



Modelització de la xarxa de drenatge urbà de Girona

2 de maig de 2024



Autors: Josep Pueyo-Ros

Títol del document: Modelització del drenatge urbà de Girona

Codi del document (font de verificació): FVA2R5

Entitat responsable: Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA-CERCA)

Acció: A2 Plans d'infraestructura verda

Subacció: A2.1. Diagnosi de l'estat previ de la infraestructura verda de la ciutat

Data: 7 de maig de 2024

Estat del document: Versió definitiva

Índex

INTRODUCCIÓ	7
METODOLOGIA	9
Mesures de cabal	9
Validació de cabals	10
Construcció del model SWMM.....	10
Calibratge del model	11
RESULTATS	12
Validació de cabals	12
Simulacions.....	14
CONCLUSIONS	17
BIBLIOGRAFIA	18

INTRODUCCIÓ

Les descàrregues de sistemes unitaris (DSU), representen una preocupació ambiental creixent en moltes ciutats al voltant del món. Aquests sistemes unitaris combinen les aigües residuals domèstiques i pluvials en una única xarxa de sanejament. 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 rius, mars o aigües costaneres (Radinja et al., 2019). Les aigües residuals poden contenir bacteris patògens i nutrients que causen la proliferació d'algues nocives i altres contaminants que afecten la qualitat de l'aigua amb impactes en la salut pública i en els ecosistemes fluvials (Passerat et al., 2011). Afrontar aquesta problemàtica és vital per protegir els nostres recursos hídrics i garantir un futur sostenible per a les generacions futures.

Les xarxes separatives, que gestionen les aigües residuals domèstiques i pluvials per separat, són una solució efectiva per reduir les DSU. No obstant això, la seva implementació és limitada en moltes ciutats per diversos motius (Tibbetts, 2005). Primer, el cost és una barrera significativa. Construir noves xarxes separatives o convertir les existents en xarxes separades requeriria inversions substancials en infraestructura. Això pot ser prohibitiu per a moltes administracions municipals que ja estan pressionades amb altres despeses prioritàries. A més, en ciutats amb una infraestructura urbana antiga, com és el cas de Girona, amb carrers estrets o densament poblats, pot ser particularment complex i costós realitzar les obres necessàries. A més, hi ha limitacions logístiques i de temps, ja que el desplegament d'una xarxa separativa sovint requereix interrupcions significatives en el trànsit i en les activitats quotidianes dels residents. Tot i els avantatges evidents, la manca de recursos financers i les dificultats logístiques fan que les xarxes separatives siguin escasses en moltes ciutats, mantenint la dependència de sistemes unitaris que produeixen les DSU.

Les solucions a final de línia, com ara malles i reixes, són mecanismes clau en la gestió de les descàrregues de DSU (Botturi et al., 2021). Aquestes infraestructures actuen com a filtres físics per capturar sòlids grossos, flotants i altres contaminants abans que arribin als cursos fluvials. Les malles, generalment col·locades a les obertures de les clavegueres i embornals, retenen els objectes grans com branques, plàstics i altres residus que podrien bloquejar les canonades o causar danys als equips de la planta de tractament d'aigües residuals. D'altra banda, les reixes, situades als sobreixidors dels sistemes de drenatge, serveixen per retenir materials flotants i sedimentats, com olis, greixos i altres contaminants que floten a la superfície o es sedimenten al fons. Tot i que aquestes solucions a final de línia ajuden a reduir la càrrega de contaminants abocada als ecosistemes aquàtics, és important destacar que no resolen completament el problema de les DSU. En alguns casos concrets, també s'utilitzen aiguamolls artificials per tractar l'aigua de DSU abans no arribi al riu. Tot i que aquesta és una solució basada en la natura, a la realitat hi ha pocs casos en què es disposi de l'espai necessari per implementar-la, ja que els aiguamolls han de ser capaços d'absorbir cabals molt alts en moments molt concrets (Masi et al., 2023).

Una altra solució és captar l'aigua de pluja abans no entri al sistema unitari. Les solucions més freqüents es basen principalment en infraestructures construïdes específicament per gestionar les aigües pluvials, també anomenats sistemes convencionals. Entre aquestes solucions destaquen els tancs de tempesta, que recullen i emmagatzemen l'aigua de pluja durant els episodis de pluges intenses per després alliberar-la gradualment a la xarxa de drenatge una vegada ha passat la tempesta (Botturi et al., 2021). Aquesta tecnologia ajuda a reduir la sobrecàrrega dels sistemes de sanejament i minimitza el risc de DSU. A més dels tancs de tempesta, la captació de pluvials mitjançant cisternes i sistemes de recollida d'aigua de pluja en edificis i àrees urbanes és una altra opció eficaç. Aquests sistemes recullen l'aigua de pluja dels teulats i altres superfícies impermeables, emmagatzemen l'aigua per a ús posterior en tasques com la irrigació o el rentat de vehicles, i redueixen la quantitat d'aigua

que entra als sistemes de drenatge (Campisano et al., 2017). Tot i que les solucions basades en infraestructures construïdes tenen costos inicials, ofereixen beneficis a llarg termini en la gestió sostenible de les aigües pluvials i en la reducció dels impactes ambientals associats amb les DSU.

