

Anàlisi de les descàrregues de la xarxa unitària de sanejament de Girona en els seus dos principals sobreexidors

Estudiant: Pau Faja Grabulosa

Correu electrònic: paufajag@gmail.com

Grau en Ciències ambientals

Tutor: Joaquim Comas Matas

Correu electrònic: joaquim.comas@udg.edu

Cotutor: Josep Pueyo Ros

Correu electrònic: josep.pueyo@udg.edu

Empresa/Institució: Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA)

Data de dipòsit de la memòria a través de la plataforma de TFG: (7/6/2024)

Agraïments

En primer lloc, voldria agrair l'ajuda que m'han donat tant el meu tutor del treball en Joaquim Comas Matas com l'equip format per en Josep Pueyo, La Sílvia Busquets, en Lluís Corominas i l'Oriol Gutiérrez. Gràcies als seus consells he pogut desenvolupar aquest treball a mesura que m'endinsava dins el món de la recerca de l'aigua.

També m'agradaria agrair als meus pares Josep i Xesca per donar-me l'oportunitat d'estudiar el que més m'agrada i a la meva germana Irina pel seu suport incondicional durant tot el procés. Amb els valors que he après d'ells, he aconseguit arribar a les meves fites. M'agradaria també agrair a la meva àvia Dolors per il·lusionar-se amb els meus projectes com si fossin seus, fent que cada pas en el camí l'agafés amb il·lusió i amb la voluntat de fer-la sentir orgullosa.

Als meus amics Oriol, Pol, Mariona i Clàudia per ajudar-me a superar cada entrebanc que em trobava durant la carrera, sempre amb el cap alt.

Per últim, m'agradaria agrair-li a la Paula les ganes de descobrir amb mi com funciona el món, en especial el de la gestió de l'aigua.

ÍNDIX

Resum	4
Resumen	5
Abstract	6
Reflexió ètica	7
Reflexió sobre Sostenibilitat	7
Reflexió sobre Perspectiva de Gènere	7
1. Introducció	8
1.1. Efectes de les DSU	10
1.2. Solucions a les DSU	11
2. Objectives	13
3. Metodologia	14
3.1. Identificació de la zona d'estudi	14
3.2. Sobreeixidors	16
3.3. Aparells de mesura emprats	18
3.4. Tractament de dades.....	20
4. Resultats i discussió	23
4.1. Comparativa de cabals entre el dia i la nit	23
4.2. Comparativa de cabals a temps sec	24
4.3. Comparativa de cabals a temps humit.....	26
4.4. Volum del sobreeiximent	27
4.5. Possibles efectes i solucions a les DSU	28
4.6. Limitacions d'aquest treball.....	32
5. Conclusions	33
6. Bibliografia	34

Resum

Moltes de les xarxes de sanejament que condueixen les aigües residuals de les ciutats funcionen seguint un sistema unitari. En aquest s'hi combinen les aigües residuals domèstiques i pluvials en una única xarxa de sanejament. Aquest tipus de disseny comporta que quan hi ha un gran volum de pluja, els sistemes no poden gestionar-ho i es produeix una sobrecàrrega, provocant que els excessos d'aigua i contaminants siguin descarregats directament als cursos d'aigua en forma de descàrregues del sistema unitari (DSU).

Les DSU representen una preocupació ambiental creixent en moltes ciutats al voltant del món en afectar greument la qualitat dels cursos d'aigua. Per aquest motiu, aquest estudi pretén estimar el volum d'aigua generat per les DSU a partir de mesures prèvies de cabal fetes en els col·lectors de la xarxa de sanejament de Girona. Aquestes mesures han estat realitzades per dos cabalímetres disposats just abans dels sobreexidors en els quals s'hi produeixen les DSU.

Amb les dades dels cabalímetres i dels pluviòmetres disponibles de CATSA, s'han pogut representar les variacions de cabal d'aigua residual en funció de la pluja. Això ha permès identificar una clara relació entre la intensitat de la pluja i el volum de desbordament.

A més, s'ha determinat el llindar de precipitació a partir del qual es produeixen les DSU al sobreexidor de l'Hospital Josep Trueta, aquest s'estima de 2 mm de precipitació a partir de les dades recollides. Aquesta informació és crucial per a avaluar l'estat actual de la xarxa de clavegueram i per a planificar futures intervencions.

Per a minimitzar els efectes adversos dels desbordaments, es proposen diverses mesures. Entre elles, la implementació de sistemes de clavegueram separatiu, l'ús de models informàtics per a monitorar la xarxa i la creació de dipòsits de retenció per a gestionar conjuntament les aigües pluvials i residuals. Aquestes solucions permetrien una gestió més eficient dels recursos hídrics, reduint l'impacte ambiental i millorant la qualitat de l'aigua.

En conclusió, aquesta recerca no sols identifica i quantifica les DSU, sinó que també ha proposat estratègies per a mitigar els seus efectes, contribuint així a la protecció del medi ambient a Girona.

Resumen

Muchas de las redes de saneamiento que conducen las aguas residuales de las ciudades funcionan siguiendo un sistema unitario. En este se combinan las aguas residuales domésticas y pluviales en una única red de saneamiento. Este tipo de diseño comporta que cuando hay un gran volumen de lluvia, los sistemas no pueden gestionarlo y se produce una sobrecarga, provocando que los excesos de agua y contaminantes sean descargados directamente en los cursos de agua en forma de descargas del sistema unitario (DSU).

Las DSU representan una preocupación ambiental creciente en muchas ciudades alrededor del mundo al afectar gravemente la calidad de los cursos de agua. Por este motivo, este estudio pretende estimar el volumen de agua generado por las DSU a partir de medidas previas de caudal hechas en los colectores de la red de saneamiento de Girona. Estas medidas han sido realizadas por dos caudalímetros dispuestos justo antes de los aliviaderos en los cuales se producen las DSU.

Con los datos de los caudalímetros y de los pluviómetros disponibles de CATSA, se han podido representar las variaciones de caudal de agua residual en función de la lluvia. Esto ha permitido identificar una clara relación entre la intensidad de la lluvia y el volumen de desbordamiento.

Además, se ha determinado el umbral de precipitación a partir del cual se producen las DSU en el aliviadero del Hospital Josep Trueta, este se estima de 2 mm de precipitación a partir de los datos recogidos. Esta información es crucial para evaluar el estado actual de la red de alcantarillado y para planificar futuras intervenciones

Para minimizar los efectos adversos de los desbordamientos, se proponen varias medidas. Entre ellas, la implementación de sistemas de alcantarillado separativos, el uso de modelos informáticos para monitorizar la red y la creación de depósitos de retención para gestionar conjuntamente las aguas pluviales y residuales. Estas soluciones permitirían una gestión más eficiente de los recursos hídricos, reduciendo el impacto ambiental y mejorando la calidad del agua.

En conclusión, esta investigación no solo identifica y cuantifica las DSU, sino que también ha propuesto estrategias para mitigar sus efectos, contribuyendo así a la protección del medio ambiente a Girona.

Abstract

Many of the sewage networks that carry wastewater in cities operate on a unitary system. In this system, domestic wastewater and stormwater are combined in a single sewerage network. This type of design means that when there is a large volume of rainfall, the systems cannot manage it and overloading occurs, causing excess water and pollutants to be discharged directly into watercourses in the form of unitary system discharges (DSU).

DSUs represent a growing environmental concern in many cities around the world by severely affecting the water quality and also the ecosystem functions of watercourses. For this reason, this study aims to estimate the volume of water generated by DSU previous flow measurements made in the sewage network collectors of Girona. These measurements have been made by two flow meters placed just before the spillways where the DSU are produced.

With the data from the flow meters and rain gauges available from CATSA, it has been possible to plot the variations in wastewater flow as a function of rainfall. This made it possible to identify a clear relationship between rainfall intensity and overflow volume in different rain episodes.

In addition, the rainfall threshold at which the DSU of Hospital Josep Trueta overflows is produced has been determined in this study. This is estimated at 2 mm of rainfall based on data collected. This information is crucial to assess the current state of the sewer network and to plan future interventions to improve this rain threshold.

To minimize the adverse effects of overflows, several measures are proposed. These include the implementation of separate sewer systems, the use of computer modelling to monitor the network and the creation of retention basins to jointly manage stormwater and wastewater. These solutions would allow a more efficient management of water resources, reducing environmental impact and improving water quality.

In conclusion, this research not only identifies and quantifies DSU, but has also proposed strategies to mitigate their effects, thus contributing to the protection of the environment in Girona specifically the Ter river.

Reflexió ètica

Aquest treball sobre la gestió dels sobreeixidors a Girona no només implica una responsabilitat científica i tècnica, sinó també una dimensió ètica profunda. És un recordatori del compromís que tenim com a societat envers el nostre entorn i les futures generacions. L'ús responsable dels recursos hídrics és un deure ètic que hem d'afrontar de manera col·lectiva. La necessitat de preservar la qualitat de l'aigua, reduir el seu malbaratament i minimitzar els impactes negatius sobre els ecosistemes aquàtics no només és una qüestió de lleis i reglamentacions, sinó també d'integritat moral. Aquest treball posa de manifest la nostra responsabilitat compartida enfront de la crisi hídrica i l'ús de pràctiques de recerca acceptades per tal d'obtenir resultats fiables.

Reflexió sobre Sostenibilitat

El treball sobre els sobreeixidors a Girona s'inscriu dins d'un marc de sostenibilitat, tant ambiental com social. La transformació urbana cap a una ciutat més conscienciada i resilient no només busca preservar els recursos naturals, sinó també millorar la qualitat de vida dels ciutadans. Atenuar els sobreeiximents d'aigües residuals no només contribueix a la conservació del medi ambient, sinó que també té implicacions en la seguretat sanitària i en la disponibilitat d'aigua potable. A més, la reutilització de l'aigua tractada per a fins com la recàrrega d'aqüífers demostra un compromís amb la utilització sostenible dels recursos hídrics i una visió de futur centrada en la conservació i regeneració dels ecosistemes.

