

Tractament d'aigües residuals mitjançant un sistema híbrid d'aiguamolls artificials: cap a una depuració més verda

Autor

Albert Barons Savall

Directors

Dr. Anna Serra Clusellas i Dr. José Peral Pérez

RESUM

Les aigües residuals són aquelles derivades de les activitats humanes, ja sigui involuntàriament o de forma intencionada. Aquest és el punt de partida del present projecte. És inqüestionable que aquestes aigües no es poden tornar a abocar al medi natural d'on s'han extret sense ser tractades prèviament, ja que contenen diferents tipus de contaminants que perjudiquen greument el nostre entorn. Des de que l'ésser humà va adonar-se d'aquesta evidència han aparegut sistemes de depuració d'aquestes aigües. L'objectiu principal d'aquest projecte és la posada en marxa d'un sistema híbrid d'aiguamolls artificials que pugui realitzar aquesta funció tan necessària per a la nostra societat, en aquest cas depurant les aigües residuals provinents d'un centre tecnològic (en què es combinen aigües sanitàries i aigües provinents dels laboratoris de recerca), de forma que compleixin els requisits marcats a la llei per al seu abocament al medi natural. El desenvolupament del present projecte segueix les bases del mètode científic, és a dir unes hipòtesis que hem formulat als objectius. Col·laboració en el disseny i construcció de l'experiment, el sistema híbrid d'aiguamolls. La recollida de mostres i posterior anàlisi de diferents paràmetres d'aquestes aigües abans i després de ser tractades. En aquest cas també s'ha fet un seguiment i evolució, tant del sistema com de la vegetació planta. I finalment l'anàlisi dels resultats i posterior discussió per veure si s'han complert els objectius.

De forma general, els resultats han estat bastant positius, tant en la configuració amb l'AFSSV inundat i buit. No obstant això, s'observa que amb l'AFSSV s'observen clar avantatges en l'eliminació de força contaminants. Les aigües compleixen pràcticament tots els límits de contaminants establerts per la llei, menys l'amoní per algun tipus d'error humà o interferències i algun dia la DBO₅.

Durant la durada de l'experimentació han sorgit alguns problemes amb el sistema, els quals es recomana solucionar per a posteriors projectes. Els més destacats són les característiques del tanc d'homogeneïtzació i l'eutrofització a l'AFS.

Per tant, podem concloure que s'ha confirmat el que apuntava la bibliografia, en què aquests sistemes híbrids d'aiguamolls poden ser un substitut als tractaments convencionals de depuració de les aigües residuals. Tanmateix amb algunes limitacions i un llarg recorregut que encara s'ha de seguir en aquest camp de la investigació. Projectes com aquest, que suposen l'inici d'un projecte més gran, poden ajudar a l'objectiu final que ha de ser crear un món més sostenible.

CONTEXT

Aigües residuals: aigües que contenen residus diversos procedents de la indústria, de nuclis de població humana o d'activitats agropecuàries. Font: Agència Catalana de l'Aigua.

Aquest és el punt de partida d'aquest projecte. És inqüestionable que aquestes aigües no es poden tornar a abocar al medi natural d'on s'han extret sense ser tractades prèviament ja que contenen diferents tipus de contaminants que perjudiquen greument el nostre entorn. En aquest punt és on neix la necessitat de l'existència d'estacions depuradores d'aigua residual. Al llarg d'aquest projecte s'observarà que no només hi ha una única via per a realitzar aquest procés, sinó que el tractament objecte d'estudi d'aquest projecte (sistema híbrid d'aiguamolls artificials) s'està investigant i implantant com una estratègia capaç d'eliminar diversa tipologia de contaminants de l'aigua amb gran eficiència.

OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest projecte és la posada en marxa d'un sistema híbrid d'aiguamolls artificials més compacte que permeti reduir la gran superfície que es necessita *a priori* per aquests sistemes, així com dur a terme la depuració d'aigües residuals provinents d'un centre tecnològic (en què es combinen aigües sanitàries i aigües provinents dels laboratoris de recerca), de forma que compleixin els requisits marcats a la llei per al seu abocament al medi natural.

