Universitat Autònoma de Barcelona

Dipòsit digital de documents de la UAB

This is the **published version** of the bachelor thesis:

Salvatella Pastor, Robert; Vilariño Freire, Fernando, dir. Millora de la gestió de l'aigua en l'entorn de la UAB. 2023. 11 pag. (Grau en Gestió de Ciutats Intel · ligents i Sostenibles)

This version is available at https://ddd.uab.cat/record/282894

under the terms of the BY-SA license

MILLORA DE LA GESTIÓ DE L'AIGUA EN L'ENTORN DE LA UAB

ROBERT SALVATELLA PASTOR

Resum– La gestió eficient de l'aigua en una universitat és fonamental, especialment durant èpoques prolongades de sequera. Un sistema de gestió d'aigua adequat pot ajudar les universitats a adaptar-se als canvis en els patrons climàtics i maximitzar els recursos hídrics disponibles. Aquest treball té com a objectiu analitzar com pot la universitat millorar la gestió que es fa del cicle de l'aigua, tenint en compte la gestió de l'aigua pluvial i involucrant a la Quàdruple Hèlix en aquest procés. En el treball s'estudiarà com integrar la gestió de l'aigua pluvial en dos dels aparcaments de la universitat implementant-hi Sistemes de Drenatge Sostenible, els quals permetran reduir tant el col·lapses del sistema de clavegueram com la possibilitat de inundació en l'aparcament.

Paraules clau– Cicle de l'aigua, aigües pluvials, aigua grisa, escorrentia, recursos hídrics, Sistemes de Drenatge Sostenible.

Abstract–The efficient management of water at a university is essential, especially during prolonged periods of drought. An appropriate water management system can help universities adapt to changing weather patterns and maximise available water resources. This paper aims to analyse how the university can improve its water cycle management, taking into account rainwater management and involving the Quadruple Helix in this process. The work will study how to integrate the management of rainwater in two of the university's parkings by implementing Sustainable Drainage Systems, which will reduce both the collapse of the pipe system and the possibility of flooding in the parkings.

Keywords– Water cycle, rainwater, grey water runoff, water resources, Sustainable Drainage Systems.

1 INTRODUCCIÓ

DURANT les últimes dècades s'ha produït una ràpida urbanització, hi han hagut molts desplaçaments de les zones rurals a les urbanes, i segons United Nations [18] per al 2030, es preveu que les zones urbanes albergaran el 60% de la població a tot el món. La urbanització provoca canvis en el medi natural, especialment en el cicle de l'aigua, segons l'estudi [3], que determina que l'escorrentia d'aigua en la superfície té una correlació amb el grau d'expansió de l'àrea urbana. El motiu d'aquest fet és que l'augment de la urbanització suposa un augment de les zones impermeables [11] i aquestes no donen espai per a la permeació de les aigües pluvials, i com a conseqüència de la manca de filtració del sòl i de la retenció d'aigua de la pluja, es contribueix a la augment del volum d'escorrentia [8], alhora que es disminueix la recàrrega d'aigües subterrànies a causa de la infiltració interrompuda a les capes del sòl. Com es pot veure en la figura 1, la urbanització elimina la vegetació natural que intercepta, frena i retorna la pluja a l'aire mitjançant l'evapotranspiració.

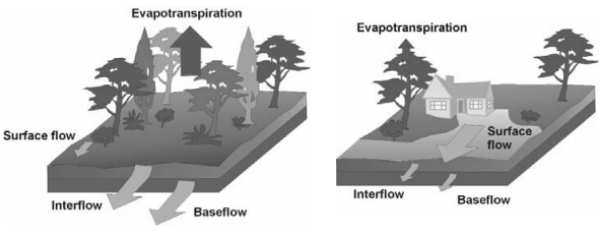

Fig. 1: Processos hidrològics pre- i post-desenvolupament. Font: [22]

La urbanització planteja diversos problemes ambientals, entre ells les inundacions i l'efecte illa de calor, que es veuen agreujats pel canvi climàtic, a causa dels canvis extrems i l'augment de la intensitat de les precipitacions [23].

L'aigua és un recurs indispensable per a la vida, tant humana com no humana, i per al manteniment del medi ambient. Aquest recurs, destinat al consum humà, és escàs,

• E-mail: 1600414@aub.cat
• Teacher: Prof. Fernando Vilariño. Computer Vision Center - Dep. Computer Science UAB. fernando@cvc.uab.es
• Course: 2022/2023

i normalment les fonts d'abastament de les ciutats són llunyanes, i com a conseqüència de l'activitat humana i de l'ús inadequat que se'n fa, el recurs hídric ha patit un gran deteriorament, apareixent durant el cicle de l'aigua elements contaminants que alteren la qualitat de l'aigua [4], on part de la contaminació de l'aigua és provocada per l'escorrentia d'aigua a les superfícies urbanes, ja que en aquesta s'hi acumulen molts contaminants [16].

Aquesta situació s'ha de revertir canviant les estratègies desenvolupades fins ara pels òrgans de govern encarregats de la gestió de l'aigua potable i del clavegueram, per oferir serveis eficients que facin un ús òptim de l'aigua disponible.

La sequera és una de les amenaces més grans per a les ciutats del clima mediterrani. La falta d'aigua pot tenir conseqüències devastadores per a la salut, la seguretat, i l'economia. En aquest treball, s'analitzarà com fer que la universitat sigui més resilient als problemes que planteja el canvi climàtic. Tenint com a principal objectiu millorar la gestió que es fa de l'aigua pluvial, utilitzant la vegetació per reduir l'escorriment de l'aigua de la pluja i promoure la infiltració d'aquesta en el sòl, reduint així la quantitat d'aigua que arriba a la xarxa de clavegueram i la gestió que se n'ha de fer d'aquesta. A més, s'estudiarà com conservar i fer un bon ús del recurs hídric en l'entorn universitari.

2 MARC TEÒRIC

2.1 Models urbans

En aquest apartat s'estudiaran dos dels models urbanístics que consideren la integració del cicle de l'aigua pluvial en la planificació urbana. Aquests són els **Sustainable Drainage Systems** (SuDS) i el **Water-Sensitive Urban Development** (WSUD).

2.1.1 Sustainable Drainage Systems (SuDS)

Segons el llibre 'The SuDS manual' [22], en el qual es proporciona una guia de bones pràctiques sobre la planificació, el disseny, la construcció, l'operació i el manteniment de sistemes de drenatge sostenibles (SuDS), "els sistemes de drenatge d'aigües superficials desenvolupats en línia amb els ideals del desenvolupament sostenible s'anomenen col·lectivament sistemes de drenatge sostenibles (SuDS)", també afirma que els SuDS es basen en el filosofia de replicar "el més a prop possible el drenatge natural previ al desenvolupament d'un lloc amb instal·lacions basades en processos hidrològics naturals que utilitzen superfícies de terra vegetada".

