

Els aiguamolls construïts: una tecnologia sostenible per a l'eliminació de fàrmacs i productes d'higiene personal d'aigües residuals domèstiques

Víctor Matamoros i Josep M. Bayona

Departament de Química Ambiental IIOAB-CSIC

Aquest treball dona una perspectiva general de la problemàtica dels fàrmacs i productes d'higiene personal en el medi aquàtic, així com de l'ús d'aiguamolls construïts per tal d'eliminar-los de les aigües residuals. Així doncs, s'analitzen diferents tipus d'aiguamolls, i es busquen els més eficients a l'hora d'eliminar aquests compostos. Després de l'experiència assolida en diferents estudis duts a terme a Catalunya i Dinamarca, s'observa una relació positiva entre l'eliminació de contaminants i la concentració d'oxigen dissolt a l'aigua residual, i s'arriba a la conclusió que els sistemes de flux vertical (aerobis) són els més eficients. A més, es posa de manifest la importància dels macròfits (*Phragmites* sp.) per tal d'eliminar aquests compostos, a causa de l'augment de la transferència d'oxigen i la proliferació de biofilm en els rizomes. Finalment, es presenta l'estat d'implantació d'aiguamolls construïts a Catalunya.

This work is focused on the use of constructed wetlands (CWs) for domestic wastewater treatment, paying attention on pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) removal. PPCPs and CWs are described and their performance discussed in terms of PPCP removal. Following different case studies carried out in Catalonia and Denmark, a positive relation between the dissolved oxygen concentration in the CW effluent and the PPCP removal was obtained. Moreover, the enhancement of PPCP removal due to oxygen transfer and biofilm proliferation in the CWs planted with macrophytes (*Phragmites* sp.) was described. Finally, the experience about the use of CWs for wastewater treatment of small communities in Catalonia is presented.

Aiguamolls construïts

La construcció d'aiguamolls artificials per al tractament d'aigües residuals es basa en l'aprofitament de l'elevada productivitat dels sistemes naturals quant al reciclatge de carboni, i es dissenyen per fer-los fins i tot més eficients que els naturals.

D'entre totes les definicions que hom pot trobar a la literatura sobre els aiguamolls construïts, caldria esmentar la feta per Cole [1] a causa de la seva funcionalitat: «Els aiguamolls construïts són sistemes de tractament d'aigües residuals que consisteixen en llacunes poc profundes, llits o basses que contenen vegetació emergent, arrelada o flotant.»

L'ús d'aiguamolls construïts per al tractament d'aigües residuals té els seus inicis a l'Institut Max Planck d'Alemanya prop de la dècada dels seixanta de la centúria anterior amb els estudis duts a terme per Seidel i Kickuth (1976). A partir d'aquesta primera aproximació John i Bob Kadlec van estendre als anys setanta la seva investigació als Estats Units [2]. A partir d'ençà, aquesta tecnologia s'ha anat estenent arreu del planeta. Actualment existeixen milers d'instal·lacions en funcionament.

Pel que fa a la Unió Europea, els aiguamolls construïts són molt adients de cara al compliment de la Directiva europea 91/271, la qual va establir que tots els estats membres haurien d'haver garantit la depuració de les aigües residuals urbanes de totes les poblacions de menys de dos mil habitants abans del desembre del 2005. Així doncs, aquests sistemes han sorgit com una alternativa a les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) convencionals per a petites comunitats.

Classificació

Els aiguamolls construïts es poden classificar segons l'esquema que es mostra a la figura 1. En primer lloc es poden diferenciar dos grans grups tenint en compte el tipus de flux de l'aigua: aiguamolls de flux superficial (SF, *surface flow*), on hi ha contacte directe de la làmina d'aigua amb l'atmosfera, i aiguamolls de flux subsuperficial (SSF, *subsuperficial flow*), on l'aigua circula per sota de la superfície i no hi ha contacte directe d'aquesta amb l'atmosfera. Dintre d'aquest últim grup s'hi poden trobar sistemes de flux horitzontal (HF, *horizontal flow*) i sistemes de flux vertical (VF, *vertical flow*). Finalment, i com un últim grup, apareixen els sistemes plantats amb salzes (WS, *willow systems*) desenvolupats els últims anys al nord d'Europa. Cal destacar la manca d'efluent d'aquests últims sistemes.

