



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Caracterització de l'episodi 'Glòria' a la Conca del Tordera mitjançant modelització hidrològica distribuïda

Treball realitzat per:

Raquel Salavert Otal

Dirigit per:

Ernest Bladé Castellet

Marcos Sanz-Ramos

Grau en:

Enginyeria de Camins, Canals i Ports

Barcelona, 31 de gener de 2022

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE MÀSTER

Agraïments

Aquest treball no hagués estat possible sense l'ajuda dels meus tutors, l'Ernest Bladé i el Marcos Sanz-Ramos, que m'han escoltat sempre que he tingut dubtes i m'han donat consells i suport en tot el que he necessitat.

També cal agrair al Servei Meteorològic de Catalunya i l'Agència Catalana de l'Aigua per les dades de les estacions meteorològiques i d'aforament amb les que s'ha pogut realitzar el treball.

A l'institut Flumen, per deixar-me un espai i un ordinador on poder concentrar-me i realitzar el treball, i pels documents necessaris que m'han donat per aprendre a fer servir Iber, un eina que integra la modelització hidràulica bidimensional amb la modelització hidrològica distribuïda.

Per últim, agrair el suport que m'han donat els amics, la família i els meus companys de feina.

RESUM

El gener del 2020 es va produir un gran temporal “Glòria” que va causar afectacions a tota Catalunya, sobretot a la conca de la Tordera, on hi va haver infraestructures greument danyades i inundacions.

L'estudi de temporals és molt important actualment per la construcció d'infraestructures que no es vegin afectades i reduir així el risc de inundacions. No obstant, l'episodi Glòria encara segueix sense estar caracteritzat hidrològicament amb precisió degut a les discrepàncies entre dades d'aforaments d'estacions existents.

L'objectiu principal del treball és caracteritzar des del punt de vista hidrològic l'episodi Glòria a tota la conca del Tordera, utilitzant la modelització numèrica distribuïda.

Per portar-ho a terme, s'han obtingut i analitzat dades hidrològiques de la conca de la Tordera, s'ha construït un model hidrològic amb Iber, una eina que integra la modelització hidràulica bidimensional amb la modelització hidrològica distribuïda i s'ha refinat el model per tal de caracteritzar hidrològicament el temporal Glòria a la conca de la Tordera amb la màxima precisió possible.

ABSTRACT

In January 2020 there was a great storm "Gloria" that affected all Catalonia, especially in the basin of the Tordera, where there were severely damaged infrastructures and floods.

Nowadays, the study of storms is very important for the construction of infrastructure that is not affected and thus reduce the risk of flooding. However, the Gloria episode is still not accurately hydrologically characterized due to discrepancies between gauging data from existing stations.

The main objective of the document is to characterize from the hydrological point of view the Glòria episode throughout the Tordera basin, using distributed numerical modeling.

To carry it out, hydrological data from the Tordera basin have been obtained and analyzed, a hydrological model has been built with Iber, a tool that integrates two-dimensional hydraulic modeling with distributed hydrological modelin. The model has been refined in order to hydrologically characterize the Gloria storm in the Tordera basin with the maximum possible precision.

Taula de Continguts

Capítol 1	1
Introducció	1
1.1 Episodi Glòria	3
1.1.1 Descripció General	3
1.1.2 Problemàtica a la conca de la Tordera	10
1.2 Objectius del treball i organització del document	19
Capítol 2	21
Metodologia	21
2.1 Obtenció de les dades	21
2.1.1 Cabals	23
2.1.2 Precipitació	24
2.1.3 Radar	26
Capítol 3	28
Anàlisi de dades	28
3.1 Dades d'estacions d'aforament	28
3.2 Dades de radar i estacions meteorològiques	31
Capítol 4	41
Model Hidrològic Distribuït	41
4.1 Fenòmens a capturar	41
4.2 Funcionament i formulació bàsica	41
4.3 Definició del model	44
4.3.1 Definició dels paràmetres de simulació	44
Capítol 5	48
Resultats Inicials	48
5.1 Simulació 1: Hietogrames	48
5.2 Simulació 2: Dades de radar	52
Capítol 6	57
Refinament del Model	57

6.1	Model de infiltració del SCS continu	57
6.2	Dades Aplicades	58
Capítol 7.....		61
Resultats Finals		61
7.1	Simulació 1: Hietogrames	61
7.2	Simulació 2: Dades de radar	62
Capítol 8		63
Conclusions.....		63
Capítol 9		66
Treballs Futurs		66
Capítol 10.....		67
Bibliografia		67

Índex de Figures

Figura 1: Distribució de la precipitació acumulada (mm) entre els 19 i el 23 de gener del 2020 als pluviòmetres de la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA) i de les estacions manual de la Xarxa d'observadors Meteorològics (XOM) del Servei Meteorològic de Catalunya (METEOCAT, 2020)	4
Figura 2: Inundació al nucli de la Tordera. Font: (<i>Ràdio Tordera – Tordera a l'espera de Les Ajudes Anunciades per Les Destrosses Del Glòria Un Any Després</i> , n.d.)	6
Figura 3: Inundació al Baix Tordera. Font: (<i>Un Total de 42 Comunidades de Regantes Afectadas Por Los Aguaceros de Octubre de 2019 y Por El Temporal Gloria de Enero de 2020 Han Solicitado La Ayuda Del Departamento de Agricultura GuiAgro</i> , n.d.).....	7
Figura 4: Carretera de Montseny al Brull, Osona, afectada pel temporal Glòria. Font: (<i>Quatre Línies Ferroviàries Tallades i Menys Trens Dels Habituals Pel Temporal SER Catalunya Cadena SER</i> , n.d.)	8
Figura 5: Trencament del pont de la carretera al Baix Tordera. Font: (<i>Vídeo: La Borrasca "Gloria" Deja Ya Diez Muertos</i> , n.d.)	9
Figura 6: Conca de la Tordera. Font: (Xavier Torras, n.d.)	10
Figura 7: Hidrograma de la intensitat de precipitació registrada a l'estació de can Fogars de la Selva del 21 al 23 de gener (METEOCAT, 2020)	13
Figura 8: Impacte del Glòria al baix Tordera (METEOCAT, 2020).....	15
Figura 9: Trencament del pont ferroviari de la línia R1 degut el temporal Glòria. Font: (<i>Un Hombre Muerto En Ametlla de Mar Eleva a 13 Las Víctimas Mortales Por La Borrasca 'Gloria,'</i> n.d.).....	16
Figura 10: Trencament del pont de la carretera. Font: (<i>Reformar Lo Que Ya Existe Para Resistir Lo Que Vendrá</i> , n.d.).....	17
Figura 11: Esfondrament de la carretera C-35 entre Hostalric i Fogars de la Selva. Font: (<i>Minuto a Minuto de La Borrasca Gloria: Se Elevan a Ocho Los Muertos Por El Temporal</i> , n.d.).....	17
Figura 12: Comparació de la línia de costa al tram baix de la Tordera a causa del temporal Glòria (Pavón & Panareda, 2020)	18
Figura 13: Estacions d'aforament en la zona d'estudi	22
Figura 14: Estacions meteorològiques en la zona d'estudi	22
Figura 15: Estacions d'aforament de Fogars de la Selva a Can Simó (EA089).....	24
Figura 16: Pluviòmetre de balancí (Meteovilatorra, n.d.).....	25
Figura 17: Radar de Puig d'Arques (<i>Xarxa de Radars (XRAD) - Servei Meteorològic de Catalunya Meteocat</i> , n.d.).....	27
Figura 18: Hidrogrames de les estacions meteorològiques de la conca de la Tordera	29
Figura 19: Subconques de la Tordera.....	30
Figura 20: Cabal màxim en cada subconca	30

Figura 21: Hietograma de la precipitació per l'estació de Fogars de la Selva	32
Figura 22: Hietograma de la precipitació per l'estació de Santa Coloma de Farners	33
Figura 23: Hietograma de la precipitació per l'estació de Puig Sesolles	34
Figura 24: Precipitació acumulada a l'estació de Fogars de la Selva.....	35
Figura 25: Precipitació acumulada a l'estació de Sant Celoni	35
Figura 26: Precipitació acumulada a l'estació de Santa Coloma de Farners	36
Figura 27: Precipitació acumulada a l'estació de Puig Sesolles.....	37
Figura 28: Polígons de Thiessen amb les estacions meteorològiques que influencien la conca	39
Figura 29: Processos que involucren el moviment d'escorrentia aplicat al mòdul hidrològic d'Iber (FLUMEN Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica, n.d.)	42
Figura 30: Geometria de la Conca de la Tordera.....	44
Figura 31: Mallat de la geometria utilitzat	46
Figura 32: Variació del cabal específic màxim en funció del nombre d'elements de la malla.....	46
Figura 33: Usos de sòl (esquerra) i pèrdues per nombre de corba (dreta) aplicats al model.....	47
Figura 34: Hidrogrames de l'estació d'aforament de Fogars de la Selva a la conca del Tordera obtingut en la simulació 1	49
Figura 35: Calat d'aigua a l'últim pas de temps de la simulació 1.....	50
Figura 36: Velocitat i profunditat d'infiltració obtinguts en la simulació 1.....	51
Figura 37: Intensitat de precipitació horària i profunditat de precipitació a la conca de la Tordera durant la simulació 1	52
Figura 38: Hidrogrames de les estacions d'aforament de la conca del Tordera obtinguts en la simulació 2.....	53
Figura 39: Calats d'aigua a la conca obtinguts en la simulació 2.....	54
Figura 40: Velocitat i profunditat de infiltració obtinguts en la simulació 2	55
Figura 41: Velocitat i profunditat d'intensitat de precipitació obtinguts en la simulació 2.....	56
Figura 42: Dades de temperatura de l'estació de Castell-Platja d'Aro aplicades a les simulacions.....	59
Figura 43: Hidrograma de l'estació de Fogars de la Selva aplicant la infiltració amb el mètode de SCS continu.....	61
Figura 44: Hidrograma de l'estació de Fogars de la Selva aplicant la infiltració amb el mètode de SCS continu.....	62