Per altre banda, els objectius secundaris més destacats mitjançant els quals s'intentarà assolir el principal són la integració i participació dins d'un grup de professionals del Centre Tecnològic Leitat en les fases de recerca d'informació, disseny i construcció del sistema d'aiguamolls artificials; i comparar el sistema en dues configuracions diferents,

determinant les diferències en l'eficiència d'eliminació dels diferents contaminants.

JUSTIFICACIÓ

Els aiguamolls artificials són sistemes verds dissenyats i construïts amb l'objectiu d'eliminar els contaminants de l'aigua residual a través de l'ús de diferent tipologia de plantes pròpies de zones humides, intentant imitar els processos químics, físics i biològics que es duen a terme en un aiguamoll natural. En conseqüència, es caracteritzen per presentar un baix requeriment energètic, un cost d'inversió inicial competitiu, un baix cost de manteniment, possibilitat d'integració al paisatge i no generar gran quantitats de fangs (García J. i Corzo A., 2008). Per contra, solen necessitar una elevada superfície per a dur a terme el tractament (Uggetti E. et al., 2011).

Totes aquestes raons fan pensar en un futur esperançador pel que fa al tema de la depuració de les aigües residuals d'una forma més natural i sostenible.

INTRODUCCIÓ

Els aiguamolls artificials es poden classificar en diferents tipus en funció del seu comportament hidràulic (García J. i Corzo A., 2008):

Aiguamolls de flux superficial (AFS): la circulació de l'aigua a depurar és principalment superficial, a través de la tija i les fulles de la vegetació. L'altura de la làmina d'aigua lliure és, en general, inferior a 1 metre i la direcció del flux de l'aigua és horitzontal.

Aiguamolls de flux subsuperficial (AFSS): la circulació de l'aigua a depurar és subterrània, a través d'un medi granular, arrels i rizomes de la vegetació. En funció de la direcció del flux d'aigua, aquest tipus d'aiguamolls es poden classificar com:

Aiguamolls de flux subsuperficial horitzontal (AFSSH): el flux es continu,

horizontal, saturat d'aigua i predominen els processos anòxics com la desnitrificació, i anaerobis com la reducció sulfat i la fermentació.

Aiguamolls de flux subsuperficial vertical (AFSSV): l'aigua circula a través del llit granular de forma intermitent i verticalment, alternant períodes de càrrega i repòs alternadament. Predominen els processos aeròbics com ara la oxidació de la matèria orgànica i la nitrificació.

Els AFSS es caracteritzen per la capacitat de tractar altes càrregues de contaminants, per la qual cosa són utilitzats com a tractament secundari. Per tant, en aquesta fase s'eliminen la gran majoria de contaminants presents a l'aigua com ara l'excés de matèria orgànica. En canvi, els AFS, al posseir menor capacitat per a reduir la càrrega de contaminants, són utilitzats generalment com a tractament terciari. Aquests últims poden utilitzar-se per higienitzar l'aigua, reduint els organismes patògens que s'hi troben, com ara coliformes fecals (Matamoros V. et al., 2010).

La taula 1 mostra els avantatges i desavantatges d'utilitzar AFS i AFSS.

Taula 1. Avantatges i desavantatges de la utilització de AFS i AFSS.
Fonts: "Folleto informativos de Tecnología de Aguas Residuales de la EPA, 2000"; Plaza de los Reyes C.S. 2001; i García J. i Corzo A. 2008.

Avantatges	Desavantatges
AFS	
- Els AFS proporcionen tractament efectiu de forma passiva i minimitzen la necessitat d'equips mecànics, electricitat i monitoratge per part d'operadors especialitzats. - Els AFS poden ser menys costosos en les fases de construcció, funcionament i manteniment que els processos mecànics i convencionals de tractament. - El funcionament com a tractament secundari és possible durant tot l'any amb l'excepció	- La necessitat de terreny pot ser gran, especialment si cal eliminar grans quantitats de nitrogen i fòsfor. - L'eliminació de DBO, DQO i nitrogen als aiguamolls és un procés biològic, continu i renovable. Per contra, el fòsfor, els metalls i alguns compostos orgànics persistents romanen lligats als sediments del sistema i s'acumulen amb el temps. Això pot provocar una disminució de la capacitat d'eliminació. - En climes freds es redueix la taxa d'eliminació de DBO i la nitrificació/desnitrificació. Es pot solucionar augmentant la taxa de retenció, però això