Reflexió sobre Perspectiva de Gènere

Un dels problemes principals de les xarxes de sanejament són els embussos, causats principalment per materials no degradables com les tovallolletes humides, que representen un alt percentatge dels residus trobats. Atribuir la responsabilitat d'aquests embussos a les dones pels productes d'higiene femenina és injust i perpetua estereotips de gènere, ja que aquests productes constitueixen una petita proporció dels residus totals. Les polítiques públiques i campanyes educatives han de promoure pràctiques responsables de descart per a tots els productes, evitant estigmatitzar cap grup. A més, és essencial millorar les infraestructures de sanejament i invertir en tecnologies més eficients per abordar aquest problema de manera equitativa i informada evitant així biaixos de gènere.

1. Introducció

Moltes de les activitats que realitzem en el nostre dia a dia comporten la generació de residus de diferents tipus. En aquest treball ens centrarem en un dels residus que més generem i que menys consciència en tenim, les aigües residuals. Aquestes aigües són la combinació dels residus líquids i sòlids generats per les activitats humanes les quals, un cop generades, són abocades al clavegueram per la seva posterior gestió en una Estació Depuradora D'aigües Residuals (EDAR).

La quantitat i qualitat de les aigües residuals varia en funció de múltiples factors, perquè no totes les persones o indústries generen la mateixa quantitat de residus. El comportament, l'estil de vida i el marc tècnic i jurídic que envolta les persones influeixen significativament en el tipus de residus produïts a les llars. Tot i que la seva composició pot ser variable, els principals constituents de les aigües residuals són els microorganismes, la matèria orgànica biodegradable i no biodegradable, els nutrients, els metalls, els elements inorgànics, els elements tòxics i els elements que alteren l'olor, el gust o la temperatura (Henze et al., 2008).

Les variacions en la composició i en l'origen de les aigües residuals permet classificar-les en aigües residuals domèstiques, industrials, aigües de pluja o generades per infiltracions en el clavegueram, per lixiviats i per foses sèptiques (Henze et al., 2008).

Les aigües residuals domèstiques es poden diferenciar en aigües negres i aigües grises. Essent les aigües grises aquelles generades per les rentadores, dutxes, rentamans i cuines les quals solen contenir altes concentracions de matèria orgànica, nutrients, olis i greixos que afavoreixen el creixement bacterià. Per altra banda, les aigües negres, són aquelles generades pels lavabos, urinaris i bidets (Díaz et al., 2021).

És important fer una gestió adequada de les aigües residuals per evitar la contaminació del medi ambient i poder garantir la salut pública. Per gestionar-les de manera efectiva, les ciutats disposen de xarxes de sanejament urbanes. Aquestes xarxes comprenen el conjunt d'infraestructures de recollida, transport i sistemes de tractament destinats a gestionar adequadament les aigües residuals generades per la població. A Girona, la xarxa de sanejament es divideix en dues grans seccions, la xarxa de sanejament en alta i la xarxa de sanejament en baixa.

La xarxa pública de sanejament en alta és aquella composta pels col·lectors supramunicipals i l'EDAR de Campdorà. Aquesta consta de 59,75 km de canonades, 1.147 pous de registre, 62 sobreeixidors i 5 estacions de bombament d'aigües residuals. Aquesta xarxa és propietat

de l'Agència Catalana de l'Aigua, però l'Ajuntament n'exerceix l'administració i la gestió es realitza a través de la societat de capital públic TRARGISA, SA.

En canvi, la xarxa pública de sanejament en baixa és aquella composta pel clavegueram de competència municipal el qual consta de 300,32 km de canonades, 8.171 pous de registre, 12.941 embornals, 10.595,78 unitats de reixes lineals de drenatge, 6 tancs de tempesta, 2 separadors d'hidrocarburs i 6 estacions de bombament d'aigües residuals. Aquesta xarxa es gestiona directament a través de l'empresa pública Cicle de l'Aigua del Ter, S.A. (CATSA), que en realitza el manteniment preventiu i correctiu, la reposició i les inversions, a més del control de les comportes i reixes de la Séquia Monar, així com del canal de la Devesa (Xarxa de Sanejament de Les Aigües Residuals | Sostenibilitat - Ajuntament de Girona, s. d.).

Un dels factors que determinen si la xarxa de sanejament esta ben dimensionada és la pluja, especialment les pluges torrencials. Aquestes pluges generen una elevada quantitat d'aigua en un breu període de temps, fent que els sistemes de sanejament no puguin engolir i transportar tot el volum d'aigua pluvial. El canvi climàtic podria amplificar encara més el problema de les DSU a causa dels períodes de retorn més curts dels esdeveniments de tempestes extremes (Metcalf et al., 2014). Aquesta problemàtica es veu amplificada pel tipus de disseny de les xarxes de clavegueram, les quals poden ser unitàries o separatives.

Les xarxes unitàries recullen les aigües residuals i pluvials en un sol sistema de conducció. En episodis de pluja intensa, aquestes xarxes poden no estar dimensionades per absorbir el volum d'aigua, provocant descàrregues de sistemes unitaris o DSU, que consisteixen en abocaments d'aigua residual al medi que poden causar un impacte ambiental considerable (Radinja et al., 2019).

En contrast, les xarxes separatives gestionen millor aquesta situació, ja que permeten la recollida i el tractament separat d'aigües residuals i pluvials, reduint els riscos d'abocaments no desitjats.

Aquestes descàrregues sobre el medi aquàtic poden provocar altes concentracions de patògens microbians, sòlids, deixalles i contaminants tòxics, així com dèficits d'oxigen (a causa de l'entrada de components orgànics degradables) a l'aigua receptora. Això crea problemes de salut pública, estrès en els organismes aquàtics i problemes de qualitat de l'aigua (Mailhot et al., 2015).

En aquest context, és crucial comprendre el funcionament de les xarxes de sanejament urbanes i saber com es produeixen els abocaments. Per afrontar aquesta problemàtica, el Reial decret 665/2023 estableix els requisits que han de complir els abocaments en episodis

de pluja, destacant la necessitat que els organismes responsables de la conca tinguin un inventari d'aquests abocaments.

El treball se centra a determinar el volum d'aigua abocada al medi a causa de les DSU en episodis de pluja dels dos principals sobreixidors de la xarxa de sanejament de Girona: un d'ells situat als voltants de l'Hospital Josep Trueta i l'altre a l'entrada de l'EDAR de Campdorà, ambdós abocant les aigües al riu Ter. L'objectiu és evidenciar el volum d'aigua residual que s'aboca al medi sense un tractament previ. Tanmateix, es pretén promoure l'actuació de l'òrgan competent per minimitzar aquestes pèrdues d'aigua garantint així que la màxima quantitat d'aigua residual arribi a l'EDAR per poder ser tractada.

Cal afegir, que aquesta aigua que arriba a l'EDAR, un cop tractada amb un tractament avançat, pot ser utilitzada per reg, neteja de carrers o per la recàrrega d'aqüífers segons els valors de qualitat establerts pel Reial decret 1620/2007 (Real Decreto 1620/2007, s.d.).

Aquest treball s'emmarca dins del projecte GiroNat, en el qual l'Institut Català de la Recerca de l'Aigua (ICRA) està desenvolupant un model hidràulic de la xarxa de drenatge de Girona amb l'objectiu de reduir les DSU al medi natural (ICRA, 2022). Aquesta iniciativa forma part d'un projecte més ampli que busca promoure la biodiversitat i la infraestructura ecològica com a pilars fonamentals de la renaturalització urbana a Girona, transformant la ciutat en un entorn més verd, resilient i saludable. Aquest projecte es pot consultar a la següent pàgina web: <https://web.girona.cat/gironat> (Projecte GiroNat - Ajuntament de Girona, s.d.).

En el context actual de sequera, l'abocament d'aigua no tractada en un curs fluvial és un problema greu. Per això, la recerca sobre els abocaments d'aigua residual és essencial per evitar els seus efectes negatius sobre l'ecosistema fluvial i conscienciar les administracions sobre la necessitat de millorar les xarxes de sanejament actuals (Passerat et al., 2011).

1.1. Efectes de les DSU

Pel que fa als efectes de les DSU al medi, aquests poden ser efectes immediats o retardats. Els efectes immediats inclouen la degradació de la fracció soluble de la demanda bioquímica d'oxigen (DBO) i l'absorció i degradació de matèria orgànica al fons del riu.

En contrast, els efectes retardats són conseqüència de la degradació de la matèria orgànica soluble, la matèria col·loidal i les partícules fines fixades al llit per adsorció, provocant un esgotament prolongat d'oxigen que pot durar més enllà del desbordament inicial. Segons Hvitved-Jacobsen (1982), l'oxigen tendeix a retornar a les condicions normals en un termini de 12-24 hores si no es produeixen nous abocaments.

Un efecte significatiu és l'aportació de patògens presents a les aigües residuals, que poden transformar les masses d'aigua naturals en cursos d'aigua insegurs per al subministrament d'aigua potable i per a activitats recreatives. La descomposició de la matèria orgànica en el medi receptor comporta un consum elevat d'oxigen dissolt, provocant condicions d'hipòxia potencialment letals per als organismes aquàtics i generant gasos com el metà, que poden alterar les propietats organolèptiques i fisicoquímiques de l'aigua.

A més, olis, àcids i altres compostos tòxics no tractats en aquestes aigües residuals poden tenir efectes greus en la fauna i flora aquàtica, ja que aquestes substàncies es poden bioacumular al llarg de la xarxa tròfica (César i Vázquez, 2003).

1.2. Solucions a les DSU

Pel que fa a possibles solucions, actualment les normatives de construcció actuals obliguen a construir amb sistemes de clavegueram separatius, que consisteixen a conduir les aigües pluvials per una banda i les aigües residuals per una altra. La idea subjacent és que l'aigua de pluja és neta i, per tant, no cal barrejar-la amb la residual, cosa que permetria una gestió més eficient dels dos tipus d'aigua. Tanmateix, els estudis revelen que l'aigua de pluja pot estar contaminada almenys durant les primeres etapes d'una precipitació.

Com a alternativa viable, es proposa la gestió conjunta dels dos tipus d'aigua mitjançant sistemes de retenció d'aigües pluvials barrejades amb residuals. Un exemple d'aquesta estratègia és la xarxa de grans dipòsits de retenció a Barcelona, on l'aigua barrejada es recull durant els episodis de pluja i posteriorment es retorna a la xarxa de clavegueres per ser tractada a la depuradora un cop passat l'episodi de pluja (Montlleó Balsebre, 2017). Aquesta solució permet gestionar eficientment els dos tipus d'aigua i minimitzar l'impacte ambiental dels vessaments.