Índex de Taules

Taula 1: Estacions meteorològiques localitzades a la conca de la Tordera.....	11
Taula 2: Dades de precipitació durant l'episodi a les estacions automàtiques (XEMA) de la conca de la Tordera del 19 al 23 de gener.	12
Taula 3: Previsió del període de retorn dels cabals produïts a la conca de la Tordera durant el Glòria	14
Taula 4: Coordenades i ubicació de les estacions d'aforament de l'ACA a la conca de la Tordera	23
Taula 5: Estacions Meteorològiques utilitzades per l'anàlisi.....	25
Taula 6: Pluja total acumulada durant l'episodi a cada estació meteorològica del SMC.....	37
Taula 7: Pluja total acumulada durant l'episodi a cada estació meteorològica de l'ACA	38
Taula 8: Àrea d'influència de les estacions meteorològiques a la conca de la Tordera	39
Taula 9: Tècnica d'aplicació de la precipitació per cada simulació	45
Taula 10: Tècnica d'aplicació de la precipitació per cada simulació	47
Taula 11: Definició de l'aquífer pel model de percolació del terreny	58
Taula 12: Paràmetres definits per les simulacions	59

Capítol 1

Introducció

Els estudis hidrològics són una eina imprescindible per estudiar el comportament de l'aigua al llarg del territori, per tal de precisar el risc d'inundacions, el règim de pluges màximes i les seves característiques. Aquesta informació serveix per fer projectes de construcció d'infraestructures i valorar els efectes hidrològics que es poden produir sobre aquestes. Pel tal de portar a terme els estudis hidrològics s'estudia en detall els temporals que s'han produït en el territori i els danys que han ocasionat, així com els punts més problemàtics i les seves afeccions.

El gener del 2020 es va produir a Catalunya l'Episodi Glòria, que va consistir en una intensa i prologada precipitació que va causar el desbordament de rius i rieres, la inundació de pobles i, consegüentment, danys humans i materials a tot el territori. Aquest temporal amb un període de retorn d'entre 10 i 50 anys va afectar en gran mesura a la conca de la Tordera, de manera que constitueix un cas amb molt interès d'estudi.

D'aquesta manera, per tal de fer servir els temporals intensos per fer un disseny de les infraestructures el més segur possible, s'han de registrar les informacions del temporal el més detalladament que es pot. En aquest cas, es fa un recull de les dades destacades del temporal Glòria sobre la conca de la Tordera, que ha estat la que més danys ha tingut durant l'episodi. Amb aquesta informació, és possible construir models hidrològics per tal de fer una anàlisi hidrològica de l'episodi i veure les zones amb més perillositat actual i poder discernir les opcions per reduir el risc de les zones que més risc tenen associat i formular noves estratègies per la seva gestió i millora.

Cal destacar que amb el canvi climàtic els temporals seran més intensos i recurrents en el territori, de manera que l'estudi dels temporals i la seva avaluació són essencials per la protecció i prevenció d'escenaris futurs i la correcta planificació i ordenació del territori. Per

aquest motiu, l'anàlisi de les conques hidrogràfiques amb dades de temporals intensos utilitzant models hidrològics és necessari per mitigar els riscos que es puguin ocasionar, integrant les infraestructures al territori.

Per aquest motiu, en aquest capítol es descriu les característiques principals de l'episodi, detallant els seus efectes i conseqüències a la conca de la Tordera i es fa una valoració de la seva situació actual.

1.1 Episodi Glòria

Actualment el temporal Glòria és un dels més intensos que s'ha registrat a Catalunya i per aquest motiu és necessari un estudi detallat de les seves característiques hidrològiques.

1.1.1 Descripció General

L'episodi Glòria, es va produir entre el diumenge 19 i dijous 23 de gener de l'any 2020. Les característiques principals del Glòria van ser la combinació de vent, pluja intensa, neu i un fort temporal marítim en una extensió de tres dies, que va provocar afectacions a tota Catalunya.

Els efectes del temporal van ocasionar la mort de 4 persones i grans danys materials, principalment provocats pel desbordament de cursos fluvials, el transport de flotants, la inundació d'àrees urbanes, agrícoles, industrials i en infraestructures. ("El Temporal Glòria. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya," 2020)

En la Figura 1 s'observa la mitjana de la precipitació acumulada durant el temporal Glòria, en la qual es pot observar que el l'episodi es va produir amb gran intensitat a les conques de l'Ebre i el Tordera.

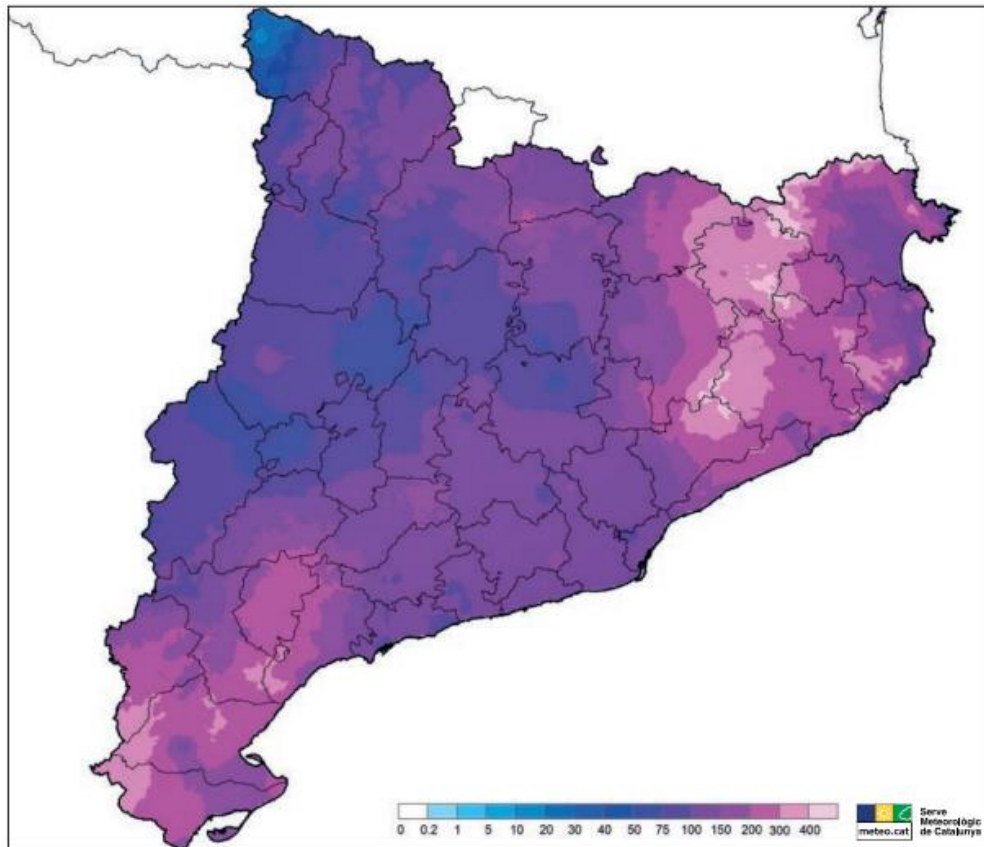


Figura 1: Distribució de la precipitació acumulada (mm) entre els 19 i el 23 de gener del 2020 als pluviòmetres de la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA) i de les estacions manual de la Xarxa d'observadors Meteorològics (XOM) del Servei Meteorològic de Catalunya (METEOCAT, 2020)

Com es pot observar en la Figura 1, les precipitacions més importants es van produir a les comarques de les Terres de l'Ebre, Girona i Barcelona, arribant a 500 mm de precipitació acumulada a la conca de la Tordera i de l'Ebre. Els principals municipis afectats per la intensitat de precipitació són Arbúcies (Selva), Lliurona (Alt Empordà), Viladrau (Osona), Batet de la Serra (Garrotxa), Tortellà (Garrotxa), Cassà de la Selva (Gironès), Mieres (Garrotxa), Beget (Ripollès), La Vall d'en Bas (Garrotxa), Olot (Garrotxa), Santa Coloma de Farners (Selva), Palau-saverdera (Alt Empordà), Girona (Gironès), Maià de Montcal (Garrotxa) i Sils (Selva). (METEOCAT, 2020)

Segons l'informe del (METEOCAT, 2020) els danys en zones urbanes, industrials i agrícoles es van donar principalment a causa del sobreiximent dels rius i rieres, amb l'arrossegament de material flotant dels rius que van provocar inundacions i destrosses a les infraestructures existents.

A continuació es descriu en detall els fets cronològics ocasionats durant els 20, 21 i 22 de gener, que són els dies principals en què es va patir l'efecte del temporal Glòria.

1.1.1.1 Dilluns 20

Aquest dia es va iniciar amb l'aparició de neu als Pirineus i Prepirineu, vents de fins a 80km/h, temporals marítims amb onatge de fins a 7 metres al litoral i una precipitació en comarques litorals i prelitorals. Aquest fets van provocar el tancament de centres escolars, parcs i jardins. A més, les operacions del Port de Barcelona van quedar restringides i suspeses en algunes zones. Per últim, es va notificar a protecció civil sobre caigudes d'arbres i branques a causa del vent per tot el territori. (AEMET, 2020)

1.1.1.2 Dimarts 21

Es va caracteritzar per pluges molt intenses i de llarga duració que van provocar una situació extrema dels rius de la Tordera amb un cabal de 273 m³/s (Fogars de la Selva), el Ter amb un cabal de 674 m³/s (Colomers) i el riu Onyar amb un cabal de 286 m³/s (Girona) que van anar incrementant-se en cabal. ("El Temporal Glòria. Intitut Cartogràfic i Geològic de Catalunya," 2020)

A més, es van donar grans nevades a Pirineu i Prepirineu, Montseny i el sud de Catalunya.

Aquests fets van ocasionar la suspensió de centres formatius, de la línia R1-RG1 entre Arenys de Mar y Maçanet i la pèrdua de llum a alguns llocs de Girona. A més, les carreteres de Girona C-260, C-31 y GI-643 es van tallar degut a inundacions. De manera similar es van tallar les carreteres de Barcelona C-35 i BV-5301, així com a Tarragona amb les carreteres CV-105, T-301 y T-3301 i Roses amb la C-260. També es va tallar una part de la frontera amb França de l'AP-7 per fortes nevades. (AEMET, 2020)

A la Figura 2, es pot observar la inundació que es va produir al nucli del poble de la Tordera, en la qual s'observa com el riu es va desbordar arribant a un calat d'aigua molt gran i provocant múltiples afeccions.