dels climes més freds. - El funcionament com a tractament terciari avançat és possible durant tot l'any en climes càlids o semi càlids. - Els sistemes d'AFS posseeixen una gran adaptació a l'espai natural, incloent la incorporació d'hàbitats per a la vida silvestre i oportunitats per a crear espais de lleure públics. - Els sistemes d'AFS no produeixen biosòlids ni fangs residuals que requeririen el posterior tractament i emmagatzematge. - L'eliminació de DBO, SST, DQO, metalls i compostos orgànics de les aigües residuals pot ser molt efectiva amb un temps de retenció raonable. Per altra banda, l'eliminació de nitrogen i fòsfor a baixos nivells també pot ser efectiva amb un temps de retenció significativament més gran.	pot portar a un sobredimensionament dels aiguamolls, fent-los inviables. - Depenent de les càrregues de contaminant presents a l'aigua residual pot produir-se l'eutrofització d'aquest, amb les conseqüents desviacions que això pot produir en la depuració de la mateixa. - Al tenir una làmina d'aigua lliure pot presentar problemes amb mosquits i altres insectes perjudicials per a la salut humana. - La població d'aus o d'altres animals pot interferir en l'eliminació dels contaminants degut en gran mesura als excrements, entre d'altres. - Els AFS poden eliminar organismes patògens almenys en un ordre de magnitud, però això no sempre és suficient per a complir els límits que marca la llei.
AFSS	
- Els AFSS proporcionen tractament efectiu de forma passiva i minimitzen la necessitat d'equips mecànics, electricitat i monitoratge per part d'operadors especialitzats. - Els AFSS poden ser menys costosos en les fases de construcció, funcionament i manteniment que els processos mecànics i convencionals de tractament. - El funcionament com a tractament secundari és possible durant tot l'any amb l'excepció dels climes més freds. - El funcionament com a tractament terciari avançat és possible durant tot l'any en climes càlids o semi càlids. - Els AFSS proporcionen una major protecció	- Un AFSS requereix una àrea més extensa si es compara amb els sistemes mecànics convencionals de tractament. - L'eliminació de DBO, DQO i nitrogen als aiguamolls és un procés biològic, continu i renovable. Per contra, el fòsfor, els metalls i alguns compostos orgànics persistents romanen lligats als sediments del sistema i s'acumulen amb el temps. Això pot provocar una disminució de la capacitat d'eliminació. - En climes freds es redueix la taxa d'eliminació de DBO i la nitrificació/desnitrificació. Es pot solucionar augmentant la taxa de retenció, però això pot portar a un sobredimensionament dels aiguamolls, fent-los inviables. - Els AFSS no poden ser dissenyats per aconseguir una eliminació completa dels compostos orgànics, SST,

tèrmica que els AFS. • Els sistemes d'AFSS no produeixen biosòlids ni fangs residuals que requeririen el posterior tractament i emmagatzematge. • Els AFSS són molt efectius en l'eliminació de la DBO, DQO, SST, metalls i alguns compostos orgànics persistents de les aigües residuals. L'eliminació de nitrogen i fòsfor és possible per amb un temps de retenció major. • Els mosquits i altres insectes amb una problemàtica associada no són un obstacle en aquest cas, mentre el funcionament sigui l'adequat i el nivell subsuperficial es mantingui.	nitrogen o coliformes. • Els AFS poden eliminar organismes patògens almenys en un ordre de magnitud, però això no sempre és suficient per a complir els límits que marca la llei. • Els AFSS poden tenir menor superfície que els AFS per a l'eliminació dels contaminants. Tot i això, es necessita més quantitat de llit de grava que en els AFS, per tant els costos econòmics en la construcció també són més elevats.
---	--

La combinació d'aiguamolls artificials de diferent configuració formant un únic sistema, anomenats sistemes híbrids, com per exemple l'acoblament d'un AFSSV amb un AFSSH i finalment un AFS, representa una opció gens menyspreable per afavorir l'eliminació dels contaminants. Entre els processos més importants podem trobar l'oxidació de la matèria orgànica, la nitrificació i posterior desnitrificació del nitrogen, l'eliminació del fòsfor i l'eliminació de patògens. Segons García J. i Corzo A. (2008), els sistemes híbrids poden ser dimensionats considerant una superfície unitària necessària de 2,5 m²/hab-eq.