Els Sistemes Urbans de Drenatge Sostenible (SUDS) són una alternativa innovadora als sistemes convencionals de gestió d'aigües pluvials (Joshi et al., 2021). A diferència dels tancs de tempesta i altres infraestructures convencionals, els SUDS incorporen elements naturals i dissenys basats en la natura per gestionar l'aigua de pluja a nivell local. Aquests sistemes inclouen característiques com ara teulats verds, zones verdes permeables, basses de retenció, voreres vegetades i filtres vegetals, entre altres. Les avantatges dels SUDS són múltiples: en primer lloc, ajuden a reduir les DSU, ja que retenen i infiltren l'aigua de pluja en el terreny, evitant que arribi als sistemes unitaris. A més, promouen la infiltració d'aigua al sòl, recarregant els aqüífers i millorant la qualitat de l'aigua subterrània. També contribueixen a reduir els efectes de les inundacions urbanes, ja que retenen l'aigua de pluja en lloc d'escórrer-la ràpidament a les xarxes de drenatge. A més, els SUDS proporcionen avantatges addicionals com ara la millora de la biodiversitat, la reducció de la temperatura urbana i la millora de l'estètica i la qualitat de vida a les comunitats (D. La Rosa & Pappalardo, 2020). En resum, els SUDS representen una opció més sostenible i integrada per a la gestió d'aigües pluvials, contribuint a un entorn urbà més saludable i resistent al canvi climàtic.

Disposar d'un model del drenatge urbà ben calibrat és fonamental per a una planificació efectiva de la construcció de SUDS, especialment en la seva localització dins la trama urbana. A través de models de drenatge precisos, es pot entendre millor el comportament hidrològic del territori, incloent-hi els patrons de ruixats, els fluxos d'aigua superficial i la resposta del sistema de drenatge a les pluges intenses (Radinja et al., 2019). Aquesta comprensió és clau per identificar les àrees crítiques amb problemes d'inundacions i DSU, així com per determinar les ubicacions òptimes per a la implementació de SUDS. Amb un model ben calibrat, es pot avaluar l'eficàcia potencial de diverses estratègies de gestió d'aigües pluvials i seleccionar les intervencions més adequades per mitigar els riscos d'inundació i millorar la qualitat de l'aigua (D. J. Rosa et al., 2015). A més, aquests models permeten simular els efectes del canvi climàtic i anticipar les necessitats futures en matèria de drenatge urbà, ajudant a garantir que les ciutats estiguin preparades per als desafiaments ambientals venidors. En resum, la combinació d'un model de drenatge urbà precís i la planificació estratègica de SUDS és essencial per a una gestió sostenible de les aigües pluvials i una ciutat més resilient davant dels impactes del canvi climàtic.

Així doncs, el principal objectiu d'aquest informe és presentar els resultats de la modelització de la xarxa de drenatge urbà de Girona. Aquest model és el primer pas per a poder desenvolupar una prioritització estratègica en relació a la construcció de SUDS a la ciutat de Girona que minimitzin el volum i freqüència de DSU i maximitzin alhora els beneficis socials i ambientals d'aquestes infraestructures verdes.

METODOLOGIA

Mesures de cabal

El primer pas per a poder modelitzar una xarxa de drenatge urbà és obtenir dades de cabals en diferents punts de la xarxa. Cabals tant en temps sec (quan no plou) com en episodis de pluja. Per obtenir cabals de la xarxa de Girona es van utilitzar diferents fonts:

- 2 cabalímetres NIVUS instal·lats a diferents trams previs a un DSU.
- Dades de cabals tractats proporcionats per l'empresa gestora de l'EDAR Girona.

