada en el curs impartit per Stenco en l'àmbit de la formació interna; 2000.
- b) Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo. Disponible a:  
<http://sinac.msc.es/sinac/ciudadano/CiudadanoMostrarResumenesAnualesAction.do>.
- c) Llensa A. Tecnologías per a l'eliminació de nitrats en aigües potables a les zones vulnerables de Catalunya. 2006.
- d) Sistemes de tractament d'aigües de consum humà. Documentació facilitada en el curs presentat per Andreu Pujades en l'àmbit de la formació interna; 17 mar 2008; Barcelona.
- e) Stenco. Tratamiento de aguas. Febrer 2000. 1a edició.

**FITXA núm. 3 - Osmosi inversa**

f) Stenco. Tratamiento de aguas. Gener 2004. 3a edició.

9. **Revisat per:** Gemma Camps i Jordi Carreras

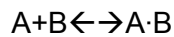


## FITXA núm. 4. Adsorció per carbó actiu

### 1. Fonament teòric

L'adsorció per carbó actiu (CA) és la remoció, per adherència, de les impureses que hi ha a l'aigua: líquids, gasos, matèria suspesa, molècules, àtoms, ions dissolts, etc.

Es pot representar per la reacció química:



A = impureses o substància que es vol eliminar

B = carbó actiu o adsorbent

A·B = compost format per l'adsorció

La reacció té lloc en tota la superfície del carbó, que inclou els porus i la superfície interior, on es formen els enllaços que retindran la impuresa.

### 2. Descripció

El carbó actiu s'obté a partir de material carbonós (fusta, carbó, turba, etc.) per un procés de dues etapes: carbonització i activació posterior, que pot ser física (tèrmica) o química.

El resultat és un material porós amb una gran superfície específica (de 500 a 1.500 m<sup>2</sup>/g) i una afinitat alta pels compostos orgànics.

#### Tipus de carbó activat

Existeixen dues formes d'ús del carbó activat, cada una amb unes indicacions específiques.

- Carbó actiu en pols (CAP; en anglès, PAC): s'utilitza en forma de pols fina negra, sempre a la capçalera de línia de l'estació de tractament d'aigua potable (ETAP). La pols amb el contaminant adsorbit s'ha de separar de l'aigua, cosa que s'aconsegueix habitualment en els processos posteriors de floculació-coagulació i filtració mecànica per sorra.
- Carbó actiu granular (CAG; en anglès, GAC): s'utilitza en forma de grànuls de fins a 2 mm en filtres de columna o de llit. Aquests filtres s'intercalen enmig de la línia de tractament, habitualment després dels filtres de sorra, però es poden fer servir com a filtres únics en funció de la qualitat de l'aigua crua.

L'aigua es pot fer passar pels filtres de CAG de dues maneres:

- *Sistema actiu*: l'aigua es fa passar a través del filtre, com si es tractés d'un filtre mecànic.
- *Sistema passiu*: l'aigua no incideix directament contra la massa de carbó, sinó que es mou lentament entre els seus grànuls, de tal manera que tendeix a ocupar de forma efectiva només una part del llit filtrant. L'adsorció es produeix lentament i només en la superfície externa dels grànuls de carbó. Tot i que es triga més a eliminar els contaminants, se n'adsorbeix més quantitat i, per tant, és més eficient.

## **FITXA núm. 4. Adsorció per carbó actiu**

L'elecció entre el CAP i el CAG depèn de la freqüència d'ús i la dosi que es necessita. Generalment, es prefereix el CAP si la contaminació és estacional o intermitent, o si es necessiten dosis baixes. En el nostre àmbit, s'utilitza molt més el CAG, ja que és més fàcil d'utilitzar i més eficient. El CAP es limita fonamentalment a usos per a contaminacions esporàdiques i puntuals que no justifiquen una inversió en filtres de CAG.

La capacitat d'adsorció del carbó activat és limitada i depèn del tipus de carbó, de la temperatura, de la qualitat i quantitat d'aigua a tractar, de la concentració i del tipus de contaminants presents a l'aigua crua i dels tractaments complementaris de l'ETAP. Quan s'esgota la seva capacitat d'adsorció, el carbó actiu es pot reactivar cremant de forma controlada les substàncies orgàniques adherides.

Cal tenir en compte que el carbó actiu quan és nou adsorbeix ràpidament i de manera eficaç els contaminants, però a mesura que passa el temps s'esgota aquesta capacitat d'adsorció perquè el filtre se satura. Aquesta limitació de la capacitat d'adsorció s'ha de contrarestar canviant periòdicament els filtres. Per saber-ho se segueix una prova simple: es posen unes gotes de blau de metilè a l'aigua d'entrada del filtre. Si l'aigua surt cristal·lina, el filtre treballa bé. Si l'aigua surt blava, cal canviar el filtre.

La vida útil d'un llit de CAG ve donada per la capacitat del carbó emprat i el temps de contacte de l'aigua amb el carbó actiu, anomenat temps de contacte amb el llit buit, que es controla pel cabal unitari d'aigua i que acostuma a ser entre 5 i 30 minuts. Hi ha diferents tipus de CAG que responen de manera diferent segons quin sigui el compost orgànic que cal eliminar.

Finalment, una de les operacions que cal fer en els filtres de CAG és rentar a contracorrent amb aigua. La velocitat de contrarentat recomanada és de 10-15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h, amb la qual s'aconsegueix una expansió del llit d'aproximadament un 20%.

### **3. Usos**

El carbó actiu s'utilitza àmpliament en la indústria química, el tractament d'aigües residuals industrials amb requeriments específics de qualitat d'abocament, el tractament de gasos contaminants i la indústria farmacèutica i alimentària. En el tractament d'aigües, es fa servir per eliminar:

- Microcontaminants orgànics com ara:
  - responsables de males olors, colors i sabors desagradables, com el metilisoborneol
  - insecticides, pesticides i plaguicides
  - compostos orgànics volàtils, com el tetracloretilè (PCE) i el tricloroetilè (TCE)
  - derivats del petroli
  - trihalometans
  - altres
- Substàncies halogenades

**FITXA núm. 4. Adsorció per carbó actiu**

- Ozó residual
- Toxines d'algues (microcistina)

**FITXA núm. 4. Adsorció per carbó actiu****4. Eficàcia**

L'eficàcia del CA és molt variable segons el tipus de contaminant que es vulgui remoure. En el cas dels contaminants orgànics, es poden assolir valors de fins al 90% de remoció.