Figura 2: Inundació al nucli de la Tordera. Font: (*Ràdio Tordera – Tordera a l’espera de Les Ajudes Anunciades per Les Destrosses Del Glòria Un Any Després*, n.d.)

1.1.1.3 Dimarts 22

El dimecres es van prolongar els efectes anteriors, arribant a donar-se les situacions més extremes durant aquest dia. El riu Ter es va desbordar en la zona de Bescanó arribant a un cabal màxim de $592 \text{ m}^3/\text{s}$, es van tancar les vies d’accés al riu Ripoll i al riu Llobregat. Pel que fa al Tordera, l’Agència Catalana de l’Aigua (ACA) van obrir comportes dels embassament de Sau i Susqueda, degut a que es trobaven a un 93% de la seva capacitat i es van desallotjar aproximadament 300 persones de la urbanització de Riucard de Massanes per l’alerta de desbordament del riu.

A més, centres escolars van seguir tancats a la zona de la Ribera de l’Ebre. En el cas del transport, es va suspendre el transport ferroviari de R1 Arenys-Maçanet i R11, i el recorregut entre Blanes y Malgrat de Mar degut al esfondrament d’un pont. Es van produir avisos a protecció Civil i Bombers a causa d’afectacions a infraestructures, estructures i edificis, sobretot afectacions elèctriques que van deixar sense llum a comarques del tot el territori català.

A la Figura 3 es pot observar la gran inundació que es va produir al Baix Tordera degut al desbordament del riu.



Figura 3: Inundació al Baix Tordera. Font: *(Un Total de 42 Comunidades de Regantes Afectadas Por Los Aguaceros de Octubre de 2019 y Por El Temporal Gloria de Enero de 2020 Han Solicitado La Ayuda Del Departamento de Agricultura | GuiAgro, n.d.)*

En el cas de les infraestructures viàries 70 trams de carretera van quedar tancats per les inundacions, esllavissades i neu, trobant-se 20 trams a Barcelona, 33 a Girona 8 a Tarragona i 10 a Lleida. (AEMET, 2020)

A la Figura 4 es pot observar un exemple de les afectacions que es van produir a les carreteres, en aquest cas es va produir un esvoranc a la carretera de Montseny, ubicada al Brull, Osona.



Figura 4: Carretera de Montseny al Brull, Osona, afectada pel temporal Glòria. Font: *(Quatre Línies Ferroviàries Tallades i Menys Trens Dels Habituals Pel Temporal | SER Catalunya | Cadena SER, n.d.)*

Així doncs, el temporal Glòria va deixar registrades precipitacions amb un període de retorn d'entre vint i trenta anys, destacant les quantitats acumulades degut a la durada de l'episodi.

En l'aspecte dels danys a infraestructures, cal destacar la quantitat de destrosses produïdes per inundacions i arrossegament d'arbres i branques per l'aigua, que van provocar el trencament de ponts, carreteres, motes i la suspensió de línies de ferrocarril a causa del malestar de les infraestructures. D'altra banda, la força de l'aigua també va provocar l'acumulació de sediments en camps de cultiu degut al desbordament dels rius i l'erosió dels seus marges.

A la Figura 5 s'observa el trencament del pont de la carretera ubicada al Baix Tordera, que va ser degut a la infraestructura ferroviària que es va trencar aigües amunt i el seu arrossegament contra el pont.



Figura 5: Trencament del pont de la carretera al Baix Tordera. Font: (Vídeo: *La Borrasca "Gloria" Deja Ya Diez Muertos*, n.d.)

Cal tenir en consideració, que la majoria de zones que van ser inundades es troben dins de la classificació de zones inundables segons la normativa actual, que es va aprovar a l'any 2007 i tracta l'avaluació i la gestió del risc d'inundació 2007/60/CE del Parlament Europeu. L'aplicació d'aquesta normativa consisteix en l'estudi d'avingudes amb períodes de retorn de 100 anys i 500 anys. (Canals & Miranda, 2020)

A més, temporals durant el gener tan intensos són molt poc freqüents, de manera que és un episodi interessant per estudiar la seva hidrologia amb detall.

En resum, l'episodi Glòria va ser molt característic per la gran acumulació de precipitació que es va produir sobretot a les conques de l'Ebre i la Tordera, on es van produir la majoria dels danys a infraestructures. Per aquest motiu, aquest treball es centra en l'estudi hidrològic del temporal Glòria a la conca de la Tordera, a continuació es detallen els danys produïts en la conca i les seves característiques principals.

1.1.2 Problemàtica a la conca de la Tordera

La Conca de la Tordera està caracteritzada per tenir una superfície de 876 Km² i comprendre 28 subconques, segons les aigües superficials. Els rius principals que componen la conca del Tordera són la riera de Santa Coloma i la Riera d'Arbúcies que s'uneixen al Riu Tordera a l'altura d'Hostalric.

A la Figura 6 es pot observar la xarxa hidrogràfica del riu Tordera amb els rius i rieres que componen la conca i les seves poblacions principals.

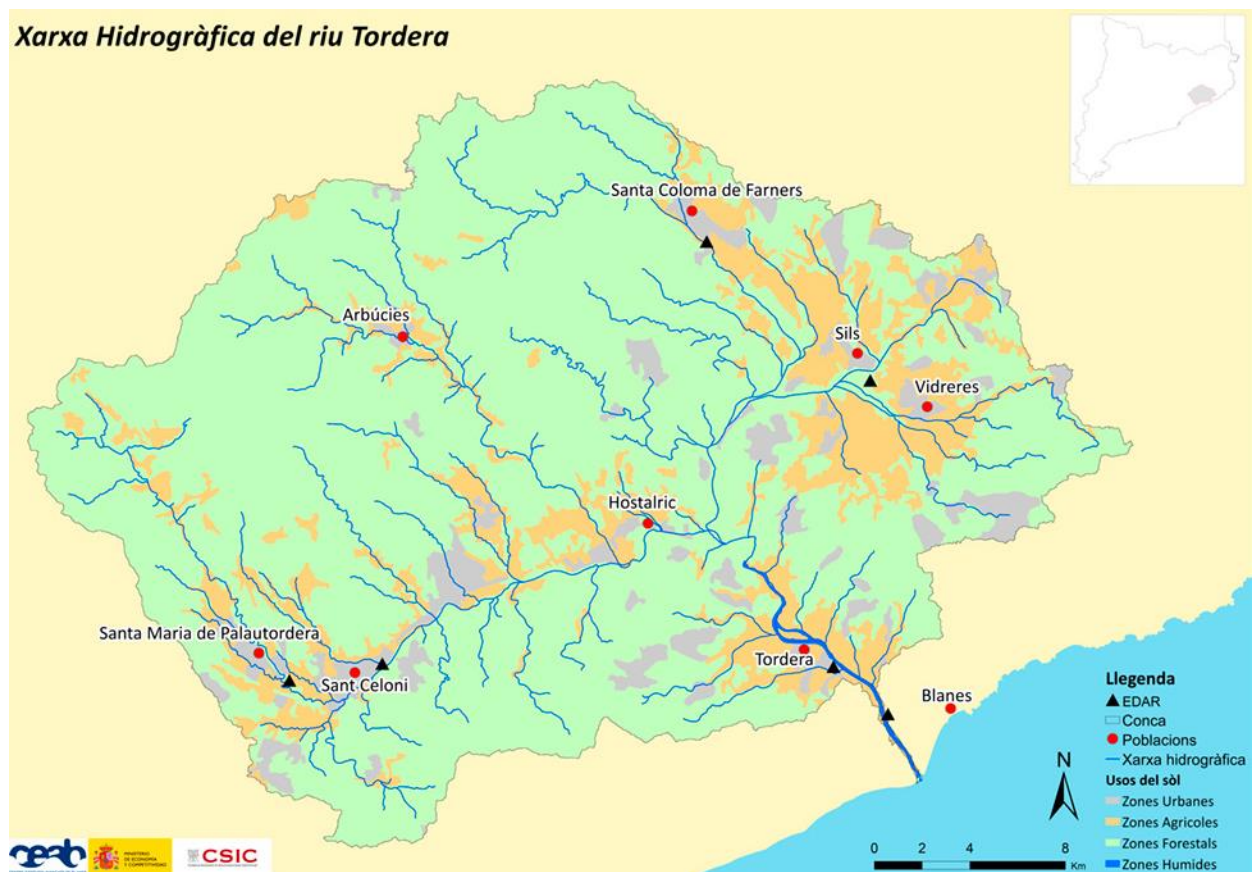


Figura 6: Conca de la Tordera. Font: (Xavier Torras, n.d.)

En la conca de la Tordera, es presenta un recorregut del riu relativament naturalitzat, ja que la presència de motes no és significativa en la trajectòria del riu Tordera, sent només presents de forma puntual. Al terme municipal de Sant Celoni, a causa de l'autopista AP-7 el riu es veu

constret pel marge dret per terraplens i murs de protecció fins a arribar a la riera de Santa Coloma. Des de aquest punt es comencen a visualitzar les primeres motes, que tenen una altura aproximadament d'un metre i que es troben ubicades discontinuament per la protecció de zones industrials i agrícoles.

El pas del riu pel nucli de la Tordera es troba subdividit en dos parts, en les quals es destaca la part dreta per ser més cabalosa que l'esquerra. Entre aquests dos braços es forma una illa d'aproximadament un kilòmetre on s'ha disposat un parc públic (El Prudenci Bertrana) a la part baixa més propera al poble de Tordera.

Aigües avall, es troben algunes motes amb alçades aproximadament d'un metre que delimiten la llera de la Tordera. No obstant, les motes amb alçades màximes de dos metres es troben passant el pont de la carretera BV-6001 fins el tram final, en el qual no aconsegueixen protegir la zona ni amb períodes de 10 anys, de manera que es plantegen noves actuacions per evitar el risc d'inundacions del Baix Tordera.

Per tal de fer un reconeixement dels danys provocats pel Tordera durant l'episodi Glòria l'Institut Geogràfic i Cartogràfic de Catalunya va sobrevolar el tram baix per realitzar una cartografia contínua de 16.5 km lineals.