Els objectius dels dissenys de SuDS són reduir l'escorrentia i millorar-ne la qualitat, mitjançant la integració de controls d'aigües pluvials d'una manera més sostenible que les solucions convencionals. Normalment, els SuDS s'apliquen com una seqüència de tecnologies que funcionen en sèrie, formant un tren de tractament[1], per tal d'obtenir majors resultats en la reducció de l'escorrentia i la millora de la qualitat de l'aigua.

[1] Un tren de tractament és composat per una sèrie d'elements o dispositius, connectats entre ells de dalt a baix, que allarguen i frenen el pas de l'escorrentia d'aigua en l'àmbit urbà [10].

2.1.2 Water-Sensitive Urban Development (WSUD)

La definició més acceptada del WSUD es defineix a l'acord governamental australià de la National Water Initiative [19] on es defineix el WSUD com a "la integració de la planificació urbana amb la gestió, protecció i conservació del cicle urbà de l'aigua que garanteix que la gestió de l'aigua urbana sigui 'sensible' als processos hidrològics i ecològics naturals".

El WSUD és un enfocament de la planificació i disseny d'entorns urbans que és "sensible" als problemes de la sostenibilitat de l'aigua, la resiliència i la protecció del medi ambient [21], centrant-se en la integració de la gestió del cicle urbà de l'aigua en l'entorn urbà construït i natural mitjançant la planificació i el disseny urbà.

Els objectius de WSUD van ser enumerats per Whelans [20] com:

1. "gestionar el balanç hídric (tenint en compte les aigües subterrànies i els cabals, juntament amb els danys per inundacions i l'erosió de les vies fluvials),
2. mantenir i, quan sigui possible, millorar la qualitat de l'aigua (inclosos els sediments, la protecció de la vegetació de ribera i minimitzar l'exportació de contaminants a les aigües superficials i subterrànies),
3. fomentar la conservació de l'aigua (minimitzar la importació de subministrament d'aigua potable, mitjançant la recollida d'aigües pluvials i el reciclatge d'aigües residuals, i la reducció de les necessitats de reg), i
4. mantenir les oportunitats ambientals i recreatives relacionades amb l'aigua".

2.2 Components del tren de tractament

Quan es tracta de gestionar l'escorrentia d'aigües pluvials a les zones urbanes, un tren de tractament pot ser un enfocament eficaç per la retenció de l'escorrentia. Aquest tren normalment implica una seqüència de passos que treballen conjuntament per infiltrar-se, recollir, tractar, emmagatzemar i/o reutilitzar l'escorrentia de l'aigua de pluja. Els elements que componen el tren de tractament es poden dissenyar mitjançant diferents tècniques i enfocaments, i cada element juga un paper vital en la gestió de l'escorrentia de les aigües pluvials, i el disseny i la implementació adequada de tot el sistema pot ajudar a crear ciutats més sostenibles i resilients. L'ús d'un sol element tindrà un efecte, però combinar dos o més elements junts multiplicarà aquest efecte potencialment beneficiós.

En aquest apartat, seran analitzats amb més detall alguns dels diferents elements que poden compondre un tren de tractament per la retenció de l'escorrentia i la seva importància en la gestió eficaç de l'escorrentia de les aigües pluvials.

2.2.1 Vegetated swales

Les vegetated swales són part dels SuDS, aquestes són descrites pel llibre 'The SuDS Manual' [22] com a

"elements de drenatge vegetatiu lineal en què es poden emmagatzemar o transportar les aigües superficials".

Els swales són característiques paisatgístiques dissenyades per a manipular el flux d'aigua, consisteixen típicament d'un canal d'aigua cobert amb vegetació densa, com ara herba, per disminuir la velocitat del flux i interceptar les partícules contaminants. L'objectiu dels swales no és estar plens d'aigua permanentment, sinó que és retenir temporalment l'aigua, permetent que s'infiltrin al sòl i/o que sigui traslladada a la següent etapa del tractament. Durant tempestes, els swales incentiven l'acumulació de pluja i redueixen la taxa i el volum del flux, facilitant la eliminació dels contaminants urbans.

Els swales són més efectius quan s'utilitzen en combinació amb altres tècniques, que formen part d'un tren de tractament, i fins i tot poden substituir les canonades convencionals quan es dissenyen adequadament.

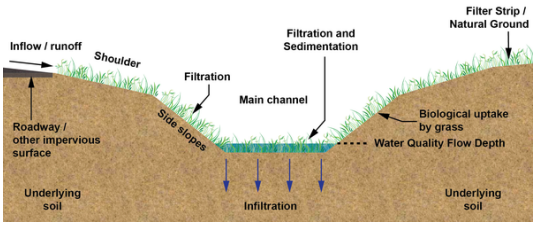

Fig. 2: Processos de tractament de les aigües pluvials dels vegetated swales. Font: [5]

2.2.2 Bioretention

La bioretenció és una tècnica de LID que utilitza els processos químics, biològics i físics de plantes, microbis i sòls per filtrar els contaminants de les aigües pluvials [17]. Segons el llibre 'The SuDS Manual' [22] "les àrees de bioretenció són depressions enjardinades de poca profunditat que solen estar poc drenades i depenen de sòls d'enginyeria i vegetació i filtració millorades per eliminar la contaminació i reduir l'escorrentia".

Aquests sistemes estan dissenyats per capturar i tractar l'escorrentia d'aigües pluvials derivades d'esdeveniments de pluja freqüents. El seu objectiu principal és reduir tant el volum com la velocitat d'escorrentia alhora que s'eliminen eficaçment els contaminants urbans. Això s'aconsegueix mitjançant l'ús de conques poc profundes construïdes o zones enjardinades amb sòl i vegetació per tractar l'aigua. L'aigua es tracta mitjançant una combinació d'infiltració, retenció temporal i eliminació de contaminants mitjançant l'absorció de les plantes. Finalment, l'escorrentia filtrada es recull i es retorna al sistema de transport o bé s'infiltra al sòl circumdant. S'ha trobat que aquestes tècniques són molt efectives en la gestió de l'escorriment de les aigües pluvials urbanes i proporcionen importants beneficis ambientals, inclosa la millora de la qualitat de l'aigua, proporciona un hàbitat natural, millora la biodiversitat i una major infiltració per recarregar les aigües subterrànies.

2.2.3 Paviments permeables

Els paviments permeables són descrits pel llibre 'The SuDS Manual' [22] com a "estructures SuDS que permeten que l'aigua de pluja s'infiltri a través de la superfície i cap a les capes subjacents, on l'aigua s'emmagatzema temporalment abans de la infiltració al sòl, la reutilització o l'alliberament a un curs d'aigua o un altre sistema de drenatge".L'ús de paviments permeables té una reducció significativa de l'àrea impermeable de la superfície urbana, redueix el volum i la taxa d'escorrentia superficial i és eficient per eliminar contaminants de l'escorrentia urbana, també pot alleujar l'efecte illa de calor urbana.

