
6. INFLUÈNCIA DE LA CONTAMINACIÓ PER PRODUCTES ORGÀNICS EN LA POTABILITZACIÓ DE LES AIGÜES

Josep Rivera¹, Ignasi Espadaler² i Josep Caixach¹

La potabilització de les aigües respon a un seguit de necessitats de qualitat, entre les quals podem esmentar: *a*) la protecció de la salut dels consumidors pel que fa a la presència de gèrmens i de productes tòxics, cancerígens, etc.; *b*) el compliment de les normatives vigents (CEE 80/778 i BOE del 20 de setembre del 1990); *c*) l'obtenció d'un producte organolèpticament satisfactori (gust, olor, aspecte, etc.); *d*) la protecció de les instal·lacions (canonades, dipòsits de calç, etc.).

L'anàlisi de contaminants orgànics (MCO) en l'aigua té una problemàtica especial, ja que requereix la utilització d'unes tècniques instrumentals complexes a causa de la gran diversitat de compostos que poden afectar la qualitat de l'aigua destinada a consum humà. La introducció de noves tècniques d'anàlisi ha mostrat la presència d'un gran nombre de substàncies orgàniques. Aquestes són, en part, d'origen natural, i la resta d'origen antropogènic, a més a més de les que es produeixen durant els processos de tractament de plantes depuradores/potabilitzadores (cloració, ozonització, etc.). Aquest estudi s'ha realitzat principalment a partir de dos sistemes hidrològics diferents: el Ter i el Llobregat.

L'Agència de Protecció Ambiental nord-americana (EPA) i la Comunitat Europea han publicat unes llistes dels anomenats «contaminants prioritaris», descrits com a substàncies tòxiques o po-

1. Laboratori d'Espectrometria de Masses (CID-CSIC). Jordi Girona, 18-26, 08034 Barcelona.

2. Institut d'Estudis Catalans. Carrer del Carme, 47, 08001 Barcelona.

Aigua

tencialment tòxiques que cal estudiar i controlar en les mostres d'aigua. L'Estat espanyol es pronuncià en el mateix sentit mitjançant la publicació, en el BOE del 20 de setembre del 1990, de la «Reglamentación técnico sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público». En aquestes directrius s'estableix la regulació de compostos orgànics com els plaguicides (insecticides, herbicides, PCB, etc.), els hidrocarburs totals, els detergents i els hidrocarburs aromàtics policíclics —PAH—).

6.1. AIGUA POTABLE

L'aigua constitueix l'element més important del món mineral i biològic. És igualment el vector privilegiat de la vida i de l'activitat humana. Tenint en compte els usos domèstics, industrials i agrícoles, la consumició global d'aigua per habitant és de 100 m³/any en els països en via de desenvolupament i arriba als 1.500 m³/any en països tals com els Estats Units d'Amèrica. L'aigua que trobem a la natura sovint no és directament utilitzable per al consum humà ni per a la indústria, perquè no és suficientment pura. A causa de la seva circulació pel sòl o superfície de la terra, l'aigua es contamina i es carrega de substàncies en suspensió o en solució: partícules d'argila, residus de vegetació, organismes vius (plàncton, bacteris, virus), sals diverses (nitrats, clorurs, sulfats, carbonats de sodi, de calci, ferro, manganès...), matèries orgàniques (àcids húmics, fúlvics, residus de fabricació industrial, pesticides), gas. La presència d'aquestes diferents impureses implica el tractament de les aigües abans d'ésser utilitzades. Considerada sovint com un símbol de puresa, l'aigua constitueix un producte alimentari indispensable, i per tant ha de complir les normes més severes pel que fa a la seva qualitat. Així doncs, la producció d'aigua potable requereix una tecnologia puntera per tal d'obtenir els millors resultats en la depuració.