Cal remarcar que l'eficàcia depèn, en gran mesura, de la font d'aigua d'origen i disminueix molt si hi ha un grau elevat de compostos orgànics a l'aigua. Les substàncies amb solubilitat baixa com els trihalometans (THM) i el log Kow (coeficient de partició octanol/aigua) alt s'adsorbeixen bé.

Els factors que influeixen en l'eficàcia del tractament són:

- El tipus de compost que es vol eliminar. Els compostos amb pes molecular elevat i solubilitat baixa s'adsorbeixen més fàcilment.
- La concentració del compost que es vol eliminar. Com més alta sigui la concentració, més carbó es necessitarà.
- La presència d'altres compostos orgànics que competiran amb altres compostos pels llocs d'adsorció disponibles.
- La superfície específica de contacte, que pot variar des de 500 a 1.500 m<sup>2</sup>/g, i ve donada per la mida del grànul. Com més fi sigui el grànul, la superfície d'adsorció serà més gran.
- La concentració de clor residual i/o d'altres compostos orgànics, ja que el clor competeix fortament amb els compostos orgànics pels porus disponibles del carbó actiu per l'adsorció.
- El pH de l'aigua: si és alt afavoreix l'adsorció d'ions negatius; si és baix, la de compostos àcids.

Segons això, podem classificar alguns compostos segons la probabilitat que el carbó actiu els adsorbeixi eficaçment a l'aigua. *Vegeu les taules 1, 2, 3 i 4.*

Taula 1. Compostos amb **molt alta probabilitat** que el carbó actiu els elimini

2,4-D	<i>p</i> -bromofenol	Cinacina	3,6-diclorofenol	Hexaclorobutadiè	Metilnaftalè	Simazina
Alaclor	Butilbenzè	Ciclohexà	2,4-diclorofenoxi	Hexà	2-metilbutà	Terbutrina
Aldrín	Hipoclorit de calci	DDT	Dieldrin	Isodrina	Monuron	Tetracloroetilè
Antracè	Carbofuran	Deisopropiltartrazina	dietilftalat	Isooctà	Naftalè	Triclopir
Atrazina	Clor	Desetilatraxina	2,4-dinitrocresol	Isoproturon	Nitrobenzè	1,3,5-trimetilbenzè
Etil-azinfòs	Diòxid de clor	Demeton-O	2,4-dinitrotoluen	Lindà	<i>m</i> -nitrofenol	<i>m</i> -xilè
Bentazona	Clorobenzè	Di- <i>n</i> -butilftalat	2,6-dinitrotoluen	Linuron	<i>o</i> -nitrofenol	<i>o</i> -xilè
Bifenil	4-cloro-2-nitrotoluen	1,2-diclorobenzè	Diuron	Malation	<i>p</i> -nitrofenol	<i>p</i> -xilè
2,2-bipiridina	2-clorofenol	1,3-diclorobenzè	Endosulfan	MCPA	Ozó	2,4-xilenol
Bis(2-etilhexil) Ftalat	Clorotoluen	1,4-diclorobenzè	Endrina	Mecoprop	Paration	
Bromacil	Crisè	2,4-diclorocresol	Etilbenzè	Metazaclor	Pentaclorofenol	
Bromodiclorometà	<i>m</i> -cresol	2,5-diclorofenol	Hexaclorobenzè	2-metilbenzenamina	Propazina	

**FITXA núm. 4. Adsorció per carbó actiu**Taula 2. Compostos amb una **alta probabilitat** que el carbó actiu els elimini

Anilina	Dibromo-3-cloropropà	1-pentanol
Benzè	Dibromoclorometà	Fenol
Alcohol benzílic	1,1-dicloroetilè	Fenilalanina
Àcid benzoic	cis-1,2-dicloroetilè	Àcid o-ftàlic
Bis(2-cloroetil) èter	trans-1,2-dicloroetilè	Estirè
Bromodiclorometà	1,2-dicloropropà	1,1,2,2-tetracloroetà
Bromoform	Etilè	Toluè
Tetraclorur de carboni	Hidroquinona	1,1,1-tricloroetà
1-cloropropà	Metil isobutil cetona	Tricloroetilè
Clortoluró	4-metilbenzenamina	Acetat de vinil

Taula 3. Compostos amb una **probabilitat moderada** que el carbó actiu els elimini

Àcid acètic	Dimetoato	Metionina
Acrilamida	Etil acetat	Metil-tert-butil èter
Cloroetà	Etil èter	Metil etil cetona
Cloroform	Freó 11	Piridina
1,1-dicloroetà	Freó 113	1,1,2-tricloroetà
1,2-dicloroetà	Freó 12	Clorur de vinil
1,3-dicloropropè	Glifosat	
Dikegulac	Imazipir	

Taula 4. Compostos que **no és probable** que el carbó actiu sigui efectiu per eliminar-los, tot i que sí que ho pot ser en alguns casos en els quals el flux o la concentració del compost siguin molt baixos

Acetona	Clorur de metilè
Acetonitril	1-propanol
Acrilonitril	Propionitril
Dimetilformaldehid	Propilè
1,4-dioxà	Tetrahidrofuran
Alcohol isopropílic	Urea
Clorur de metil	

**5. Limitacions**

Els factors que limiten aquesta tècnica es deuen, principalment, a les característiques de l'aigua d'entrada en el filtre:

Factor limitant	Conseqüència	Acció preventiva
Terbolesa	Saturació del filtre	Filtració prèvia i, si escau, precedida d'una coagulació-floculació
Partícules en suspensió	Saturació del filtre	
Duresa elevada	Acumulació de sediments de	Descalcificació amb resines

**FITXA núm. 4. Adsorció per carbó actiu**

	carbonats que saturen el filtre	de bescanvi iònic
--	---------------------------------	-------------------