Fig. 3: Exemple d'un aparcament amb paviment permeable a la Universitat de Minnesota. Font: [2]

Hi ha tres tipus principals de sistemes [22]: els paviments que permeten la infiltració total i passa tota l'aigua per la subestructura, els paviments que permeten la infiltració parcial, i es trasllada al sistema de drenatge receptor únicament la proporció de precipitació que supera la capacitat d'infiltració del subsol, i els paviments que no permeten infiltració, en aquests un cop l'aigua s'ha filtrat per la sub-base, és conduïda a l'emissor.

Els paviments permeables poden estar fets de paviments porosos pel qual s'infiltra l'aigua a través de tot el seu material superficial, o paviments permeables que estan formats per material que és impermeable a l'aigua.

2.2.4 Vegetative filter strips

Les tires de filtre vegetatiu són definides pel llibre 'The SuDS Manual' [22] com a "franges uniformement graduades i lleugerament inclinades de gespa o altra vegetació densa dissenyades per a tractar la qualitat de l'aigua procedent de zones impermeables adjacents a través del filtratge i la infiltració vegetativa".

Les tires de filtre són una opció de pretractament eficaç, ja que l'escorrentia flueix com una làmina a través de la banda de filtre a una velocitat prou baixa com per filtrar els sediments i els contaminants, de manera que redueix eficaçment els nivells de partícules contaminants, eliminant sediments, materials orgànics i metalls traça.

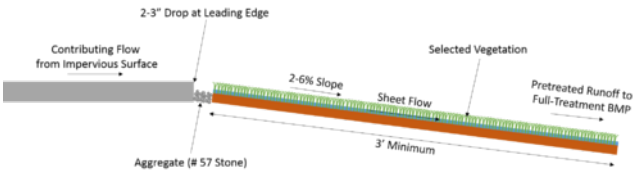

Fig. 4: Característiques de disseny per a una tira de filtre vegetada de pretractament. Font: [13]

2.3 Recollida d'aigua pluvial

A més, hi ha metodologies que a part de gestionar l'aigua de pluja tal com s'han explicat anteriorment, permeten utilitzar l'aigua de pluja recollida per a finalitats no potables, com ara el reg o la cisterna del vàter. Aquests mètodes s'anomenen recollida d'aigua pluvial, en anglès rainwater harvesting (RWH), el mètode més utilitzat de RWH és el sistema de captació d'aigua pluvial del terrat.

Aquest mètode consisteix en la captació i emmagatzematge de l'aigua de pluja que cau sobre la coberta d'un edifici. Aquesta aigua es recull mitjançant canalons i tuberies que la porten fins a un dipòsit, on s'emmagatzema per al seu ús posterior, com es pot observar en el diagrama de la figura 5.

El sistema consisteix en quatre elements, definits per N. Khoury-Nolde [12]:

1. Una àrea de recollida (captació)
2. Un sistema de transport format per canonades i canalons per traslladar l'aigua de pluja de la zona de captació al sistema d'emmagatzematge. Abans d'emmagatzemar l'aigua en un dipòsit o cisterna, i abans d'utilitzar-la, s'ha de filtrar per eliminar partícules i residus.
3. Una instal·lació d'emmagatzematge de l'aigua de pluja recollida.
4. Un sistema de lliurament que consisteix en una aixeta o bomba per subministrar l'aigua emmagatzemada.

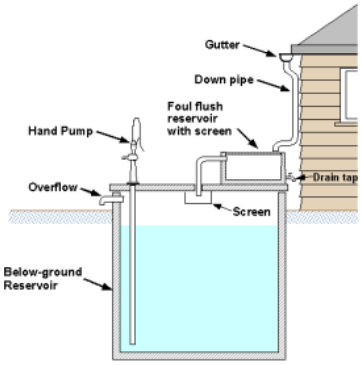

Fig. 5: Diagrama del sistema de captació d'aigua pluvial del terrat. Font: [12]

2.4 Aprofitament de l'aigua gris

Una ciutat que depèn exclusivament de la recollida d'aigua pluvial per al seu subministrament d'aigua pot no estar preparada per a interrupcions en aquest subministrament degut a canvis en els patrons de pluja, el canvi climàtic o altres factors. Per tant, incorporar altres mètodes de captació, com la reultilització d'aigua grisa, pot diversificar els recursos hídrics d'una ciutat i fer-la més resilient davant l'escassetat d'aigua.

Per tant, en aquest apartat s'explicarà en que consisteix el reaprofitament d'aigua gris.

Les aigües residuals es poden classificar en dos tipus, l'aigua gris i la negra. Dins de les aigües grises, trobem l'aigua residual que no conté matèries fecals ni orina i que s'origina a partir de diferents usos domèstics, com ara les provinents de dutxes, banyeres o piques. Aquestes aigües grises no inclouen les provinents de cuines, rentadores, rentavaixelles, bidets, processos industrials o que continguin productes químics contaminants, agents patògens o restes fecals. Així doncs, segons la seva procedència podem distingir entre les aigües grises brutes i les aigües grises reciclades, les primeres contenen contaminants, i les segones corresponen a les aigües grises brutes que han estat filtrades, tractades i preparades per reutilitzar. Tot i ser apta per a determinades aplicacions, l'aigua reciclada mai no serà apta per a ser consumida com aigua potable. A més, les aigües negres contenen matèries fecals o d'orina, i provenen majoritàriament dels inodors. Aquest tipus d'aigua no es pot reutilitzar, ja que conté bactèries fecals que poden ser perjudicials per a la salut humana. Normalment, les aigües grises i les aigües negres solen ser eliminades pel mateix sistema de clavegueram, però això implica un malbaratament d'aigua innecessari. Les aigües grises es poden reutilitzar amb facilitat, transformant-les en aigua reciclada apta per a usos no potables, com ara el reg d'espais verds o el rentat de superfícies. Gran part de la informació sobre les aigües grises ha sigut extreta del treball realitzat per CM García [14] on s'estudia la viabilitat de implementar un sistema per a reutilitzar les aigües grises i pluvials en una instal·lació esportiva.

Mitjançant el reaprofitament de les aigües grises es redueix la dependència del recurs hídric provinent del medi natural, a la vegada que es redueixen els costos tant en tractament com abocament de les aigües residuals, ja que en canviar de sistemes centralitzats de reutilització d'aigües residuals a sistemes descentralitzats es disminueix el consum d'energia [7], a la vegada que disminueixen les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle [15].

El sistema de tractament de les aigües grises es pot distingir en diferents etapes [14]. Es comença amb l'etapa de recol·lecció, on es filtren les partícules més grans, l'aigua s'emmagatzema abans de ser tractada o bé utilitzada en aquest estat. L'aigua que no és utilitzada es du a un procés de filtratge per eliminar les partícules contaminants, i d'aquest es passa a l'etapa de tractament de l'aigua, en la qual hi ha dos tipus de sistemes de reciclatge de l'aigua, els sistemes de reciclatge d'aigües grises sense purificació i els sistemes amb purificació i descontaminació, els quals s'explicaran més endavant. Després d'haver sigut filtrada i tractada s'emmagatzema l'aigua i finalment, l'aigua reciclada és distribuïda mitjançant canonades i un grup de pressió que s'encarrega d'impulsar l'aigua.