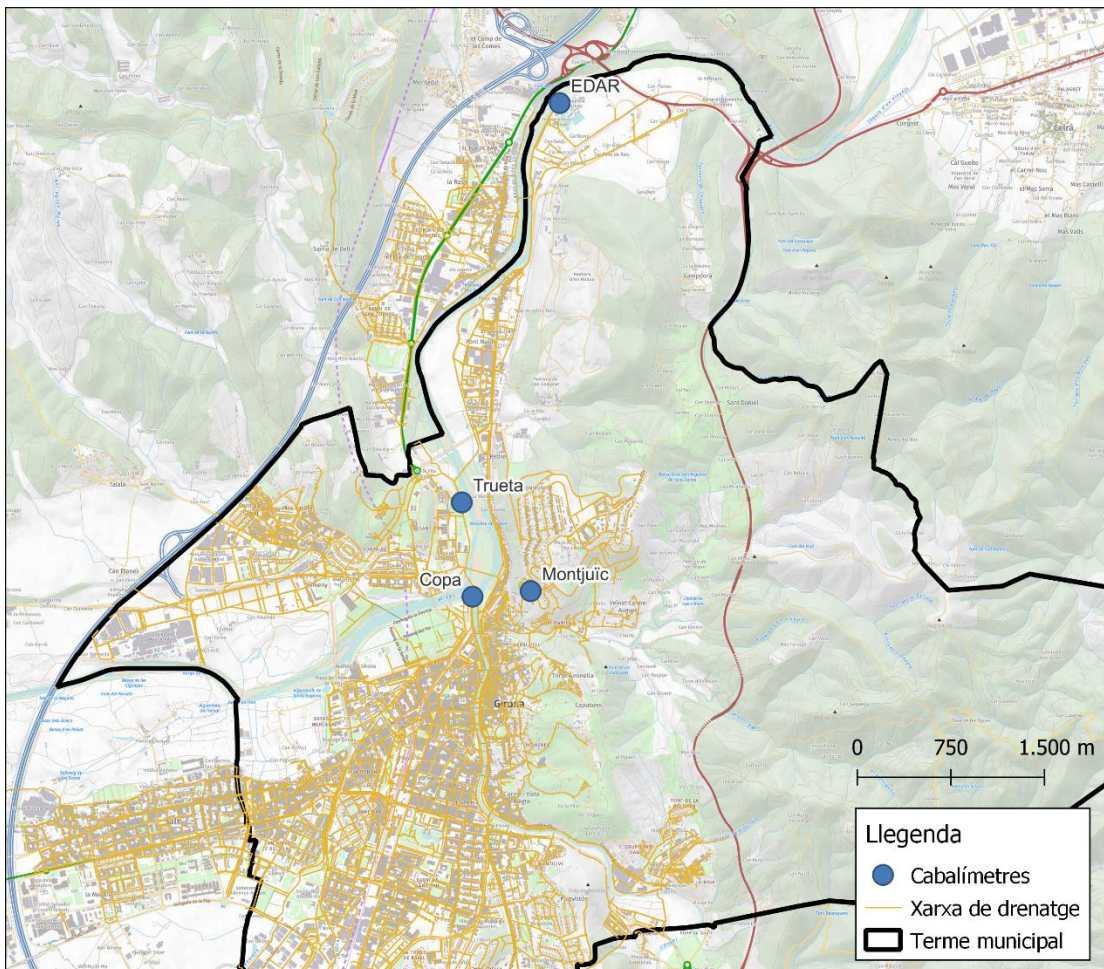


Figura 1. Localització dels cabalímetres dins la xarxa de drenatge de Girona

CABALÍMETRES

Els cabalímetres són un dels sistemes més precisos per obtenir cabals però el seu elevat preu no permet desplegar-los de forma massiva a tota la xarxa. Per a la mesura de cabals es va disposar de 2 cabalímetres NIVUS que es van anar movent a diferents punts de la xarxa amb l'objectiu d'obtenir mesures de diferents períodes de pluja en diferents punts de la xarxa en trams anteriors a un sobreexidor (Figura 1, Taula 1). Saber el cabal previ a un sobreexidor, en combinació amb la seva geometria, permet estimar amb precisió adequada el cabal sobreexigit alhora que es poden obtenir

mesures de cabal en temps sec que no s'obtidrien si es posicionés el cabalímetre sobre el canal de sobreiximent. Es va optar per prioritzar les mesures al sobreixidor del Trueta i al d'entrada a l'EDAR perquè juntament amb el sobreixidor de Països Catalans són els 3 més importants del sistema. A Països Catalans no es van prendre mesures perquè es disposa de cabals d'un estudi anterior (Radinja et al., 2019).

Taula 1. Període d'instal·lació de cada cabalímetre

Localització	Inici	Final	Període (dies)
Montjuïc	31/01/2023	03/06/2023	34
Copa	03/05/2023	14/05/2023	11
Trueta	29/03/2023	29/04/2024	397
EDAR	23/06/2023	29/04/2024	311

CABALS EDAR GIRONA

Per complementar les mesures directes fetes a la xarxa, l'empresa responsable de la gestió de l'EDAR de Girona va facilitar les dades de cabal de l'EDAR per a l'any 2023. Aquestes dades presenten mesures de cabal d'entrada a l'EDAR. En aquests cabals cal descomptar-hi els retorns, que es van assumir de 13 l/s. Aquests cabals permeten un calibratge en temps sec del total de la xarxa. Alhora, permeten un bon calibratge del cabal sobreixit abans de l'entrada a depuradora comparant el cabal de sortida del col·lector (cabalímetre EDAR) amb els cabals d'entrada a l'EDAR.

Validació de cabals

Abans d'utilitzar els diferents cabals mesurats per al calibratge del model, és necessari validar que els valors són correctes. Per a aquesta tasca es van testejar diferents assumpcions:

- Els cabals corresponen a la generació esperada d'aigua residual per càpita (entre 80 i 200 l/persona/dia).
- Els cabals augmenten a mesura que es va aigües avall de la xarxa.
- Els cabals segueixen els perfils diaris esperats.
- En períodes de pluja els cabals augmenten.

Aquestes validacions es van realitzar amb inspeccions visuals dels perfils de cabals.

Construcció del model SWMM

Per poder córrer simulacions en un model SWMM cal construir primer els elements del model:

- La xarxa de clavegueram.
- Les àrees de captació superficial

La xarxa de clavegueram va ser proporcionada per l'empresa CATSA, responsable de la gestió de l'aigua en baixa a la ciutat de Girona. La topologia de la xarxa es va corregir per assegurar que tots els trams de la xarxa de residuals desembocaven a la depuradora. Amb aquest fi, es van corregir elevacions i es

van crear nodes artificials per connectar trams desconnectats. Un cop corregida la topologia de la xarxa, els atributs es van adaptar segons les especificacions del model SWMM.

