

Desinfecció d'aigües: a la recerca del mínim impacte

Narcís Salvatella

Químic

Cap del Laboratori General

Societat General d'Aigües de Barcelona

Des de fa poc menys de cent anys, el clor s'utilitza en la desinfecció d'aigües. Aquest element presenta diversos avantatges, però també té diversos inconvenients, com ara la seva reactivitat i les característiques organolèptiques desagradables. En aquest article s'analiza el paper del clor en la desinfecció de les aigües i la possibilitat d'utilitzar productes alternatius, com l'ozó o el biòxid de clor.

Introducció

L'home necessita l'aigua, que li cal per a les seves necessitats més elementals —sense aigua no hi ha vida— i també és imprescindible per a qualsevol activitat domèstica, agrícola o industrial.

Limitant-nos al camp de les aigües de consum, que rebem a les aixetes de casa nostra, és imprescindible que siguin potables, que les puguem utilitzar per beure, per cuinar, per rentar-nos, amb la seguretat que la seva qualitat és l'adient. Les autoritats sanitàries (1) (2) estableixen les característiques que han de tenir les aigües potables, quines substàncies i en quines concentracions hi poden ésser presents. Atès que les aigües naturals no acostumen a ajustar-se a aquestes exigències, cal tractar-les per corregir-ne la qualitat. Les aigües de distribució són avui un producte manufacturat.

Per satisfer les nostres necessitats d'aigua, la prenem d'algun punt del seu cicle. La captam del subsòl mitjançant pous, algunes aglomeracions urbanes l'agafen directament dels rius, hi ha qui recull la que cau de les teulades i l'emmagatzema en cisternes i, fins i tot, des de fa anys es fa servir l'aigua de mar com a matèria primera. En qualsevol d'aquests casos, l'aigua que prenem ja té la seva història, haurà estat en contacte amb l'atmosfera i el sòl i, atesa la seva gran capacitat de dissolució, haurà incorporat diverses substàncies, en solució o suspensió. A més a més d'aquestes substàncies que van a parar a l'aigua per mecanismes diguem-ne naturals, n'hi ha d'altres la presència de les quals es deu al fet que l'home, més o menys directament, les hi ha abocat.

L'aigua és, també, un bon medi on creixen i conviuen un bon nombre de microorganismes, alguns de patògens; és per això, que, abans de ser distribuïdes, les aigües de consum s'han de desinfectar per evitar que siguin una via de transmissió de malalties com la febre tifoide, la dissenteria, el còlera, les hepatitis víriques, les diarrees i altres infeccions més o menys greus.