A més, els registres de precipitació a la conca van fer-se a partir de les estacions meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya. A continuació es mostra una taula amb les estacions meteorològiques Automàtiques (XEMA) que es troben a la Conca de la Tordera.

Taula 1: Estacions meteorològiques localitzades a la conca de la Tordera

Estació Meteorològica Automàtica XEMA	Codi estació	X	Y
Fogars de la Selva (Can Simó)	KP	474584	4620837
Fogars de Montclús (Puig Sesolles)	XK	453270	4624795
Santa Coloma de Farnés (Riera de Santa Coloma)	XS	472153	4634830

Durant l'episodi, es van produir precipitacions acumulades de gran escala a la conca de la Tordera, a la Taula 2 es veuen representades l'acumulació de precipitació en cada dia del temporal a cada estació automàtica (XEMA) pertanyent a la conca.

Taula 2: Dades de precipitació durant l'episodi a les estacions automàtiques (XEMA) de la conca de la Tordera del 19 al 23 de gener.

Data	Dia 19		Dia 20		Dia 21		Dia 22		Dia 23		Total de l'episodi	
Estació / precipitació	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Malgrat de Mar (conca baixa)	0	0	46,9	26,3	74,5	41,8	50,5	28,4	6,2	3,5	178,1	100
Fogars de la Selva (conca baixa)	0	0	36,1	22,0	71,8	43,8	44,9	27,4	11,1	6,8	163,9	100
Sta. Coloma de Farners (conca mitjana)	0	0	47,0	16,5	95,3	33,5	100	35,2	42,2	14,8	284,7	100
Puig Sesolles - 1.668 m- (conca alta)	1,4	0,37	40,9	9,5	204	47,5	117	27,1	67,1	15,6	430	100
Mitjana de precipitació a les 4 estacions pel conjunt de l'episodi	0,4	0,1	42,7	18,6	111,5	41,7	78,1	29,5	31,7	10,2	264,2	100

Font: (Pavón & Panareda, 2020)

Com es pot observar, la majoria de la precipitació es va registrar durant els dies 21 i 22 on es va produir el màxim del temporal, destacant sobretot la intensitat de precipitació acumulada obtinguda de l'estació de Puig Sesolles.

A més, cal mencionar que degut a la intensitat de la precipitació, hi ha molts pluviòmetres que no van poder registrar les intensitats màximes obtingudes amb precisió, encara que s'han fet certes suposicions sobre la intensitat de pluja que es va produir.

A la Figura 7 es pot observar l'hidrograma de precipitació entre els dies 21 i 23 de gener, en el qual es pot veure com a l'estació meteorològica de Fogars de la Selva els punts màxims no es van registrar.



Figura 7: Hidrograma de la intensitat de precipitació registrada a l'estació de can Fogars de la Selva del 21 al 23 de gener (METEOCAT, 2020)

Degut a aquesta situació, no se sap amb precisió la quantitat exacta de precipitació acumulada que es va produir a la conca de la Tordera, tot i que s'han fet certes assumpcions per part de l'Agència Catalana de l'Aigua per poder estudiar el temporal.

Pel que fa al cabal, a la Tordera es va registrar un cabal de 50 m³/s a Fogars de la Selva, provocant que al Baix Tordera s'inundessin 807 hectàrees que van afectar les ciutats de Blanes, Tordera, Malgrat de Mar i Palafolls.

A la Taula 3 es pot observar la comparació de cabals observats durant el temporal Glòria en dos trams de la Tordera en comparació als cabals dels trams segons els seus períodes de retorn.

Taula 3: Previsió del període de retorn dels cabals produïts a la conca de la Tordera durant el Glòria

Conca	Punt	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₅₀₀ (m ³ /s)	Q _{est} (m ³ /s)
Tordera	La Tordera a l'altura de l'EA de Sant Celoni	226	780	1332	269
Tordera	La Tordera a l'altura de l'EA de Fogars de la Selva (Can Simó)	437	1701	3046	500

Font: (Pavón & Panareda, 2020)

Com es pot observar, el tram corresponent a l'altura de Sant Celoni es corresponia amb un període retorn lleugerament superior als 10 anys. De manera similar, el tram de riu a l'altura de Fogars de la Selva es va observar cabals de lleugerament més de 10 anys de període de retorn.

El pas del temporal Glòria també ha provocat canvis morfològics en la llera del tram baix de la Tordera, conformat d'uns 16,5 km lineals entre Sant Cebrià de Fogars i la desembocadura del riu. Des de el punt de Sant Cebrià de Fogars la Tordera té una plana al·luvial en el dos costats del riu de manera discontinua fins al Pla de Palafolls. Més endavant i fins arribar a la desembocadura el riu forma un delta, ocupat per àrees agrícoles i càmpings, que han estat greument afectats pel temporal.

A la Figura 8 es pot observar la situació de la zona del Baix Tordera, on es van produir els danys més greus durant el temporal Glòria degut al desbordament de la Tordera. En vermell es pot observar la forma del riu durant el seu recorregut fins la desembocadura, on s'observa la gran plana al·luvial.

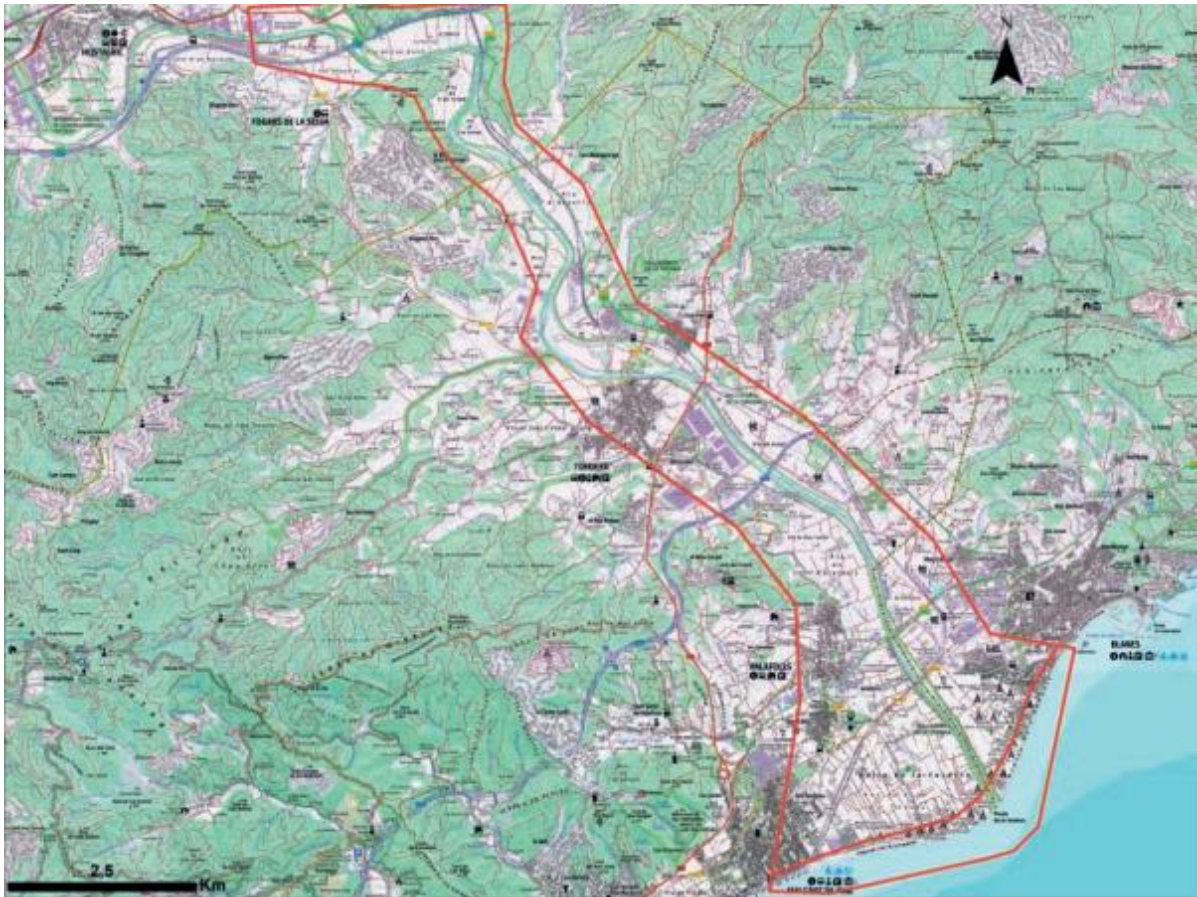


Figura 8: Impacte del Glòria al baix Tordera (METEOCAT, 2020)

Els efectes observats degut a la dinàmica fluvial de la Tordera durant el temporal són principalment la inundació, l'acumulació de sediments i flotants a la desembocadura i la erosió dels marges de la llera. Cal destacar el grau d'inundació provocat pel desbordament del riu, que va causar moltes afeccions a la plana al·luvial i el Pla de Grau on es van trobar altures d'aigua d'uns dos metres per sobre del nivell del riu. (Pavón & Panareda, 2020)

A més, cal mencionar que l'erosió del riu es va produir en la part externa de les sinuositats del riu, degut a la gran quantitat de material que es transportava. Aquest fet va provocar també l'obstrucció d'alguns ponts i l'acumulació de sediment a la llera del riu, la plana al·luvial i sobretot a la desembocadura final del riu formant una llacuna.

El pas del temporal Glòria a la conca de la Tordera es caracteritza per la gran acumulació de precipitació que es va donar en la conca durant els tres dies. Aquest fenomen sembla que va tenir un paper clau en la inundabilitat i els danys al tram final de La Tordera durant el temporal

Glòria, degut a que el desbordament del riu juntament amb l'arrossegament d'arbres i materials flotants van provocar greus danys a infraestructures.

Dins de les afectacions més greus del temporal Glòria, les més destacades es troben a la conca de la Tordera. Una d'aquestes és el trencament del pont ferroviari de la línia R1 de Renfe que discorre entre Blanes i Malgrat de Mar.