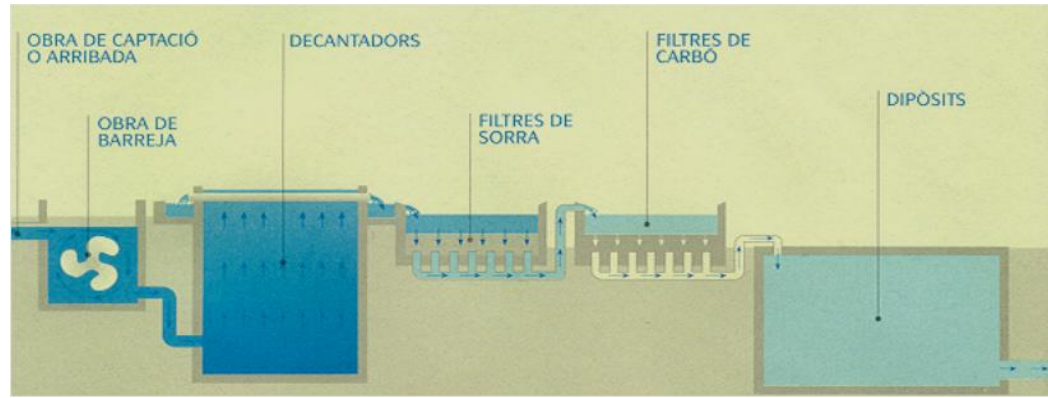
També poden trobar factors limitants per raó del mateix procés:

<b>Factor limitant</b>	<b>Conseqüència</b>	<b>Acció preventiva</b>
Colonització bacteriana del filtre	Fermentació anaeròbica que provoca olors i obturació del filtre	Manteniment del filtre amb rentats periòdics i regeneració
Presència de contaminants diversos	Saturació del filtre	Ús de filtres de carbó en sèrie Rentatges contra corrent Substitució parcial del llit filtrant

## **6. Tractaments complementaris obligatoris**

Habitualment, no trobarem un filtre de CAG com a única etapa de tractament d'una ETAP si no és un petit abastament. Tot i això, sempre cal una cloració després del filtre de CAG per mantenir el residual de clor, tal com exigeix la normativa.

En els abastaments mitjans i grans, normalment calen altres etapes prèvies a la filtració per carbó actiu com: floculació-coagulació, decantació-filtració per sorra per disminuir la terbolesa i les matèries en suspensió i no fer treballar els filtres de CAG com un filtre mecànic. També pot ser necessària una decloració prèvia si s'ha fet una precloració, i una postcloració per mantenir el residual de clor tal com exigeix la normativa.

**FITXA núm. 4. Adsorció per carbó actiu****Esquema d'una ETAP amb la descripció del sistema de filtres de carbó actiu**

La planta disposa de 10 unitats de filtració, dins d'un edifici cobert per evitar la llum i dificultar el creixement d'algues. La capacitat de filtració és de  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , a una velocitat de  $10,72 \text{ m/hora}$ . El volum unitari de carbó per filtre és de  $150 \text{ m}^3$ , amb un total de  $1.500 \text{ m}^3$  a la instal·lació. El gruix de la capa de carbó és d'1,5 metres.

Per rentar s'utilitzen bombes i compressors independents dels filtres de sorra. L'operació es fa primer amb aire i després amb aigua, de manera consecutiva però separada.

Per a la càrrega i descàrrega del carbó, des dels filtres al camió i a l'inrevés, s'ha disposat una instal·lació de transport amb aigua. També hi ha dues sitges de  $150 \text{ m}^3$  cadascuna (la capacitat d'un filtre), una per a la recepció de carbó actiu o regenerat, i una altra per a l'emmagatzematge del carbó esgotat i que convé enviar a regenerar.

**7. Valoració**

És una tècnica molt emprada en el tractament d'aigua per al consum humà per tenir una eficiència alta en relació amb un bon nombre de contaminants orgànics i alguns inorgànics. Es pot regenerar el filtre a la mateixa instal·lació per mitjà d'un tractament tèrmic en un forn. No requereix ni gaire espai per instal·lar-se, ni tampoc una complexitat tècnica excessiva. Pot ser molt útil per eliminar contaminants de baixa concentració. És un sistema àmpliament comercialitzat. El cost d'instal·lació i manteniment és baix.

**8. Bibliografia**

1. La Chira Martínez Reysond Renato. Columnas de Carbón Activado. EAP Ingeniería Química. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión [Internet]. [Consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://www.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado>
2. Lenntech. Water Treatment Solutions. Adsorción/Carbón activo [Internet]. [Consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://www.lenntech.es/adsorcion-carbon-activado.htm#ixzz2SECX8DTTr>

**FITXA núm. 4. Adsorció per carbó actiu**

3. United States Environmental Protection Agency. Drinking Water Treatability Database. Granular Activated Carbon [Internet]. [Consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a:  
<http://iaspub.epa.gov/tdb/pages/treatment/treatmentOverview.do?treatmentProcessId=2074826383>

Revisat per: Joan Carles Badia del Romero



## **FITXA núm. 5. Arrossegament amb aire, aeració o *stripping***

### **1. Fonament teòric**

L'arrossegament amb aire o *stripping* amb aire es basa en la transferència dels compostos orgànics volàtils de la fase líquida (aigua) a la gasosa (aire).

### **2. Descripció**

Existeixen diferents sistemes de *stripping* per aire:

- a) Sistemes d'aeració difusa: l'aigua es recull en dipòsits amb difusors en les bases. L'aire comprimit es força a l'interior del sistema pels difusors. Forma bombolles en l'aigua i els contaminants es transfereixen de l'aigua a l'aire. Són de baix cost. L'inconvenient és que acumulen partícules.
- b) Sistemes d'aeració mecànica: l'aigua s'agita mecànicament, s'aireja i els contaminants passen de la fase aquosa a l'aire. Aquests sistemes eliminen els contaminants més volàtils, però estan força limitats. Segons les condicions, el rendiment d'eliminació acostuma a estar entre el 50 i 80%. Són molt senzills.
- c) Sistemes d'aeració en torre de safata: l'aigua se subministra per la part superior de la torre, es distribueix per augmentar l'àrea de contacte i es deixa escórrer en la part inferior de cada safata. Quan l'aigua ha passat la sèrie de safates, l'aigua tractada es recol·lecta en la base del sistema. És molt susceptible al creixement de les algues i fa que el tractament sigui menys eficaç.