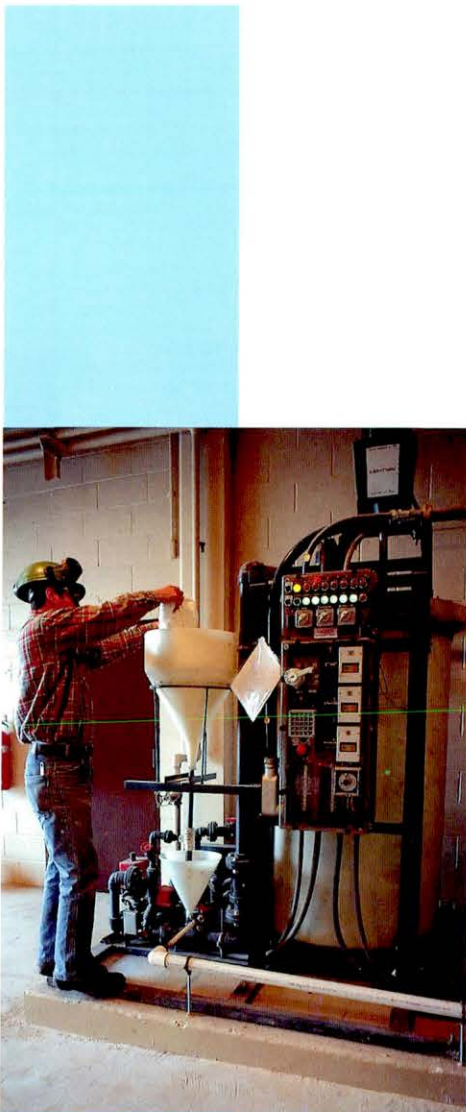
Avantatges

Durant molt de temps, poc menys de cent anys, (3) la desinfecció de les aigües ha estat confiada quasi exclusivament al clor, encara que el mecanisme de la seva actuació només és conegut d'ençà de la meitat d'aquest segle. Fou el 1946 quan Green i Stumpf (4) demostraren que el clor bloquejava l'activitat enzimàtica de les bacteries i que, concretament, ho feia destruint la triosafosfatodeshidrogenosa, necessària per produir l'oxidació de la glucosa. La fracció més activa del clor és l'àcid hipoclorós indissociat (HOCl) i sembla que aquesta eficiència germicida s'explica per la relativa facilitat amb què penetra la paret cel·lular, pel seu baix pes molecular i l'absència de càrrega elèctrica. A una provada eficàcia germicida, el clor afegeix una notable senzillesa d'aplicació —es pot dosificar en forma sòlida, líquida o gasosa— que el fa adequat per desinfectar tant l'aigua de la cantimplora d'un excursionista com la de l'abastament a una gran ciutat, força metres cúbics per segon.

Un altre aspecte positiu de la utilització del clor en el tractament de les aigües és el fet que, sempre que la dosificació sigui la correcta, la seva persistència en l'aigua permet mantenir una certa concentració de clor residual en tot el sistema de distribució residual, la qual cosa és molt convenient per evitar recreixements bacterians a la xarxa i, a més a més, és una exigència de la legislació vigent al nostre país. Hom disposa de mètodes analítics per quantificar la concentració de clor a l'aigua, això ens permet:

- Determinar la dosi de clor que necessita cada aigua
- Anticipar-nos els resultats de les anàlisis bacteriològiques, que són les proves analítiques que ens permeten saber si la desinfecció ha estat bona. Aquestes anàlisis exigeixen un temps, dotze hores com a mínim, i els abastaments no acostumen a disposar d'instal·lacions que permetin retenir tot aquest temps l'aigua tractada. La





Si bé el clor presenta força avantatges com a desinfectant de les aigües de consum, hem d'afegir tot seguit que els seus inconvenients no són pocs. Parlem d'un element d'una gran reactivitat i, encara que l'afegim a l'aigua per desinfectar-la, no podem evitar que reaccioni amb substàncies que aquesta conté i doni lloc a compostos indesitjables

desinfecció s'assegura programant i comprovant un temps de contacte i una concentració de clor superiors al que l'experiència i la bibliografia aconsellen per a una bona qualitat bacteriològica.

- Conèixer la concentració de clor residual en qualsevol moment en tots els punts del sistema de distribució.

Encara podem afegir que la cloració és un mètode de desinfecció d'un cost raonable i que l'experiència que avui es té de la seva utilització permet establir els sistemes de seguretat que la seva manipulació requereix.

Inconvenients

Si bé, com acabem de dir, el clor presenta força avantatges com a desinfectant de les aigües de consum, hem d'afegir tot seguit que els seus inconvenients no són pocs. Parlem d'un element d'una gran reactivitat i, encara que l'afegim a l'aigua per desinfectar-la, no podem evitar que reaccioni amb substàncies que aquesta conté i doni lloc a compostos indesitjables, per una raó o altra. De fet, és la concentració global d'aquestes substàncies presents a l'aigua, i mai el nombre de microorganismes que cal inactivar, el que condiciona les dosis de clor que cada aigua necessita per a una bona desinfecció. A l'aigua que es tracta amb clor per desinfectar-la, cal determinar-li un paràmetre molt important que es la *demanda de clor*, que es defineix com la quantitat de clor que cal afegir-hi per tal que, després de reaccionar durant un temps prefixat amb totes les substàncies presents, capaces de fer-ho, ens en quedi un petit excés. Aquest excés, de l'ordre d'entre 1 i 2 grams per metre cúbic, és el que ens assegurarà la desinfecció, ja que tindrà una persistència que anirà en funció de la temperatura i l'agitació. Contribueixen a la demanda de clor diverses substàncies orgàniques i inorgàniques d'origen natural o antropogènic: l'amoniac és molt sovint responsable de la demanda de clor però també en són les proteïnes, la urea, els aminoàcids, els

reductors inorgànics com el ferro II, el manganès II i els nitrits.