Pel que fa a les àrees de captació, el procediment habitual és traçar les àrees utilitzant polígons de Voronoi al voltant dels pous d'entrada a la xarxa de drenatge. No obstant, aquest sistema, tot i que molt eficient en quant a computació, dificulta la posterior utilització del model per la simulació de SUDS. Per aquest motiu, es va optar per traçar les àrees de captació en base a les cobertes del sòl, traçant àrees de captació que fossin homogènies en relació al tipus de sòl. Per a cada àrea de captació es va determinar el pendent, el percentatge d'impermeabilitat i la conductivitat hidràulica del substrat. També si l'aigua captada per l'àrea desembocava a la xarxa de drenatge o en una àrea permeable (espai verd).

Pel que fa a la generació d'aigües residuals, els edificis es van connectar al node més proper considerant el pendent utilitzant el plugin *building2sewer* de QGIS (Pueyo-Ros, 2021). Les persones a cada habitatge es van estimar de manera diferenciada per a cada secció censal, dividint la població de la secció censal pel nombre d'habitatges dins la secció.

Calibratge del model

El calibratge del model SWMM es va realitzar en dues fases, primer es va dur a terme una calibratge dels cabals en temps sec (sense pluja) i un cop calibrat en temps sec es va calibrar el model per representar episodis de pluja, amb especial interès en els cabals de les DSU.

Per al temps sec, el paràmetre calibrat va ser la generació d'aigua residual per càpita i el perfil diari de cabal. Mentre que per temps humit, els paràmetres a calibrar foren la conductivitat hidràulica dels substrats i l'alçada del llavi del sobreexidor (l'alçada a partir de la qual comença a sobreexir). El mètode de calibratge utilitzat fou l'anomenat mètode de força bruta, on es proven tots els valors dins d'uns rangs predeterminats (Taula 2).

Taula 2. Paràmetres calibrats i rangs utilitzats

Paràmetre	Mínim	Màxim	Interval	Unitats
Generació d'aigua residual per càpita	100	200	10	litres/dia
Conductivitat hidràulica del substrat	0	200	20	mm/hora
Alçada del llavi del sobreexidor	10	80	10	% alçada total canonada

RESULTATS

Validació de cabals

GENERACIÓ DE CABALS PER CÀPITA

Tots els cabalímetres mostren els volums generats per càpita dintre dels rangs esperats excepte les mesures preses a l'entrada de l'EDAR, amb un valor de 265,9 l/persona/dia. Aquest valor més alt de l'esperat pot ser degut a diferents motius. El primer motiu podria ser un error de mesura, per descartar-ho es va comparar amb els valors proporcionats per l'empresa gestora de l'EDAR i es va veure que els valors eren molt similars (Figura 4). Un altre motiu podria ser que hi hagués algun punt amb infiltracions, on s'introduís aigua superficial o subterrània dins la xarxa de clavegueram degut a una fissura; o també podria ser que en el tram final hi hagués grans consumidors no contemplats en el càlcul, on només es consideren les generacions domèstiques. En tot cas, es va valorar que aquesta mesura a final de xarxa no tenia afectacions significatives per a la construcció i calibratge del model.

Taula 3. Resum de les dades dels cabalímetres

Cabalímetre	Cabal mitjà (l/s)	Volum diari (m ³)	Pous connectats	Generació per càpita (l/persona/dia)
EDAR	525,5	35.771	11.195	265,9
Trueta	270,7	23.388	9902	196,8
Copa	57,7	4.985	4420	94
Montjuïc	2,7	233	175	111,1

PERFILS DIARIS I CABALS RELACIONATS AMB LA DISTÀNCIA A L'EDAR

A la Figura 2 es poden observar els perfils diaris crus i mitjans (línia blanca). Els 4 perfils segueixen el patró esperat amb cabals més baixos durant la nit i dos pics al matí i al vespre respectivament. Un altre comportament esperable és que les mesures més properes a l'EDAR presenten cabals més grans i amb menys variances. Els cabals de Montjuïc, molt al principi d'una part de la xarxa, presenta cabals molt irregulars i fins i tot cabals pràcticament nuls durant la nit.