Una de les estratègies proposades per millorar la gestió de les aigües residuals implica accions en diferents trams de la xarxa de sanejament. A principi de línia, que correspon al tram de xarxa de col·lectors que va de les edificacions fins als col·lectors principals, es poden separar les aigües pluvials de les residuals mitjançant xarxes de clavegueram separatives.

Dins el sistema de sanejament, es poden instal·lar reixes als sobreeixidors per evitar l'abocament de sòlids voluminosos, implementar sistemes de tractament després dels sobreeixidors com els aiguamolls artificials, utilitzar tancs de tempesta per emmagatzemar l'excés d'aigua durant els períodes de pluges abundants i millorar els sistemes de drenatge urbà per ajudar a infiltrar bona part de l'aigua de pluja. Disminuint així l'escorrentia i evitant que aquesta entri a la xarxa de sanejament.

A final de línia, prop de la depuradora, es poden crear tancs per emmagatzemar l'aigua en cas de tempesta i sobredimensionar la xarxa de sanejament per gestionar els volums d'aigua en episodis de pluja. A tota la línia de la xarxa de sanejament, és crucial arreglar possibles fugues i mantenir nets tant la xarxa de sanejament com els sobreeixidors i les reixes, garantint així un manteniment adequat. Aquestes mesures integrades permeten una gestió més eficaç dels recursos hídrics, minimitzant l'impacte ambiental i millorant la sostenibilitat dels sistemes de sanejament urbà.

Així doncs, aquesta investigació no només descriu els abocaments de les DSU sinó també identifica impactes negatius dels abocaments i planteja possibles solucions que puguin millorar la qualitat de l'aigua i la salut ambiental de la zona d'estudi, Girona.

2. Objectives

The main objective of this study is to analyze wastewater flows at strategic points in the sewerage network of Girona with the aim of estimating the volume of untreated water that is discharged into the river due to overflows.

To achieve this objective, the study will estimate the volume of wastewater discharged into the environment during different rain episodes from the two main overflow points in Girona's sewerage network, specifically near the Hospital Josep Trueta and at the entrance to the Campdorà Wastewater Treatment Plant.

The study also aims to determine the rainfall threshold at which these two overflows begin to discharge water, in order to evaluate the state of Girona's sewerage network.

Additionally, the study will assess the potential impacts of these overflows on the river ecosystem and public health by analyzing existing literature and case studies. Based on this analysis, the study will propose appropriate solutions to improve the sewerage network in Girona.

3. Metodologia

3.1. Identificació de la zona d'estudi

La zona d'estudi s'ha identificat mitjançant l'ús del programari SIG, que ha permès situar amb precisió els cabalímetres i sobreexidors considerats per a la realització d'aquest treball. Els cabalímetres utilitzats han estat prèviament instal·lats per personal de l'empresa gestora (TRARGISA) amb el suport dels tècnics de l'ICRA per tal de tenir un control actualitzat de la xarxa de sanejament de Girona.

Aquests dispositius estan ubicats en punts estratègics de la xarxa de sanejament: l'Hospital Josep Trueta i l'entrada de l'EDAR de Campdorà. S'ha decidit instal·lar els cabalímetres (Nivus) en aquests punts perquè per una banda, a l'hospital, a temps sec, hi conflueixen el 90% de les aigües generades pel nucli urbà de Girona (Mapa superior dret de la Figura 1). Per altra banda, i a l'EDAR és on acaba la xarxa de sanejament. A més, en el trajecte de l'hospital fins a l'EDAR s'hi afegixen les aigües del barri de Pont Major, del municipi de Sarrià i del polígon de Campdorà augmentant així el cabal que arriba a l'EDAR, on acaba la xarxa de sanejament. També s'han escollit aquestes dues localitzacions a l'estar situades just abans de dos dels sobreexidors principals de la xarxa de sanejament de Girona (Figura 1).

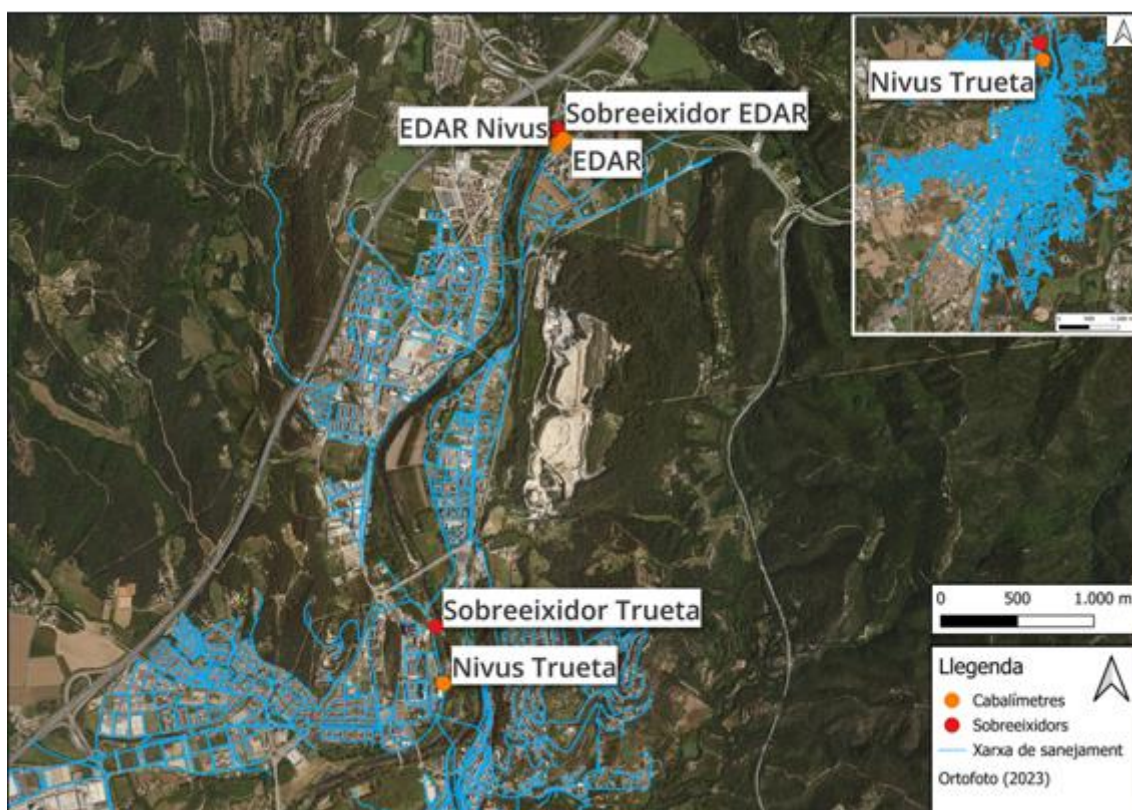


Figura 1. Mapa de distribució dels cabalímetres i sobreexidors de la xarxa de sanejament de Girona.

El cabalímetre Nivus Trueta, s'ha col·locat just abans del sobreexidor del Trueta. Aquest punt de mesura és crucial, ja que, com s'ha esmentat anteriorment, permet quantificar el cabal d'aigua residual generat per la major part del nucli urbà de Girona. La ubicació d'aquest cabalímetre proporciona dades essencials sobre la quantitat d'aigua residual que flueix cap a l'EDAR, abans que qualsevol excés d'aigua pugui ser desviat pel sobreexidor. El sobreexidor existent en aquesta zona té la funció d'alliberar la sobrecàrrega d'aigua residual provinent de Girona al medi en cas de pluges intenses.

Aigües avall del sistema, i just abans de l'entrada de l'EDAR, s'ha situat el cabalímetre EDAR Nivus. Aquest dispositiu permet mesurar el cabal total que arriba a la planta de tractament provinent de Girona i els municipis veïns que estan connectats a la mateixa xarxa. Mitjançant la comparació dels cabals registrats pel Nivus Trueta i l'EDAR Nivus, es pot estimar el volum d'aigua abocada pel sobreexidor del Trueta. Aquesta comparació es fa analitzant la diferència entre els cabals mesurats en aquests dos punts.

Després del cabalímetre situat a l'entrada de l'EDAR hi ha el sobreexidor de la mateixa EDAR, el qual serveix per evacuar tot aquell volum d'aigua que l'EDAR no és capaç de tractar en episodis de pluja intenses. Dins les instal·lacions de l'EDAR i posteriorment al sobreexidor, hi ha un cabalímetre que mesura el cabal tractat. Per poder obtenir dades del volum d'aigua abocada del sobreexidor de l'EDAR, es comparen del cabalímetre situat a l'interior de les instal·lacions de l'EDAR amb el cabalímetre EDAR situat just abans del sobreexidor de l'EDAR.

Mitjançant aquestes dades, es pot determinar amb precisió el volum d'aigua que s'aboca al medi en diferents punts del sistema, assegurant així un control exhaustiu sobre els fluxos d'aigua residuals des que es produeixen als nuclis de població fins que arriben a l'EDAR (Figura 2).

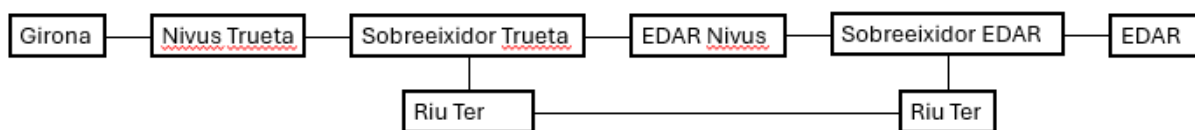


Figura 2. Esquema de la distribució dels cabalímetres i els principals sobreexidors i que s'han tingut en compte al llarg de l'estudi.

3.2. Sobreeixidors

Els sobreeixidors són mecanismes que estan dissenyats per gestionar el flux excessiu d'aigua en episodis de pluja intensa, permetent que l'aigua de pluja i les aigües residuals es descarreguin directament al medi ambient per evitar la sobrecàrrega del sistema de clavegueram. Aquests sobreeixidors són especialment útils en xarxes de sanejament unitàries com és l'exemple de Girona en assolir aquestes molt més ràpidament la sobrecàrrega que altres tipus de sistemes com poden ser les xarxes separatives de sanejament.