Tipus de sistemes de reciclatge de l'aigua gris [14]:

Sense tractament o purificació: Aquest sistema consisteix en la reutilització de l'aigua gris sense cap tipus de tractament. Es divideixen les aigües grises de les negres amb una xarxa de clavegueram exclusiva per a les aigües grises i aquesta s'utilitza directament de la font de consum.

Amb purificació i descontaminació: Aquests tipus de sistemes disposen d'una xarxa de clavegueram que reculli

les aigües grises a part de les negres, i tenen un dipòsit per emmagatzemar-les i tractar-les.

El tractament que es fa es divideix en tres tipus de depuració:

Els tractaments físics, en els quals es filtren i eliminen les impureses de l'aigua mitjançant filtres que recullen les partícules sòlides.

Els tractaments químics, amb els quals es desinfecta l'aigua per evitar un creixement de tipus microbiològic mitjançant l'ús de productes químics.

Els tractaments biològics, utilitzen microorganismes per descompondre la matèria orgànica i eliminar nutrients de l'aigua grisa. Els mètodes utilitzats es divideixen en aeròbics, on s'aporta oxigen als microorganismes, i anaeròbics, on els microorganismes operen en absència d'oxigen [6].

Les solucions basades en la natura poden ser una alternativa efectiva, sostenible i econòmica per a la gestió de les aigües residuals, promocionant la biodiversitat, la salut ambiental i la mitigació del canvi climàtic. Ppresenten una alta eficiència en l'eliminació de contaminants de les aigües grises, degut a una forta interacció entre les plantes, els biofilms, el substrat, l'atmosfera i els nutrients de les aigües residuals [6].

3 ÀREA D'ESTUDI

L'àrea d'estudi d'aquest treball és la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), aquesta és una universitat reconeguda internacionalment situada a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Es tracta d'una ciutat-campus multifuncional que inclou el conjunt residencial 'Vila Universitària' i altres serveis en convivència amb les zones verdes de l'entorn però no dels edificis.

El campus de Bellaterra de la UAB està situat en una zona de turons i es caracteritza per l'elevat percentatge de vegetació del seu campus, amb aproximadament un 60% dels terrenys del campus ocupats per zones agrícoles i forestals. Està travessat per dues rieres, la riera de Can Magrans i la riera de Can Domènec. El pas de l'aigua en aquestes àrees es veu limitat als períodes de pluja, la qual cosa provoca que siguin rieres temporals amb trams que presenten zones de basses i altres completament secs.

La proposta es basarà en la reforma de dos dels aparcaments més grans de la universitat, situats al llarg de l'avinguda de Serragalliners, al costat del Parc de Bombers de Cerdanyola del Vallès, marcats en vermell en la figura 6.

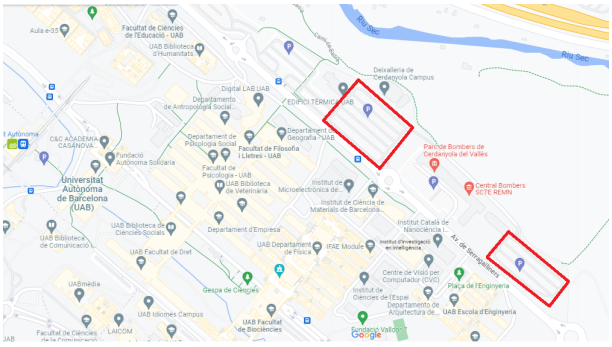

Fig. 6: Mapa de la universitat. Font: [9]

Els dos aparcaments compten amb sistemes de drenatge insuficients, ja que el paviment no permet la infiltració de l'aigua, únicament compten amb reixes de claveguera, però en cas de pluges intenses aquestes poden no ser suficient, per tant, en aquests aparcaments s'hi pot obtenir una millora significativa respecte a l'estat actual mitjançant la següent proposta.

L'aparcament més proper a la Deixalleria de Cerdanyola Campus compta amb arbres plantats entre les fileres de cotxes, com es pot veure en la figura 7.

Fig. 7: Aparcament I. Font: propia

Mentre que a l'altre aparcament els arbres estan situats al voltant del recinte, com es pot veure en la figura 8. Per tant, en els dos casos podrà ser utilitzada la vegetació per reduir l'escorrentia d'aigua.

Fig. 8: Aparcament II. Font: propia

3.1 Gestió de l'aigua

Fins ara s'ha donat més importància a l'energia i la mobilitat que a la gestió de l'aigua, i ara, que comença a escassejar ha agafat una gran importància la seva bona gestió, pel que des del departament de medi ambient es procura la bona gestió d'aquest recurs.

El 2022 al campus de Bellaterra de la UAB es van consumir aproximadament 190.000 m3 d'aigua, exactament no se sap quin és el percentatge que es gasta amb el reg, però aproximadament suposa un 20%. Actualment no es reguen gespes, únicament s'estan regant les zones amb gota a gota mitjançant l'aigua de boca i amb l'aigua dels pous es reguen alguns arbres situats en zones de gespa i que no tenen reg. Com a principal objectiu del departament es vol reduir l'ús de l'aigua, i com a accions pel canvi, durant els últims anys s'ha tendit a reduir l'aigua utilitzada per al reg, reduint el reg allà on es pot. Algunes de les accions que s'han fet és treure el reg de diverses rotondes i la nova rotonda construïda s'ha construït amb una part amb grava per evitar que hi hagi gespa. Una altre política que

s'ha desenvolupat és la utilització més pol·linitzadors, i per tant, es sega menys, reconvertint algunes àrees verdes en zones de prat. I, en quant a futures accions, aquestes seran enfocades en l'estalvi en diferents àrees i en la reducció de la demanda, sent una de les principals mesures que es pretén dur a terme la reducció de la pressió dels lavabos i dutxes, i en els laboratoris del campus, la substitució dels mètodes de refrigeració natural, els quals utilitzen aigua.

Un dels principals reptes a l'hora de gestionar l'aigua és la pròpia infraestructura de canonades, en la qual hi ha fuites i aquestes són detectades tard, amb la qual cosa es perd una gran quantitat d'aigua, així que per optimitzar-ne l'ús un dels principals objectius del departament és millorar la infraestructura, fent una renovació de la xarxa de canonades i telemesurant els comptadors, el qual ja s'ha començat a fer i es pretén instal·lar-ne més en els pròxims anys, juntament amb claus de pas en les canonades. L'ús de comptadors implica un major control i per tant es permet detectar les fuites més ràpidament, amb el que l'aigua que es perd és molt menor.