*Són de PVC o acer inoxidable. Hi ha 4 safates metàl·liques que atomitzen l'aigua. La torre està connectada a una bomba que injecta aire a contracorrent a l'aigua que cau en forma de pluja mitjançant les safates. Els compostos orgànics volàtils són arrossegats a l'atmosfera mitjançant la xemeneia superior.*



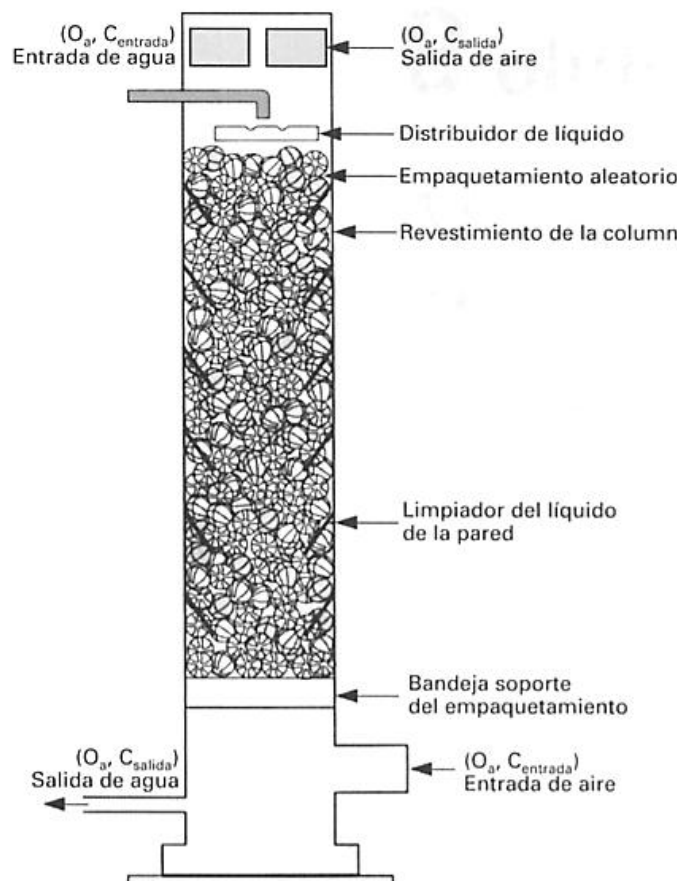
- d) Sistemes d'aeració en torre de rectificació: l'aigua entra per la part superior d'una torre o columna i es deixa caure per l'interior en forma d'una pel·lícula fina, per augmentar la superfície de contacte. Dins de la torre hi ha un rebliment de material

## **FITXA núm. 5. Arrossegament amb aire, aeració o stripping**

inert que encara augmenta més el temps de contacte. L'aire s'introdueix per la part inferior i mitjançant un ventilador situat a la part superior es força un corrent en sentit contrari a la gravetat. D'aquesta manera, s'afavoreix un contacte continu entre la fase líquida (aigua) i l'aire. Els contaminants volàtils es transfereixen de la fase aquosa a la gasosa. L'aigua tractada es recull a la base de la torre (no hi ha recirculació d'aigua). Una bomba extreu l'aigua tractada.

Les dimensions de la columna depenen del cabal d'aigua que es vol tractar, dels nivells de contaminants presents, del pes molecular dels compostos, de la temperatura de l'aigua i de l'aire. Normalment, l'alçada de la columna oscil·la entre els 5 i 12 metres.

Són una bona opció per eliminar compostos volàtils de les aigües subterrànies, ja que proporcionen un contacte elevat entre l'aire i l'aigua i l'eliminació és molt eficaç. L'inconvenient que tenen és que són sistemes amb tendència a obstruir-se per l'acumulació de partícules i hi pot haver problemes de proliferació de legionel·la i de precipitació de carbonat de calci.



### **3. Usos**

Els compostos que s'eliminen són els poc solubles i els volàtils, com ara trihalometans, benzè, clorat, compostos orgànics halogenats simples, alguns hidrocarburs aromàtics, i alguns pesticides i compostos difícils d'eliminar per adsorció amb carbó.

## **FITXA núm. 5. Arrossegament amb aire, aeració o stripping**

Aquesta tècnica pot reduir la concentració de compostos de volatilitat moderada (amb un pes molecular de baix a mitjà) i gasos dissolts .

### **4. Eficàcia**

Els compostos orgànics volàtils (COV) s'eliminen de manera eficaç amb torres ben dissenyades. Una explotació adient de la torre està entre el 80-100% dels COV presents.

L'*stripping* per aire és un dels processos més utilitzats per depurar aigües subterrànies contaminades per compostos orgànics volàtils. El procés és adequat per a baixes concentracions de contaminants: < 200 µg/l.

### **5. Limitacions**

No hi ha limitacions pel que fa a l'aigua. Les limitacions més importants són les derivades de la complexitat tècnica, el cost d'instal·lació i manteniment, inclosos els dels controls que cal fer per assegurar un bon rendiment i que es compleixi la normativa d'emissions de contaminants a l'atmosfera.

- a) Complexitat tècnica del disseny: cal que ho faci una empresa especialitzada. Quan es dissenya una torre, cal tenir en compte l'alçada i el diàmetre de la columna, els m<sup>3</sup> d'aigua que es volen tractar, la velocitat de l'aigua, els distribuïdors d'aigua i d'aire, la concentració del contaminant en l'aigua crua, la relació aire/aigua. En les torres de rectificació, és important, a més, el rebliment que pot tenir diverses formes.
- b) Cost: el cost d'instal·lació és elevat. A més, cal tenir en compte el del terreny on s'ha d'ubicar, els seus usos, l'impacte paisatgístic i, per descomptat, el cost de manteniment (energia elèctrica, manteniment mecànic, neteges i controls).

Com a manteniment per assegurar l'eficiència, cal fer una desincrustació de les incrustacions de carbonat de calci que hi pot precipitar, amb àcid clorhídric o àcid sulfúric, a més de la neteja i desinfecció anual de la torre, segons recomanacions de les empreses instal·ladores.

#### c) Controls en el nostre àmbit

- Els establerts en l'annex II del RD 117/2003 sobre limitacions de les emissions a l'atmosfera de compostos orgànics volàtils per a l'ús de dissolvents en determinades activitats.
- Cal valorar si pel disseny que tenen es poden convertir en instal·lacions de risc de dispersió de legionel·la. En aquest cas, seria d'aplicació la normativa de prevenció i control de la legionel·losi.