Tot i que la seva funció de descàrrega del sistema pugui semblar una bona solució tenint en compte la xarxa de sanejament actual, aquesta funció la realitza en detriment del medi en el qual descarrega. Al descarregar sobre el medi, el riu Ter, grans quantitats d'aigües residuals carregades de matèria orgànica, nutrients, patògens, olis, àcids i altres compostos tòxics arriben al riu.

Tot i la gran quantitat d'aigua abocada al riu, aquesta prèviament ha estat tractada per tal d'eliminar els residus sòlids més voluminosos. Aquests tractaments varien segons el sobreeixidor, podent ser sistemes de sacs de retenció de sòlids, reixes automatitzades auto-netejables, i reixes de fins. Els sacs de retenció de sòlids són malles amb pas de llum de 3 cm les quals es situen just a la sortida dels sobreeixidors com a última opció de tractament abans d'arribar al medi. Aquest sistema de tractament és la més barata de les opcions, però, per contra, el manteniment s'ha de realitzar després de cada període de pluges (Figura 3).



Figura 3. Sacs filtrants nous (esquerre) i usats (dreta) del sobreeixidor del Pont de l'aigua. Font.

TRARGISA

Per contra les reixes automatitzades auto-netejables és una opció molt més cara però en comptar amb unes pintes que netegen el filtre de 5 mm no necessiten gaire manteniment. Un altre avantatge d'aquestes és el fet que tot el residu que queda enganxat a les reixes és tornat de forma automàtica al col·lector i tractat posteriorment a l'EDAR. Aquests poden ser de dos tipus, una amb obertura permanent en la qual el volum màxim filtrat és constant (Figura 4b) i l'altre amb obertura variable segons el volum de sobreiximent. (Figura 4a).



Figura 4. Reixes auto-netejables d'obertura variable (a) i d'obertura contínua (b). Font: TRARGISA

Finalment, les reixes de sòlids fins solen estar col·locades en estacions de bombament, esdevenen una eina molt útil en actuar de filtre abans del bombament. Aquestes reixes de pas de llum d'entre 6 a 10 mm eviten, per una banda, fer malbé les bombes d'aigua a l'extreure els sòlids més voluminosos i, per altra banda, filtrar l'aigua en cas de sobreiximent (Figura 5).



Figura 5. Reixa de sòlids fins similar a les que hi dins una estació de bombeig. Font: ACA

3.3. Aparells de mesura emprats

Per tal de poder determinar el volum d'aigua descarregada pels sobreeixidors es van utilitzar com a aparells principals de mesura els pluviòmetres disponibles de CATSA i els cabalímetres de l'ICRA.

Les dades de pluviometria utilitzades en aquest treball s'han extret de la web del Cicle de l'Aigua del Ter, S.A. Aquesta disposa d'una xarxa de 4 pluviòmetres ubicats en diferents punts de l'àrea metropolitana de Girona que recullen la informació de la pluja en temps real. A més dels registres acumulats en episodis, els pluviòmetres permeten consultar els períodes de màxima intensitat. Aquests estan situats a les oficines centrals de CATSA, a Palau, a Montjuïc i a Sarrià de Ter, on en aquesta última localització és d'on obtindrem les dades pel nostre estudi (CATSA, 2024).

Els cabalímetres són un dels sistemes més precisos per obtenir dades de cabal, però el seu elevat preu no permet desplegar-los de forma massiva a tota la xarxa. Per a la mesura de cabals, es van utilitzar dos cabalímetres NIVUS amb l'objectiu d'obtenir mesures de cabal durant diferents períodes de pluja en diverses ubicacions, especialment en trams anteriors a un sobreeixidor. Aquests es van col·locar abans dels sobreeixidors del Trueta i de l'EDAR (Figura 1), ja que conèixer el cabal previ a un sobreeixidor, combinat amb la seva geometria, permet estimar amb precisió el cabal sobreeixit.

Per complementar les mesures directes fetes a la xarxa amb els cabalímetres NIVUS, l'empresa responsable de la gestió de l'EDAR de Girona va facilitar les dades de cabal de l'EDAR per als anys 2023 i els 4 primers mesos de 2024. Aquestes dades inclouen mesures del cabal d'entrada a l'EDAR, després del sobreeixidor de l'EDAR, proporcionant una visió integral del comportament de la xarxa.

La col·locació dels cabalímetres al tram anterior a un sobreeixidor també permet l'obtenció de mesures de cabal en temps sec, cosa que no seria possible si el cabalímetre es posicionés directament sobre el canal de sobreeiximent. Aquest mètode proporciona, a través de la diferència entre cabals, una estimació precisa del cabal sobreeixit, així com dades essencials en períodes sense pluja, millorant així la comprensió i la gestió dels fluxos d'aigua en la xarxa (Radinja et al., 2019).

Els dos cabalímetres emprats per a les mesures de cabal són el model NIVUS, els quals són cabalímetres de tipus no intrusiu amb tecnologia radar amb les característiques que es mencionen a la Taula 1. Aquests dispositius tenen dos tipus de sensors connectats a un transmissor, situats sobre el nivell de l'aigua.

El primer sensor és un radar que emet un feix de microones sobre la superfície de l'aigua. Aquestes microones reboten a les pertorbacions de la superfície de l'aigua i tornen al sensor, el qual actua com a receptor de les microones. A partir de la freqüència dels feixos de microones emesos, s'obté la velocitat superficial del fluid, i a través de fórmules matemàtiques, el cabalímetre calcula una velocitat mitjana del fluid. El segon sensor, també de tipus radar, permet mesurar el nivell de la làmina d'aigua. Amb les dades de la geometria del col·lector, el nivell de l'aigua i la velocitat del fluid, es pot conèixer el cabal de l'aigua que passa pel col·lector (Figura 6 i 7b).

El transmissor actua com a receptor de les dades dels sensors i les emet al servidor per poder obtenir les dades de forma remota (Figura 7a).

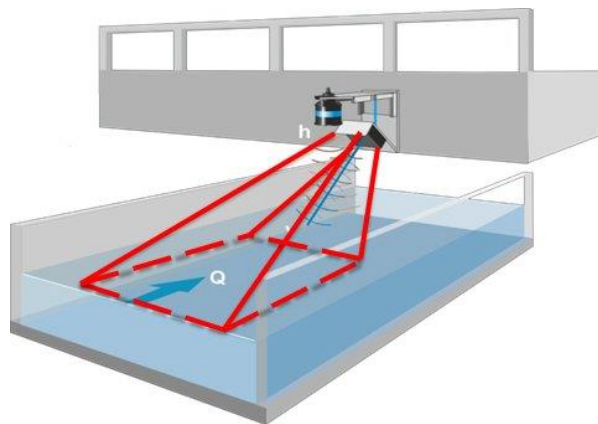


Figura 6. Esquema del funcionament dels cabalímetres Nivus. Font. Lana Sarrate (2024)

Un dels avantatges d'aquests cabalímetres és que funcionen amb bateria, per la qual cosa no necessiten estar connectats per cable per tenir alimentació elèctrica. A més, disposen d'un sistema d'enviament de dades al servidor, permetent l'accés remot a la informació emmagatzemada. Així, no és necessari desplaçar-se físicament fins al col·lector per extreure les dades.

La freqüència de mesura emprada per a la recollida de les dades de cabals és de 5 minuts. L'enviament de les dades registrades suposa un consum energètic elevat. Per tal d'evitar la despesa de bateries, el cabalímetre emmagatzema les dades registrades durant un dia i les envia cada 24 hores.

Taula 1. Fitxa tècnica del cabalímetre

	Transmissor	Sensor de nivell	Sensor radar
Mètode de mesura	Radar Doppler	Radar	Radar ISM band
Rang de la mesura	-	0m a 8m	0,15m/s a 15m/s
Rang de temperatures	-20°C a +50°C	-40°C a 80°C	-30°C a 70°C
Incertesa de la mesura	-	0,25%	0,5%
Cicle d'emmagatzematge	Cada 5 segons	-	-

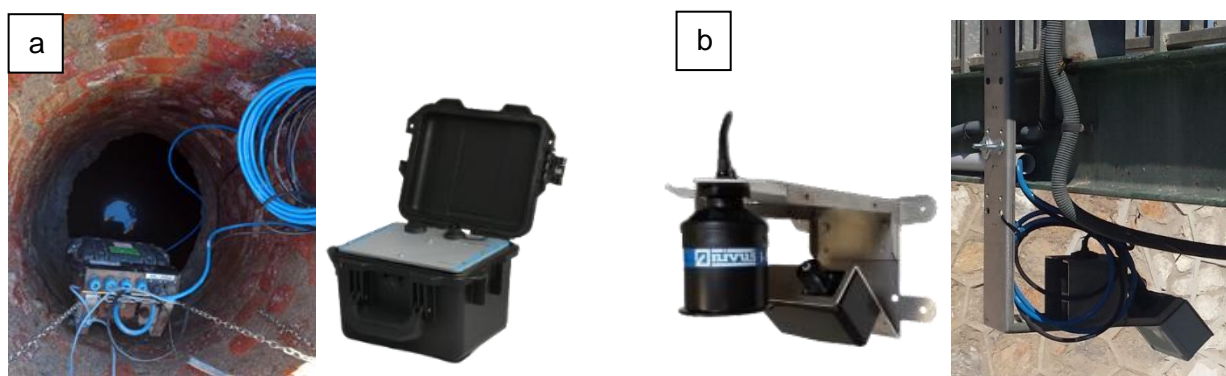


Figura 7. La imatge mostra un transmissor (a) i un sensor de nivell i radar (b). Font: TRARGISA

3.4. Tractament de dades

El tractament de dades consisteix en el recull de totes les dades disponibles i necessàries per a l'estudi, les quals són fonamentals per a la realització del projecte.

Per a l'anàlisi i visualització de les dades s'ha utilitzat el programa Visual Studio Code com a plataforma principal, emprant el llenguatge de programació Python. Aquest entorn ha estat seleccionat per la seva flexibilitat i capacitat de manejar grans volums de dades de manera eficient. L'ús d'aquest llenguatge de programació ha requerit un aprenentatge de les nocions bàsiques de Python en profunditat, aplicades als objectius específics de l'estudi. Per adquirir aquestes habilitats, s'ha completat un curs de formació d'accés obert en Python. A més, s'ha comptat amb la col·laboració i l'assessorament de tècnics especialitzats de l'Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA), que han aportat la seva experiència i coneixements per ajudar a assolir els objectius del treball.