Figura 9: Trencament del pont ferroviari de la línia R1 degut el temporal Glòria. Font: (*Un Hombre Muerto En Ametlla de Mar Eleva a 13 Las Víctimas Mortales Por La Borrasca 'Gloria,'* n.d.)

A més, cal destacar que degut a que un dels pilars del pont ferroviari es va trencar, aquest va ser arrossegat per la força de l'aigua fins el pont de la carretera situat uns metres endavant, provocant el seu trencament.



Figura 10: Trencament del pont de la carretera. Font: (*Reformar Lo Que Ya Existe Para Resistir Lo Que Vendrá*, n.d.)

D'altra banda, també es va esfondrar una part de la C-35, ubicat entre Hostalric i Maçanet de la Selva, degut a la força de la Riera de Santa Coloma en la seva confluència amb la Tordera.



Figura 11: Esfondrament de la carretera C-35 entre Hostalric i Fogars de la Selva. Font: (*Minuto a Minuto de La Borrasca Gloria: Se Elevan a Ocho Los Muertos Por El Temporal*, n.d.)

Altres danys es troben a la planta dessalinitzadora de la Tordera, en la qual s'ha produït el trencament dels tubs emissaris i de captació a la planta degut a l'erosió de la Tordera sobre el camí de la Ribera.

Per últim, cal destacar els danys i canvis provocats a la desembocadura de la Tordera, que van ser deguts a l'acumulació de flotants (sobretot canyes i plàstics d'ús agrícola), la sedimentació i erosió de sorra. La sedimentació es va produir degut a la gran velocitat que portava l'aigua, de manera que es van dipositar mar endins, formant una barra actualment molt valorada degut a la gran diversitat d'animals que hi habiten per les seves condicions ambientals.

A la Figura 12 s'observa la diferència del Baix Tordera abans i després del pas del temporal Glòria, on s'observa la creació de la barra degut a la gran aportació de sediments del riu.



Figura 12: Comparació de la línia de costa al tram baix de la Tordera a causa del temporal Glòria (Pavón & Panareda, 2020)

Com es pot observar, la barra que es va crear és paral·lela a la línia de costa, de dimensions aproximades de 340 de llarg i 60 d'amplada. No obstant, es preveu que amb el temps es torni a la situació original i la barra es vagi erosionant per la dinàmica litoral

En resum, en aquest capítol s'han observat els grans d'anys i efectes a infraestructures en la conca de la Tordera a causa del temporal Glòria, sobretot a la desembocadura. D'aquesta manera, es confirma que es tracta d'un episodi de gran interès per la caracterització hidrològica de la conca de la Tordera, sobretot per aconseguir detectar l'estat real de la intensitat de precipitació que es va produir.

1.2 Objectius del treball i organització del document

Anteriorment, s'ha pogut mostrar la importància de construir infraestructures i planificar el territori tenint en compte els temporals més importants registrats, per tal d'evitar danys significatius en un futur. D'aquesta manera, la normativa actual defineix la perillositat del territori a través dels estudis hidrològics amb models numèrics per poder identificar aquelles zones que tenen més risc d'inundació.

Com s'ha observat, l'episodi Glòria ha estat molt intens i ha provocat danys molt greus a la conca de la Tordera. No obstant, degut a la falta d'informació real de la precipitació que es va produir a la conca no se sap amb precisió quina acumulació màxima de precipitació es va donar a la conca. En aquest estudi, es presenta una anàlisi exhaustiu de les dades del Glòria a la zona de la conca de la Tordera, verificant amb diferents fonts les dades més fiables.

Així doncs, l'objectiu principal és:

- Caracteritzar des del punt de vista hidrològic l'episodi Glòria a tota la conca del Tordera utilitzant la modelització numèrica distribuïda.

Per assolir aquest objectiu es plantegen diversos objectius secundaris:

- Cerca i obtenció de dades hidrològiques
- Anàlisi de les dades
- Construcció d'un model hidrològic distribuït
- Refinament del model

D'aquesta manera, en aquest treball primerament s'obtenen dades hidrològiques de la conca a través de diferents font d'informació. Posteriorment es dur a terme una anàlisi de les dades hidrològiques. A continuació, es mostra el funcionament del model numèric distribuït, així com la definició i construcció del model. Després s'observen els resultats inicials del model, seguit dels refinaments aplicats i els resultats finals obtinguts.

Per últim, es fan les conclusions i les línies de treball futurs que es poden seguir a partir d'aquests resultats.

Capítol 2

Metodologia

En aquest capítol es descriuen les dades que s'utilitzen per dur a terme l'anàlisi comparatiu de totes les fonts per veure les seves discrepàncies i similituds, per tal de decidir quines dades aplicar a la modelització hidrològica distribuïda per obtenir els resultants més adequats.

També es descriu en detall les fonts d'informació que s'han utilitzat per obtenir les dades, així com les seves característiques principals i les eines que s'utilitzen en cadascuna de les fonts per fer la seva anàlisi.

2.1 Obtenció de les dades

Per tal de realitzar l'anàlisi, s'ha disposat de quatre fonts d'informació diferents: els cabals de les quatre estacions d'aforament ubicades dins de la conca de la Tordera, el registre de precipitació de dues estacions d'aforament subministrades per l'Agència Catalana de l'Aigua, les dades de precipitació de les estacions automàtiques (XEMA) ubicades a la conca i obtingudes pel servei Meteorològic de Catalunya (SMC) i les dades de radar del SMC.

En la Figura 13 es pot observar les estacions d'aforament que es troben a la conca de la Tordera fins a l'estació de Can Simó i que és d'on s'han analitzat les dades de cabals obtinguts.



Figura 13: Estacions d'aforament en la zona d'estudi

En la Figura 14 s'observa de color vermell les estacions pluviomètriques de l'ACA i en groc les estacions pluviomètriques del SMC. Cal destacar que a Fogars de la Selva hi ha una pertanyent a l'ACA i una altra al SMC.

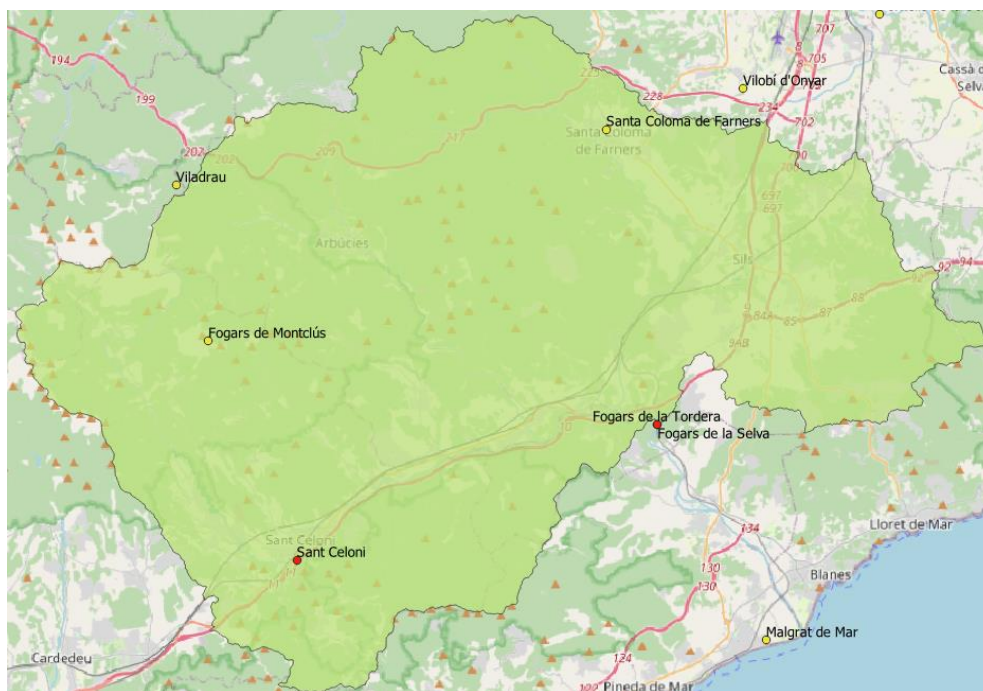


Figura 14: Estacions meteorològiques en la zona d'estudi

A continuació es descriu amb més detall la obtenció de les dades que s'utilitzen per fer l'anàlisi comparatiu de totes les fonts.

2.1.1 Cabals

Les dades de cabals obtingudes durant l'episodi Gloria corresponen quatre estacions d'aforament de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) que com a administració pública és l'encarregada de valorar i controlar les masses d'aigua instal·lant punts de control per identificar els cabals, la qualitat d'aigua i obtenir les dades per avaluar la situació i l'estat de les masses d'aigua.

En aquest cas, s'han utilitzar les dades de les estacions d'aforament de Fogars de la Selva a Pont Eiffel (EA081), la de Fogars de la Selva a Can Simó (EA089), la del Montseny a la Llavina (EA026) i la de Sant Celoni (EA015).

Taula 4: Coordenades i ubicació de les estacions d'aforament de l'ACA a la conca de la Tordera

Codi	Ubicació	Coordenada X	Coordenada Y
EA081	Fogars de la Selva a Pont Eiffel	472505	4621554
EA089	Fogars de la Selva a Can Simó	474545	4620839
EA026	Montseny a la Llavina	449906	4622487
EA015	Sant Celoni	457467	4614412

Aquestes estacions automàtiques disposen d'aparells de mesura directe de cabals a partir de l'àrea mullada i la velocitat de l'aigua a través de sensors cabalímetres en làmina lliure. En la Figura 15 es pot observar l'estació d'aforament de Can Simó a Fogars de la Selva.



Figura 15: Estacions d'aforament de Fogars de la Selva a Can Simó (EA089)

De les quatre estacions seleccionades es disposa dels valors de cabals des de el dia 19 de gener al 31 de gener amb un interval entre mesures de cinc minuts.

2.1.2 Precipitació

Per tal d'analitzar la precipitació durant l'episodi Glòria, s'han obtingut les dades de les estacions automàtiques del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) que es poden observar a la Figura 14.

Les dades de la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA) del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) disposa de 190 estacions que registren dades cada 30 minuts. (Servei Meteorològic de Catalunya, 2011)

En específic, la intensitat de precipitació de les estacions meteorològiques utilitzen el pluviòmetre que fa mesures en mil·límetres (mm) cada mitja hora. La majoria dels pluviòmetres de l'SMC són de balancí, per aquest motiu, quan es produeix la basculació es produeix una pèrdua de precisió directament proporcional a la intensitat de precipitació.