Algunes consideracions molt importants a l'hora de dissenyar aquests tipus de sistema són el tipus de vegetació que es planta, tipus de llit granular i els mecanismes pels quals s'eliminen els principals contaminants.

Finalment, per tal de determinar si l'aigua de sortida compleix la normativa en matèria de qualitat d'aigua s'han consultat el Decret 130/2003, on s'indiquen les

concentracions màximes dels contaminants en una aigua no domèstica quan entra en una depuradora pública; i la directiva 91/271/CEE sobre els requisits d'abocament procedents d'instal·lacions de depuració d'aigües residuals urbanes mitjançant tractament secundari.

PART EXPERIMENTAL

La part experimental en aquest projecte consta bàsicament de dues fases molt diferenciades. En primer lloc, la col·laboració en el disseny i construcció del sistema híbrid d'aiguamolls. I en segon lloc, la col·laboració en la posada en marxa del sistema duent a terme l'anàlisi de les aigües residuals en diferents punts del sistema, realitzats bàsicament per mi de forma autònoma amb l'assessorament dels professionals del centre i la meva tutora.

Abans de començar el projecte en si, es va realitzar una caracterització de l'aigua residual inicials per tal de veure quin rang dels diferents contaminants era esperat que hagués de depurar el sistema híbrid.

En la primera part de l'experimental, un cop realitzada la recerca bibliogràfica, amb tots els conceptes sobre els sistemes d'aiguamolls artificials clars, el disseny va ser consensuat per varis professionals i jo mateix. El disseny final va ser realitzat per Hidroquímica mitjançant el programa Autocat. Això inclou tot el sistema de tubs, graves, bombes, pendent i tot el necessari per a que el sistema funcionés correctament.

La col·laboració principal durant la fase de construcció del sistema híbrid va ser durant l'emplenament dels aiguamolls amb les graves seleccionades i la plantació del canyís.

Segons les dades proporcionades, el sistema construït ocupa una superfície total de 3,6m² amb un desnivell total de 90 cm entre la cota inferior i la superior (del primer al tercer aiguamoll). El sistema es va instal·lar al costat de la depuradora convencional ja existent per comoditat,

amb l'objectiu de disposar més fàcilment de les aigües residuals a tractar i amb un menor cost.

El sistema híbrid d'aiguamolls artificials està integrat pels següents components:

- Pou de captació
- Tanc homogeneïtzador
- AFSSV
- AFSSH
- AFS

La posada en marxa del sistema va tenir lloc el dijous 19 de Juliol i va durar fins al 16 d'Agost (4 setmanes). Posteriorment, quan es considerava que el sistema ja estava relativament adaptat i les plantes havien arrelat, es va continuar operant una altra setmana amb el AFSSV en un altre règim hidràulic.



Figura 1. Vista del sistema híbrid d'aiguamolls artificials complet.
Font: elaboració pròpia

La part experimental també inclou tot el procés del manteniment del sistema híbrid d'aiguamolls i el seguiment de l'evolució de la vegetació plantada.

La segona fase consisteix en l'anàlisi al laboratori de les aigües residuals abans i després del tractament. S'analitzen diversos paràmetres fisicoquímics i microbiològics d'aquestes (prenent mostra en diferents punts del sistema híbrid construït).

El sistema de recollida de mostres i els anàlisis realitzats són els següents.

Diàriament (excloent festes i caps de setmana), s'ha agafat mostra de l'entrada al primer aiguamoll i de la sortida de l'últim (dues mostres en total). Els paràmetres que s'han analitzat diàriament han estat el TC, IC, TOC i NT (prèvia filtració de l'aigua). Les primeres dues setmanes també s'analitzava diàriament la DQO, però degut al cost d'aquest anàlisi es va arribar a la conclusió que només amb el TOC ja caracteritzàvem l'evolució de la matèria orgànica.