Les crítiques a la utilització del clor en el tractament de les aigües potables s'han concretat en dos tipus d'inconvenients que representen alguns dels seus productes de reacció.

- Característiques organolèptiques desagradables —els causants més coneguts són els clorofenols— que se sumen a les que ja comunica el clor *per ser*.

- Altres substàncies són sospitoses de nocivitat com els trihalometans (THM) concretament el cloroform, el diclorobromometà, el clorodibromometà i el bromoform, la presència dels quals a les aigües clorades fou assenyalada per Rook (5) el 1974. Els THM procedeixen de la reacció entre el clor i substàncies vàries que s'agrupen com a *precursors* i inclouen, entre altres, els àcids húmics i fúlvics. Les tècniques actuals de tractament de les aigües són de poca eficàcia en l'eliminació dels THM i és per això que més aviat s'intenta afrontar el problema evitant-ne la formació. Una dificultat addicional és que una bona part dels precursors són substàncies que procedeixen del sòl i de la descomposició de vegetals i s'han pogut identificar en aigües molt poc pol·luides, de capçalera fins i tot.

L'eficàcia desinfectant del clor depèn del pH ja que aquest condiciona la forma en què es troba el clor a l'aigua i, com s'ha indicat, la més activa correspon a l'àcid hipoclorós, que predomina a pH de la zona 5-7, més baix que el normal a les aigües naturals.

Alternatives

Els intents per limitar els inconvenients de la desinfecció per clor es concreten en tres línies sobre les quals s'està treballant (6) sobretot d'ençà de la posada en evidència del problema de la formació de THM:

1. Millora de la qualitat de les aigües crues, d'origen dels abastaments, un ob-

jectiu ben desitjable en qualsevol cas però que no sembla una solució definitiva, almenys en un termini curt.

2. Recórrer a altres procediments de desinfecció ja sia físics (ultrafiltració, acció de les radiacions ultraviolades) o per addició de reactius químics altres que el clor: ozó, biòxid de clor, cloramines, sals de plata, altres halògens, peròxid d'hidrogen, permanganat potàssic.

3. Optimització de la cloració, modificant les línies de tractament de potabilització per tal de limitar els inconvenients del clor, tot conservant-ne els avantatges.

De totes aquestes possibilitats, les que es consideren més seriosament en plantes d'una certa dimensió són les cloramines, l'ozó, el biòxid de clor i les radiacions ultraviolades. Les altres són d'aplicació en casos concrets:

- Desinfecció de les aigües de piscines amb brom; tractament amb ions de plata en casos d'emergència; algunes expedicions a zones endèmiques de dissenteria amebiana desinfecten les aigües amb iode per la seva eficàcia davant de les formes de resistència dels protozoos però mes aviat s'utilitzen per resoldre problemes puntuals de qualitat química:

- Peròxid d'hidrogen per eliminar el sulfur d'hidrogen.
- Oxidació de les sals de ferro i manganès amb permanganat potàssic.
- Eliminació d'atrazina —un pesticida nitrogenat— i altres substàncies refractàries com el pentacloroetà per combinació de l'ozó amb altres oxidants com el peròxid d'hidrogen o amb agents físics com les radiacions ultraviolades.

Les cloramines

El seu interès es basa en el fet que no formen THM i que tenen una bona persistència molt superior a la del clor.