6.2. ORIGEN DELS CONTAMINANTS

D'una manera general, l'origen dels productes químics usualment presents en les aigües potables i en el seu abastament poden ser:

Contaminació i potabilització d'aigües

a) Substàncies que incideixen en la qualitat de les aigües abans del tractament.

a₁) Compostos presents d'una manera natural: productes minerals (calci, metalls pesants, etc.), productes de degradació de vegetals i de sediments, tals com els àcids húmics i fúlvics, i productes provinents d'altres organismes, tals com aminoàcids i proteïnes.

a₂) Contaminants procedents de fonts puntuals tals com: aigües residuals urbanes (detergents), efluent industrial (productes de síntesi, cianurs, metalls), emmagatzematge de residus (ions metàl·lics, clorurs, nitrats, nitrits, sulfats, productes orgànics sintètics, etc.).

a₃) Contaminants que provenen de fonts no puntuals: escurrim de terres agrícoles (fertilitzants, pesticides, materials húmics), d'àres urbanes (hidrocarburs aromàtics policíclics, asbestos), de l'atmosfera (partícules amb metalls, compostos orgànics clorats, etc.).

b) Substàncies afegides intencionadament.

b₁) Desinfectants: clor, ozó, cloramines, diòxid de clor i el seus derivats.

b₂) Coagulants i els seus coadjuvants: sulfats de ferro i d'alumini, silicats activats, polielectròlits sintètics i les seves impureses.

b₃) Ajustadors de pH.

b₄) Inhibidors de corrosió: diciclohexilamina, compostos N-nitrosos.

c) Substàncies afegides inintencionadament

c₁) Impureses en els productes per al tractament de l'aigua: hidrocarburs clorats en el clor, òxids de nitrogen en l'ozó, clorats i clorits en el diòxid de clor, monòmer d'acrilamida.

c₂) Formats en la desinfecció: trihalometans en la cloració, epòxids en l'ozonització.

c₃) Substàncies provinents dels sistemes de distribució i recobriment sintètics (tetracloroetilè), asbestos, monòmers de clorur de vinil, metalls, etc.

6.3. DIRECTRIUS

Les repercussions en la salut humana provocades per la presència de compostos orgànics en les aigües potables (fig. 1) es po-

Aigua

den contrastar amb els criteris de l'Agència Internacional per a la Investigació del Càncer (IARC) referents a la classificació de les substàncies químiques segons les seves implicacions sanitàries. La classificació és la següent:

GRUP 1: Compostos químics cancerígens per als humans (amb evidències suficients obtingudes a partir d'estudis epidemiològics).

GRUP 2: Compostos probablement cancerígens per als humans.

GRUP 2A: Evidència limitada per als humans.

<i>Compost</i>	<i>Risc de càncer^a</i>	<i>Càncer/100.000 persones^b</i>	
		<i>Consum A</i>	<i>Consum B</i>
dieldrin	$2,6 \times 10^{-4}$	52,0	416 (8)
heptaclor	$4,2 \times 10^{-5}$	8,4	
hexaclorobenzè	$2,9 \times 10^{-5}$	5,8	
DDT	$1,2 \times 10^{-5}$	2,4	
lindà	$9,3 \times 10^{-6}$	1,86	0,0186 (0,01)
β -BHC	$4,2 \times 10^{-6}$	0,84	
PCB	$3,1 \times 10^{-6}$	0,62	1,86 (3,0)
cloroform	$1,7 \times 10^{-6}$	0,34	124,0 (366)
acrilonitril	$1,3 \times 10^{-6}$	0,26	
bis(2-cloroetil)èter	$1,2 \times 10^{-6}$	0,24	0,1 (0,42)
1,2-dicloroetà	$7,0 \times 10^{-7}$	0,14	
clorur de vinil	$4,7 \times 10^{-7}$	0,094	0,94 (0,1)
PCNB	$1,4 \times 10^{-7}$	0,028	
percloroetilè	$1,4 \times 10^{-7}$	0,028	
tetraclorur de carboni	$1,1 \times 10^{-7}$	0,022	0,11 (5)
tricloroetilè	$1,1 \times 10^{-7}$	0,022	0,011 (0,5)

^a Risc de càncer (estimació superior al 95 %) per cada ppb de substància ingerida.