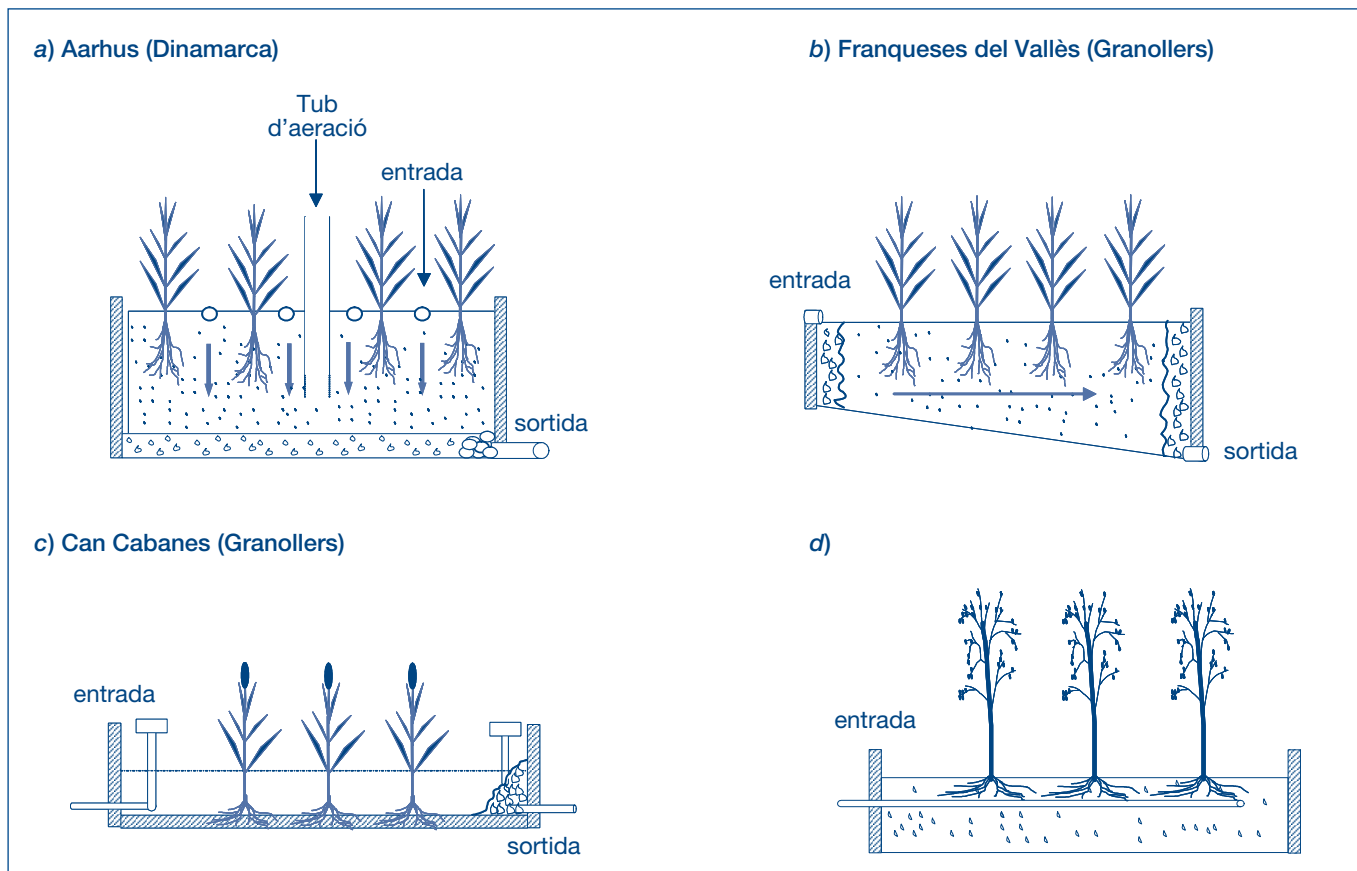


FIGURA 1. Classificació típica dels aiguamolls construïts: a) flux vertical (VF), b) flux horitzontal (HF), c) flux superficial (SF) i d) sistemes de salzes. Les fletxes indiquen la direcció del flux.

Avantatges i inconvenients dels aiguamolls construïts

Tal com queda palès a l'estudi realitzat per Garcia i col·laboradors [3], hi ha una sèrie d'avantatges i inconvenients que sorgeixen a l'hora de comparar aquests sistemes amb EDAR convencionals.