Els inconvenients són el seu poder bactericida, més aviat modest, i les precaucions que cal prendre en la seva preparació, ja que és necessari aturar-se en la monocloramina i evitar que es formin di i

Els diferents desinfectants

Desinfectant

Clor

Cloramines

Ozó

Biòxid de clor

Radiacions ultraviolades

Avantatges

Versatilitat
Facilitat d'aplicació; mesura i control
Persistència
Economia

No origina THM
Persistència
Economia

Acció viricida
No origina THM
Millora les característiques organolèptiques
Destrucció de fenols
Independència del pH

Eficàcia
No origina THM
Persistència
Destrucció de fenols

Eficàcia
No origina THM
No modifica les característiques de l'aigua

Inconvenients

Formació THM
Olor i sabors desagradables
Eficàcia depenent del pH

Eficàcia modesta
Preparació crítica

No elimina l'amoniac
Absència d'acció residual
Cost

No elimina l'amoniac
Preparació complexa
Produeix clorits i clorats

Nul·la acció residual
Dificultat de determinació ràpida de l'eficàcia
No aplicable a aigües amb terbolesa



La desinfecció de les aigües de consum és una pràctica que no es pot abandonar sense posar en perill la salut de la població. Durant els darrers cent anys, la cloració ha suposat salvar moltes vides i frenar epidèmies

tricloramines, de sabor particularment desagradable. Aquesta exigència no és fàcil de satisfer ja que les cloramines es formen per reacció del clor amb amoníac i aquest darrer és un pol·luïdor de la majoria d'aigües crues, on la seva concentració pot tenir notables variacions.

La desinfecció amb cloramina es practica cada vegada més a l'Amèrica del Nord, sobretot en abastaments que disposen d'aigües crues amb continguts baixos de matèries orgàniques i punts de consum molt allunyats de les plantes de tractament. Alguns abastaments d'importantes ciutats europees, fins i tot espanyoles, també apliquen aquest desinfectant.

S'han fet assajos a escala de planta pilot (7) que han demostrat una acció sinèrgica entre les propietats desinfectants de la monocloramina i el peròxid d'hidrogen.

El biòxid de clor (ClO_2)

Té una bona acció desinfectant, independent del pH de l'aigua, i també una bona persistència, lleugerament inferior a la del clor.

S'ha utilitzat als EUA d'encà el 1940 per tractar problemes de sabors i olors, i després del coneixement del problema dels THM s'ha considerat una alternativa al clor per a la desinfecció.

No reacciona amb l'amoníac i si bé això fa que les quantitats a dosificar siguin inferiors a les del clor, no podem oblidar que la concentració d'amoníac a les aigües de consum no pot superar els 0,5 mg/l i, en conseqüència, quan se superi aquesta concentració caldrà eliminar-lo per altres mitjans.

Els productes de la seva reacció amb les substàncies presents a les aigües brutes són menys coneguts que en el cas del clor, però en alguns països es limiten les quantitats de ClO_2 dosificat per la formació de clorits i clorats.

És un bon oxidant del ferro i el manganès i destrueix els fenols; això el fa adequat com a preoxidant.

L'ozó (O₃)

Aquest gas, un poderós oxidant format per tres àtoms d'oxigen, començà a utilitzar-se en el tractament de les aigües de consum una mica més tard que el clor i ara el seu ús està molt estès a l'Europa Occidental, sobretot a França i Suïssa. És un excel·lent agent desinfectant, superior al clor en eficàcia, sobretot com a viricida, i sembla que actua a nivell de la membrana bacteriana, per destrucció dels dobles enllaços dels lípids.

Es produeix *in situ* per descàrrega en aire o oxigen secs; els seus problemes de producció i difusió estan ben resolts i els subproductes de la seva aplicació a l'aigua susciten menys preocupació que els del clor. Per contra, és extremament inestable i per tant, no és possible mantenir un sistema de distribució amb ozó residual. Això fa que, ara per ara, no es pensi en l'ozó per substituir el clor com a desinfectant tret d'aquells casos en què la pràctica absència de matèria orgànica biodegradable ja impossibilita la reviviscència microbiana i fa innecessària la presència d'un desinfectant residual.

A més de un bon desinfectant, l'ozó és un poderós oxidant químic i això fa que el seu camp d'aplicació al tractament de les aigües de consum sigui molt ampli:

- Control d'olors i sabors desagradables.
- Eliminació del color.
- Oxidació de sulfurs.
- Eliminació de ferro i manganès.
- Destrucció de fenols.
- Disminució del contingut de precursors dels THM i, en general, del contingut global de matèria orgànica.