Un dels objectius de cara al futur és procurar diversificar les fonts d'aigua, que actualment, gairebé tota l'aigua prové de la xarxa d'abastament del sistema ATL, a part, també s'utilitza ocasionalment aigua de un dipòsit pluvial i d'un dels pous del campus, torre vila-puig, en el qual s'hi va fer un assaig de bombeig i es va veure que se'n podrien extreure uns 400 m3 al dia, però no hi ha un sistema de canonades per a extreure'n l'aigua, pel que aquest només és utilitzat per a reg de suport. Hi ha un altre pou, proper al Parc Mòbil, en el qual s'hi va fer un assaig de bombeig, en aquest es va veure que s'hi podien extreure uns 1000 litres cada dues o tres setmanes, però el problema està en que per a extreure-la es necessiten més de cent metres de mànega, instal·lar-hi una bomba i amés s'ha de passar per sota les vies del tren, pel que per l'aigua que es pot arribar a extreure l'amortització requerida és massa gran. Per a veure el possible ús que se li podria donar a l'aigua dels tres pous declarats a l'ACA per l'UAB se n'està analitzant la qualitat de l'aigua.

La universitat procura prevenir al màxim la contaminació de l'aigua que es s'aboca, una de les polítiques que du a terme tracta de recollir a banda els residus dels laboratoris per evitar que l'aigua amb productes es tiri per la pica. Una mesura que utilitza per a controlar la qualitat de l'aigua és fer analítiques de les sortides de l'aigua de la universitat, les quals surten com a equivalents a les aigües residuals urbanes, però en un futur, per a augmentar el control de la qualitat s'incrementaran els controls, analitzant la sortida als punts focus, que serien llocs amb laboratoris, per a comprovar que no s'hi tiren productes per la pica.

Un dels objectius del departament és l'augment de la resiliència davant les possibles inundacions i incendis, en aquesta línia, a l'edifici del Parc Mòbil s'hi recull aigua de dues baixants de les cobertes i s'emmagatzemen en un dipòsit contra incendis de 80m3. Aquesta és l'única mesura que hi ha presa respecte a la resiliència.

En quant a les aigües pluvials, s'han integrat certes mesures per a la seva recol·lecció, algunes amb èxit, com és el cas de l'edifici de l'ICTA o bé en el Parc Mòbil. Per altra banda, anteriorment s'havia provat de recollir aigua de la pluja en algun aparcament i també en alguna coberta, però els dos van ser intents fallits, ja que en el cas de l'aigua de l'aparcament se n'havia de fer un desguàs previ i en el cas de les cobertes no s'havia trobat la manera de distribuir aquesta aigua, pel que el problema no es trobava en l'emmagatzematge de la pròpia aigua, sinó en el seu tractament i distribució, així que aquests projectes es van deixar córrer.

Sobre l'aigua regenerada, des del departament es veu com una molt bona opció per a reduir el consum d'aigua potable, però el problema està en la seva implementació, ja que aquesta implicaria instal·lar una xarxa separativa entre l'aigua potable i la regenerada, o bé crear un sistema de piques en el qual l'aigua va directament a la cisterna, en els dos casos la instal·lació és costosa.

Per aquestes raons, des del departament s'ha optat per a la reducció d'aigua abans que per la reutilització o la recol·lecció, ja que requereix menys esforç i, en part, també s'estalvia energia. A l'edifici de l'ICTA s'hi van implementar aquestes mesures però perquè aquest va ser construït de nou i la implementació d'aquests sistemes pràcticament no influïen en el cost final de l'edifici, però en el cas dels edificis vells la instal·lació seria costosa, no obstant això, s'està mirant d'utilitzar de cara al futur aigua reutilitzada per a la neteja dels filtres de la piscina.

Fig. 9: Edifici de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA). Font: [1]

L'edifici de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la UAB, construït el 2014, és un model a seguir ja que té en compte la gestió completa del cicle de l'aigua per optimitzar la demanda i el consum d'aigua mitjançant la reutilització de diversos tipus d'aigües com ara les pluvials, les grises, les grogues i les negres. Aquest enfocament permet reduir fins a un 90% el consum d'aigua potable en comparació amb un edifici convencional similar. El disseny de l'edifici incorpora elements molt eficients com urinaris secs, inodors de baix cabal, aixetes amb airejadors i detectores d'obertura, i xerojardineria. A més, s'utilitzen diversos sistemes per recollir l'aigua de la pluja de la coberta de l'edifici, l'espai pavimentat i de l'edifici adjacent, part de la qual s'utilitza per regar les plantes, mentre que la resta passa per un procés d'ultrafiltració i desinfecció per al rentavaixelles i els lavabos. Les aigües grises es regeneren i es fan servir com a aigua de descàrrega dels inodors, mentre que les aigües residuals es tracten amb fitodepuració i se'n recull la fracció sòlida per al compostatge [1].

Per a dur a terme una bona gestió del cicle complet de l'aigua en una universitat un element clau és la col·laboració de la comunitat per a fer-ne un bon ús, i des de el departament de medi-ambient s'està pensant en fer una campanya de sensibilització per als estudiants, amb l'objectiu de sensibilitzar sobre la petjada hídrica de cadascú.

4 ANÀLISI DE L'ACTUAL GESTIÓ DE L'AIGUA

El departament de medi ambient té una línia de treball molt clara, la qual es basa en la reducció del consum d'aigua abans que en la reutilització de l'aigua utilitzada. Aquesta línia ve marcada per uns objectius, els quals seran analitzats a continuació.

Com a primer objectiu hi ha la reducció de l'ús de l'aigua, en aquesta línia només s'han realitzat accions en la reducció del reg, amb les diverses accions que s'han explicat en l'apartat anterior, pel que considero que tot i que s'aconsegueix una reducció de l'ús de l'aigua en la universitat, aquesta es queda lluny d'aconseguir tenir un impacte més ampli.

Un altre objectiu que té el departament és la millora de la infraestructura de canonades, la qual és antiga i té fuites, pel que un gran encert del departament és prioritzar abans que totes les altres accions la renovació de la infraestructura i la instal·lació de comptadors de telemetria.

En quant a l'objectiu de diversificar les fonts d'aigua, fer un anàlisi de la qualitat de l'aigua dels pous és una bona mesura per a poder saber en quins àmbits es podrà utilitzar l'aigua, però per poder dependre menys de l'aigua de la xarxa d'abastament s'hauria d'invertir en la recol·lecció de l'aigua de la pluja i en el reaprofitament de l'aigua gris, tot i que els pous poden ser una gran opció per a diversificar-ne les fonts, aquests tenen el mateix problema que els dos mètodes que acabo de nombrar, necessiten una gran inversió per a utilitzar-los, pel que s'hauria de fer un anàlisi de quin és el sistema que pot ser més eficaç.

Un altre punt fort de les mesures preses pel departament és el control de la contaminació de l'aigua, fent un control de l'aigua en la sortida de la universitat, una mesura útil per controlar que la contaminació no sigui excessiva, però es pot millorar amb la instauració dels controls en els punts focus, mesura que ja està plantejada.

En quant a l'objectiu d'augmentar la resiliència només hi ha una acció pressa, l'acumulació d'aigua de la pluja en un dipòsit contra incendis, però tenint en compte la gran quantitat de zones verdes que té la universitat, un sol dipòsit és insuficient per a ser prou resilients davant dels incendis. Sobre les possibles inundacions no hi ha cap mesura pressa ni pensada per a un futur, pel que s'haurà d'abordar el tema.