AVANTATGES

- El baix cost d'explotació i el baix consum energètic que requereixen.
- La baixa producció de residus, només es generen fangs en el decantador primari instal·lat abans dels aiguamolls.
- L'impacte ambiental és molt reduït i molts cops resulta fins i tot beneficiós, poden recuperar zones humides (com a exemple l'estany Europa, als aiguamolls de l'Empordà) i in-

crementar la biodiversitat al mateix temps que s'integren en el paisatge.

INCONVENIENTS

- La necessitat d'àrees superficials molt més grans.
- La dificultat d'arribar a un compromís entre el disseny i el tipus d'aigua residual. Les aigües residuals i les condicions ambientals no són totes iguals; els paràmetres de disseny que són òptims en unes latituds en d'altres poden no ser-ho.
- El reblliment del sistema pot tenir efectes negatius durant el període d'explotació.
- La dificultat a redissenyar el sistema en cas que la seva eficiència no sigui l'esperada.

Tot i això, es considera com la tecnologia disponible més adequada per al tractament d'aigües residuals urbanes de petites poblacions.

Fàrmacs i productes d'higiene personal

En l'última dècada s'han començat a estudiar els efectes que els fàrmacs i els productes d'ús personal poden tenir al medi ambient. Aquesta aproximació ha estat possible gràcies a dues premisses. La primera d'elles és l'elevat consum que s'ha anat produint d'aquests compostos al llarg dels últims anys, i la segona fa referència al desenvolupament de tècniques analítiques que han pogut fer factible l'anàlisi d'aquests compostos a nivells traça en el medi aquàtic.

L'ús dels fàrmacs s'ha estès dràsticament des que al segle passat Alexander Fleming descobrí la penicil·lina. Actualment existeixen una gran diversitat de fàrmacs i productes d'ús personal. La taula 1 recull alguns dels compostos que hom pot trobar en el medi ambient. Des de l'ibuprofèn, analgèsic per excel·lència en els inicis del nou mil·lenni, fins a la cafeïna, distribuïda àmpliament per tot el globus terrestre com a estímulant des de temps immemorials.

A més, s'ha de sumar la presència de compostos d'ús personal, d'ús molt més estès. Per exemple, als inicis dels anys noranta, el consum era de 550.000 tones només a Alemanya [4]. L'ús de les fragàncies, s'ha incrementat en els darrers anys. Així, la galaxolida i la tonalida formen part de les fragàncies més emprades i s'ha estimat que anualment a Europa se n'utilitzen més de 2.000 tones [5].

Un cop els fàrmacs són ingerits i han desenvolupat la seva funció a l'organisme, són eliminats, ja sigui directament sense cap modificació, o a través de l'òrgan de destoxicació per excel·lència, el fetge. En ell es produeix la biotransformació d'una part dels fàrmacs, bé sigui per oxidació, reducció, hidròlisi o conjugació (àcid glucurònic, sulfats d'èter, acetilacions, conjugació amb glicocols o metilacions). Les vies d'eliminació poden ser bé pulmonars (això es dona per als fàrmacs més volàtils), renals, o a través del tub digestiu [6]. Finalment, sigui per la via que sigui, aquests compostos acaben al clavegueram i d'aquí a les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) i al medi, on romandran més o menys temps en funció de la seva recalcitrància a la degradació. Les concentracions varien entre desenes de ppb a l'aigua residual fresca (taula 1) fins a centenars o desenes de ppt en rius i rieres [7] [8]. Cal destacar la detecció d'aquests compostos en aigües de begu-

da [4], així com al mar del Nord on s'ha identificat l'àcid clofibrilic [9].

Entre els productes d'higiene personal, com ja s'ha comentat, la galaxolida i la tonalida es troben entre els més estesos. Aquests compostos tenen una alta hidrofobicitat (taula 1), amb valors de la constant octanol aigua (K_{ow}) semblant a la dels pesticides organoclorats i dels bifenils policlorats (PCB). Això possibilitaria la seva bioacumulació, per exemple en els teixits lipídics de les truites criades en llacunes d'estabilització [10].