En la Figura 16 es pot observar el tipus de pluviòmetre de balanci que s'utilitza en les estacions meteorològiques del SMC.



Figura 16: Pluviòmetre de balanci (Meteovilatorta, n.d.)

Les dades de precipitació que s'han obtingut per fer l'anàlisi corresponen a els hietogrames oficials 30-minutals i les dades minutals sense verificar del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) des de el dia 18 fins el 24 de gener.

A més, també es disposa de els hietogrames 1-minutals registrats per les estacions de la Conca proporcionats per l'Agència Catalana de l'Aigua des de el dia 18 al 24 de gener.

Les dues fonts d'informació del SMC proporcionen les dades de les estacions que es mostren a la Taula 5.

Taula 5: Estacions Meteorològiques utilitzades per l'anàlisi

Estació Meteorològica	Codi	X	Y	Altura
Fogars de la Selva	KP	474584	4620837	36
Fogars de Montclús	XK	453270	4624795	1668

Estació Meteorològica	Codi	X	Y	Altura
Santa Coloma de Farners	XS	472153	4634830	162

2.1.3 Radar

El Servei Meteorològic de Catalunya disposa d'una Xarxa de Radars (XRAD) que permet proporcionar imatges cada 6 minuts d'estimacions quantitatives de precipitació. Actualment, a Catalunya existeixen quatre radars ubicats a Vallirana, el Puig d'Arques, la Panadella i a Tivissa-Llaberia.

Els radars són instruments d'observació que funcionen simularment a un far, de manera que al girar l'antena del radar, es detecta la intensitat de la precipitació a partir d'un mecanisme de senyals i ecos. D'aquesta manera, s'aconsegueix observar la precipitació a distància, aconseguint proporcionar una eina indispensable per l'anàlisi de pluges intenses i múltiples aplicacions hidrològiques. (*Xarxa de Radars (XRAD) - Servei Meteorològic de Catalunya | Meteocat, n.d.*)

En la Figura 17 s'observa el radar instal·lat a Puig d'Arquettes. Cal mencionar que cada radar té un abast de fins a 130 km de radi amb una resolució de les imatges d'1 km que s'actualitza cada 6 minuts.



Figura 17: Radar de Puig d'Arques (*Xarxa de Radars (XRAD) - Servei Meteorològic de Catalunya | Meteocat, n.d.*)

Les dades utilitzades en aquest treball són les imatges radar corresponents al mes de gener de 2020 amb un interval de 1 hora entre imatge. Aquestes imatges corresponen a una combinació de la informació rebuda dels quatre radars amb correccions introduïdes pel SMC.

Capítol 3

Anàlisi de dades

Després de veure quines són les fonts a través de les quals s'ha obtingut la intensitat de precipitació cal fer una anàlisi de la consistència de totes les dades i la seva comparació.

Aquest anàlisi permet saber quines estacions no són fiables o no tenen dades homogènies, quina similitud hi ha entre les dades obtingudes per tal de trobar si hi ha alguna que tingui molta variabilitat i finalment determinar quines dades implementar al model hidrològic a plantejar.

En conclusió, en aquest capítol es fa una comparació i validació de les dades obtingudes sobre la intensitat de precipitació a la conca de la Tordera. Primerament es fa una anàlisi de les dades obtingudes de les estacions d'aforament, i seguidament s'analitza les dades de intensitat de precipitació per les dues fonts d'informació obtingudes: el Servei Meteorològic de Catalunya (intensitat de precipitació de les estacions meteorològiques i dades de radar) i l'Agència Catalana de l'Aigua (dades d'intensitat de precipitació de les estacions meteorològiques).

3.1 Dades d'estacions d'aforament

Per tal de fer una anàlisi hidrogràfic de la conca de la Tordera primer s'ha analitzat les dades de cabals a la conca, en les quals s'ha pres dades de quatre estacions diferents proporcionades per l'ACA.

A la Figura 18 es pot observar els cabals de quatre estacions d'aforament de la conca de la Tordera, des de el dia 19 fins el 25 de gener.

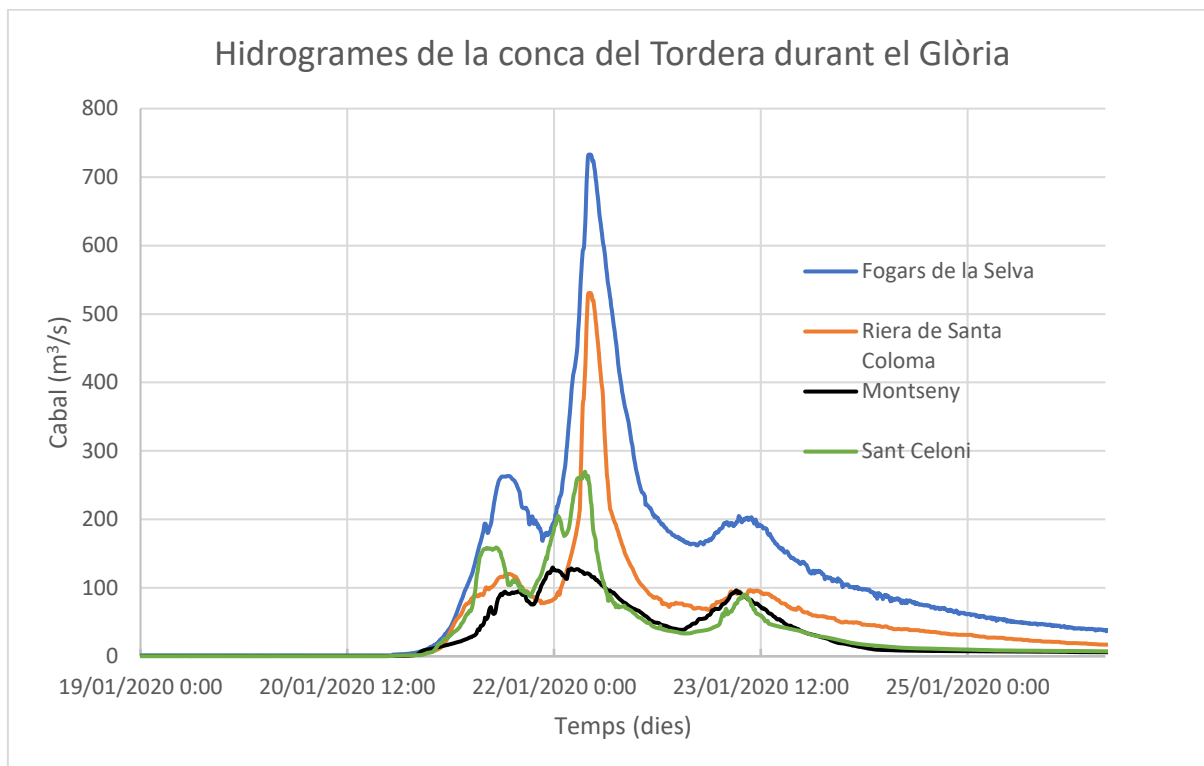


Figura 18: Hidrogrames de les estacions meteorològiques de la conca de la Tordera

En aquest gràfic s'observa que el pic de cabal màxim es va produir el dia 22 de gener, on a l'estació d'aforament es va arribar a mesurar un cabal d'aproximadament 732 m³/s.

A més, també es veu que el pic inicial és inferior, degut a l'absorció inicial de l'aigua per part del terreny. Un cop el terreny es troba saturat, és quan s'observa el segon pic que és el més intens. Per últim, hi ha un últim pic més baix que els anteriors.

A la Figura 19 es pot observar les subconques creades a partir dels punts on es troben les estacions d'aforament.

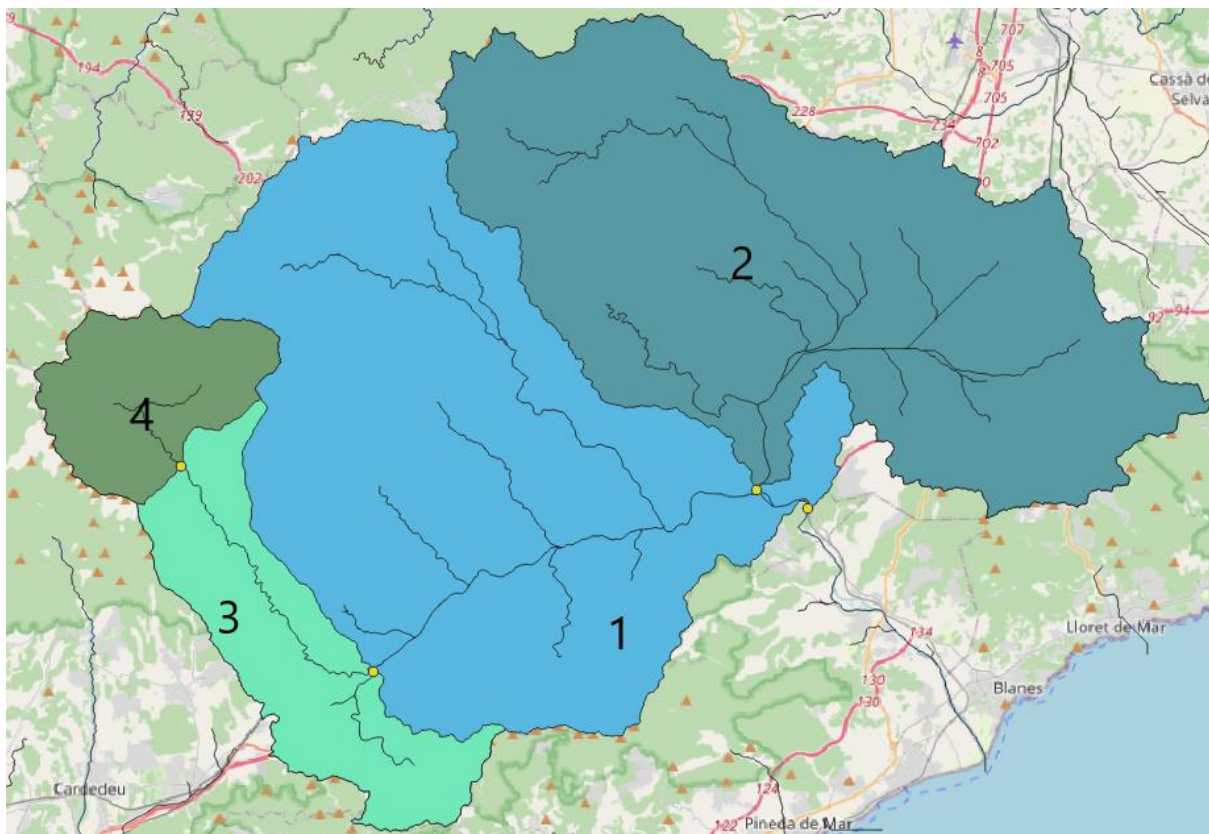


Figura 19: Subconques de la Tordera

A partir de l’anàlisi de les conques, a la Figura 20 es pot observar el cabal màxim observat en les estacions d’aforament en funció de tota l’àrea per cada subconca creada.