Les dades procedeixen de diverses fonts, les quals han estat tractades per garantir-ne la precisió i la coherència. A continuació es descriuen cadascuna d'elles.

Les dades del sistema de mesura NIVUS, que recullen informació de cabal a temps real de la xarxa de sanejament, han estat tractades abans de poder-les representar. Aquest procés ha inclòs l'eliminació de valors nuls, espais buits i incoherències en les unitats de mesura per assegurar un format homogeni i coherent. A més, s'ha revisat que les dades estiguessin agrupades en intervals de cinc minuts per garantir una anàlisi uniforme.

Pel que fa a les dades proporcionades pel cabalímetre de les instal·lacions de l'EDAR de Campdorà, aquestes ofereixen informació sobre els cabals d'aigua residual que es tracten a la depuradora. Abans de l'anàlisi detallada, s'ha realitzat un tractament previ, inclosa l'extracció del cabal dels retorns estimats per l'empresa gestora TRARGISA en uns 13,31 L/s. Els cabals de retorn són les aigües procedents de diferents operacions unitàries del sistema de tractament. Aquests retorns es bombegen de nou a l'inici del procés, després del sobreeixidor de l'EDAR però abans del cabalímetre de la planta, per tant, cal restar-los dels valors del cabalímetre de l'EDAR abans de comparar aquests valors amb els del cabalímetre Nivus a l'EDAR. Aquesta extracció de cabals, malgrat representar menys d'un 10% del total d'aigua tractada, és crucial per evitar una doble comptabilització del cabal, la qual podria induir errors significatius en els resultats finals.

Les dades de pluviometria, procedents del pluviòmetre instal·lat per CATSA al municipi de Sarrià, també han requerit un tractament previ específic. Les dades crues s'obtenen com a pluja acumulada al llarg d'un episodi i com a pluja instantània. Ambdues s'han utilitzat a l'hora de representar els cabals d'aigua residual envers la pluja.

A partir d'aquestes dades s'ha procedit a fer els càlculs necessaris per obtenir els volums de les DSU a partir de les dades de cabal dels diferents cabalímetres. Aquests càlculs s'han realitzat només pels episodis de pluja del 10 de febrer, 26 de febrer i 3 de març de 2024. Al ser en aquests episodis de pluja quan es produeixen sobreeiximents a la xarxa de sanejament de Girona.

A manera d'exemple, s'ha agafat les dades de cabals i pluviometria del dia 26 de Febrer del 2024. D'aquest dia s'ha realitzat el sumatori del cabal mesurat per cada període de pluges a partir de les dades del cabalímetre Nivus Trueta situat a l'hospital Josep Trueta i del cabalímetre EDAR Nivus situat abans de l'EDAR.

A partir de les dades de cabal d'aquests cabalímetres s'han calculat els cabals sobreeixits pel sobreeixidor del Trueta, restant els cabals de l'EDAR als cabals del Trueta (Equació 1).

Amb les dades dels cabals sobreeixits al Trueta s'han obtingut els volums sobreeixits multiplicant els cabals per la durada en segons de cada interval de pluja. En tots els casos

l'interval de temps és de 5 minuts és a dir 300 segons. Finalment, s'ha realitzat el sumatori del volum sobreixit pel sobreixidor per saber el volum total abocat pel sobreixidor del Trueta el dia 26 de Febrer (Equació 2). Els resultats es poden veure resumits en la Taula 2.

S'ha realitzat el mateix procediment però amb les dades dels cabalímetres d'abans de l'EDAR i de la mateixa EDAR per calcular el volum sobreixit per l'EDAR.

Equació 1. Càlcul dels cabals sobreixits a partir de les dades de cabal dels cabalímetres.

$$\text{Cabal del Trueta} - \text{Cabal a l'entrada de l'EDAR} = \text{Cabal sobreixit pel sobreixidor del Trueta}$$

Equació 2. Càlcul del volum d'aigua sobreixit a partir dels cabals sobreixits.

$$\text{Volum} = \sum Q_i t_i = \sum (Q_1 t_i + Q_2 t_i + \dots + Q_n t_i)$$

$$\text{Volum} = 12.410,88 \text{ m}^3$$

On "Qi" és el cabal del sobreixidor del Trueta en m³/s per l'interval "i" i "ti" és la durada en segons de l'interval "i". En tots els casos l'interval "i" és de 5 minuts, és a dir 300 segons.

Taula 2. Resum dels resultats de les equacions 1 i 2 segons els diferents períodes de pluja del dia 26 de Febrer.

Cabal del Trueta (m3/s)	Cabal a l'entrada de l'EDAR (m3/s)	Cabal del sobreixidor del Trueta (m3/s)	Volum del Sobreixidor del Trueta (m3)
15,35	5,55	9,80	2.940,19
3,19	1,11	2,08	624,98
4,38	1,45	2,93	879,80
4,14	1,43	2,71	812,81
3,35	1,43	1,92	575,12
20,09	10,71	9,38	2.815,01
2,84	1,60	1,24	372,08
20,84	9,53	11,30	3.390,89
			$\Sigma = 12.410,88 \text{ m}^3$

Després de tractar les dades s'ha procedit a representar les dades de cabals, volums sobreeixits i pluges dels diferents punts i en diferents períodes de temps al programa Visual Studio Code dins d'un entorn Python. En aquest programa per poder fer les diferents anàlisis prèviament s'han instal·lat les llibreries *pandas*, *datetime* i *plotly.graph_objects*. Tot seguit s'ha utilitzat la llibreria *pandas* per carregar els arxius de dades Excel o csv adquirides dels diferents cabalímetres i del pluviòmetre en *DataFrames*.

Aquestes dades s'han tractat dins del programa combinant les columnes data i hora de les dades en una de sola i convertint-la a format *datetime* i configurant-les com a índex, convertint les dades de cabal a valors numèrics, eliminant els valors nuls i canviant les unitats de les dades de m³/h a L/s. Un cop tractades les dades s'ha procedit a representar les dades dels cabals dels diferents cabalímetres en un mateix gràfic segons el temps. També en aquests gràfics s'hi han inclòs les dades de pluviometria com a eix secundari.

L'assessorament continuat dels treballadors de l'ICRA ha estat fonamental en l'elaboració i anàlisi dels resultats. La seva expertesa ha permès una millora constant en l'anàlisi de les dades, refinant les tècniques utilitzades i assegurant la qualitat dels resultats.

4. Resultats i discussió

A partir de les dades registrades pels cabalímetres i del pluviòmetre proper a la zona d'estudi, es va poder realitzar amb l'ajuda de l'aplicació Visual Studio Code la representació dels diferents cabalímetres en funció del temps i la pluviometria.

D'entre totes els anàlisis possibles, s'han seleccionat els episodis de sobreeiximent que són més representatius per entendre el funcionament de la xarxa de sanejament de Girona. Així doncs, s'han avaluat patrons diaris de cabal d'aigua residual urbana, les diferències de cabal en condicions de temps sec i temps humit, i finalment, s'ha quantificat el volum del sobreeiximent dels dies 10 i 26 de febrer de 2024 i el 3 de març d'aquest mateix any.

4.1. Comparativa de cabals entre el dia i la nit

La variació diària del cabal d'aigua residual a Girona mostra una gran diferència entre les diferents hores del dia. El cabal mínim es registra entre les 4 i les 7 del matí, quan la major part de la població està dormint, mentre que el cabal màxim es detecta entre les 9 i les 11 del matí, coincidint amb l'inici de la jornada laboral i escolar. Aquesta variabilitat diària és típica en moltes zones urbanes, ja que l'activitat humana influeix directament en els volums d'aigua residual generats (Corominas et al., 2024).

Si ens fixem en les dades del cabalímetre del Trueta, hi apareixen valors zero en el registre que probablement es deuen a cabals tan baixos que estan per sota del límit de detecció de l'equip i, per tant, se'ls hi dona un valor de zero (Figura 8). L'anàlisi del perfil diari de cabals d'aigua residual és molt útil per a la gestió de la xarxa de sanejament en permetre identificar els moments del dia en què es genera més aigua residual, facilitant així una millor planificació i operació de l'EDAR.

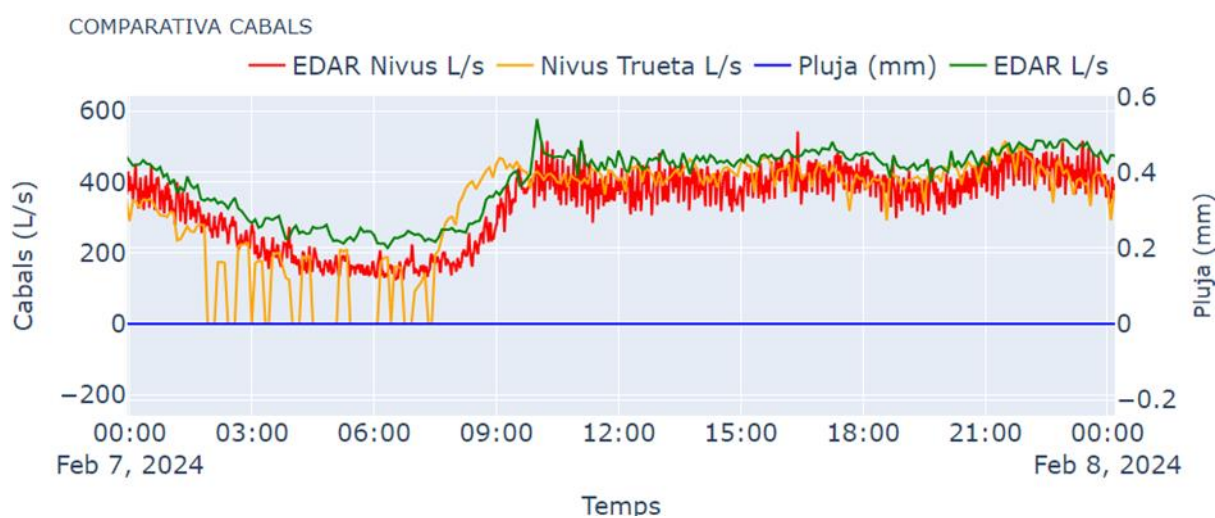


Figura 8. Comparativa de cabals a temps sec i en diferents punts de la xarxa de sanejament.