El conjunt d'aquestes molècules (fàrmacs i productes d'higiene personal) s'inclouen dintre del grup dels contaminants emergents i són objecte d'un estudi exhaustiu a causa de no tant la seva toxicitat i recalcitrància a la degradació, ja que aquestes en general són baixes, sinó de la seva contínua aportació al medi. Tot plegat fa que se'ls consideri com a compostos pseudopersistents, i poden arribar a causar efectes en el medi que tot just ara es comencen a conèixer [11]. Per exemple, l'efecte disruptor endocrí ja ha estat demostrat, a nivells de ng/L, per a compostos com l'etinilestradiol contingut en els anticonceptius orals [12]. A més, s'han de considerar els efectes interactius —incloent additivitat, antagonisme i sinergia— que poden incrementar o decreixer els efectes potencials en el medi ambient [13]. Per exemple, un estudi dut a terme per Cleuvers i col·laboradors [14] demostra que la toxicitat causada per una mescla de diferents analgèsics (mitjançant el test de toxicitat de *Daphnia magna*) és més elevada que la que s'esperaria per la simple addició dels efectes dels fàrmacs antiinflamatoris individuals.

En relació amb els productes d'higiene personal, aquests efectes adversos han estat demostrats a través de les fragàncies abans descrites, aquestes donen lloc a la inhibició dels transportadors de resistència a xenobiòtics (MXR, *multixenobiotic resistance*) [15]. Així doncs, els organismes que viuen sota aquesta pressió podrien ser més sensibles a la presència de tòxics que no els que no hi estan sotmesos.

Un cop feta aquesta breu introducció als aiguamolls construïts i als contaminants emergents, el present treball té com a objectiu donar a conèixer les possibilitats d'aquests sistemes a l'hora d'eliminar aquests contaminants de les aigües residuals. Per això es compararan aiguamolls de diferent configuració: flux horitzontal, superficial i vertical.

TAULA 1. Estructures, propietats fisicoquímiques i concentracions de fàrmacs i productes d'higiene personal.

Nom comercial/CAS	pka	log Kow	Aigua residual fresca ($\mu\text{g L}^{-1}$)*	Funció	Estructura
Ibuprofèn 15687-27-1	4,31	3,97	3,70	Analgèsic/antiinflamatori	
Carboxiibuprofèn	—	—	—	Metabòlit de l'ibuprofèn	
Hidroxiibuprofèn 51146-55-5	—	—	—	Metabòlit de l'ibuprofèn	
Naproxèn 22204-53-1	4,2	3,18	3,28	Analgèsic/antiinflamatori	
Ketoprofèn 22071-15-4	4,45	3,12	0,60	Analgèsic/antiinflamatori	
Diclofenac 15307-86-5	4,2	4,51	3,02	Analgèsic/antiinflamatori	
Àcid salicilic 69-72-7	3,5	2,26	57,0	Metabòlit de l'àcid salicilic	
Cafeïna 58-08-2	—	0,16	230	Estimulant	
Metildihidrojasmonat 24851-98-7	—	3,0	4,48	Fragància	
Galaxolida 1506-02-1	—	5,7	2,89	Fragància	
Tonalida 1222-05-5	—	5,9	1,37	Fragància	

* Recull de dades de diferents EDAR.

Cal comentar que, tot i haver-hi molta recerca al voltant de l'eliminació d'aquests compostos en EDAR convencionals,

aquesta és molt reduïda en aiguamolls construïts, i és el present treball pioner dintre d'aquest camp.

Comportament dels compostos emergents en aiguamolls construïts

EL PAPER DE L'OXIGEN EN L'ELIMINACIÓ DE CONTAMINANTS

Pel que fa a l'eficiència d'eliminació de la majoria de fàrmacs i productes d'higiene personal en els aiguamolls construïts, aquesta va estretament lligada a la quantitat d'oxigen present en aquests i, per tant, a les vies metabòliques predominants en cada cas. Aquesta premissa ve recolzada per diferents experiments duts a terme en aiguamolls construïts de Catalunya i Dinamarca.

El primer d'aquests estudis compara dos aiguamolls de flux horitzontal, preferentment anaerobis, amb diferents profunditats de la làmina d'aigua (0,27 m i 0,5 m). Les concentracions d'oxigen dissolt a la sortida, als dos sistemes eren inferiors a 1 mg/l, no obstant això, les eficiències d'eliminació de contaminants emergents, en general, van resultar ser més elevades a l'aiguamoll més som que al més profund (taula 2). La principal diferència entre els dos sistemes rau en les rutes metabòliques que hi tenen lloc; el sistema més profund amb condicions típicament anaeròbiques, té la sulfatoreducció com a ruta principal a l'hora d'eliminar la matèria orgànica (o sigui, utilitza el sulfat com a acceptor d'electrons). En canvi, en el sistema som coexistien les vies sulfatoreductives amb les de nitrificació, la qual cosa dona a entendre que dintre de l'aiguamoll som hi ha certa presència d'oxigen. No obstant això, aquest és emprat ràpidament per a la formació de nitrats i per això no és detectat a la sortida. Així doncs, aquests primers resultats mostren la importància de l'oxigen per eliminar aquests tipus de compostos.