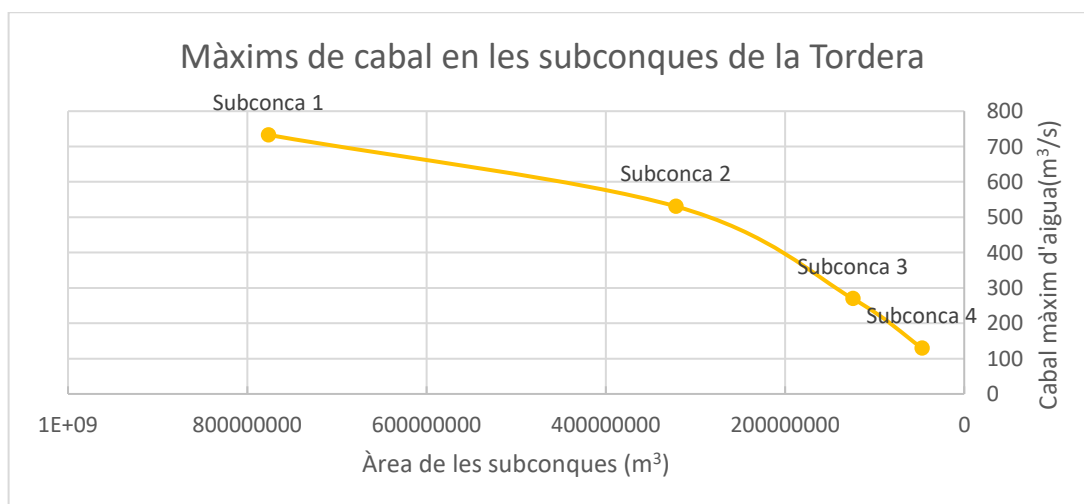


Figura 20: Cabal màxim en cada subconca

Com es pot observar els cabals màxims més grans durant el temporal són els que corresponen a la Subconca 1 que és la més extensa i on totes les altres conques evocuen el seu cabal. Amb les altres subconques passa el mateix, de manera que quan més àrea té una conca, més cabal és transportat.

3.2 Dades de radar i estacions meteorològiques

Per tal d'analitzar les dades de precipitació proporcionades pel Servei Meteorològic de Catalunya i l'ACA, primerament s'ha construït els hietogrames de les estacions que es troben dins la conca de la Tordera per fer una comparació general.

En la Figura 21 es pot observar el registre de intensitat de precipitació obtingut a l'estació meteorològica de Fogars de la Selva. En aquest cas s'observa els quatre tipus de dades d'intensitat de precipitació de les que disposem: dades de radar, les proporcionades per l'ACA, i les proporcionades pel SMC en dos temps de pas diferents. Les dades de precipitació del SMC varien en funció de si el pas de temps és minutal o trenta-minutal. Cal destacar que les dades minutals corresponent a les dades en brut que el SMC encara no ha revisat i per tant poden tenir més errors que les trenta minutals, que ja estan revisades i corregides.

En la Figura 21 es pot veure que en general totes les dades són molt similars entre elles i que la intensitat de precipitació a Fogars de la Selva presenta un pic força intens el dia 21 de gener on s'arriba a una intensitat de precipitació horària de fins a 20 mm/h.

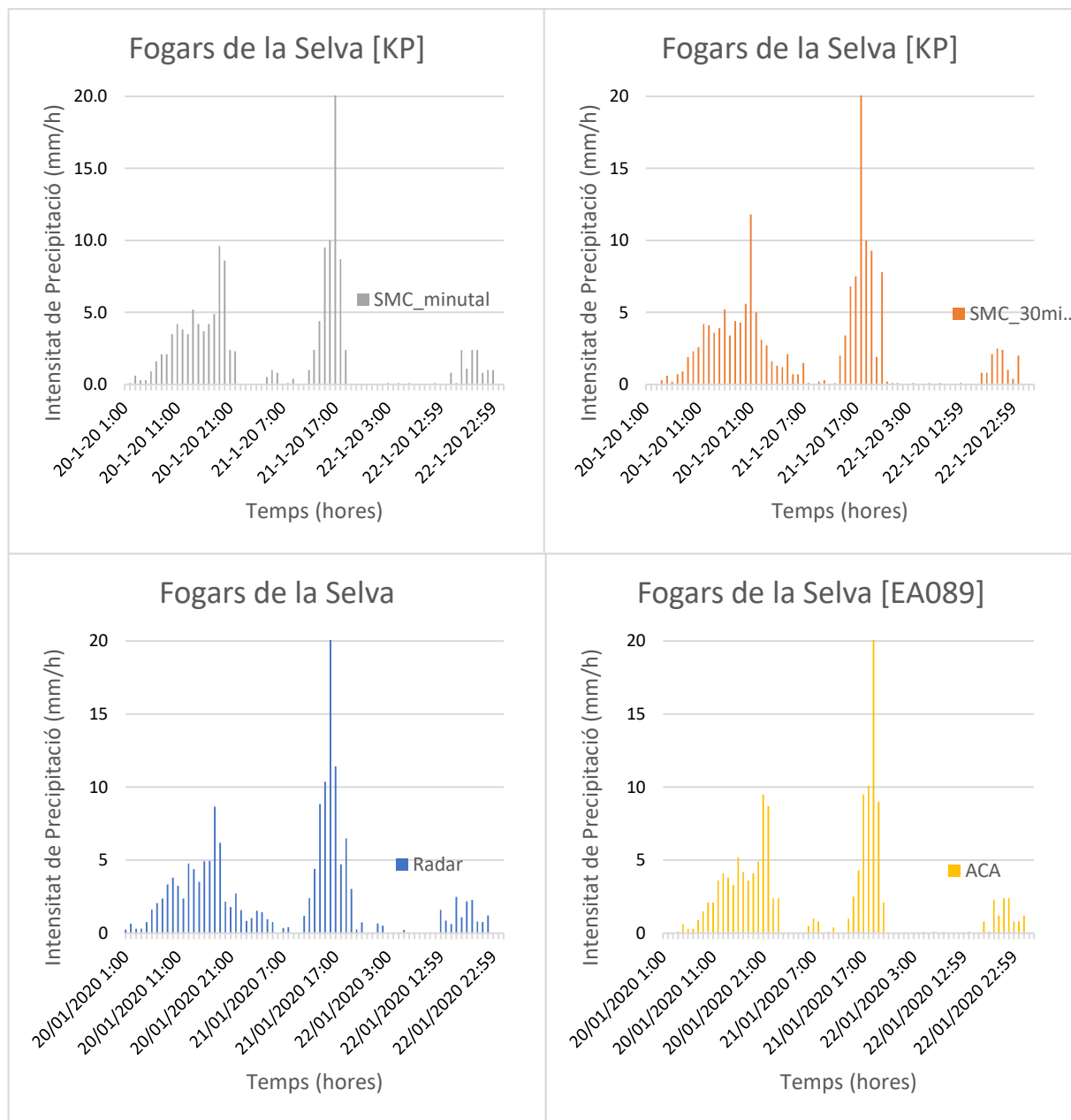


Figura 21: Hietograma de la precipitació per l'estació de Fogars de la Selva

En la Figura 22 es pot observar el hietograma corresponent a l'estació de Santa Coloma. En aquest cas sembla que les dades de precipitació del Servei Meteorològic de Catalunya 30-minutal són menors que les que s'observen en les obtingudes pel Radar i les dades del SMC 1-minutals. Contràriament, les dades del radar semblen més significatives que les altres dues en general.