Setmanalment (cada dijous), s'ha agafat mostra de l'entrada al sistema i de la sortida de cadascun dels aiguamolls (quatre mostres en total). Els paràmetres analitzats setmanalment han estat, a part del TC, IC, TOC i NT: DQO, DBO₅, pH, conductivitat elèctrica, terbolesa, sòlids en suspensió, amoni i fosfat. El nitrat i nitrit, per qüestions relacionades amb la disponibilitat de material, no ha estat possible analitzar-los setmanalment. També s'han realitzat una setmana un cultiu microbiològic de flora total i enterobacteris amb laminocultius.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Els resultats obtinguts de les anàlisis al laboratori s'han separats en dos apartats diferenciats, quan l'AFSSV treballava en inundat i quan treballava buit. D'aquesta manera es poden comparar les diferències en l'eficiència d'eliminació dels diferents contaminants. Dins de cada apartat, també s'han agrupat els resultats segons quin contaminant preteníem observar amb cada anàlisi. Així els grans grups són l'eliminació de matèria orgànica (DBO₅, DQO i TOC), eliminació de nutrients (NT, amoni, fòsfor total, nitrats, nitrits), eliminació de sòlids en suspensió i la terbolesa, i finalment el pH i la CE.

Parlant del sistema híbrid amb l'AFSSV inundat, després d'analitzar els resultats queda clar que el sistema híbrid d'aiguamolls és bastant eficient en l'eliminació del carboni orgànic dissolt total, tenint en compte que en aquest

anàlisi la mostra es filtra i per tant les partícules no són considerables. El rendiment d'eliminació de TOC varia diàriament però, en general, s'obtenen reduccions superiors al 40% (arribant en alguns casos fins i tot al 88%). Cal destacar que l'AFSSV presenta una eficiència d'eliminació de carboni orgànic dissolt major a la del AHSSH, en el qual pràcticament no té lloc l'oxidació d'aquest, ja que treballa en condicions més anòxiques o anaeròbies que en l'AFSSV durant els primers dies. Pel que fa a la DQO s'aconsegueixen rendiment molt bons en quant a la seva reducció, de l'ordre del 75% o inclús superiors. Posteriorment aquests rendiment disminueixen a mesura que avança el temps. S'ha de recordar que l'AFSSV treballa inundat. Així doncs, l'eficiència d'eliminació tendeix a descendir a mesura que passa el temps i cada cop hi ha menys oxigen disponible en aquest aiguamoll, i per tant, gradualment disminueixen els processos aerobis que tenen lloc en aquest.

Parlant dels nutrients, s'ha de recordar que l'aiguamoll de flux subsuperficial vertical funcionava inundat, per tant la nitrificació (pas d'amoni a nitrat) resulta molt més difícil per la falta d'oxigen; és per aquest motiu que la quantitat de nitrat després de l'AFSSV és menyspreable i l'eliminació de nitrogen en aquest aiguamoll i en l'AFSSH se'n ressent. No obstant això, s'arriben a aconseguir algunes puntes d'eliminació total de fins al 77 %.

Segons les dades proporcionades pels resultats, tant els sòlids en suspensió com la terbolesa són eliminats amb molta eficiència pel sistema híbrid construït. Parlant més concretament dels SS, s'observa que l'aiguamoll més eficient és l'AFSSV, mentre que l'horitzontal no fa variar molt la concentració que li arriba. La dada més important a comentar és l'augment d'aquests en l'AFS. La explicació és molt senzilla, es deu bàsicament a les algues presents en aquest aiguamoll. Això es pot demostrar amb el color d'aquests SS que queden retinuts al filtre,

completament verds, mentre que a l'entrada són de color marró.

La terbolesa, per la seva banda, també s'elimina bàsicament a l'AFSSV. A part d'algunes variacions dels resultats s'observa una disminució d'aquesta fins i tot a l'AFS.

Les dades proporcionades per la resta d'anàlisis no són gaire remarcables.

Per qüestió de temps, només s'han pogut realitzar anàlisis amb la configuració de l'AFSSV buit durant una setmana. Tot i així, podem extreure algunes conclusions positives.