Més endavant es confirmarien aquestes teories mitjançant el mostreig en aiguamolls de flux superficial, sistemes estrictament aerobis, i en els quals s'esperaren altes eliminacions tal com es mostra a la taula 2 (SF). No obstant això, i a causa de l'elevat temps de residència dels compostos en aquest sistema (un mes de terme mitjà) no es poden fer afirmacions estrictes i comparatives amb els sistemes anteriors, amb un temps de residència inferior a una setmana.

TAULA 2. Percentatges d'eliminació de fàrmacs i productes d'higiene personal en aiguamolls de flux horitzontal, flux vertical i flux superficial. Comparativa amb EDAR.

Compostos	HF		VF	SF	Filtre de sorres	EDAR
	0,50 m	0,27 m				
Fàrmacs						
Àcid salicílic	77	92	98	–	98	99
Ibuprofèn	17	71	98	96	90	60-70/90
OH-ibuprofèn	20	67	99	–	85	95
CA-ibuprofèn	25	94	99	–	95	95
Naproxèn	47	85	88	91	80	40-55/66
Diclofenac	0	0	73	96	76	9-75/17
Ketoprofèn	0	0	–	99	–	48-69
Cafeïna	85	94	99	–	98	99
Àcid clofibríic	0	0	–	36	–	34/51
Carbamazepina	26	16	–	29	–	7/8
Compostos d'higiene personal						
Metildihidrojasmonat	61	99	99	–	98	98
Galaxolida	80	85	83	90	80	70-85/89
Tonalida	87	87	73	87	70	75-89/88
Oxigen dissolt (mg/L)	1	1	9	10	6	–

HF: aiguamoll horitzontal de flux subsuperficial (les Franqueses del Vallès, Granollers); VF: aiguamoll vertical de flux subsuperficial (Aarhus, Dinamarca); SF: aiguamoll de flux superficial (Can Cabanes, Granollers); EDAR convencionals de llots activats situades a Espanya, Alemanya i Brasil.

Per tal de testimoniar la importància que l'oxigen té en l'eliminació d'aquests compostos es va realitzar el mostreig en aiguamolls construïts de flux vertical (estricteament aerobis), amb un temps de residència al voltant d'hores. A la taula 2 es mostren les elevades eliminacions que presenten els sistemes de flux vertical (VF) en relació amb els sistemes horitzontals. Aquesta diferència rau, novament, en la diferència de rutes metabòliques d'ambdós sistemes. Als sistemes verticals les vies aeròbiques són predominants. Tal com es coneix, les rutes aeròbiques, en general, són més eficients a l'hora de degradar la matèria orgànica que les anaeròbiques (sulfatoreducció, metanogènesi, desnitrificació, etc.) i sembla que també ho serien a l'hora d'eliminar els contaminants emergents.

LA IMPORTÀNCIA DE LA VEGETACIÓ

Segons el que s'ha descrit abans, es podria dir que els aiguamolls de flux vertical semblen ser els més eficients per tal

d'eliminar fàrmacs i productes d'ús personal. De fet, aquests provenen dels anomenats *filtres d'arenes*, d'una llarga tradició a França. Estudis recents han demostrat que a l'hora de tractar aigües residuals, els sistemes plantats són més eficients que els no plantats[16]. Això és degut a dos fenòmens. El primer d'ells és l'augment del transport d'oxigen de l'atmosfera al sòl, bé sigui gràcies a les arrels de les plantes o als moviments mecànics de les tiges que esquerden el sòl. El segon fenomen està relacionat amb el creixement de biofilm al voltant dels rizomes i que hom pensa que ajuda a incrementar la biodegradació.

En aquest context, s'ha realitzat un estudi comparatiu de les eficiències en l'eliminació de contaminants emergents en sistemes plantats i no plantats, i s'han obtingut millors eficiències en els sistemes amb plantes (taula 2, VF vs. filtre de sorres). Els resultats confirmen allò que ja se sabia per a la matèria orgànica i donen una relació directa entre l'eliminació de contaminants emergents i la matèria orgànica.