^b Consum A: Excés de càncers per cada 100.000 habitants, basat en la ingesta diària de 2 litres d'aigua que conté 1 ppb de substància (la dosi total per dia de substància és de 2 μ g).

Consum B: Excés de càncers per cada 100.000 habitants, basat en la ingesta diària de 2 litres d'aigua que conté la màxima concentració de substància (mostrada en μ g/L entre parèntesis) observada en aigües de beguda.

FIGURA 1. Risc estimat per la ingestió de contaminants orgànics en aigua.

GRUP 2B: Combinació d'evidència suficient en animals i dades inadequades en humans.

GRUP 3: El compost no es pot classificar com a cancerígen per als humans.

La presència de contaminants en el nostre entorn i de les seves implicacions en la salut es veu reflectit en el resum d'un informe elaborat pel National Cancer Institute (1978) de la Environmental Protection Agency (EPA). Aquest informe concloïa amb les dades següents:

1) En les aigües de beguda es troben correntment petites quantitats de productes amb capacitat cancerígena demostrable en els animals.

2) En alguns abastaments d'aigua han estat trobats diferents compostos amb capacitat cancerígena demostrable en els humans.

3) És possible que el càncer induït per l'exposició a petites quantitats de substàncies no es manifesti fins al cap de vint anys o fins i tot més tard; per tant, és difícilment relacionable amb una sola causa.

4) Una part de la població està exposada a uns riscos addicionals per raó d'altres factors, com poden ser malalties prèvies, exposició a d'altres productes o susceptibilitat genètica.

(Font: Organic Carcinogens in Drinking Water detection, treatment and Risk assesment. Neil M. Ram. John Wiley, 1986.)

Les autoritats sanitàries estableixen les característiques que han de tenir les aigües potables: quines substàncies i en quines concentracions hi poden ésser presents (fig. 2). La Directriu de la Comunitat Europea pel que fa a la qualitat de l'aigua per al consum humà (80/778/EEC), defineix seixanta-dos paràmetres, els seus valors límits i el seu control. Abasta totes les aigües per al consum humà (excepte les aigües minerals). Es desenvolupa en tres annexos:

Annex I. Definició dels seixanta-dos paràmetres agrupats en cinc grups:

A) Paràmetres organolèptics.

B) Paràmetres físico-químics.

C) Paràmetres que concerneixen substàncies indesitjables en quantitats excessives.

D) Paràmetres relatius a les substàncies tòxiques.

E) Paràmetres microbiològics.

Aigua

Annex II. Control dels paràmetres i freqüència.

Annex III. Mètodes d'anàlisi.

Cadascun d'aquests annexos comprenen els paràmetres següents:

ANNEX I

A) Paràmetres organolèptics

1. Color 2. Turbidesa 3. Olor 4. Gust

B) Paràmetres físico-químics

5. Temperatura 6. pH 7. Conductivitat 8. Clorurs
9. Sulfats 10. Sílice 11. Calci 12. Magnesi
13. Sodi 14. Potassi 15. Alumini 16. Duresa total
17. Residu sec 18. Oxigen dissolt 19. Anhidrid carbònic lliure

C) Paràmetres que inclouen substàncies indesitjables en quantitats excessives

20. Nitrats 21. Nitrits 22. Amoni 23. N (mètode de Kjeldahl)
24. Oxidabilitat 25. TOC 26. H sulfurat 27. Extr. CHCl₃
28. Olis minerals 29. Fenols 30. Bor 31. Tensioactius
32. Organoclorats 33. Ferro 34. Manganès 35. Coure
36. Zinc 39. Cobalt 40. Mat. en suspensió 41. Clor residual
42. Bari 43. Plata