En conclusió, els objectius a llarg termini del pla de gestió de l'aigua són molt encertats per a la situació de la universitat, i es veu com tots els objectius del departament tenen una pla d'accions a realitzar en un futur, tot i que en el cas de la resiliència a inundacions no és té cap pla de futur. A més, un dels grans dèficits que es mostra és la falta de col·laboració de la comunitat universitària en el bon ús de l'aigua, el departament no ha desenvolupat cap campanya, és té com a una acció a realitzar en un futur i és necessari començar a implementar campanyes de sensibilització per a conscienciar sobre la petjada hídrica de cadascú, entre d'altres accions, per a implicar als estudiants en els reptes que la universitat s'enfronta davant de l'escassetat del recurs hídric.

5 PROPOSTA

La proposta de millora de la gestió de l'aigua es basarà en un camp en el que hi ha una manca d'atenció en l'entorn de la UAB, aquest és la resiliència davant les inundacions, i per tant, la següent proposta es basarà en la involucració de components del tren de tractament, el qual s'ha tractat en el marc teòric, en l'entorn de la universitat, per tal que es redueixi la quantitat d'aigua que va a parar a la xarxa de clavegueram i així s'augmenti la resiliència a possibles col·lapses dels sistema i es redueixi la despesa en la depuració d'aigua.

Els espais amb sistemes de drenatge insuficients són més propensos a patir inundacions o bé col·lapses del sistema de clavegueram, com ho són les zones amb més asfalt, com els aparcaments. A la UAB hi ha una gran quantitat d'aparcaments, i per tant, la proposta es basarà en la reforma dels dos aparcaments mencionats en l'apartat de l'Àrea d'Estudi.

5.1 Disseny de l'aparcament I

Aquest aparcament té plantats arbres entre les fileres de cotxes i consta d'una petita inclinació cap al Parc de Bombers, que ha sigut utilitzada per instalar-hi reixes de clavegueram, marcades en vermell en la figura 10. Aquestes característiques seran utilitzades per a que el disseny del nou aparcament tingui en compte la gestió de l'aigua de la pluja.

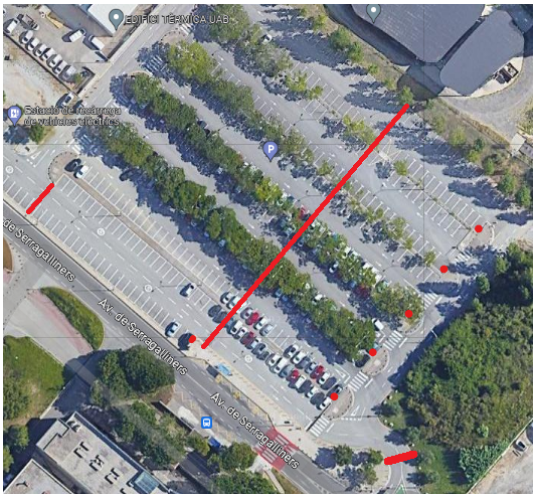

Fig. 10: Reixes del clavegueram de l'aparcament I. Font: [9]

La principal mesura serà la permeabilització del sòl, actualment impermeable, pel que no deixa que l'aigua es filtri cap al terra. S'haurà de canviar aquest sòl per un paviment permeable de infiltració parcial, que permetrà que la pluja s'infiltri a les capes subjacents del paviment

i únicament la proporció de precipitació que superi la capacitat del subsol serà traslladada a les entrades de la xarxa de clavegueram, pel que no farà falta reformar el sistema de clavegueram actual. Amb aquest sistema s'aconseguirà reduir l'escorrentia d'aigua superficial. A més, part de l'aigua filtrada serà consumida pels arbres plantats a l' aparcament, sense la necessitat de treure les voreres que separen els arbres de l'asfalt actual.

Per a millorar els resultats del paviment permeable serà necessaria la instal·lació de vegetative swales, que basicament consisteixen en un canal d'aigua cobert amb vegetació densa.

Esta marcada en blau en la figura 11 la ubicació en la que s'haura de col·locar el vegetative swales. Aquesta ubicació permetrà que es recol·lecti tota l'aigua sobreeixida del clavegueram en cas de pluja intensa o bé, l'aigua que donat el pendent de l'aparcament arribi a la part final d'aquest a través del paviment. Una vegada l'aigua sigui als swales serà dirigida, a més o menys velocitat depenent de la quantitat d'aigua, cap a la reixa de claveguera marcada en vermell en la figura 11.

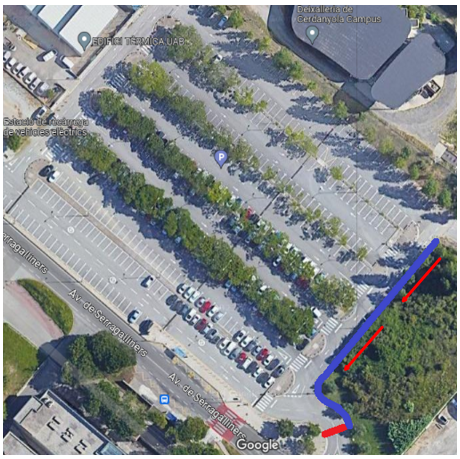

Fig. 11: Disseny dels swales a l'aparcament I. Font: [9]

5.2 Disseny de l'aparcament II

Aquest aparcament està envoltat de vegetació, separada per una vorera, i conté reixes de clavegueram col·locades en la llargada de les línies vermelles de la figura 12.

Fig. 12: Reixes del clavegueram de l'aparcament II. Font: [9]

La proposta de millora per aquest aparcament es basarà en el canvi de l'asfalt actual per el mateix tipus de paviment que en l'aparcament anterior, paviment permeable de infiltració parcial, el qual permetra traslladar l'aigua sobrant a les entrades de la xarxa de clavegueram, que igual que en l'aparcament anterior estan col·locades de manera estratègica per aprofitar la inclinació del terreny. Per tant, en aquesta operació no serà necessari reformar la xarxa de clavegueram per a ser aprofitada per aquest sistema, ja que l'aigua serà conduida directament cap a les entrades del sistema de clavegueram.

Igual que en el primer aparcament, s'hi afagiran vegetated swales per a millorar el rendiment del paviment permeable. En aquest cas els swales seran col·locats al voltant de l'aparcament, actualment rodejat per vorera, separant d'aquesta manera l'asfalt de la vegetació mitjançant l'ús de infraestructura verda.

L'aigua acumulada en els swales serà traslladada en direcció cap a les fletxes marcades en la figura 13, fins arribar a les entrades del clavegueram situades a la part final dels swales.

Fig. 13: Disseny dels swales a l'aparcament II. Font: [9]

Amb la implementació d'aquestes tècniques no únicament s'aconseguirà reduir l'escorrentia d'aigua, sinó que també s'aconseguirà la reducció de contaminants en l'aigua mitjançant l'absorció de les plantes i una major infiltració per recarregar les aigües subterrànies.