Per tal d'aprofundir en el modelat del comportament dels contaminants emergents en els aiguamolls construïts, hom empra els paràmetres cinètics de degradació de la matèria orgànica i es considera l'aiguamoll com un reactor de flux de pistó.

Cinètiques d'eliminació de contaminants: el cas de les Franqueses del Vallès

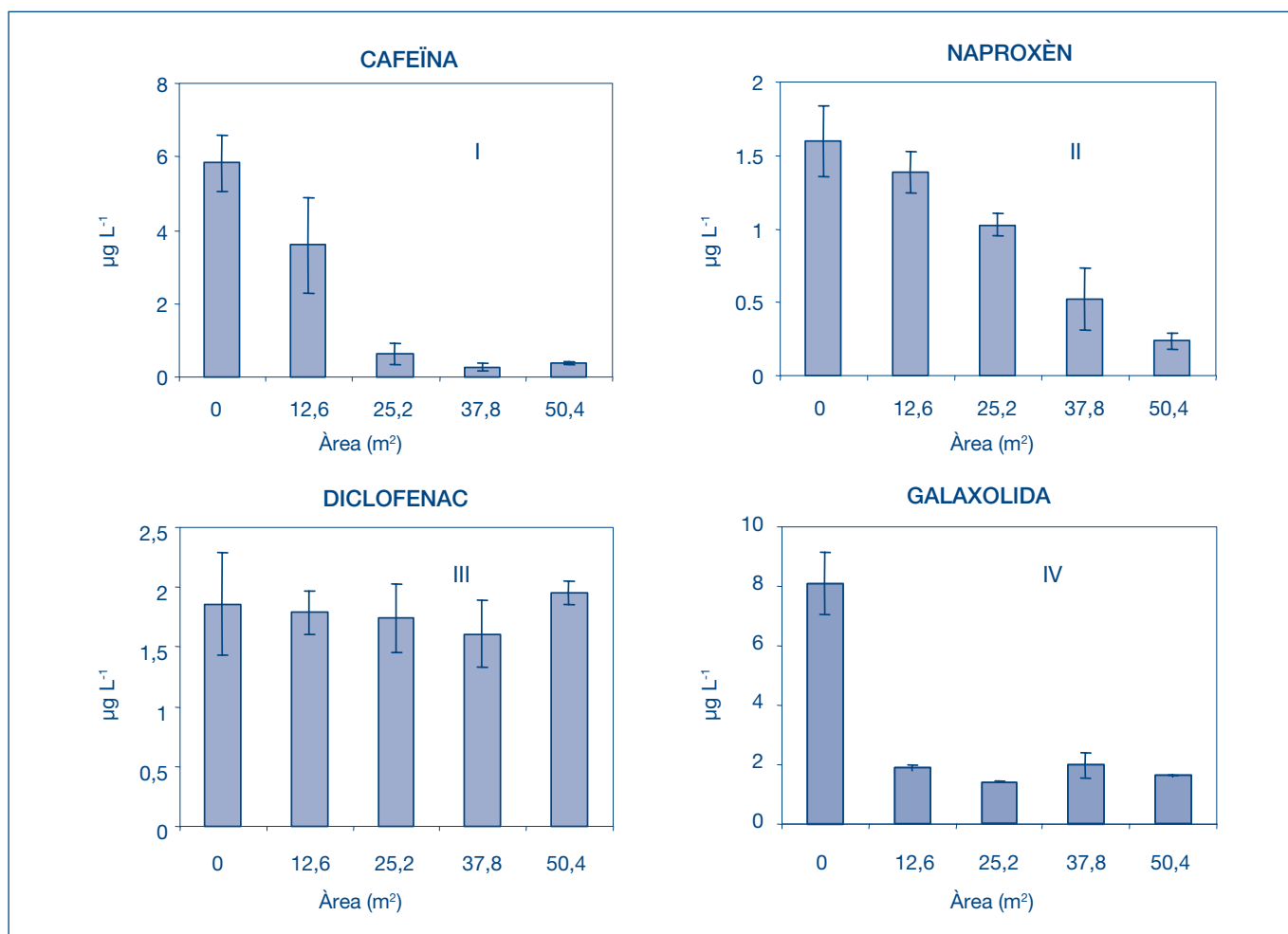


FIGURA 2. Exemple dels quatre comportaments diferents dels fàrmacs i productes d'higiene personal durant el seu pas pels aiguamolls construïts. L'eix vertical correspon a la concentració de cada compost i l'eix horitzontal representa l'àrea de l'aiguamoll (el punt 0 m² correspon a l'entrada, els tres següents als piezòmetres i la sortida al punt 50,4 m²). La desviació estàndard correspon a un mostreig diari d'una setmana de durada (n = 5).