Els procediments físics de desinfecció

Són, en general, més nets que els químics. En aquests, el fet d'incorporar un agent químic estrany (sigui clor, biòxid de clor, ozó, cloramina o altres) al medi aquós sempre representa un risc que en reaccionar amb els components de les ai-

gües naturals es formin substàncies que presentin algun tipus d'inconvenient. Els mètodes físics de desinfecció (radiacions ultraviolades (UV) i ultrafiltració) no modifiquen la composició química de l'aigua, i la seva aplicació és indicada per a la desinfecció d'aigües per a la indústria alimentària, farmacèutica i cosmètica que necessiten aigua molt pura.

L'acció germicida de las radiacions ultraviolades es basa en el fet que indueixen un canvi en les estructures dels àcids nucleics amb un efecte mortal directe. Els raigs s'obtenen mitjançant làmpades de mercuri de baixa pressió.

Les aigües que es vulgui desinfectar amb radiació UV han d'estar lliures de matèria en suspensió; altrament, el rendiment seria molt baix. La ultrafiltració consisteix a



La idea de modificar les línies de tractament per optimitzar la cloració es fonamenta en una afirmació ben senzilla i poc discutida: «La cloració d'una aigua de bona qualitat dona molt pocs problemes.» Com més pura es una aigua menys subproductes de la cloració es formaran



● Esquema d'una planta de tractament d'aigües de consum segons les tendències actuals



separar físicament els microorganismes per la seva grandària eliminant-los posteriorment amb algun dels mètodes esmentats.

Un inconvenient greu d'aquests dos tipus de desinfecció és que, encara que l'aigua quedi ben desinfectada, estarà desprotegida atesa la impossibilitat de deixar un residual. Una altra greu mancança és que no es pugui conèixer amb rapidesa si la desinfecció ha estat eficaç, informació que en el cas d'alguns agents químics (clor, diòxid de clor, cloramina) ens és anticipada per la presència de residual després d'un temps de contacte prefixat.

Evolució de les línies de tractament

La idea de modificar les línies de tractament per optimitzar la cloració es fonamenta en una afirmació ben senzilla i poc discutida: «**La cloració d'una aigua de bona qualitat dona molt pocs problemes.**» Com més pura es una aigua menys subproductes de la cloració es formaran i s'ha dit abans que és aquí on rauen els inconvenients de la utilització del clor en la desinfecció. El terme puresa no s'ha d'entendre aquí referit a la salinitat, la duresa, l'absència de tòxics o poques bacteries, sinó a aquelles característiques físico-químiques (terbolesa, amoníac i, en general, substàncies químiques que contribueixen

a la demanda de clor) o d'altres que, si bé la seva contribució a la demanda és irrelevant, la seva presència origina subproductes indesitjables ja a concentracions molt baixes —és el cas dels fenols i els precursors dels trihalometans.

La tendència actual en els treballs d'investigació aplicada de tractaments de potabilització i les proves a escala de planta pilot van dirigides, no a eliminar el clor de les línies de tractament, sinó a reservar-lo per a la desinfecció pensant en la seva eficàcia i el notable avantatge que representa la possibilitat de mantenir-ne un residual al llarg de la distribució.

La millora de la qualitat, prèviament a la desinfecció, es confia a altres reactius —biòxid de clor, ozó, permanganat potàssic—, a l'activitat biològica i a mitjans físics com la decantació, la filtració i l'adsorció.

Els tractaments biològics

Estan molt en la línia de la tendència que caracteritza la vida moderna: aprofitar els mecanismes naturals en contraposició amb als processos químics, que s'apliquen, però, sempre que calgui.

Un exemple ben senzill és la nitrificació. Una substància molt sovint responsable de les altres demandes de clor d'algunes aigües és l'amoníac; ara bé, l'amoníac es