4.2. Comparativa de cabals a temps sec

Tal com es pot veure a la Figura 9, en temps sec, és a dir en absència de pluges, els cabals de l'EDAR (línia verda) i Nivus Trueta (línia taronja) esdevenen molt semblants entre ells. Trobant cabals mitjans del dia 18 de març de 314,21 L/s en el cabalímetre del Trueta i de 324,85 L/s a la mateixa EDAR. Aquesta diferència de 10,63 L/s entre aquests dos cabalímetres pot ser deguda a la incorporació d'aigua residual de les poblacions de Pont Major, Sarrià de Ter i el Pla de Campdorà, les quals s'afegeixen a la xarxa de sanejament després del Trueta i abans d'arribar a l'EDAR. Segons les dades obtingudes (Taula 3) i els càlculs fets (Equació 3), es pot veure com el cabal teòric d'aquestes poblacions és de 19,44 L/s mentre que el que s'ha trobat a partir de dades reals és de 10,63 L/s. Això indica que aquesta diferència en cabals pot ser explicada per l'aportació d'aquestes poblacions. Cal recalcar que els càlculs realitzats s'han fet a partir de dades anuals en canvi les dades dels cabalímetres són d'un únic dia, per tant, la poca diferència entre el valor estimat i el valor real pot ser producte d'aquest fet.

La possible diferència entre els cabals és una dada molt important per valorar el funcionament de la xarxa de sanejament. Diferències a temps sec molt significatives podria indicar que la xarxa té fugues o que en algun punt s'hi produeixen entrades o sortides d'aigua inusuals. Per

tant, veient la poca diferència entre cabals pot indicar que no es produeixen pèrdues d'aigua residual cap a l'aqüífer ni infiltracions d'aigua neta cap als col·lectors.

A més, en la Figura 9, es pot observar que el pic del matí s'assoleix abans al cabalímetre del Trueta, que es troba aigües amunt, que a l'EDAR la qual esdevé el punt final de la xarxa de sanejament.

Taula 3. Consums d'aigua residual de Girona i rodalies. Font.

	Municipi	Aigua residual generada	Consum total
Nuclis de població connectats després del Trueta	Sarrià de Ter	428.400,5 m ³ /any	
	Pla de Campdorà	34.265 m ³ /any	613.169.5 m ³ /any
	Barri Pont Major	150.504 m ³ /any	

Equació 3. Càlcul del cabal d'aigua residual (L/s) generat pels municipis connectats aigües avall del Trueta.

$$\frac{613.169,5 \text{ m}^3}{\text{any}} \times \frac{1 \text{ any}}{365 \text{ dies}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} \times \frac{1.000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} = 19,44 \text{ L/s}$$

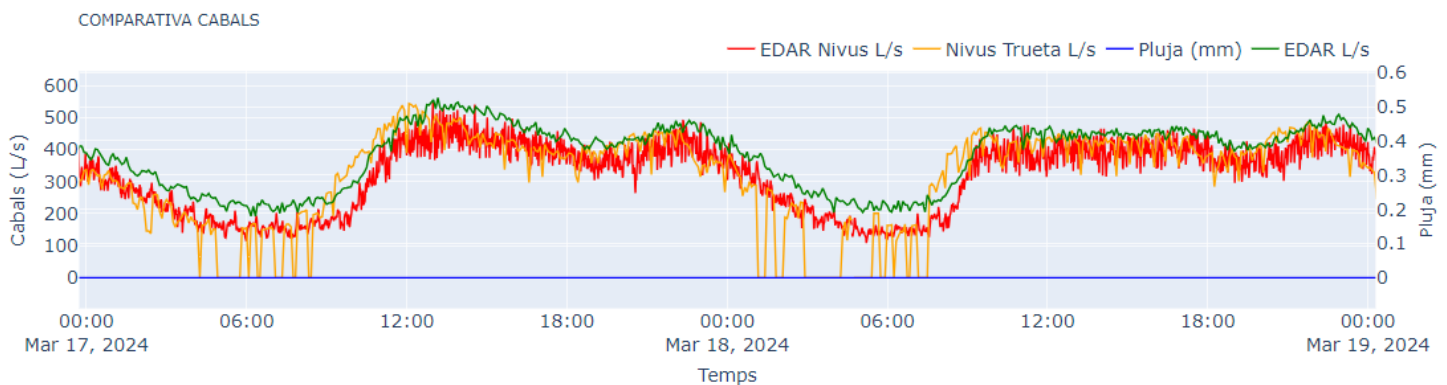


Figura 9. Comparativa de cabals a temps sec i en diferents punts de la xarxa de sanejament.

4.3. Comparativa de cabals a temps humit

La Figura 10 presenta dos episodis de pluja registrats el 31 de març de 2024. Es pot observar que el cabal del Trueta (línia taronja) és molt superior que el cabal del cabalímetre Nivus d'abans de l'EDAR (línia vermella). Aquest fet evidencia que en períodes de pluja intensos una gran quantitat del cabal d'aigua que arriba al Trueta s'aboca al medi a través del sobreexidor, en comptes d'arribar a l'EDAR. Això és degut al fet que el cabal que arriba al sistema és superior al màxim cabal que pot transportar, entrant en sobrecàrrega i evacuant l'excendent d'aigües als sobreexidors. Si ens fixem en les dades de cabal de l'EDAR Nivus (línia vermella) i EDAR (línia verda) es pot veure com succeeix el mateix, però encara es fa més evident quan s'arriba al límit de la capacitat del col·lector en esdevenir la línia plana a causa d'aquest procés.

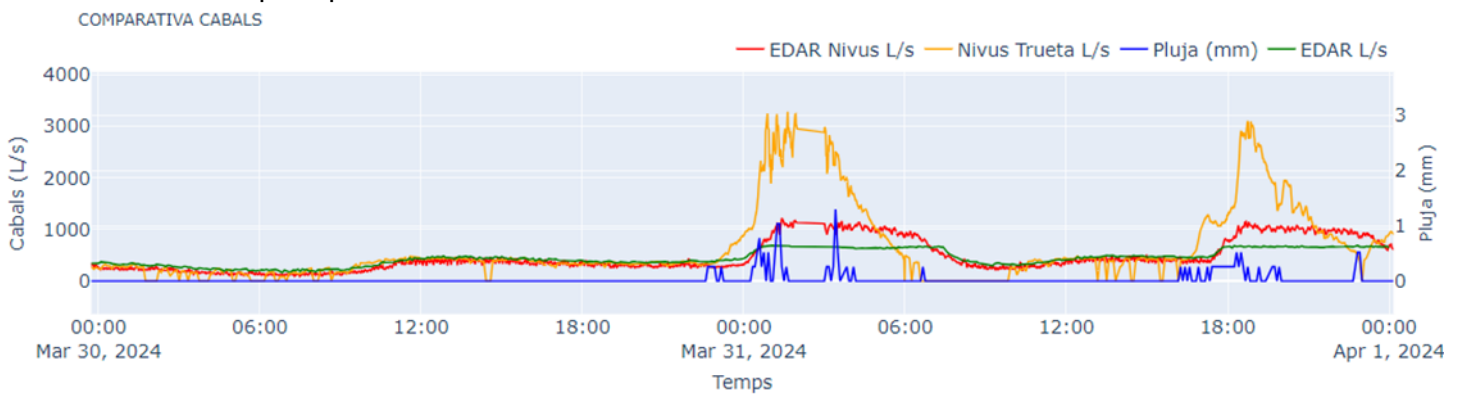


Figura 10. Comparativa de cabals amb pluja i en diferents punts de la xarxa de sanejament.

Finalment, la Figura 11 mostra dues fotografies realitzades a la sortida del sobreexidor del Trueta. La fotografia A mostra el sobreexidor en temps sec, mentre que la B, correspon al sobreexidor durant l'episodi de pluja del 14 de maig de 2024.



Figura 11. Estat del sobreexidor del Trueta a temps sec, el 30 de gener (a) i en època de pluges, el 14 de maig (b).

4.4. Volum del sobreeximent

Per comparar els volums de sobreeximents en funció de la quantitat de pluja dels dos principals sobreexidors de la xarxa de sanejament de Girona, s'han utilitzat dades del pluviòmetre i dels cabalímetres corresponents als períodes de pluja dels dies 10 i 26 de febrer de 2024 i el 3 de març d'aquest mateix any. Per cadascun dels cabalímetres s'ha calculat el volum sobreexigit segons el procediment explicat a l'apartat 3.4.

A partir dels resultats obtinguts en la Figura 12, es pot veure com el volum abocat pel sobreexidor de l'EDAR és quasi inexistent envers el volum sobreexigit pel sobreexidor del Trueta que, segons la intensitat de pluja, pot arribar a ser de 3.994,29 m³. La falta de valors de sobreeximent de l'EDAR és deguda al fet que el sobreexidor del Trueta és un dels que desborda més aigua de la xarxa fent que no arribi tanta aigua a l'EDAR. Aquesta reducció de cabal, aigües avall del Trueta, permet que la xarxa no entri en sobrecàrrega i, per tant, sigui capaç de gestionar l'aigua sense haver de desbordar-la al medi pel sobreexidor de l'EDAR.

Un aspecte molt rellevant que es pot extreure d'aquest estudi és la quantitat de pluja necessària per produir un sobreeximent. Concretament, es considera que es produeixen sobreeximents significatius per al sobreexidor Trueta quan la pluja supera aproximadament els 2 mm, ja que és en aquest punt on comencen a aparèixer els primers volums de sobreeximent importants. Es consideren importants els sobreeximents superiors a 1000 m³ perquè valors inferiors a aquest poden ser deguts a variacions dels cabals entre el Trueta i l'EDAR en absència de pluja. Aquest llindar de pluja és crucial perquè ens pot indicar l'estat actual de la xarxa de sanejament de Girona.