S'observa en conjunt una disminució del TOC força acceptable tot i que lleugerament inferior en les condicions anteriors, amb l'excepció d'un dia. Si s'analitzen les dades del dia 23 d'agost, quan feia una setmana que funcionava el sistema sota aquest nou règim hidràulic, el TOC disminueix de forma brusca a l'AFSSV (71% d'eliminació), essent aquest el més eficient dels tres tipus d'aiguamolls en l'eliminació. El lleuger ascens a l'AFS possiblement és degut a la presència d'algues, les quals poden incorporar carboni a l'aigua per exemple en la seva mort.

En relació amb la DQO, duta a terme a la setmana de funcionament del nou règim hidràulic, els resultats indiquen una eliminació significativa a l'AFSSV. Això concorda amb la recerca bibliogràfica, ja que amb un medi més aerobi, l'oxidació de la matèria orgànica és molt més eficient. S'obté un excel·lent 64% d'eliminació al primer aiguamoll. En canvi, en l'AFSSH l'oxidació de matèria orgànica és poc destacable com a conseqüència de les condicions anòxiques en què es treballa promocionen altres tipus de processos, com podria ser la desnitrificació.

Així doncs, com a comparativa final es podria dir que l'eliminació de matèria orgànica és superior amb aquesta configuració del sistema.

Pel que fa als nutrients, un dels punts claus és l'eliminació del nitrogen pel procés de nitrificació/desnitrificació. Mirant els resultats, cal destacar que l'eliminació de nitrogen és positiva en tots els casos dels que disposem. El que és remarcable és una certa estabilització dels valors finals i una lleugera tendència a l'alça del percentatge d'eliminació d'aquest (fins a un 54% el dia 23 d'agost). En el cas que s'hagués continuat amb els anàlisis, potser s'esperaria trobar un augment de l'eficiència en l'eliminació. Si es compara l'evolució de nitrogen total en els diferents aiguamolls, s'observa que la major eliminació té lloc en l'AFSSH. La suposició que pren més força a l'hora d'explicar l'eliminació de nitrogen és que, després de canviar de configuració, l'AFSSV necessita un cert temps per crear les estructures necessàries per aconseguir aquest objectiu.

L'eliminació dels sòlids en suspensió torna a tenir una eficiència molt gran, de la mateixa manera que amb la configuració anterior (del voltant del 90%). La terbolesa presenta resultats molt semblats als obtinguts en l'anterior configuració.

Per últim, també s'han obtingut els resultats del seguiment del creixement i evolució de la vegetació plantada. De la tendència de creixement de les plantes de canyís que té lloc en els diferents aiguamolls se n'extreu que les plantes creixen de l'ordre de 4 cm a la setmana, com es pot observar a la taula 2.

Taula 2. Resultats evolució vegetació. Font: Elaboració pròpia.

Dia	Vegetació		
	Altura mitjana (cm)		
	AFS	AFSSH	AFSSV
19/07/2012	34	34	32
26/07/2012	39	38	36
02/08/2012	43	42	41
09/08/2012	47	46	46
16/08/2012	51	50	49
23/08/2012	54	55	49

S'observa que, després del canvi de configuració (dia 16 d'agost) totes les plantes segueixen creixent al mateix ritme menys les de l'AFSSV, que tenen un creixement pràcticament nul durant la última setmana. La falta d'aigua i les altes temperatures fan que el desenvolupament d'aquestes plantes sigui molt més complicat. Tot i presentar un aspecte més sec, hi ha moltes plantes que visualment es veuen en bones condicions.

CONCLUSIONS

L'objectiu principal d'aquest projecte, dit en poques paraules, era la posada en marxa d'un sistema híbrid d'aiguamolls artificials. Amb gran satisfacció puc dir que aquest objectiu s'ha complert. Cal remarcar aquest aspecte, ja que han estat molts els condicionants inicials que han anat endarrerint la realització del mateix i, per tant també condicionant-lo. No obstant això, s'ha aconseguit que el sistema híbrid redueixi de mitjana una elevada quantitat de diferent tipus de contaminants.