### **6. Tractaments complementaris obligats**

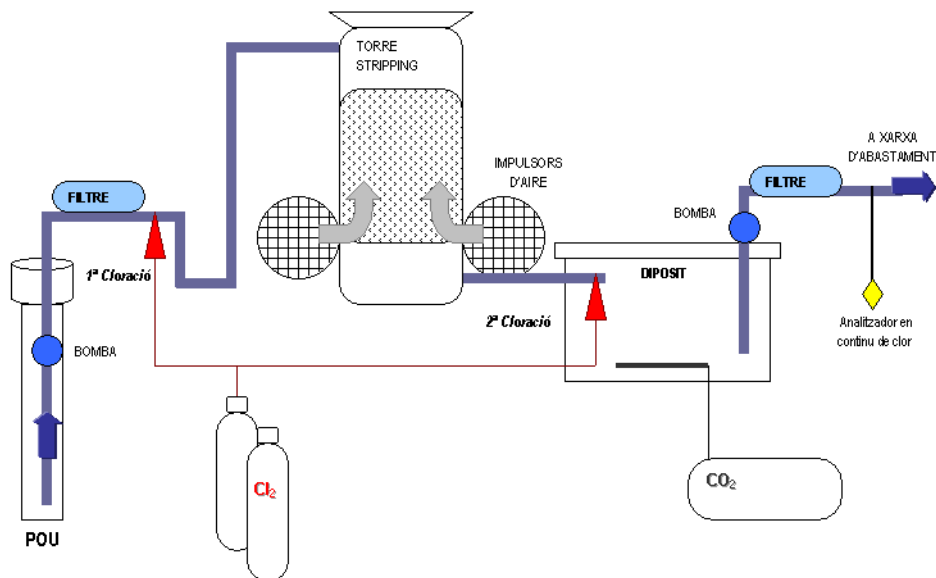
En determinades ocasions, cal afegir CO<sub>2</sub> a l'aire després del pas per la columna per restablir el pH a 7. Quan l'aigua entra en contacte amb l'aire s'oxigena, s'elimina el CO<sub>2</sub> de l'aigua i augmenta el pH. En aquestes condicions, poden precipitar metalls

## **FITXA núm. 5. Arrossegament amb aire, aeració o stripping**

com el manganès i el ferro en les canonades, en forma de carbonats. Cal restablir el pH i l'equilibri calcocarbònic de l'aigua per mantenir-los en solució.

Sempre cal clorar abans de la distribució. També pot ser aconsellable posar un filtre abans de la torre i fer una primera cloració per disminuir el risc de proliferació microbiana en el rebliment.

**Esquema d'una E.T.A.P. al Prat de Llobregat**



### **7. Valoració**

Tècnica apropiada per a una entitat gestora mitjana que tracti un cabal d'aigua aproximadament de 10.000 m<sup>3</sup>/dia. És necessari que el personal que en fa la gestió, el control i el manteniment tingui la formació adequada.

### **8. Bibliografia**

1. Academia Nacional de Ciencias. El agua potable segura es esencial. Sistemas de extracción con aire. Tecnologías. 2008 [Consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://www.drinking-water.org/html/es/Treatment/Air-Stripping-Systems-technologies.html>
2. Contaminantes orgánicos en las aguas: origen, evolución y sus efectos sobre las aguas de consumo. Tecnología del agua, 135;9-28.
3. GEOTECNIA 2000. Grupo Atisae. Productos para la remediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos: Torres de aireación [Internet]. [Consultat el 30 de juliol de 2013];[7]. Disponible a: <http://www.geotecnia2000.com/files/archivos/productos.pdf>

**FITXA núm. 5. Arrossegament amb aire, aeració o stripping**

4. Martí Deulofeu JM. Tratamientos de aguas = Tractaments d'aigües = Water treatment. 3a ed. Barcelona: STENCO, 2000:237.
5. Moral Luque S. Impacto ambiental global de las estaciones de servicio y su singularidad por lo que respecta al vertido accidental de aguas hidrocarburadas. Capítulo 5. Medidas correctoras. 5.2 Métodos Físico-químicos. 5.2.1 Stripping por aire [tesina] [Internet]. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental; 2 de setembre de 2002 [consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5815/6/05.pdf>
6. Sanz J, Nadal S, Miró J, García A. Stripping de aguas subterráneas: Tecnología del agua. 1999;188:71-77.
7. XXXI Jornadas Técnicas AEAS, Cartagena. Junio de 2011. Control de trihalometanos en agua potable: eliminación mediante procesos de desorción

Revisat per: Anna Escofet i Elvira Ortiz

## FITXA núm. 6. Alúmina activada

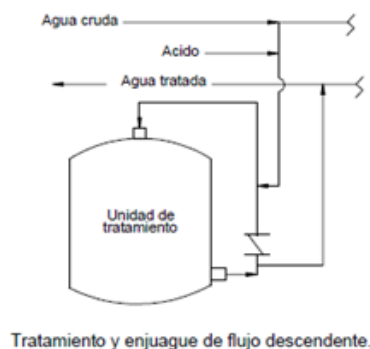
### 1. Fonament teòric

L'alúmina activada,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , és una forma granulada de l'òxid d'alumini que, tractada tèrmicament (escalfament a  $800\text{ }^\circ\text{C}$ ), adquireix, segons el procés de producció, una àrea superficial de  $200\text{-}300\text{ m}^2/\text{g}$ . Des de 1930, es coneix que el contacte de l'aigua fluorada amb alúmina activada produeix una remoció dels fluorurs. No obstant això, actualment s'utilitza per remoure també altres ions amb càrrega negativa que hi ha a l'aigua, com l'arsènic produït per una adsorció hidrolítica.

### 2. Descripció

Abans d'utilitzar l'alúmina per tractar l'aigua, s'ha de sotmetre a una inicialització, que inclou l'ús de compostos químics àcids o àlcals per tal d'eliminar qualsevol tipus de residus, i a un tractament de rentatge per eliminar-ne les partícules fines.

En el procés, l'aigua que conté un excés de fluorurs o d'arsènic es fa passar a través del cartutx o filtre. L'alúmina adsorbeix els ions, mentre que l'aigua tractada continua el procés. Es recomana un temps mínim de contacte de 5 minuts per retirar els fluorurs (adsorció del 80%) i l'arsènic (adsorció del 90%).