5.3 Implicació de la Quàdruple Hèlix

En aquest apartat s'exposarà com es pot involucrar als agents de la quàdruple hèlix en el projecte. Sent la col·laboració dels quatre agents primordial per aconseguir que el projecte tingui èxit.

5.3.1 Acadèmia

L'acadèmia es refereix a la pròpia universitat, i aquesta desenvolupa un paper clau en la generació de coneixement i solucions innovadores. En l'àmbit de la gestió de l'aigua, l'acadèmia pot desenvolupar un paper fonamental en la investigació científica per millorar l'eficiència hídrica, desenvolupar tecnologies més sostenibles i promoure'n l'ús responsable del recurs entre els estudiants i la comunitat acadèmica en general.

Com a primera acció necessària per promoure la involucració de la universitat ens reunirem amb els departaments encarregats de la gestió de l'aigua, el departament de medi ambient i el d'arquitectura. En la reunió es presentarà el projecte i s'explicarà com aquest s'alinea amb els objectius i valors d'aquests departaments, en relació amb la gestió de l'aigua, amb l'objectiu de treballar en col·laboració amb aquests departaments.

Juntament amb els departaments es buscarà integrar el projecte en plans d'estudi existents per realitzar investigacions conjuntes entre aquests com estudis de factibilitat o anàlisis de impacte ambiental. Per desenvolupar les investigacions serà necessària la instal·lació de sensors per monitoritzar i analitzar les dades obtingudes, i es permetrà als estudiants que accedeixin a les dades recopilades per realitzar anàlisis i estudis, oferint-los una oportunitat pràctica d'aprenentatge i aplicació dels coneixements.

5.3.2 Societat civil

La societat civil exerceix un paper fonamental en la creació de consciencia i en la adopció de les pràctiques sostenibles relacionades amb l'ús de l'aigua. Per tant, és imprescindible involucrar als estudiants, professors i personal universitari en la promoció d'una cultura de cura i responsabilitat hídrica, ja que aquests són els principals consumidors d'aigua en el campus.

Els estudiants són el centre de la comunitat universitària, tenint la capacitat de influenciar en altres membres de la comunitat universitària, i per tant, a seva implicació en projectes de millora i educació sobre l'ús eficient de l'aigua pot generar una cultura de conservació i reutilització i un impacte positiu a llarg termini en la universitat, i conseqüentment en la societat, ja que els estudiants són el futur de la societat.

Per poder involucrar als estudiants serà necessari donar visibilitat al projecte i sensibilitzar sobre la importància de la bona gestió de l'aigua pluvial i la necessitat de prevenir els problemes mediambientals relacionats amb el canvi climàtic. Es crearà material informatiu en forma de cartells penjats al llarg de la universitat, com faroles o parades d'autobús i també en fulletons, distribuïts en àrees comunes de la universitat, com les biblioteques, les facultats i la plaça Cívica. En aquests es mostrarà informació per sensibilitzar als estudiants i també aspectes claus del projecte, com els beneficis que aportaran les tècniques utilitzades en la millora de la gestió del cicle de l'aigua i els beneficis mediambientals que comportaran.

5.3.3 Industria

La industria, representada per les empreses i organitzacions relacionades amb la gestió de l'aigua, exerceix un paper clau en la implementació de solucions tecnològiques, i en la gestió de l'aigua no n'és una excepció. Per a una bona gestió és imprescindible involucrar a la indústria, degut als seus coneixements especialitzats en l'ús eficient de recursos i tecnologies especialitzades amb l'aigua, doncs, la col·laboració amb les empreses pot facilitar la transferència de coneixements i la implementació de projectes conjunts de investigació i desenvolupament.

D'aquesta manera, per involucrar a la industria en el projecte serà necessari en primer lloc reunir-se amb les empreses locals i regionals relacionades amb la temàtica. En la reunió s'haurà d'explicar el projecte i els beneficis que obtindran les empreses en participar-hi, com la visibilitat i reputació obtingudes, ja que aquest és un projecte sostenible i de millora de l'entorn local. Doncs d'aquesta manera, es buscaran oportunitats de finançament o patrocini per part d'aquestes empreses.

Per convèncer a aquestes empreses es proposarà la realització de proves pilot i demostracions, en col·laboració amb les empreses, el qual els permetrà evaluar la viabilitat i efectivitat, a la vegada que proporcionarà informació valuosa per als projectes propis de les empreses.

5.3.4 Govern

El govern desenvolupa un paper fonamental en l'establiment de polítiques i regulacions que fomenten una gestió responsable de l'aigua, pel que la seva implicació és molt important. Per assegurar el compliment de les normatives i obtenir recolzament en recursos financers s'haurà de treballar conjuntament amb les autoritats locals més properes a la universitat, com ho són Bellaterra, Cerdanyola i Sant Cugat, i també amb les autoritats regionals.

S'haurà de començar realitzant reunions amb els representants governamentals d'aquests municipis, per tal d'explicar com el projecte pot ajudar a complir els objectius de desenvolupament sostenible, millorant la resiliència a les inundacions i reduint la carrega de l'aigua pluvial en el clavegueram, i per tant, reduint els costos de l'EDAR.

L'objectiu d'aquestes reunions serà la col·laboració amb el govern, per tal d'obtenir finançament per al projecte o bé recolzament tècnic.

5.4 Avaluació de l'impacte

En aquest apartat s'abordaran els Key Performance Indicators (KPIs), tant qualitatius com quantitatius, que permetran avaluar i mesurar l'impacte que es tindrà amb la implementació del projecte, tant pel que fa als resultats tangibles com als aspectes qualitatius.

Els impactes quantitatius s'avaluaran mitjançant estudis d'impacte dels KPIs, mentre que els qualitatius s'avaluaran mitjançant l'anàlisi de la percepció dels diferents agents implicats en cadascun dels KPIs.

Quantitatius:

- Reducció de l'escorrentia d'aigua
- Reducció de l'efecte illa de calor
- Percentatge de reducció en la despesa en el tractament d'aigua
- Percentatge de reducció de l'aigua que va a parar a la xarxa de clavegueram
- Volum d'aigua filtrada al sòl en esdeveniments de pluja

Qualitatius:

- Millora de la resiliència a inundacions
- Satisfacció i percepció dels usuaris
- Impacte ambiental

6 DISCUSSIÓ

El treball realitzat és de gran importància, ja que aborda un repte de gran rellevància i que en l'entorn de la UAB no hi ha cap mesura de prevenció, com ho és la resiliència a les inundacions. Això demostra que la proposta presenta un enfocament proactiu cap a la gestió del recurs hídric i la prevenció de desastres naturals.

La proposta pot generar beneficis econòmics, ja que amb la reducció de la quantitat d'aigua que arriba al sistema de clavegueram es poden arribar a reduir els costos de depuració i de reparació, donat per la reducció en la probabilitat de col·lapse del sistema. Tot i que per a la implementació del projecte es necessitarà una inversió inicial significativa.