Aquest objectiu principal també incloïa la peculiaritat d'aconseguir un sistema més compacte, que no necessités tanta superfície per al seu funcionament. Això encara no s'ha aconseguit en aquesta fase inicial ja que, encara que la superfície total del sistema no supera els 3,6 m², en l'AFSSV s'elimina una mitjana de 6g DBO₅/dia en una superfície d'1m² quan s'hauria d'arribar a poder eliminar 40g DBO/dia amb 2,5 m² segons Cooper i col·laboradors (2005); una cosa semblant passa amb l'AFSSH, que elimina una baixa quantitat de matèria orgànica. Aquests resultats poden estar associats a diversos punts dèbils del projecte. En primer lloc la qüestió del temps. Degut als problemes inicials, el temps total d'anàlisi de les aigües residuals i observació de l'evolució del sistema s'ha limitat a 6 setmanes. S'hauria de seguir amb els experiments per tal de veure si a llarg termini augmenten o acaben disminuint, per exemple pels problemes de reblliment, les eficiències d'eliminació d'alguns contaminants. Un

altre factor és que durant una part de les anàlisis la plantilla de professionals del centre tecnològic Leitat s'ha vist reduïda degut a les vacances estivals. Aquest fet condiciona l'aportació de contaminants a les aigües residuals, tant d'ús sanitari com dels laboratoris d'investigació. Tanmateix el factor més important és que només s'està fent passar un cabal de 200L/dia per aquest sistema híbrid. Això vol dir que l'eficiència d'eliminació de contaminants durant aquesta fase inicial podria ser considerada correcta per aquestes quantitats d'aigua i concentració inicial de contaminants, però no es pot saber què passaria amb un cabal molt més gran; potser s'hauria d'augmentar la superfície i el volum del sistema híbrid, o buscar alternatives com incrementar el nombre de plantes o canviar el tipus de material de replè. Per tant, tot i que el sistema en principi dona bons resultats, s'ha de tenir en compte tots aquests factors que limiten la capacitat per treure conclusions exactes.

Finalment, acabant amb l'objectiu principal, les aigües de sortida del sistema híbrid d'aiguamolls haurien de complir la normativa en matèria d'abocament d'aigües residuals, tant a una depuradora com al medi natural. L'efluent del sistema híbrid compleix els límits marcats en el Decret 130/2003, pel qual es podria acabar de tractar aquesta tipologia d'aigua en una EDAR; així mateix, també compleix els diversos paràmetres (DQO, SS, fòsfor i nitrogen total) per a poder ser abocat en llera pública (UE 1991), a excepció de la quantitat de DBO_5 , el límit de la qual és 25 $\text{mg O}_2/\text{L}$, mentre que durant les dues últimes setmanes de funcionament el seu valor estava al voltant dels 30 $\text{mg O}_2/\text{L}$. Aquest fet indica que, tot i que el sistema presenta un elevat potencial de depuració, encara ens trobem en un estadi inicial que cal seguir millorant.

Per concloure, també s'havia proposat comparar els rendiments d'eliminació de les dues configuracions. Quan el sistema està configurat amb l'AFSSV buit, les eficiències en l'eliminació de matèria

orgànica tendeixen a ser superiors. Pel que fa a la reducció de nutrients, els resultats obtinguts durant l'última setmana farien pensar que el sistema també funciona millor amb aquesta última configuració. Així s'indicava a la bibliografia en el cas del nitrogen, tot i que els resultats obtinguts no permeten confirmar-ho amb rigorositat. En la resta d'anàlisi realitzats no hi ha grans diferències entre les dues configuracions. Per tant, *a priori*, semblaria que el sistema híbrid d'aiguamolls obté millors eficiències d'eliminació globals funcionant amb l'AFSSV buit.

En definitiva, s'ha confirmat el que apuntava la bibliografia en què aquests sistemes híbrids d'aiguamolls poden ser un substitut als tractaments convencionals de depuració de les aigües residuals. Tanmateix amb algunes limitacions i un llarg recorregut que encara s'ha de seguir en aquest camp de la investigació. Projectes com aquest, que suposen l'inici d'un projecte més gran, poden ajudar a sumar en l'objectiu que ha de ser crear un món més sostenible.