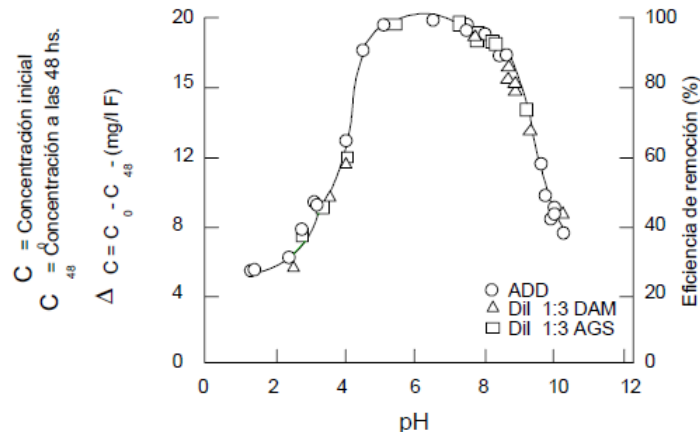
La capacitat de remoció de fluorurs depèn de:

- a) pH: l'alúmina és una substància amfòtera i el seu punt isoelèctric està associat a un pH de 9,5, per la qual cosa remourà anions per sota d'aquest pH i cations per sobre. La remoció òptima dels fluorurs té lloc en un interval de pH entre 5 i 8.

Per tant, per tal que l'adsorció sigui efectiva, cal reduir el pH de l'aigua que cal tractar a un nivell òptim ( $\text{pH} = 5,5$ ) mitjançant una solució àcida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). D'aquesta manera, l'alúmina es carrega positivament i absorbeix selectivament els anions en solució  $\text{H}_2\text{FO}^{4-}$ .

- b) La concentració de fluorur en l'aigua: la capacitat de l'alúmina activada per remoure fluorurs s'incrementa quan augmenta la concentració del mateix fluorur.
- c) La mida de les partícules d'alúmina: la cinètica de remoció és tal que les partícules més petites de l'alúmina capturen més ràpidament els fluorurs; encara que cal tenir en compte que les partícules més petites tenen una gran tendència a eliminar-se en el procés de rentatge de preparació de l'alúmina.

## FITXA núm. 6. Alúmina activada



Els factors que afecten la remoció de l'arsènic són: el pH, l'estat d'oxidació de l'arsènic, els ions competitiu, el temps de contacte i el regenerant.

Cal tenir en consideració altres factors, com són la disposició dels regenerants i de l'alúmina usats.

### 3. Usos

Aquest tractament és altament selectiu per eliminar els paràmetres arsènic i fluorurs.

### 4. Eficàcia

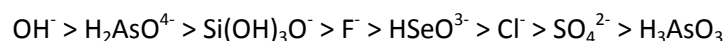
Els percentatges de remoció en condicions òptimes són del 93% al 94% per als fluorurs i del 95% per a l'arsènic.

### 5. Limitacions

El tractament depèn principalment de la concentració de fluorurs, arsènic, ferro i manganès presents a l'aigua, a causa de la competència que es genera entre ells.

A la superfície d'adsorció de l'alúmina activada hi poden interferir també altres ions, com el seleni, els clorurs i els sulfats.

Així, l'adsorció d'ions competitiu és com mostra la relació (de més a menys afinitat):



Aquest mètode té una remoció de l'arsènic alta a un pH de 8,2 i de fluorurs a un pH de 5,5.

A més, també té alguns problemes, principalment:

- El valor del pH de l'efluent, en el cas dels fluorurs, és molt baix, per la qual cosa cal un tractament posterior.
- El gust de l'efluent és desagradable per l'alt contingut de  $\text{SO}_4^{2-}$ .
- El procés és poc convenient des del punt de vista econòmic ja que cal regenerar

## FITXA núm. 6. Alúmina activada

periòdicament el filtre d'alúmina.

### 6. Tractaments complementaris obligats

Abans del tractament, cal efectuar una oxidació amb clor, hipoclorit de calci o permanganat potàssic per tal d'assegurar la presència del contaminant en forma aniónica. A més, la capacitat de l'alúmina també té una forta influència del pH de l'aigua, per la qual cosa pot ser necessari dur a terme un tractament previ amb un àcid.

L'element principal que cal considerar per dissenyar els sistemes d'alúmina és la qualitat de l'aigua d'origen.

D'altra banda, el cartutx d'alúmina activada s'ha de substituir periòdicament si no es regenera, aproximadament cada 5 anys. És important determinar a través d'exàmens quan el dispositiu ha arribat a l'esgotament (i ha perdut la capacitat d'eliminar el contaminant), ja que una vegada que l'alúmina hagi adsorbit la massa màxima de contaminant, el filtre alliberarà fluorurs en lloc de remoure'ls.

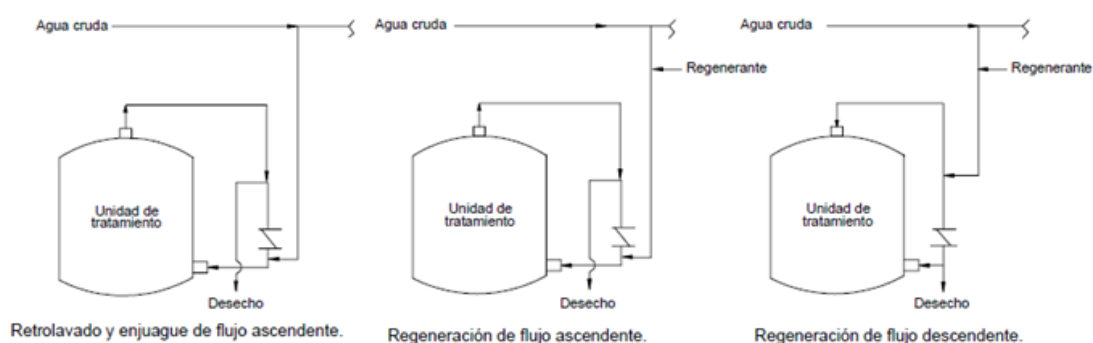
El procediment de regeneració s'ha d'aplicar a intervals concrets, en funció de la qualitat i el volum de l'aigua. Aquest procediment inclou l'ús dels compostos químics adequats per eliminar els ions adsorbits amb l'objectiu de restaurar la capacitat d'adsorció de l'alúmina activada i eliminar els possibles biofilms que s'hagin format. Les fases són:

- Rentat a contracorrent: prop del final de la seva vida útil, el rebliment s'ha de rentar a contracorrent amb una expansió per sobre del 50% durant de 10 a 15 minuts per remoure el material suspès atrapat. D'aquesta manera, trenca l'empaquetament del rebliment i redistribueix el medi.
- Regeneració: tractament amb hidròxid de sodi (o sulfat d'alumini) per eliminar els ions fluorur i substituir-los per ions hidròxid.