Per aconseguir-los hi ha dues aproximacions possibles, incrementar la càrrega hidràulica a l'entrada del sistema o bé recollir mostres a diferents distàncies de l'entrada dels sistemes.

Tot seguint aquesta segona opció, la figura 2 mostra un exemple dels quatre comportaments trobats als aiguamolls subsuperficials de flux horitzontal situats a les Franqueses del Vallès [17]. Aquests comportaments són els següents: grup I, compostos fàcilment eliminables (cafeïna, àcid salicílic, metil-dihidrojasmonat, ibuprofèn i un dels seus productes de degradació durant el metabolisme humà, l'hidroxiibuprofèn; grup II, compostos moderadament eliminables (naproxèn i carboxiibuprofèn); grup III, compostos recalctrants (ketoprofèn, diclofenac, àcid clofibrí i carbamazepina), i finalment, el grup IV, compostos que s'eliminen per interaccions hidrofòbiques amb la matèria orgànica que conté l'aiguamoll (galaxolida i tonalida).

El grup I, amb una relació exponencial enfront de la distància, respon a una cinètica d'eliminació de primer ordre. Aquests, a més, són els més sensibles als canvis, com ara el rebliment.

El grup II respon a una cinètica d'ordre zero, i la seva eliminació és proporcional a l'àrea de l'aiguamoll.

Quant als compostos recalctrants (grup III), aquests no experimenten cap tipus de retenció dintre del sistema. Possiblement a causa de la seva hidrofilitat i poca degradació, tal com ja és esmentat en treballs anterior d'EDAR [18].

Finalment, per als compostos que s'eliminen per interaccions hidrofòbiques (grup IV) es pot copsar perfectament com aquesta eliminació es dona bàsicament a la primera part del sistema, que és on es reté la matèria orgànica [19]. Per tal de confirmar aquesta hipòtesi, es van estudiar els compostos retinguts a l'aiguamoll, i es van obtenir les concentracions més elevades per a les fragàncies (galaxolida, 850 mg kg^{-1}) a la part proximal del sistema, mentre que els altres compostos apareixien a nivells molt més baixos (ibuprofèn, 6 mg kg^{-1}).

El problema del rebliment

Dintre de tots els problemes que poden afectar els sistemes de flux subsuperficial (vertical o horitzontal), el rebliment, per la retenció de la matèria orgànica i el desenvolupament ex-

cessiu de biofilm, és dels més greus. Quan un d'aquests sistemes es rebla el primer dels efectes és la presència d'aigua en la part superficial del sistema. Aquest efecte pot ser perjudicial per tres raons; la proliferació de mosquits a causa de l'aigua estancada, la mala olor que aquesta genera, i una tercera relacionada amb la disminució del procés de tractament de les aigües residuals. Aquest últim efecte s'ha pogut comprovar en un estudi fet als aiguamolls de flux subsuperficial situats a les Franqueses del Vallès (Granollers). Estudiant l'eliminació de compostos emergents al llarg de dos anys, s'ha vist que quan els processos de rebliment apareixen, les eficiències d'eliminació disminueixen significativament. Per exemple en el cas de l'ibuprofèn aquesta disminució pot arribar a ser superior al 40 %.

AIGUAMOLLS CONSTRUÏTS VS. EDAR

Quan es comparen aquests dos tipus de sistemes, s'ha de tenir en compte la complexitat de les EDAR en comparació dels aiguamolls. Les EDAR consten d'un seguit de processos seqüencials, tan químics com biològics; en canvi els aiguamolls poden arribar a aconseguir realitzar els mateixos rendiments en un sol pas. Si comparem les eficiències d'eliminació (taula 2) podem veure com aquestes són molt similars tot i que els requeriments energètics dels aiguamolls són molt més baixos (molts cops nuls) que els necessaris per al funcionament de les EDAR convencionals.