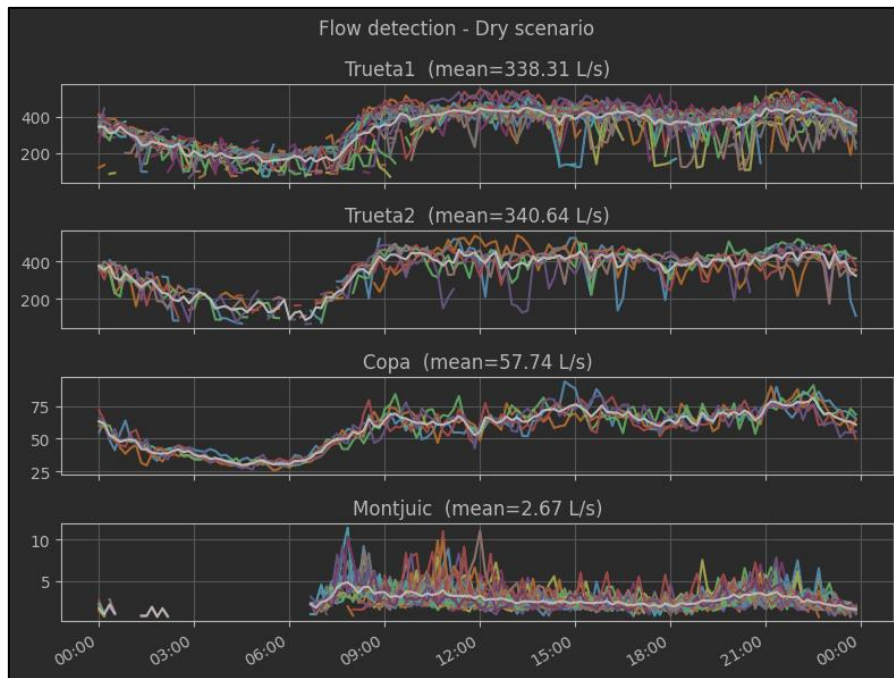


Figura 2. Perfils diaris i mitjans (línia blanca) diaris per als 4 cabalímetres. Trueta1 i Trueta2 corresponen al mateix tram en dos períodes diferents. L'absència de dades significa que el cabal està per sota el nivell de detecció del sensor, molt proper a zero.

Una validació important és comprovar que els punts de mesura responen a la pluja. Per comprovar aquesta assumpció es pot mirar la correlació entre el cabal mitjà diari i la pluja acumulada al llarg del dia. Malgrat aquesta aproximació no és perfecte, perquè la pluja acumulada pot tenir afectacions als cabals del dia següent, permet obtenir una imatge aproximada de la resposta. Com es pot comprovar a la Figura 3, els cabals en tots els punts de mesura es correlacionen amb la pluja. Aquesta correlació és especialment clara en el cas del Trueta i de l'EDAR on hi ha els principals DSU de la xarxa.

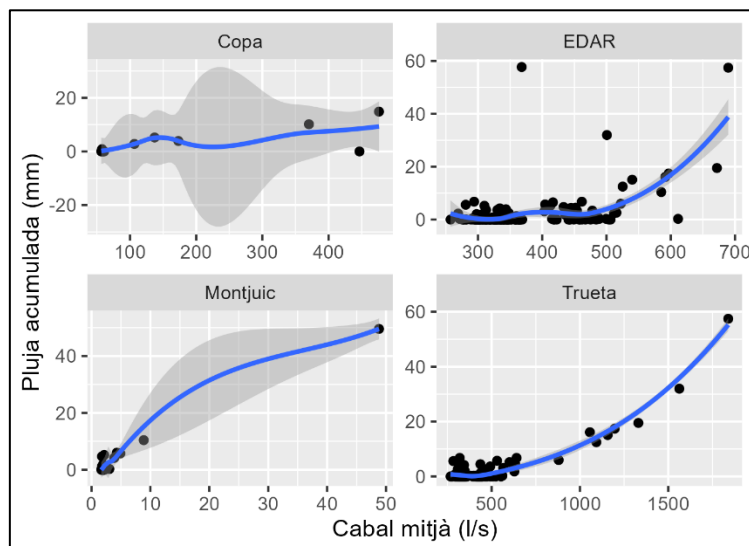


Figura 3. Correlació entre cabals mitjans diaris i pluja acumulada diària per cada punt de mesura.

A la Figura 4 es pot veure un dels episodis de pluja registrats i les respostes dels cabals. Es pot veure com en temps sec (principi del gràfic) els tres cabals són molt semblants però en l'episodi de pluja del

31 de març de 2024 a la matinada el cabal al Trueta (taronja) és molt superior al cabal a l'EDAR (vermell), conseqüència de tot el cabal descarregat al sobreexidor del Trueta. També es pot observar com el cabal tractat (verd) augmenta però al cap de poc es torna estable, assolint el valor màxim de bombeig de l'EDAR. Pel contrari, el cabal que arriba a l'EDAR continua augmentat. La diferència entre la línia vermella i la verda es pot assumir com el cabal de la DSU a l'entrada de l'EDAR. La diferència entre la línia vermella i la taronja és part (no el total, ja que continua entrant cabal entre els dos punts) del cabal descarregat al sobreexidor del Trueta. Un fenomen molt similar es repeteix el mateix dia al vespre amb un nou episodi de pluges.