Cal fer assaigs per determinar els criteris de disseny específics per eliminar els fluorurs i definir la concentració de NaOH, la dosi i el cabal: valors típics de concentració de NaOH varien en un nivell de 0,5-2%, i cabals de 0,56-6,7 l/s/m<sup>3</sup> per a 1-1,5 hores.

- Neutralització: una vegada s'ha rentat l'alúmina, el rebliment s'ha de retornar a una condició àcida perquè es puguin extreure els fluorurs i altres anions.

En primer lloc, cal un tractament amb un àcid per eliminar l'hidròxid de sodi residual i activar el medi. A continuació, un rentatge amb aigua potable o desmineralitzada i, com a etapa final, condicionament amb aigua per garantir que el filtre no té cap efecte sobre el contingut mineral total de l'aigua tractada.





## **FITXA núm. 6. Alúmina activada**

El procés de regeneració produeix una solució altament contaminant amb excés de fluorurs que s'ha de tractar convenientment abans d'eliminar-la en darrer lloc.

Els dispositius d'alúmina activada també acumulen gèrmens, per la qual cosa l'aigua tractada conté més gèrmens que l'aigua sense tractar. Per tant, sempre s'ha de dur a terme una desinfecció posterior.

### **7. Valoració**

Per al procés operatiu en sistemes a gran escala és necessari personal qualificat.

El procés és poc convenient des del punt de vista econòmic, ja que cal regenerar periòdicament el filtre d'alúmina. No obstant això, té una gran capacitat de remoció de contaminants.

També és fonamental tractar els residus adequadament. Aquesta disposició dels residus del procés de regeneració també és un problema inherent als processos d'intercanvi iònic. Els costos de tractament i disposició dels residus poden arribar a suposar una gran part del cost total de la planta de tractament de remoció de fluorurs.

### **8. Bibliografia**

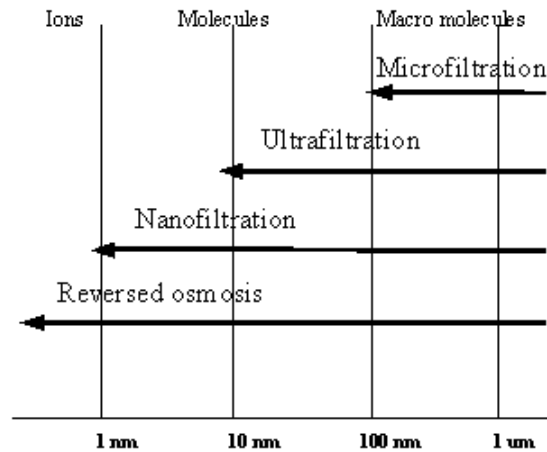
1. Aliota P, Celis M, Juarez D, Marli G, Ricciuti N, Salinas N, et al. Potabilización de aguas subterráneas: remoción de flúor. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional [Internet]. 2008 [Consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/Agua-potab\\_remoc\\_fluor.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/Agua-potab_remoc_fluor.pdf)
2. ENOHSa - Ente Nacional De Obras Hídricas de Saneamiento. Capítulo VIII-5. Remoción de flúor. [http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing\\_sanitaria/ENOHSa\\_Remocion\\_Fluor.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing_sanitaria/ENOHSa_Remocion_Fluor.pdf)
3. Muñiz, FJ. Calidad del agua. CONAGUA [Internet]. Mèxic DF, 17 de març de 2006 [Consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacq/e/foro4/17marzo/supply/calidad.pdf>

**Revisat per:** Amàlia Castelltort i Pilar Veciana

## FITXA núm. 7. Nanofiltració

### 1. Fonament teòric

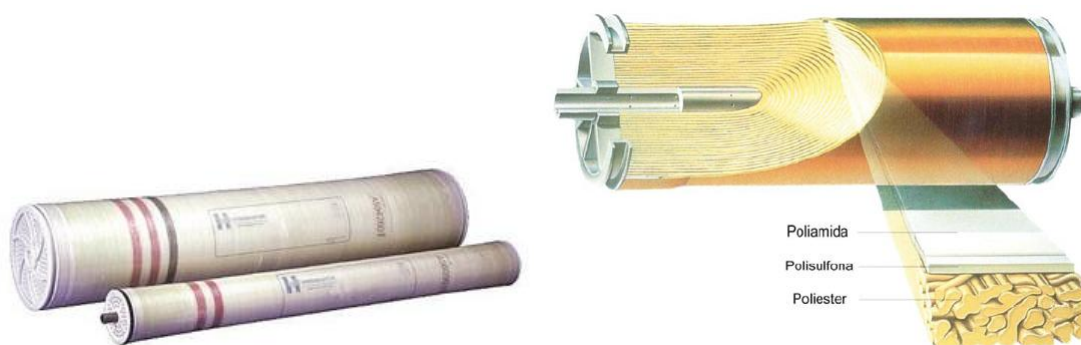
La nanofiltració és un model de filtració física, situada entre la ultrafiltració i l'osmosi inversa (OI), que utilitza membranes semipermeables amb una mida de porus aproximada equivalent a 0,001  $\mu\text{m}$ , és dir, un nanòmetre.



### 2. Descripció

La nanofiltració s'usa quan es requereix un refús d'ions di-, tri-, tetravalents sense que s'alteri el contingut dels monovalents. Això es deu a la permeabilitat superior de la nanofiltració als ions monovalents, motiu pel qual pot considerar-se com una membrana selectiva d'ions.

Solen ser membranes cargolades en espiral, formades amb diverses làmines de membrana plana al voltant d'una canonada central que subministra l'aigua que rebrà el tractament. Generalment estan fabricades amb poliamida (polipiperazinamida) com a capa activa, i de polisulfona i polièster com a capes de suport.



Quant al disseny, als fonaments i components per a la nanofiltració, se'ls aplica tot el que s'ha exposat per a l'osmosi inversa (*fitxa T3*).

### **3. Usos**

S'utilitza majoritàriament com a tractament principal d'aigües superficials per reduir el contingut de matèries orgàniques antropogèniques com ara plaguicides, matèria orgànica d'origen natural (àcids húmics), duresa total i sulfat de calci. No obstant això, també cal destacar la seva aplicació com a tecnologia de pretractament en plantes de dessalatge.