EL FUTUR DELS AIGUAMOLLS CONSTRUÏTS A CATALUNYA

A partir dels resultats anteriors, queda ben palès que quant a l'eficiència per tal d'eliminar fàrmacs i productes d'higiene personal, els aiguamolls construïts presenten eficiències semblants a les EDAR. El seu ús, però, està condicionat a l'existència de sòl, ja que per terme mitjà es requereixen de 4 a 5 m^2 per habitant equivalent. Per tant aquests tipus de sistemes es limiten a petites poblacions amb dificultats per connectar-se a un sistema centralitzat d'EDAR. Avui en dia, l'ACA disposa d'unes vint-i-dues plantes en funcionament arreu de Catalunya, la seva totalitat corresponen a sistemes de flux horitzontal combinades en llacunatge i aiguamolls superficials. En vista dels resultats explicats anteriorment, seria més convenient

intentar introduir els sistemes de flux vertical o híbrids (vertical-horitzontal) a les nostres contrades per intentar arribar a rendiments més satisfactoris, almenys pel que fa als contaminants emergents. Tot i això, es requereixen més estudis per tal d'arribar a confirmar aquestes hipòtesis, ja que fins ara els sistemes verticals s'han construït en climes diferents del mediterrani.

Bibliografia

- 1) COLE, S. *Environ. Sci. Technol.*, núm. 32 (1998), p. 218A-223A.
- 2) KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. *Treatment wetlands*. Florida: CRC Press, 1995, p. 893.
- 3) GARCÍA, J. «Humedales construidos para controlar la contaminación: perspectivas sobre una tecnología en expansión. Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos». Barcelona: CPET, 2004, p. 7-16.
- 4) DAUGHTON, C. G.; TERNES, T. A. *Environ. Health. Persp.*, núm. 107 (1999), p. 907-938.
- 5) BALK, F.; FORD, R. A. *Toxicol. Lett.*, núm. 111 (1999), p. 57-59.
- 6) LITTER, M. *Farmacología*. Argentina: El Ateneo, 1980, p. 101-111.
- 7) TERNES, T. A. *Wat. Res.*, núm. 32 (1998), p. 3245-3260.
- 8) HERBERER, T. T. *J. of Hydrol.*, núm. 266 (2002), p. 175-189.
- 9) BUSER, H.-R.; MÜLLER, D. M. *Environ. Sci. Technol.*, núm. 32 (1998), p. 188-192.
- 10) RIMKUS, G. G. *Toxicol. Lett.*, núm. 111 (1999), p. 37-56.
- 11) DAUGHTON, C. G. *Env. Impact Asses. Rev.*, núm. 24 (2004), p. 711-732.
- 12) ROUTLEDGE, E. J. *Environ. Sci. Technol.*, núm. 32 (1998), p. 1559-1565.
- 13) TERNES, A. T.; HANSRUEDI SIEGRIST, A. S. *Environ. Sci. Technol.*, núm. 20 (2004), p. 393A-399A.
- 14) CLEUVERS, M. *Ecotoxicology and Environ. Safety*, núm. 59 (2004), p. 309-315.
- 15) SMITAL, T.; LUCKENBACH, T.; SAUERBON, R.; HAMDOUN, A.; VEGA, R. L.; EPEL, D. *Mutat. Res.*, núm. 552 (2004), p. 101-117.
- 16) BRIX, H. *Wat. Sci. Tech.*, núm. 35 (1997), p. 11-17.
- 17) MATAMOROS, V.; BAYONA, J. M., *Environ. Sci. Technol.*, núm. 40 (2006), p. 5811-5816.
- 18) SIMONICH, S.; FEDERLE, T. W.; ECKHOFF, W. S.; ROTTIERS, A.; WEBB, S.; SABALIUNAS, D.; WOLF, W. *Environ. Sci. Technol.*, núm. 36 (2002), p. 2839-2847.
- 19) TANNER, J. C.; SUKIAS, J. P. *Wat. Sci. Technol.*, núm. 32 (1995), p. 229-239.

Autors

Víctor Matamoros és llicenciat en bioquímica (2001) i biologia (2003) per la Universitat de València, actualment està realitzant la tesi doctoral sobre l'eliminació de contaminants emergents mitjançant aiguamolls construïts a l'Institut d'Investigacions Químiques i Ambientals del CSIC a Barcelona.

Josep M. Bayona és professor d'investigació a l'Institut d'Investigacions Químiques i Ambientals del CSIC a Barcelona i forma part del Departament de Química Ambiental des del 1987. És coautor de cent setanta articles en revistes indexades i és membre de la Unitat Associada UPC-CSIC de Sistemes Naturals per al Tractament d'Aigües.