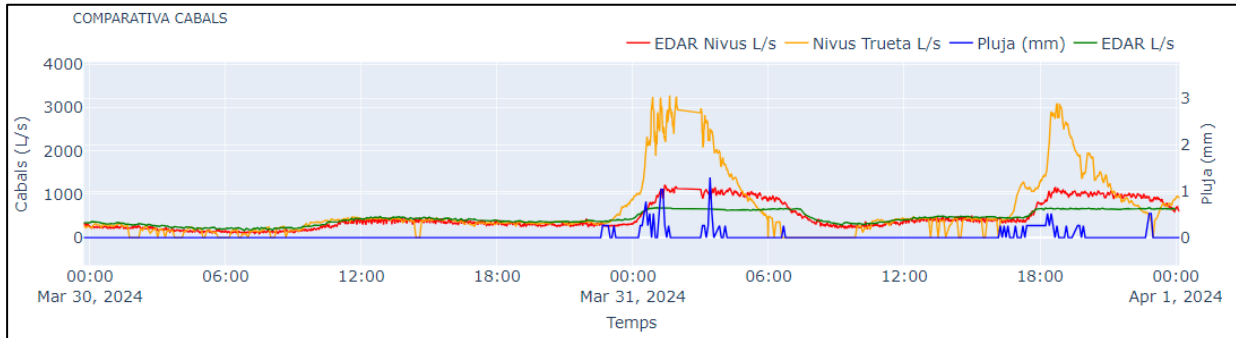


Figura 4. Cabals mesurats al Trueta i a l'EDAR en comparació als cabals de l'EDAR proporcionats per l'empresa gestora i les pluges registrades.

Simulacions

Un cop el model construït i calibrat, es poden simular episodis reals per comprovar com el model s'ajusta a les dades reals. Aquestes simulacions es poden fer en temps sec per observar com el model simula la generació d'aigua residual. A la Figura 5 es pot observar la simulació per un dia sense pluges després d'un període d'escalfament del model de tres dies. El període d'escalfament és necessari perquè la xarxa s'ompli d'aigua i assoleixi un cabal estable. A la figura es pot veure que els cabals simulats s'ajusten raonablement bé als cabals reals tant en volum com en temporalitat. A l'EDAR (WWTP a la figura) i al Trueta, els cabals nocturns simulats son inferiors als reals, significant que el model possiblement no estigui capturant correctament algun paràmetre, com el temps de retenció.

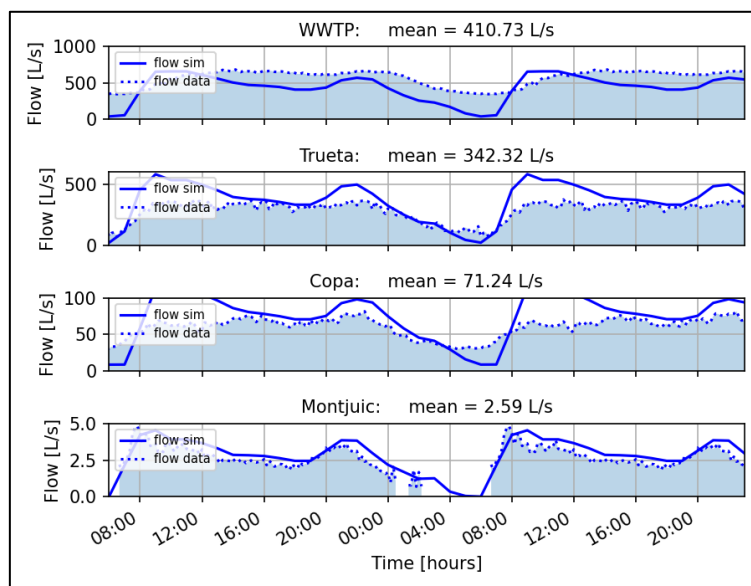


Figura 5. Comparació de cabals simulats (zona ombrrejada) i reals (línia de punts).

En les simulacions en temps de pluja, s'utilitzen les pluges d'un episodi i s'entren al model per simular cabals basats en una pluja real i poder-los comparar amb els cabals reals per aquell mateix episodi. A la Figura 6 es poden comparar els cabals simulats i reals per l'episodi de pluges del 7 de maig de 2023. Es pot observar com en el cas del Trueta, el model sobreestima el cabal mentre que en el cas de la Copa, el volum és correcte però hi ha un decalatge temporal. Cal remarcar que aquests són els resultats d'un primer calibratge fet amb les pluges de la primavera del 2023. No obstant, cap model de drenatge és estàtic i, per tant, es realitzen nous calibratges a mesura que es tenen més dades. Les pluges de l'abril de 2024 han generat un munt de dades que permetran un calibratge més acurat.

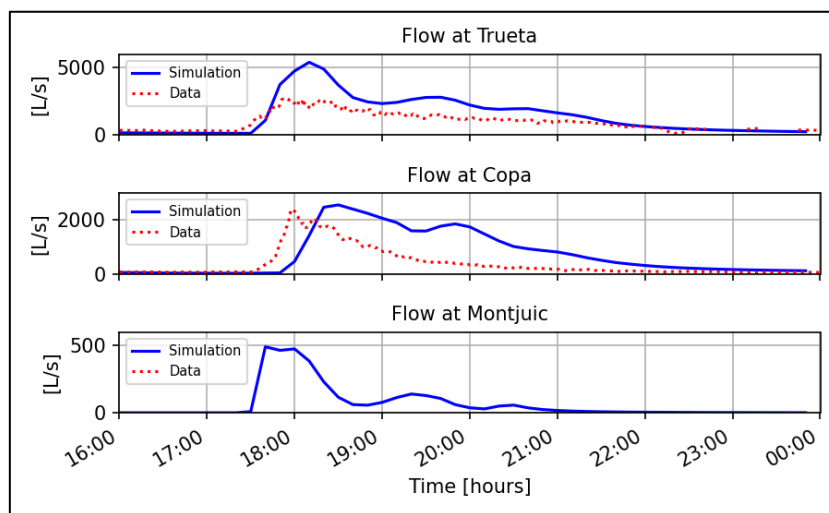


Figura 6. Cabals simulats (línia blava) i cabals reals (línia vermella de punts) per a l'episodi de pluja del 7 de maig de 2023