pot oxidar a nitrat per l'activitat d'unes bacteries —nitrosomonas i nitrobacter— sempre que es donin les condicions favorables a la seva acció: absència de tòxics, disponibilitat d'un suport que faciliti la colonització, un pH adequat i suficient oxigen ja que són bacteries aeròbies. No s'ha de veure un contrasentit a pensar d'eliminar un problema —presència d'amoníac— transformant-lo en nitrat, una substància de concentració creixent a les aigües de consum i motiu de gran preocupació sanitària. És una qüestió d'escala, la majoria de normes sanitàries situen en 50 mg/l la concentració de nitrats que no s'ha de sobrepassar en les aigües potables i, en canvi, tant la Directriu Comunitària com la legislació espanyola consideren que les aigües superficials destinades a la producció d'aigua potable no poden tenir més de 4 mg/l d'amoníac. Una bona combinació per al tractament biològic és l'ozonització seguida de filtració per carbó actiu. Ja hem comentat que, tot i ser un bon desinfectant, veiem més clara la utilització de l'ozó com a agent químic i també hem citat alguns dels problemes de tractament pels quals és una bona opció.

També s'ha assenyalat (8) que el tractament amb ozó d'aigües amb àcids húmics sense posterior eliminació dels productes d'oxidació afavoreix el creixement mi-

crobià, ja sia a la planta ja sia al sistema de distribució. Això es deu al fet que l'acció de l'ozó passa els àcids húmics a substàncies més fàcilment assimilables. És, així, molt convenient que l'ozonització vagi seguida d'una filtració per carbó actiu que eliminarà aquestes substàncies biodegradables mitjançant la intensa activitat biològica que es desenvolupa al seu si.

Les plantes de tractament

Fa uns anys consistien a grans trets en: Precloració; Coagulació-Floculació, Decantació, Filtració per sorra i Postcloració però han anat evolucionat; s'hi han introduït canvis de manera que es van assemblant a aquest esquema: Preoxidació, Coagulació-Floculació, Decantació, Filtració per sorra, Ozonització, Filtració per carbó, Postcloració.

Veiem que no hi figura la precloració, i que es confia l'eliminació de l'amoniac a l'activitat biològica, als decantadors i als filtres. Fa falta, però, afegir algun reactiu que oxidi, abans de la filtració, els possibles ferro i manganès a les respectives formes insolubles i, al mateix temps, una preoxidació és beneficiosa quan hi hagi problemes d'algues conseqüència l'entrotització.

Com a reactius per a la preoxidació es recorre al diòxid de clor, al permanganat potàssic —en el cas d'aigües que tenen bona qualitat orgànica però presenten problemes de ferro i/o manganès—, i sobretot a l'ozó.

Conclusió

La desinfecció de les aigües de consum és una pràctica que no es pot abandonar sense posar en perill la salut de la població. Durant els darrers cent anys, la cloració ha suposat salvar moltes vides i frenar epidèmies. Són molt nombrosos els estudis realitzats, encara que fins fa uns vint anys no s'han començat a establir els primers arguments científics qüestionant-ne l'aplicació. Això ha representat que es re-

corre a altres reactius o procediments que si en alguns aspectes són superiors al clor en altres els seus inconvenients poden ser molts.

El desinfectant ideal no s'ha trobat encara, mentrestant, quin és el millor? Cada abastament haurà de decidir quin aplicar en funció de la informació disponible, les particularitats de la qualitat de l'aigua, la seva variabilitat i el tipus de xarxa ●

Notes

1. Directive du Conseil relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. 80/778/CE, D.O.C.E, L 229/11, 1980.
2. Reglamentación Técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público. R.D. 1138/1990, B.O.E., 226, 1990.
3. White, G.C. *Handbook of Chlorination*. 2a. ed. Nova York: Van Reinhold Company, 1986.
4. Green D.E; Stumpf, P.K. *The Mode of Action of Chlorine*, *J. Awwa*, 38, 1301 (1946).
5. Rook, J.J. *Journal Water Treatment and Examination*, 23, 234 (1974).
6. Rapinat, M. «Récents développements de l'ozonation et des substituts à la chloration», *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 137, 45 (1990).
7. Germonpre, R.; Redant N. «La desinfection de l'eau de distribution par le couplage monochloramine/peroxyde d'hydrogène», *Atelier International sur la desinfection de l'eau*, IWSA, Mulhouse (France), 1986.
8. Hisvirta, L.O. «Problems of Disinfection of Surface Water with a High Content of Natural Organic Material», *International Workshop on Water Disinfection*, IWSA. Mulhouse (France), 1986.