Dins dels últims desenvolupaments de la nanofiltració, s'hi troben les membranes selectives d'atrazines i de plaguicides en general, que tenen un gran camp d'aplicació en els tractaments d'aigua per a consum humà.

### **4. Eficàcia**

En funció del volum d'aigua que s'hagi de produir, la recuperació d'aigua aplicant un sistema de nanofiltració acostuma a situar-se entre el 55% i el 80%, amb un refús salí del 50% al 70%.

Com a característica diferencial del procés d'osmosi inversa, cal destacar que es refusen els ions divalents (90-98%) més selectivament que els monovalents (50-75%), les característiques més destacades dels quals són aquesta capacitat selectiva d'ions i el funcionament a pressió menor.

### **5. Limitacions**

A diferència de l'osmosi inversa, la nanofiltració no representa una barrera per a totes les sals dissoltes.

En funció del tipus de membrana i del tipus de sal, la permeabilitat pot ser més o menys elevada: si la permeabilitat a la sal és baixa, la diferència de pressió osmòtica entre els dos compartiments pot arribar a ser gairebé tan alta com en el cas de l'OI. D'altra banda, una permeabilitat alta de la membrana a la sal no donaria lloc al fet que entre els dos compartiments es mantingués una gran diferència de concentració salina. Per tant, la pressió osmòtica juga un paper menor si la permeabilitat a la sal és alta. Normalment, l'aigua que s'ha de tractar té ions monovalents i divalents i només aquests últims són poc permeables a la membrana, per la qual cosa la pressió que en conjunt s'ha d'aplicar és inferior que en el cas de l'OI.

Les principals limitacions, però, són iguals per a tots els sistemes de membranes i es poden agrupar en: generació de residus que poden arribar a ser considerats residus perillosos, descomposició de les membranes per presència de bacteris, pèrdua d'aigua per la generació de salmorra o aigua de refús i recreixement de bacteris.

### **6. Tractaments complementaris obligats**

De la mateixa manera que amb l'osmosi inversa, la nanofiltració requereix un pretractament de l'aigua d'entrada per evitar que les membranes s'obturin per partícules col·loïdals i per precipitació química sobre elles, causa que provoca aturades freqüents per netejar-la.

Així doncs, per augmentar la vida mitjana de les membranes, s'inclouen prefiltres o

## FITXA núm. 7. Nanofiltració

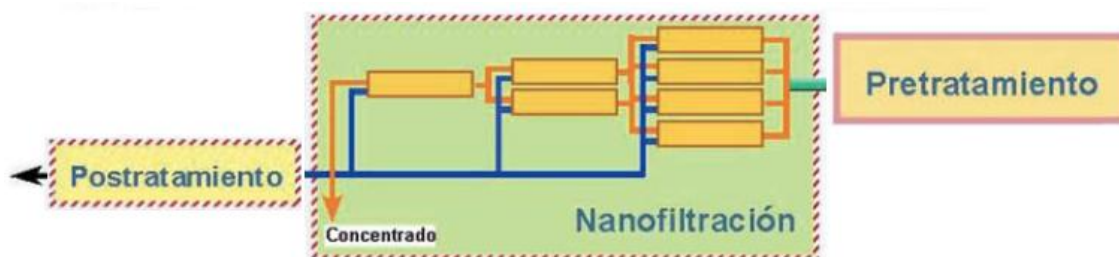
s'usa carbó actiu o coagulants com a pretractament. A més, aquests filtres són fàcils d'operar i mantenir quan es tenen índexs baixos de terbolesa, ja que, en cas que la terbolesa sigui elevada, els filtres es descomponen ràpidament i caldrà substituir-los a curt termini, per la qual cosa sovint s'utilitzen desinfectants químics per prevenir la descomposició i el rentat periòdic de la membrana.

La neteja de la membrana es duu a terme a contracorrent fent passar aigua o aire a pressió a través de la membrana per remoure els sòlids acumulats a la superfície de la mateixa membrana.

D'altra banda, atès que es remou una gran quantitat de substàncies dissoltes en l'aigua, inclosa l'alcalinitat (carbonats i bicarbonats), l'aigua adquireix característiques corrosives quan s'ha tractat amb aquest procés, per la qual cosa generalment es requereix l'addició d'algun àlcali per reduir aquest problema.

Posteriorment, sempre cal desinfectar correctament l'aigua.

Aquests sistemes produeixen també grans volums de solució concentrada (salmorra), que s'ha d'eliminar de forma adequada, ja que conté no només les sals de l'aigua bruta sinó també tots els compostos que s'utilitzen com a additiu. Actualment, les diferents solucions adoptades són: vessament directe a rius propers (molt comú, però poc recomanable perquè pot salinitzar-los), vessament al mar (pot afectar la diversitat biològica), injecció en aqüífers profunds (perillós per l'afectació d'aqüífers propers), instal·lació de basses d'evaporació per obtenir sal (cal una gran extensió, però és de les més adequades) i creació de col·lectors de salmorres que recullen el refús de diverses plantes de tractament (té un cost elevat, però sembla la solució més acceptable).



### 7. Valoració

Les tecnologies de membrana suposen un pas endavant en la filtració convencional aplicada tradicionalment en el tractament de l'aigua.

Com a resultat, la pressió elevada a què se sotmet l'aigua genera costos d'energia elevats, i això provoca un ús limitat d'aquesta tecnologia.

### 8. Bibliografia

1. Guerrero L, Sanz J. Nanofiltración aplicada a la eliminación de compuestos orgánicos de aguas superficiales con destino a consumo humano [Internet]. Vivendi Water Systems. [Consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: [http://www.veoliawaterst.es/vwst-iberica/ressources/documents/1/6211\\_nanofiltracion.pdf](http://www.veoliawaterst.es/vwst-iberica/ressources/documents/1/6211_nanofiltracion.pdf)

2. Leal MT. Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones [Internet]. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. [Consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a:  
[http://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/libro/04\\_Capitulo\\_04.pdf](http://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/libro/04_Capitulo_04.pdf)
3. Lenntech. Water Treatment Solutions. Nanofiltración [Internet]. [Consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://www.lenntech.es/nano-filtracion.htm>
4. Mourato Ph.D. Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable. ZENON Environmental Inc. Canadá. [Consultat el 30 de juliol de 2013]. Disponible a: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/fulltext/simposio/ponen15.pdf>

**9. Revisat per:** Amàlia Castelltort i Pilar Veciana