A part, la proposta també presentarà beneficis mediambientals, ja que amb l'ús de vegetació i la millora de la infiltració de l'aigua en el subsol es pot contribuir en la recarrega d'aqüífers.

Aquest treball podria haver sigut més extens i presentar una millor proposta en la que es tractes quins són els passos a seguir en la seva implementació, incloent en l'estat de l'art aspectes més tècnics sobre la implementació de les mesures utilitzades a la proposta.

7 CONCLUSIONS

- El principal objectiu del treball era la millora de la gestió de l'aigua en l'entorn de la UAB, però aquest ha sigut centrat en l'aigua de la pluja, pel que com a resultat amb l'aplicació del projecte s'obté una millora de en la gestió de l'aigua de la pluja i sobretot es millora la resiliència a possibles inundacions i saturacions del sistema de clavegueram.
- Un altre dels principals objectius del treball era utilitzar la vegetació per reduir l'escorriment d'aigua de la pluja i que aquesta aigua fos infiltrada en el sòl. Aquest objectiu s'ha complert, ja que s'utilitzarà paviment impermeable per a promoure la infiltració d'aigua al sòl i a més, en un dels aparcament s'utilitzaran vegetative swales, que són composats únicament per vegetació i promouen la infiltració de l'aigua al sòl.
- Un dels objectius era la reducció en la quantitat d'aigua que arriba al sistema de clavegueram, per tal de reduir la despesa en tractament d'aigües residuals i les saturacions d'aquest en fortes pluges. Amb la implementació d'aquest projecte s'aconsegueixen els objectius, ja que es disminuirà l'aigua que va a parar a la xarxa de clavegueram, i per tant, la quantitat d'aigua que es destinarà a la depuradora serà menor i en fortes pluges la possibilitat de saturació del sistema serà menor.
- Com a objectiu es tenia contribuir a la conservació i ús eficient del recurs hídric en l'entorn universitari. Aquest objectiu no s'aconsegueix complir, ja que les mesures establertes tindran més en compte la bona gestió de l'aigua de la pluja que no pas la conservació i ús eficient de l'aigua destinada al consum.

8 AGRAÏMENTS

M'agradaria expressar els meus agraïments al Fernando Vilariño, el meu tutor durant el desenvolupament d'aquest treball. Gràcies per guiar-me i recolzar-me. També vull agrair a l'Anna Florensa per la seva col·laboració en la meva investigació i la seva disposició en compartir la seva experiència i coneixements amb mi. La seva contribució ha sigut fonamental per completar aquest treball. Moltes gràcies de nou als dos pel vostre temps i col·laboració.

REFERENCES

[1] Icta - uab. [Online]. Available: https://www.uab.cat/web/icta-1345800973581.html, Accessed on May 19, 2023.

[2] Pervious vs impervious pavement. [Online]. Available: https://www.truegridpaver.com/pervious-vs-impervious-pavement/, Accessed on May 26, 2023.

[3] ABAS, A. A., AND HASHIM, M. Change detection of runoff-urban growth relationship in urbanised watershed. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (2014), IOP Publishing, p. 012040.

[4] BARCELÓ, D., AND LÓPEZ, M. J. Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. *Jornadas de presentación de resultados: el estado ecológico de las masas de agua. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas, Sevilla* (2008), 1–27.

[5] BILL HUNT, K. G. Swale terminology for urban stormwater treatment.

[6] BOANO, F., CARUSO, A., COSTAMAGNA, E., RIDOLFI, L., FIORE, S., DEMICHELIS, F., GALVÃO, A., PISOEIRO, J., RIZZO, A., AND MASI, F. A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of the total environment 711* (2020), 134731.

[7] CHANG, J., LEE, W., AND YOON, S. Energy consumptions and associated greenhouse gas emissions in operation phases of urban water reuse systems in korea. *Journal of Cleaner Production 141* (2017), 728–736.

[8] DAI, S.-P., LIU, M.-X., AND ZHOU, T.-Y. Study on the capacity of extensive green roof to mitigate rainwater runoff in guangzhou.

[9] GOOGLE. Google maps. https://www.google.es/maps, Accessed on June 15, 2023.

[10] IGNATIEVA, M., MEURK, C., VAN ROON, M., SIMCOCK, R., AND STEWART, G. H. How to put nature into our neighbourhoods: Application of low impact urban design and development (liudd) principles, with a biodiversity focus, for new zealand developers and homeowners.

[11] JIMÉNEZ, A., RUSSO, B., RUIZ, O., AND ACERO, A. Eficiencia hidráulica y ambiental de cubiertas verdes en un clima mediterráneo continental seco. aplicación a una nueva urbanización en la ciudad de zaragoza (españa). *Ingeniería del agua 25*, 2 (2021), 127–144.

[12] KHOURY-NOLDE, N. Rainwater harvesting. *Zero-M organization, Germany* (2010).

[13] LINKS, M. Minnesota stormwater manual.

[14] MANDOME GARCÍA, C. Estudi de viabilitat i implantació d'un sistema d'aprofitament i reciclatge de les aigües grises i pluvials en una instal· lació esportiva. Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2019.

[15] PAN, T., ZHU, X.-D., AND YE, Y.-P. Estimate of life-cycle greenhouse gas emissions from a vertical subsurface flow constructed wetland and conventional wastewater treatment plants: A case study in china. *Ecological Engineering 37*, 2 (2011), 248–254.

[16] SEO, M., JABER, F., SRINIVASAN, R., AND JEONG, J. Evaluating the impact of low impact development (lid) practices on water quantity and quality under different development designs using swat. *Water 9*, 3 (2017), 193.

[17] TRUONG, P. T. H. Determining the effectiveness of drought resilient bioretention bed in storm water management. Master's thesis, Schulich School of Engineering, 2022.

[18] UNDESA, P. World urbanization prospects: the 2018 revision. *Retrieved August 26* (2018), 2018.

[19] VARDON, M., LENZEN, M., PEEVOR, S., AND CREASER, M. Water accounting in australia. *Ecological Economics 61*, 4 (2007), 650–659.

[20] WHELANS, C., MAUNSELL, H. G., AND THOMPSON, P. Planning and management guidelines for water sensitive urban (residential) design. *Department of Planning and Urban Development of Western Australia, Perth, Australia* (1994).

[21] WONG, T. H. F., ALLEN, R. A., BROWN, R. R., DELETIC, A., GANGADHARAN, L., GERNJAK, W., JAKOB, C., REEDER, M. J., TAPPER, N. J., AND WALSH, C. J. Stormwater management in a water sensitive city: Blueprint 2013.

[22] WOODS-BALLARD, B., KELLAGHER, R., MARTIN, P., JEFFERIES, C., BRAY, R., SHAFFER, P., ET AL. *The SUDS manual*, vol. 697. Ciria London, 2007.

[23] ZHENG, X., ZOU, Y., LOUNSBURY, A. W., WANG, C., AND WANG, R. Green roofs for stormwater runoff retention: A global quantitative synthesis of the performance. *Resources, Conservation and Recycling 170* (2021), 105577.

ANNEX