D) Paràmetres relatius a les substàncies tòxiques

44. Arsènic 45. Beril·li 46. Cadmi 47. Cianurs
48. Crom 49. Mercuri 50. Níquel 51. Plom
52. Antimoni 53. Seleni 54. Vanadi 55. Plaguicides i similars

56. Hidrocarburs aromàtics policíclics

E) Paràmetres microbiològics

57. Coliformes totals
58. Coliformes fecals
59. Estreptococs fecals
60. Clostridis sulfitoreductors
61. Gèrmens totals en aigües de consum
62. Gèrmens totals en aigües condicionades

6.4. TRACTAMENT

Per tal de corregir els paràmetres de qualitat i ajustar-los als establerts per a l'ús de l'aigua com a potable, l'aigua es tracta en les plantes potabilitzadores. Fins fa uns anys, aquest tractament consistia en: precloració, coagulació-filtració, decantació, filtració per sorra i postcloració. Actualment, un procés complet consta de: preoxidació, coagulació-filtració, decantació, ozonització, filtració per carbó actiu i postcloració. Aquest és el sistema emprat a la planta potabilitzadora d'aigua del Llobregat, a Sant Joan Despí (fig. 2). Un tractament similar es du a terme a la planta potabilitzadora del Ter, a Cardedeu, però amb variacions (ozó, etc.) degudes a la diferent qualitat de l'aigua de cada riu.

Generalment, la potabilització comporta l'aplicació de diferents mecanismes físics per a l'extracció de compostos orgànics del aigua tals com: gravetat, centrifugació, magnetisme, tensió superficial, extracció per solvents, arrossegament per gasos, destil·lació, osmosi, adsorció, filtració, ultrafiltració, floculació i sedimentació. En l'eliminació de compostos orgànics intervenen mecanismes

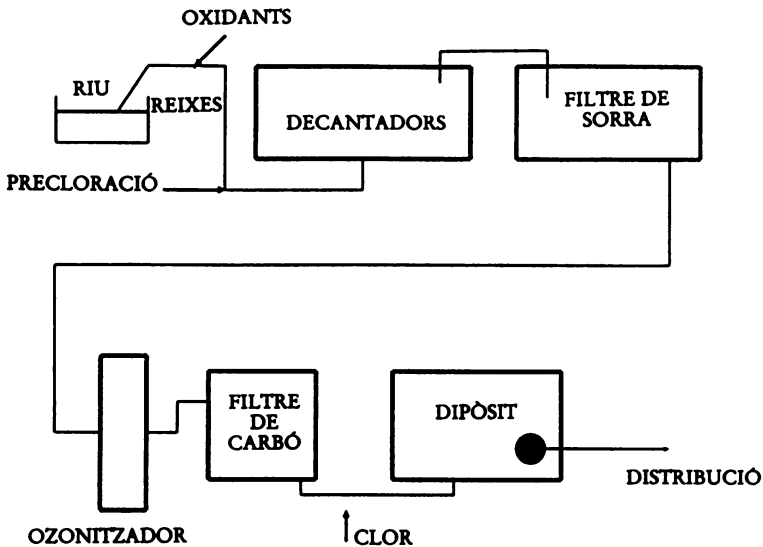
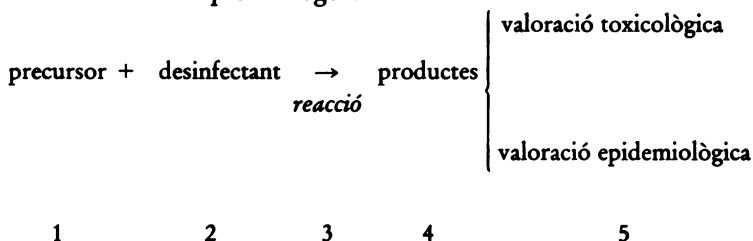


FIGURA 2. Esquema d'un procés complet dut a terme en una planta potabilitzadora.