RECOMANACIONS I PROPOSTES DE MILLORA

Un cop finalitzat el projecte és necessari realitzar un exercici d'autocrítica per tal de contribuir a millorar i evitar errors en possibles projectes futurs.

El primer punt on es pot millorar el sistema és al tanc d'homogeneïtzació. Per tal que la llum del Sol no penetrés dins seu es va pintar de negre, però no es va tenir en compte l'augment de temperatura al seu interior, agreujada per les altes temperatures durant el període d'anàlisi. Això pot haver provocat una digestió anaeròbica al seu interior, amb dues conseqüències importants. Per una banda, la modificació dels resultats d'entrada i les característiques de les aigües residuals d'entrada; i per altra banda, una olor molt desagradable (semblant a ous podrits associada a l'àcid sulfhídric). Les recomanacions són les següents:

incrementar l'agitació de l'interior del tanc, deixar destapat el tanc (tot i que hi poden haver problemes per exemple els dies de pluja), recobrir-lo amb canyes o un altre material que faci d'aïllant tèrmic, etc.

En segon lloc, el disseny de l'aiguamoll artificial de flux superficial és bastant diferent dels estàndards que marca la bibliografia que van millor per a l'eliminació de contaminants. En principi el gruix de substrat hauria de ser inferior i el temps de retenció també, així funcionaria més com a tractament terciari. Degut a aquest disseny, es produeix una eutrofització a l'AFS. En principi això no és desitjable, però com s'ha vist als resultats, certs paràmetres d'eliminació poden veure's beneficiats. Cal seguir, però, investigant aquestes hipòtesis. Per tant, la recomanació és realitzar el disseny d'aquest aiguamoll seguint els paràmetres que recomana la bibliografia, si l'objectiu últim és depurar aigües residuals i inclús arribar a una lleugera desinfecció. En el cas que es vulgui fer un estudi en profunditat de l'acció de les algues i com intervenen en els processos d'eliminació, caldria realitzar un sistema amb dues possibles sortides, amb les dues configuracions d'AFS.

Finalment, la limitació principal d'aquest projecte ha estat el temps. Tot i que s'han vist resultats que indiquen que el sistema funciona d'acord i com estava planejat, un estudi molt més llarg permetria comprovar molts altres factors interessants. Per exemple es podria confirmar el procés de nitrificació/desnitrificació, canviar el tipus de llit granular per comprovar quin efecte té sobre l'eliminació de nutrients així com provar materials nous per veure el seu efecte, incloure substàncies no presents a l'aigua com contaminants emergents per veure com s'eliminen, etc. Aquesta és la principal recomanació del projecte, ja que un estudi d'aquestes característiques a llarg termini pot arribar a descobrir nous mecanismes que ajudin a desenvolupar aquesta forma d'eliminar els contaminants de l'aigua residual.

REFERÈNCIES

Cooper P. (2005) "The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates". *Water Science and Technology*, vol. 51, 91-97.

García J. and Corzo A. (2008) "Depuración con Humedales construidos, Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial". Universitat Politècnica de Catalunya.

García J. et al., (2010) Contaminant Removal Processes in Subsurface-Flow Constructed Wetlands: A Review. *Critical Reviews, Environmental Science and Technology*, vol. 40, 561-661.

Plaza de los Reyes C. et al., (2001) "Consideraciones para la eliminación del nitrógeno en humedales artificiales", *Tecnología del agua*, vol. 330, 40-49.

Uggetti E., et al., (2011) "Technical, economic and environmental assessment of sludge treatment wetlands" *Water research*, vol. 45, 573-582.

Altres

Decret 130/2003. Concentracions màximes contaminants en aigua no domèstica que entra en una EDAR.

Directiva 91/271/CEE. Qualitat abocaments procedents d'instal·lacions de depuració d'aigües residuals urbanes al medi natural mitjançant tractament secundari.

EPA. *Folleto Informativos de Tecnología de Aguas Residuales de la EPA. Humedales de flujo libre superficial. parte 1.* EPA 832-F-00-024 (2000) y *Humedales de flujo libre subsuperficial. parte 1.* EPA 832-F-00-023 (2000).