El model també permet simular el cabal de les DSU. A la Figura 7 es poden veure tots els cabals simulats pel sistema i una comparació amb el cabal d'arribada a l'EDAR. Observant els volums acumulats, hom s'adona que el cabal de les DSU és superior al cabal d'entrada a l'EDAR. Això significa que fins i tot en episodis de poca pluja (el 7 de maig van caure 10 mm en 3 hores) el volum abocat directa a medi és superior al volum tractat.

Aquesta simulació també permet veure quines DSU són les més rellevants i, per tant, les que cal prioritzar alhora de minimitzar el total de DSU. En aquest cas, es pot veure que la principal contribució la fan els sobreeixidors del Trueta i de Plaça dels Països Catalans. Aquests resultats coincideixen amb el coneixement expert dels gestors de la xarxa. En aquest sentit, la DSU a Plaça dels Països Catalans té un impacte especial perquè està situat en un espai cèntric de la ciutat, incrementant els riscos per la salut pública, però també perquè l'abocament és al riu Onyar, un riu amb poc cabal on les aportacions d'aigües residuals poden tenir un major impacte en la qualitat de l'aigua. També cal considerar que aigües avall de l'abocament, el riu transcorre per espais icònics de la ciutat com el pont de les peixateries velles (construït per l'Eiffel) o per les cases de l'Onyar, una de les imatges més representatives de la ciutat de Girona. Per altra banda, la DSU del Trueta aboca les aigües al riu Ter en una zona no urbanitzada. Així doncs, els riscos per la salut pública són menors així com també ho és l'impacte dels possibles abocaments, perquè el riu presenta un major cabal i perquè les lleres, més naturalitzades que a l'Onyar, actuen com a depuradora natural de l'aigua abocada.