Aigua

d'oxidació tals com: oxidació química, oxidació electrolítica i radiació UV.

8 El procés de tractament de l'aigua que s'ha de potabilitzar és, a la vegada, generador de nous compostos. Mitjançant la reacció entre els compostos existents a l'aigua crua (precursors) i el desinfectant (clor/ozó) provocarà l'aparició de nous productes, tal com es descriu en l'esquema següent:



Algunes característiques d'aquesta reacció són:

1) L'activitat mutàgena s'atribueix als subproductes de la reacció del desinfectant amb el material orgànic present en l'aigua. La seva estructura és actualment desconeguda.

2) Tots els desinfectants produeixen subproductes. En alguns casos se'n coneix l'estructura.

3) L'abast i la velocitat depenen de les característiques de l'aigua.

4) La identificació de subproductes és laboriosa.

5) L'impacte sobre el medi i sobre la salut dels subproductes no està encara ben establerta.

Finalment, un dels desinfectants més emprats per a la potabilització de l'aigua és el clor. El 1946 Green i Stumpf demostraren que el clor bloquejava l'activitat enzimàtica dels bacteris. El clor, a més a més de presentar una aplicació molt senzilla, té una persistència que permet de mantenir una certa concentració de clor residual en el sistema de distribució. No obstant això, a causa de la seva alta reactivitat, produeix, durant el procés de potabilització, uns productes indesitjables, tals com els THM, ja descrits per Rook el 1974. Per tal de minimitzar aquests inconvenients, cal optimitzar el procés de cloració, controlar la qualitat de les aigües crues, cercar noves alternatives de desinfecció mitjançant altres procediments físics (ultrafiltració, acció de radiacions ultraviolades) o químics (ozó, biòxid de clor, cloramines, sals de plata, altres halògens, peròxid d'hidrogen, permanganat potàssic, etc.). La figura 3 mostra

Contaminació i potabilització d'aigües

<i>Pesticida</i>	<i>Coagulació</i>	<i>Filtre de sorra</i>	<i>Clor</i>	<i>KMnO₄</i>	<i>GAC</i>
aldrin	±		+	+	+
endrin	±		-	-	+
dieldrin	±	±	-	-	+
heptaclor		±	-	+	
clordà					+
toxafè	-	-	-		
lindà	±	±	-	-	+
DDT	±	±	-	-	+
endosulfan	+	±			+
hexaclorobenzè		-			
paratió	-		+		+
malatió		+	+		
dimetoat		-	+		
metasistox		+			
2,4-D		-	-		+
2,4-diclorofenol			+		+
monuró		-			
diuró		-			

FIGURA 3. Eliminació de pesticides en els processos de tractament.

l'eliminació de pesticides en diferents processos del tractament.

D'altra banda, l'ús de l'ozó ja és una pràctica habitual en un gran nombre de plantes potabilitzadores d'Europa. És un poderós oxidant químic i un excel·lent agent desinfectant, superior al clor en eficàcia, sobretot com a viricida. A Catalunya s'empra en la planta de Sant Joan Despí (riu Llobregat), en un sistema que inclou ambdós desinfectants, el clor i l'ozó. Es produeix *in situ* per descàrrega en aire o oxigen secs. El processos de producció i de difusió estan ben resolts, però és un producte molt inestable; no són ben coneguts altres possibles productes formats per la seva acció i no és possible de mantenir un sistema de distribució amb ozó residual.

Els avantatges i els inconvenients de l'ús d'ambdós desinfectants, els podem descriure així:

Aigua

a) Avantatges i inconvenients de la utilització del clor en el procés de potabilització

Avantatges:

- el seu poder desinfectant és permanent durant la distribució
- elimina l'amoníac
- impedeix la formació d'algues i d'insectes en la planta
- elimina determinats gustos i olors
- elimina el color
- se'n pot disposar fàcilment i té un preu econòmic
- és un producte molt experimentat.