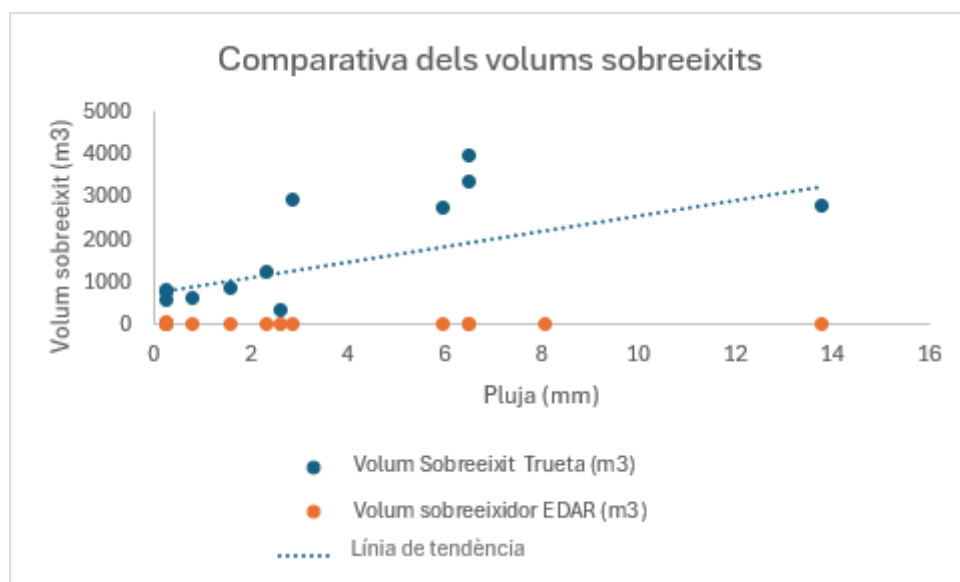


Figura 12. Comparativa dels volums sobreexigits dels dos principals sobreexidors de Girona.

La Figura 13 presenta dos exemples de xarxes de sanejament diferents: una amb molt poca capacitat de càrrega (Cas A) i una altra amb molta capacitat de càrrega abans del desbordament (Cas B). En el cas A, amb una capacitat de càrrega baixa, es produeixen desbordaments fins i tot amb volums de pluja de fins a 2 mm. En canvi, en el cas B, l'estructura comença a desbordar-se només després que les precipitacions arribin a un volum superior a 25 mm (Montserrat et al., 2015).

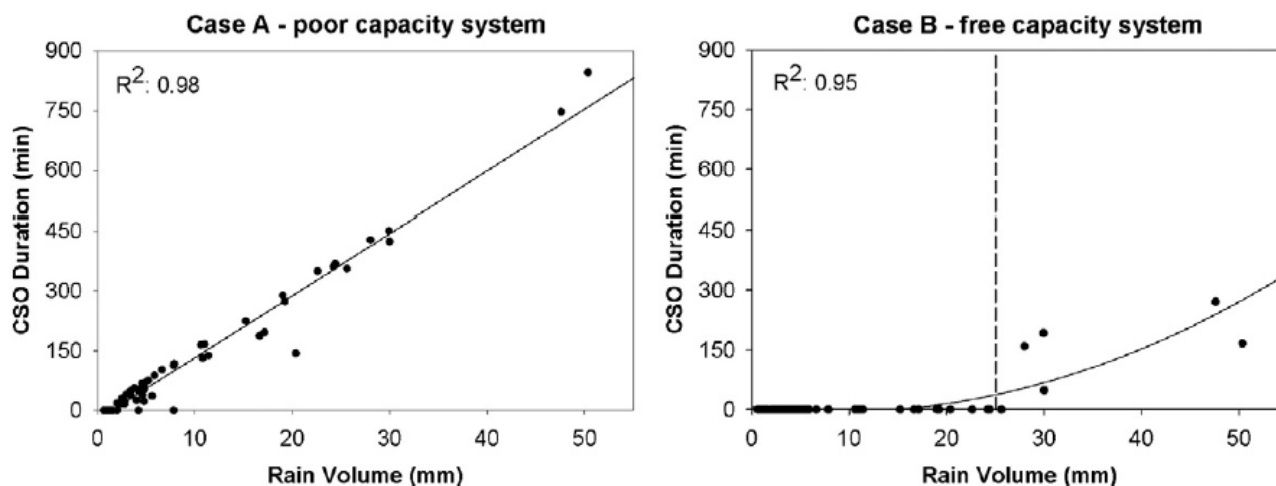


Figura 13. Relació entre el temps de sobreiximent i el volum de pluja en dos sobreixidors hipotètics. Font: (Montserrat et al., 2015)

A partir de l'estudi de Montserrat et al. (2015) i comparant els resultats d'aquest mateix estudi (Figura 13) amb els obtinguts anteriorment (Figura 12), s'ha pogut avaluar l'estat d'aquesta xarxa.

Per tant, comparant tant la capacitat de càrrega com el llindar de precipitació a partir del qual es produeixen desbordaments amb els trobats en aquest treball, es pot concloure que la xarxa de sanejament de Girona és més propera al cas A que al cas B, ja que en aquesta es produeixen sobreiximents al superar els 2 mm de pluja.

4.5. Possibles efectes i solucions a les DSU

A partir del volum diari de sobreiximent del Trueta i del volum diari d'aigua que circula pel riu Ter del dia 26 de febrer del 2024 (Taula 4) s'ha vist que, en períodes de pluges intenses, el volum sobreixit al Trueta pot arribar a suposar fins a un 0,8% del volum d'aigua que circula pel riu Ter (Equació 4). S'ha tingut en compte que en el punt on aboca l'aigua el sobreixidor és després de la unió dels rius Ter i Onyar (Figura 14), per tant, el volum mitjà diari que passa per aquest punt serà la suma dels volums dels dos rius.

Taula 4. Volums diaris del dia 26 de Febrer del 2024.

	Volum diari
Riu Onyar	27.227,05 m ³
Riu Ter	164.758,29 m ³
Rius Ter i Onyar	191.985,34 m ³
Sobreexidor Trueta	1.551,36m ³



Figura 14. Mapa de localització dels principals rius de l'estudi. Font. Google Earth

Equació 4. Càlcul de la proporció d'aigua abocada respecte al total que circula pel riu Ter.

$$\frac{\text{Volum mitjà diari abocat pel sobreexidor del Trueta}}{\text{Volum mitjà diari dels rius Ter i Onyar}} \times 100 = \frac{1551,36 \text{ m}^3}{191.985,34} \times 100 = 0,8\%$$

Aquesta proporció gens menyspreable d'aigua residual abocada al riu Ter pot comportar efectes per la fauna i flora del riu Ter. Aquest fet s'accentua al tenir una part del seu tram inclosa dins la Xarxa Natura 2000 com és el tram del baix Ter. Els efectes més probables són un augment de la MO en el medi receptor així com una disminució dràstica de la concentració d'oxigen a causa de la utilització biòtica d'aquesta MO. Aquests efectes tot i que rellevants, en un curs fluvial com el Ter tenen un temps de recuperació de la mancança d'oxigen d'entre 12 a 24 h fent que si aquests abocaments no són habituals el medi recuperi l'equilibri prou fàcilment (Hvitved-Jacobsen, 1982).

Per millorar l'estat actual dels cursos d'aigua receptors de les descàrregues de sistemes unitaris (DSU), com és el cas del riu Ter, es creu necessària la implementació de diverses mesures tant tecnològiques com naturals per revertir el problema.

Una de les solucions implica actuar abans que les aigües pluvials generin un problema de sobreiximent al medi. Per fer-ho es pot implementar sistemes de recollida d'aigües pluvials a les mateixes cases com són els dipòsits d'aigua de pluja. També es pot actuar introduint sistemes naturals per afavorir la infiltració de l'aigua de pluja els quals reduirien l'escorrentia superficial i per tant, l'aigua d'origen pluvial que entra als col·lectors. Exemples d'aquests sistemes que afavoreixen la infiltració són els sistemes sostenibles de drenatge urbà (SUDS), les basses d'infiltració, la introducció de paviments més permeables i els sostres verds.

Per optimitzar la xarxa de sanejament de Girona, es pot implementar un model informàtic detallat que cartografiï tota la xarxa, identifiqui possibles fugues i sobreiximents des de les edificacions fins a la depuradora. Aquest model es basaria en dades recollides per cabalímetres col·locats en col·lectors principals, punts d'entrada de subxarxes importants i sortides de sobreixidors, així com dades dels pluviòmetres. El calibratge del model es faria utilitzant dades de cabal en temps sec i humit les quals permetran ajustar la generació d'aigua residual per càpita, el perfil diari de cabal, la conductivitat hidràulica i l'altura dels llavis dels sobreixidors. La integració dels sensors amb el model proporcionarà dades en temps real, permetent configurar sistemes d'alertes i fer anàlisis periòdiques per millorar contínuament el model.

En aquest context, l'estudi d'Álvarez et al. (2015) planteja l'ús de models integrats com l'*Storm Water Management Model* (SWMM, 2015) i l'*Iber* (Iber, 2015) per predir els desbordaments i avaluar-ne els impactes ambientals al riu Miño. La utilització de models de les xarxes de sanejament, com els plantejats en aquest estudi i en el projecte GiroNat, esdevé una solució clau per millorar el funcionament de la xarxa. A més, aquests models ajuden a comprendre i mitigar els efectes negatius sobre la qualitat biològica del medi receptor, contribuint a la protecció i conservació dels recursos hídrics. Aquests models també poden ser utilitzats per predir les descàrregues a partir de les sèries de precipitacions, fet que els converteix en una eina essencial per determinar tant la freqüència com la quantitat d'aquests abocaments (Mailhot et al., 2015b). Això ja s'està fent a Girona en el marc del projecte GiroNat.

Una altra solució aplicable consisteix en la gestió conjunta dels dos tipus d'aigua mitjançant sistemes de retenció d'aigües pluvials barrejades amb residuals. Un exemple d'aquesta estratègia és la xarxa de grans dipòsits anti-DSU a Barcelona, els quals laminen els cabals d'aigua és a dir, suavitzen uniformement el flux d'aigua i retenen les puntes de contaminació

que contenen les aigües pluvials a conseqüència de l'efecte de neteja de carrers. La seva retenció possibilita enviar-les controladament a l'EDAR després de l'episodi de pluja i poder-les tractar. Aquests dipòsits se solen situar a la part baixa de la conca (Ajuntament de Barcelona, 2018). Aquesta solució permet gestionar eficientment els dos tipus d'aigua i minimitzar l'impacte ambiental dels vessaments.