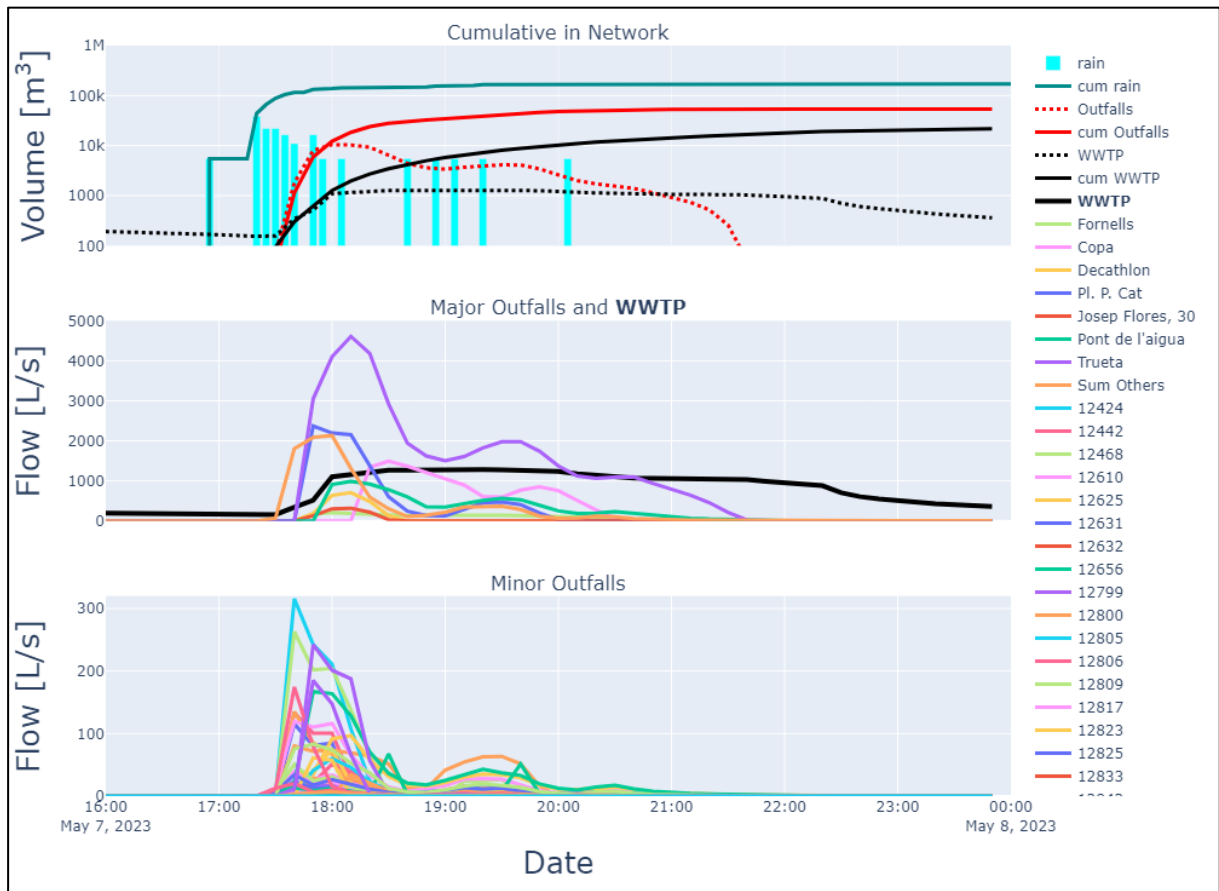


Figura 7. Cabals simulats a tots els sobreixidors de la xarxa de drenatge per l'episodi de pluges del 7 de maig i comparació amb els cabals simulats d'arribada a l'EDAR Girona.

CONCLUSIONS

En aquest informe s'ha presentat el model de drenatge urbà de Girona construït pel projecte GiroNat. El calibratge del model presenta uns errors adequats a la seva finalitat, ja que no es tracta d'obtenir cabals simulats el més precisos possibles sinó de comparar entre alternatives, reduint la sensibilitat del resultat a l'error del model. No obstant, el calibratge no es dona per conclòs amb aquest document. Recentment, un altre projecte d'ICRA ha instal·lat 10 sensors de nivell a pou terminals de subconques de la xarxa. Alhora, l'empresa responsable de les aigües residuals en alta, està instal·lant sensors de nivell als principals sobreexidors de la xarxa. Totes aquestes noves dades, sumades a les noves dades que els cabalímetres encara instal·lats al Trueta i a l'EDAR estan registrant, permetran un nou procés de calibratge més precís que generarà simulacions més acurades.

Malgrat el model en si ja aporta valor afegit per entendre com les pluges afecten a les DSU, aquest model és només un pas previ per a la tasca finançada pel projecte GiroNat. En essència, un estudi de prioritització de SUDS per minimitzar les DSU i maximitzar els beneficis ambientals i socials d'aquestes infraestructures verdes. Tenir un model funcional i calibrat permet afrontar la primera part de l'objectiu: prioritzar els SUDS que minimitzin les DSU. No obstant, per maximitzar els beneficis socials i ambientals caldrà informacions complementàries, moltes de les quals sortiran d'altres informes i estudis d'aquest mateix projecte, com les necessitats de verd per càpita als diferents barris o la connectivitat ecològica a la trama urbana. També cal considerar que no totes les DSU són iguals, el seu impacte ambiental i social depèn del punt d'abocament (urbà, no urbà, cèntric...) i del riu on aboquen les aigües (cabal, intermitència, qualitat de les lleres, qualitat de les aigües amunt,...). En aquest sentit, caldrà tenir en compte estudis previs i actuals sobre l'impacte de les DSU en la salut pública i en els ecosistemes fluvials, que se sumaran a les variables mencionades anteriorment.

BIBLIOGRAFIA

- Botturi, A., Ozbayram, E. G., Tondera, K., Gilbert, N. I., Rouault, P., Caradot, N., Gutierrez, O., Daneshgar, S., Frison, N., Akyol, Ç., Foglia, A., Eusebi, A. L., & Fatone, F. (2021). Combined sewer overflows: A critical review on best practice and innovative solutions to mitigate impacts on environment and human health. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(15), 1585–1618. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1757957>
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L. N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., & Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, 115, 195–209. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2017.02.056>
- Joshi, P., Leitão, J. P., Maurer, M., & Bach, P. M. (2021). Not all SuDS are created equal: Impact of different approaches on combined sewer overflows. *Water Research*, 191, 116780. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2020.116780>
- La Rosa, D., & Pappalardo, V. (2020). Planning for spatial equity - A performance based approach for sustainable urban drainage systems. *Sustainable Cities and Society*, 53. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2019.101885>
- Masi, F., Sarti, C., Cincinelli, A., Bresciani, R., Martinuzzi, N., Bernasconi, M., & Rizzo, A. (2023). Constructed wetlands for the treatment of combined sewer overflow upstream of centralized wastewater treatment plants. *Ecological Engineering*, 193, 107008. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2023.107008>
- Passerat, J., Ouattara, N. K., Mouchel, J. M., Vincent Rocher, & 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>
- Pueyo-Ros, J. (2021). *QGIS processing algorithms by ICRA* (0.1). ICRA.
- Radinja, M., Comas, J., Corominas, L., & Atanasova, N. (2019). 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>
- Rosa, D. J., Clausen, J. C., & Dietz, M. E. (2015). Calibration and Verification of SWMM for Low Impact Development. *Journal of the American Water Resources Association*, 51(3), 746–757. <https://doi.org/10.1111/JAWR.12272>
- Tibbetts, J. (2005). Combined sewer systems: Down, dirty, and out of date. *Environmental Health Perspectives*, 113(7). <https://doi.org/10.1289/EHP.113-A464/ASSET/D402CA7E-6EBB-4E35-B00F-59AD66DEA12F/ASSETS/GRAPHIC/EHP0113-A00464F2.JPG>

Plaça del Vi, 1
17004 GIRONA
Tel. 972 419 442
www.girona.cat