Inconvenients:

- no és totalment eficaç contra els virus
- en presència de fenols, pot donar clorofenols (olor i gust desagradables).
- pot donar lloc a la formació de trihalometans
- la manipulació és perillosa.

b) Avantatges i inconvenients de la utilització de l'ozó en el procés de potabilització de l'aigua

Avantatges:

- desinfecció ràpida i inactivació de virus
- microfloculació
- formació de substàncies orgàniques degradables
- augment de la polaritat
- transformació de substàncies resistents en substàncies biodegradables
- menys formació de tòxics que el clor.

Inconvenients:

- alt consum d'ozó per les substàncies orgàniques
- cost elevat d'instal·lació i operació
- disminució del pes molecular
- requereix una postcloració de seguretat
- control més difícil que el clor.

La tendència actual va dirigida a mantenir el clor com a garantia de desinfectant residual a la distribució, mentre la millora de la qualitat es confia a d'altres reactius com, per exemple, l'ozó.

VARIACIÓ EN ELS FOCUS D'INTERÈS DE L'ESTUDI DE LA QUALITAT DE L'AIGUA DE BEGUDA EN DIFERENTS CAMPS ANALÍTICS DURANT EL SEGLE XX

CANVIS EN L'ESFORÇ DE VIGILÀNCIA PER PART DELS SUBMINISTRADORS D'AIGUA EN LES AIGÜES CRUES, TRACTAMENT I DISTRIBUCIÓ

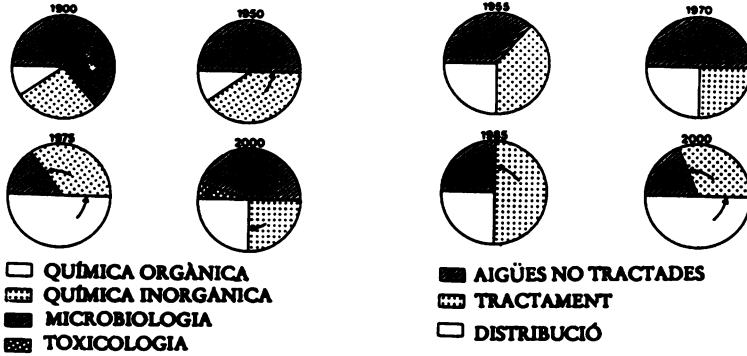


FIGURA 4. Variació dels focus d'interès en el procés de potabilització.

La figura 4 mostra la variació des de l'any 1955 fins al 2000 dels focus d'interès en el procés de potabilització de l'aigua en tres diferents camps: abastament/fons, tractament i distribució. També es presenta la variació en les anàlisis de compostos orgànics, inorgànics, microbiològics i toxicològics en el transcurs del segle XX.

BIBLIOGRAFIA

1. Directiu de la CEE relativa a la qualitat de les aigües destinades al consum humà. 80/778/CE, DOCE, L 229/11, (1980).
2. Reglamentación técnico sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público. Real Decreto 1138/1990, BOE, 226, (1990).
3. N. SALVATELLA. *Medi ambient, tecnologia i cultura*. núm. 2. Març del 1992. P. 16-23.
4. J. J. ROOK. *Journal Water Treatment and Examination*, 23, 234, (1974).

Aigua

5. J. A. COTRUVO. «Drinking water standards and risks assesment». *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 8, 228, (1988).
6. J. MALLEVIALLE i T. CHAMBOLLE. «La qualité de l'eau». *La Recherche*, 221, (1990), 598-606.
7. I. ESPADALER, J. CAIXACH, J. OM, F. VENTURA i J. RIVERA. *Tecnología del Agua*. 2.º monográfico 1990. 57-64.
8. GUARDIOLA, F. VENTURA, L. MATÍA, j. CAIXACH i J. RIVERA. «Gas chromatographic-mass spectrometric characterization of volatile organic compounds in Barcelona tap water». *Journal of Chromatography*, 562, (1991), 481-492. Biomedical Applications.