Per poder-la implementar al sistema de sanejament de Girona s'ha de tenir en compte els principals punts de la xarxa on es concentren els majors cabals d'aigua residual i en situar aquests tancs abans d'un sobreeixidor principal. Tenint en compte això, una bona localització per aquests dipòsits és just abans del sobreeixidor del Trueta, en concentrar-se en aquest punt molta de l'aigua residual generada per Girona. La qual en períodes de pluja intensos, una bona part d'aquesta acaba sortint pel sobreeixidor. Altres ubicacions com pot ser situar-los a final de la xarxa en situacions properes a l'EDAR queden descartades perquè a final de xarxa ja s'han produït tots els sobreeiximents i per tant, no tindria sentit aplicar aquesta mesura en aquesta localització.

Si malgrat tot es produeixen sobreeiximents, pel que fa a solucions naturals es podrien instal·lar sistemes d'aiguamolls construïts (*treatment wetlands*) després dels principals sobreeixidors de la xarxa de sanejament. Segons Tao et al. (2014), aquesta solució envers les DSU és molt efectiva i molt menys costosa que la construcció d'infraestructures comparables. Aquesta solució no només elimina els contaminants, sinó que també mitiguen el règim de flux associat a l'esdeveniment.

Tot i ser una solució adequada per les DSU, els sistemes d'aiguamolls comporten grans reptes tant pel seu disseny com pel compliment de normatives. Al ser les DSU abocaments de fluxos i composicions molt variables, fan necessari un pretractament abans d'entrar als aiguamolls així com un seguiment intensiu tant del cabal com la qualitat d'entrada i de sortida dels aiguamolls.

Pel que fa a la xarxa de sanejament de Girona i tenint en compte les dimensions que necessita un sistema com el plantejat, una possible ubicació seria la llera del riu Ter al pas pel Trueta. On caldria determinar, a partir d'un estudi més en profunditat com pot ser el projecte GiroNat, si realment és viable el posicionament en la ubicació plantejada perquè sense saber el volum màxim de les DSU és impossible determinar les mides de l'aiguamoll i per tant, si hi cap a la ubicació plantejada (Tao et al., 2014).

Aquestes i d'altres solucions aplicables a les DSU es poden explorar a través de l'eina Solucions DSU desenvolupada per l'ICRA: <https://solucions-dsu.icradev.cat/> (Solucions DSU, 2022).

4.6. Limitacions d'aquest treball

En la realització d'aquest treball s'ha tingut en compte que les dades obtingudes pels cabalímetres estaven subjectes a variacions tant per errors en les mesures dels mateixos cabalímetres com per entrades d'aigua d'altres punts de la xarxa de sanejament. Aquestes entrades d'aigua residual de municipis com Sarrià de Ter, el barri de Pont Major i el pla de Campdorà han sigut contemplats en la interpretació dels resultats però no en la distribució dels cabalímetres a la xarxa de sanejament. Una possible millora implica per col·locar els cabalímetres dins els mateixos sobreeixidors així com en els trams finals dels col·lectors que aporten aigua a aquests. Tot i això, els resultats obtinguts permeten saber l'estat actual d'aquests sobreeixidors i la quantitat d'aigua que aquests aboquen al riu en un període de pluja intensa.

5. Conclusions

This work has thoroughly explored the management of wastewater in the city of Girona, with a special focus on the overflows of combined sewer systems (CSOs) during rain episodes. The research has shown that the overflow points located around the Hospital Josep Trueta and at the entrance of the Campdorà WWTP are critical points where significant discharges of untreated wastewater into the Ter River occur. This situation generates negative impacts both environmentally and on public health.

One of the results obtained in this study is that there are no unusual inflows or outflows of water in the sanitation system of Girona.

The results also show a clear relationship between rainfall intensity and overflow volume, with a rainfall threshold identified at around 2 mm, which triggers the first overflow volumes at the Trueta overflow point. This information is crucial for assessing the current state of the sewer network and for planning future interventions. This low threshold shows that it would be necessary to improve the sewage network in order to be able to accommodate a greater flow of wastewater, thus preventing it from being discharged into the environment.

To minimize the adverse effects of overflows, various measures are proposed. Among them are the implementation of separate sewer systems, the use of computer models to monitor the network in real time, and the creation of retention tanks to jointly manage stormwater and wastewater. These solutions would allow for more efficient management of water resources, reducing environmental impact and improving water quality.

The GiroNat project, within which this research is framed, represents an important step towards urban renaturalization and the improvement of ecological infrastructure in Girona. The collaboration with the Catalan Institute for Water Research (ICRA) and other entities provides a solid foundation for developing sustainable and innovative solutions in wastewater management.

In conclusion, this research has not only identified and quantified the CSO discharges but also proposed concrete strategies to mitigate their effects.

6. Bibliografia

Ajuntament de Barcelona. (2018). Capítol 3: Inundabilitat urbana. Recuperat de: https://coneixement-eu.bcn.cat/widget/atles-resiliencia/docs/cap03_inundabilitat_urbana-20180227.pdf

Álvarez, J. A., Bermúdez, M., Cea, L., Suárez, J., Ures, P., & Puertas, J. (2015). Modelización de los impactos por DSU en el río Miño (Lugo). *Ingeniería del Agua*, 19(2), 105. <https://doi.org/10.4995/ia.2015.3648>

BOE-A-2023-18806 Real Decreto 665/2023, de 18 de julio, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de abril; el Reglamento de la Administración Pública del Agua, aprobado por Real Decreto 927/1988, de 29 de julio; y el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. (2023b, julio 18). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2023/07/18/665>

BOE-A-2007-21092 Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. (2007, 7 diciembre). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/12/07/1620>

Caudalímetro Radar Nivuflow 550 Nivus - Lana Sarrate. (2024, 13 de maig). Lana Sarrate. Recuperat de: <https://www.lanasarrate.es/tienda/caudalimetros/caudalimetro-nivus-radar-nivuflow-550/>

César Valdez, E., i Vázquez González, A. B. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. <http://www.fundacion-ica.org.mx>

Corominas, L., Zammit, I., Badia, S., Pueyo-Ros, J., Bosch, L. M., Calle, E., Martínez, D., Chesa, M. J., Chincolla, C., Martínez, A., Llopart-Mascaró, A., Varela, F. J., Domene, E., Garcia-Sierra, M., Garcia-Acosta, X., Satorras, M., Raich-Montiu, J., Peris, R., Horno, R., . . . Palacín, I. (2024). Profiling wastewater characteristics in intra-urban catchments using online monitoring stations. *Water Science & Technology*, 89(6), 1512-1525. <https://doi.org/10.2166/wst.2024.069>

Díaz, M. A., Decinti, A., Blanco, D., i Vasquez, K. (2021). Metodología para la reutilización de aguas grises en viviendas ubicadas en áreas de estrés hídrico y estrés hídrico extremo -

Caracterización, calidad y opciones de tratamiento para su reuso en Chile. Informes de la Construcción, 73(563), e408. <https://doi.org/10.3989/ic.80823>

Henze, M., Comeau, Y., 2008. Wastewater characterization. Biol. Wastewater Treat. Princ. Model. Des. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2009.242>

Henze, M., Van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G., & Brdjanovic, D. (2008). Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design. En IWA Publishing eBooks. <https://doi.org/10.2166/9781780401867>

Hvitved-Jacobsen, T. (1982). The impact of combined sewer overflows on the dissolved oxygen concentration of a river. Water Research, 16(7), 1099-1105. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(82\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0043-1354(82)90125-7)

Iber. Model Iber. [Consultat el 4 de maig de 2024]. Disponible a: <http://www.iberaula.es>

ICRA. (2024b, 24 d'abril). FundBioDIV2021_GirONaT - ICRA. Recuperat de: https://icra.cat/projecte/fundbiodiv2021_gironat/

Mailhot, A., Talbot, G., i Lavallée, B. (2015). Relationships between rainfall and Combined Sewer Overflow (CSO) occurrences. Journal Of Hydrology, 523, 602-609. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.063>

Mailhot, A., Talbot, G., i Lavallée, B. (2015b). Relationships between rainfall and Combined Sewer Overflow (CSO) occurrences. Journal Of Hydrology, 523, 602-609. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.063>

Metcalf, E., Abu-Orf, M., Bowden, G., Burton, F. L., Pfrang, W., Stensel, H. D., ... i Tsuchihashi, R. (2014). AECOM (2014) Wastewater engineering: treatment and resource recovery.

Montlleó Balsebre, M. (2017). ESTUDI DELS IMPACTES DEL CANVI CLIMÀTIC A BARCELONA: INUUNDABILITAT URBANA. En Ajuntament de Barcelona. https://coneixement-eu.bcn.cat/widget/atles-resiliencia/docs/cap03_inudabilitat_urbana-20180227.pdf

Montserrat, A., Bosch, L., Kiser, M., Poch, M., i Corominas, L. (2015). Using data from monitoring combined sewer overflows to assess, improve, and maintain combined sewer systems. Science Of The Total Environment, 505, 1053-1061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.087>

Passerat, J., Ouattara, N. K., Mouchel, J., Rocher, N. V., i Servais, P. (2011). Impact of an intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River. *Water Research*, 45(2), 893-903. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.024>

Pluviòmetre: Informació General. (9 de maig de 2024). Recuperat de: <https://www.catsa.cat/cat/pluviometre/informacio-general.html>

Projecte GiroNat - Ajuntament de Girona. (s. d.). Ajuntament de Girona. Recuperat de: <https://web.girona.cat/gironat>

Radinja, M., Comas, J., Corominas, L., i Atanasova, N. (2019b). Assessing stormwater control measures using modelling and a multi-criteria approach. *Journal Of Environmental Management*, 243, 257-268. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.102>

Solucions DSU. (2022). Recuperat de: <https://solucions-dsu.icradev.cat/>

SWMM. Storm Water Management Manual. (2015). [Consultat el 3 de maig de 2024]. Disponible a: <http://www2.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

Tao, W., Bays, J. S., Meyer, D., Smardon, R. C., i Levy, Z. F. (2014). Constructed Wetlands for Treatment of Combined Sewer Overflow in the US: A Review of Design Challenges and Application Status. *Water*, 6(11), 3362-3385. <https://doi.org/10.3390/w6113362>

Xarxa de sanejament de les aigües residuals | Sostenibilitat - Ajuntament de Girona. (s. d.). Ajuntament de Girona. Recuperat de: <https://web.girona.cat/sostenibilitat/aigua/sanejament>