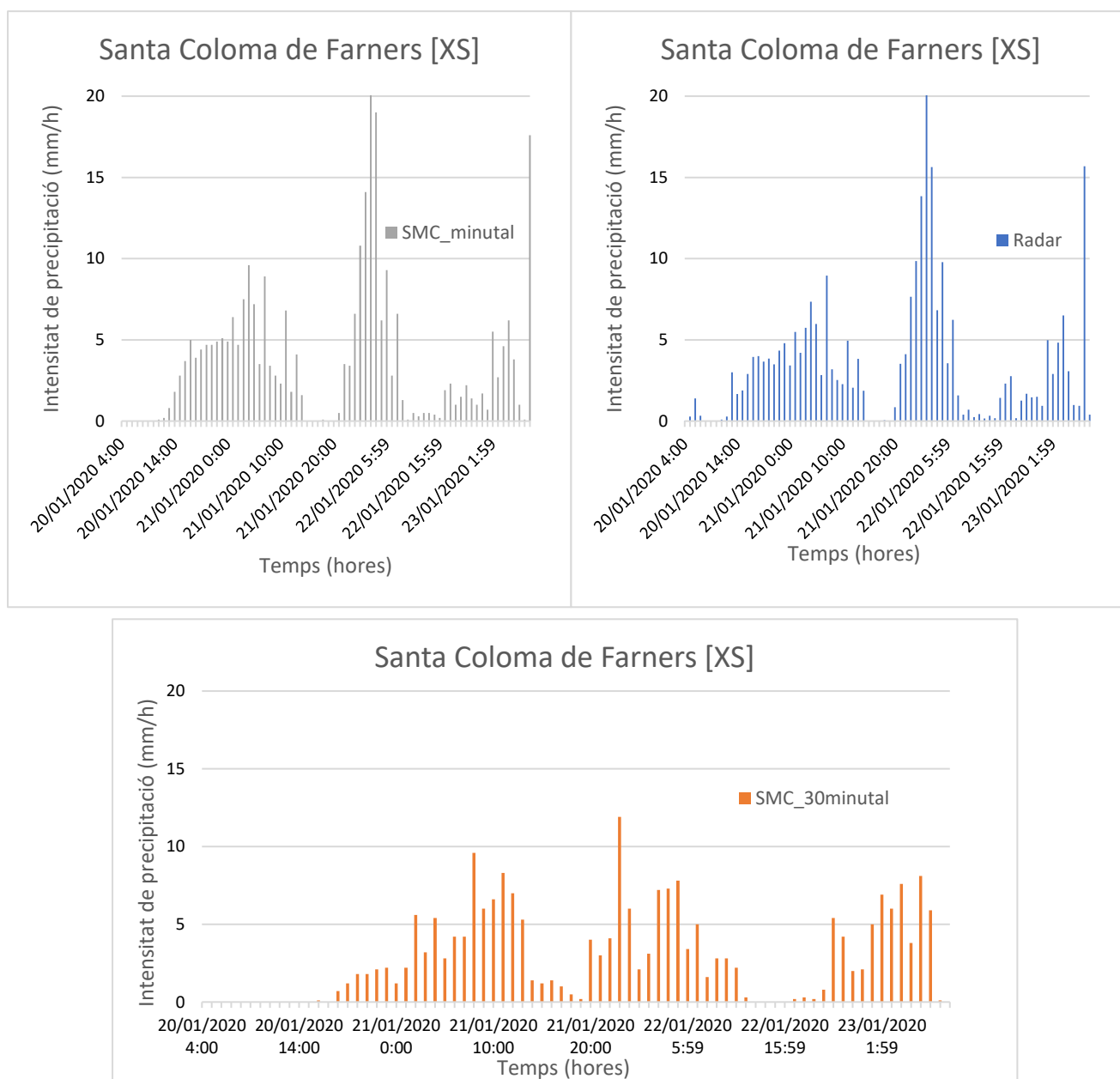


Figura 22: Hietograma de la precipitació per l'estació de Santa Coloma de Farners

A l'estació de Santa Coloma també s'observen intensitats horàries de precipitació que arriben a 20 mm/h.

Per últim, en la Figura 23 s'observa el hietograma corresponent a l'estació de Puig Sesolles en la qual s'observa que en les tres estacions hi ha una tendència general semblant. A més, cal destacar que en aquest cas les observacions de precipitació són més homogènies, de manera

que el pic principal és inferior en comparació a les gràfiques anteriors i a partir d'aquest s'observa un període de precipitació més continu.

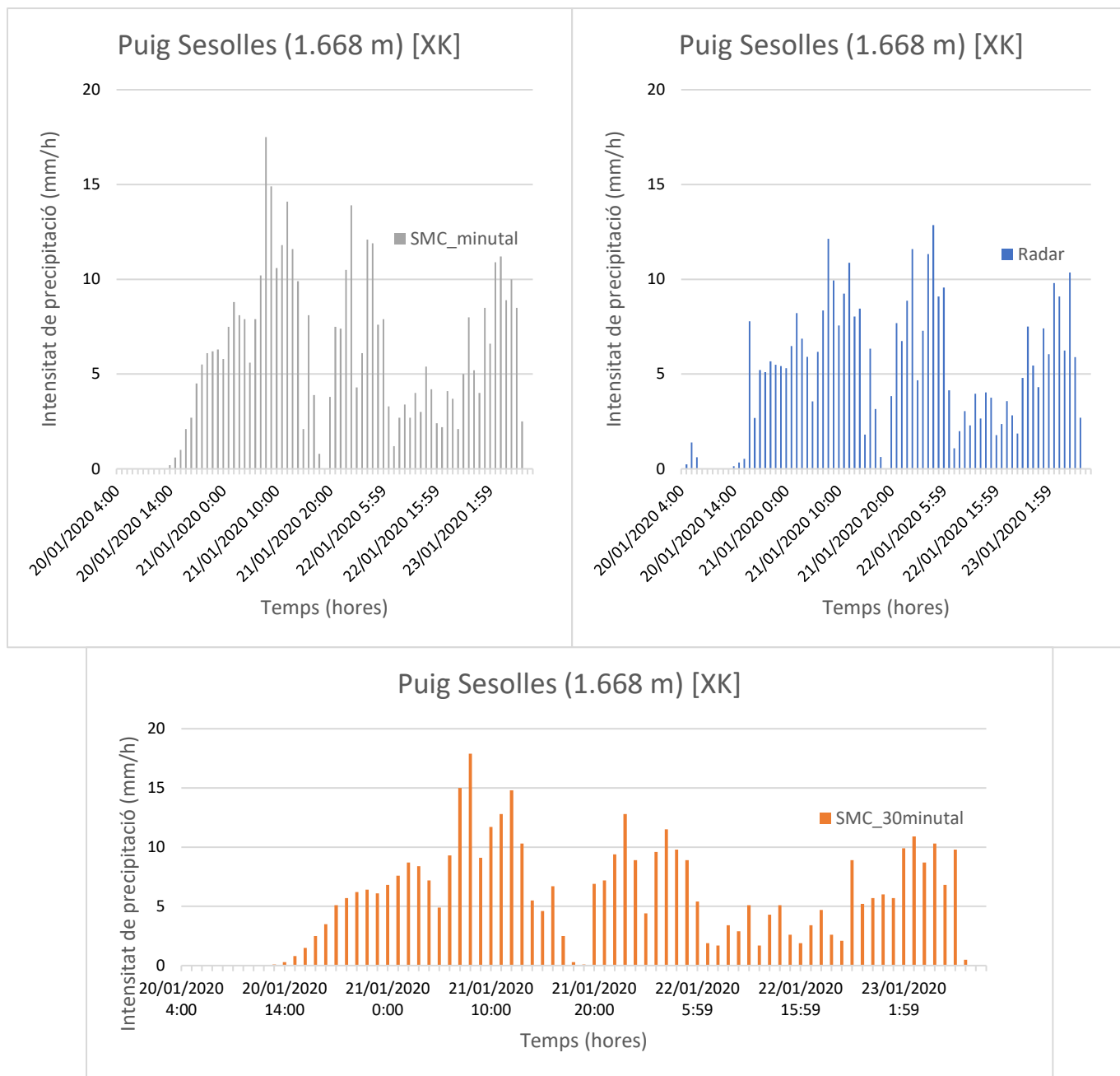


Figura 23: Hietograma de la precipitació per l'estació de Puig Sesolles

A continuació, s'observen els gràfics de precipitació acumulada a cada estació meteorològica.

A la Figura 24 es presenta la precipitació acumulada a Fogars de la Selva per els quatre tipus d'informació diferents. En aquest, s'observa que en el primer pic les dades de Radar i del SMC 30-minutals són molt similars en comparació a les de l'ACA i les del SMC minutals, que són inferiors amb una diferència màxima de 20 mm.

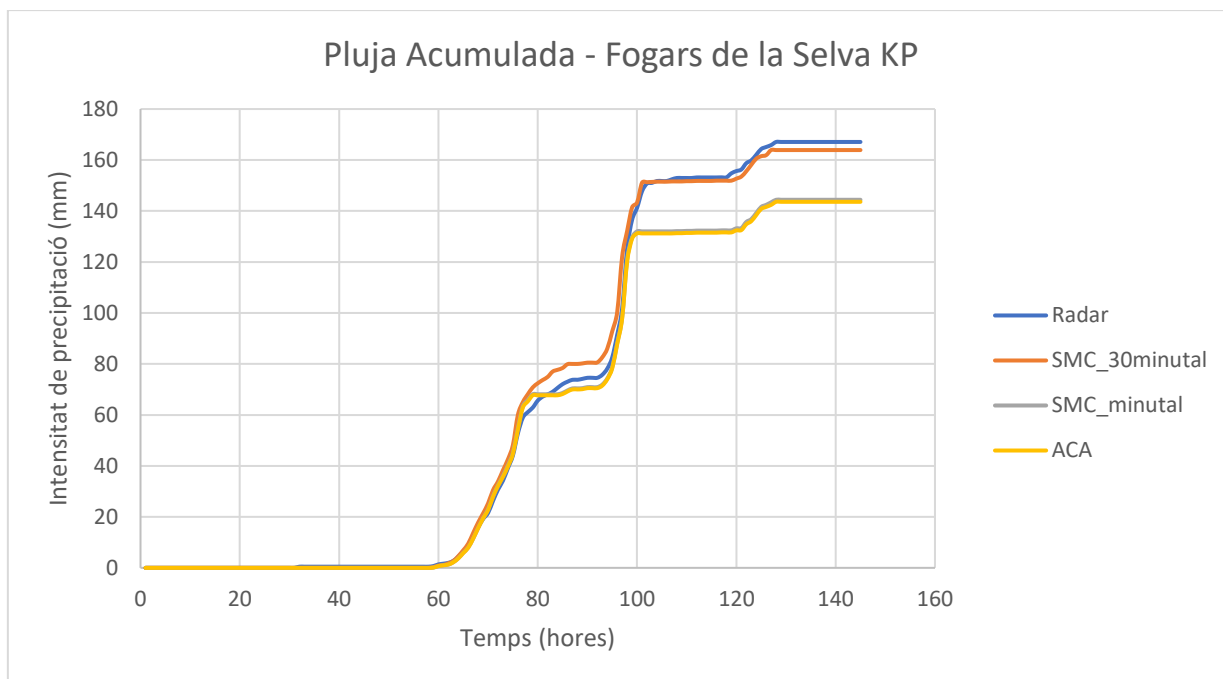


Figura 24: Precipitació acumulada a l'estació de Fogars de la Selva

Per tal de valorar amb més detall les dades proporcionades per l'ACA, es pot observar a la Figura 25 la comparació entre les dades de precipitació de l'ACA i les de radar a l'estació de Sant Celoni. Cal destacar que la precipitació de l'estació meteorològica de l'ACA dona valors de precipitació molt grans en comparació a les dades de radar.

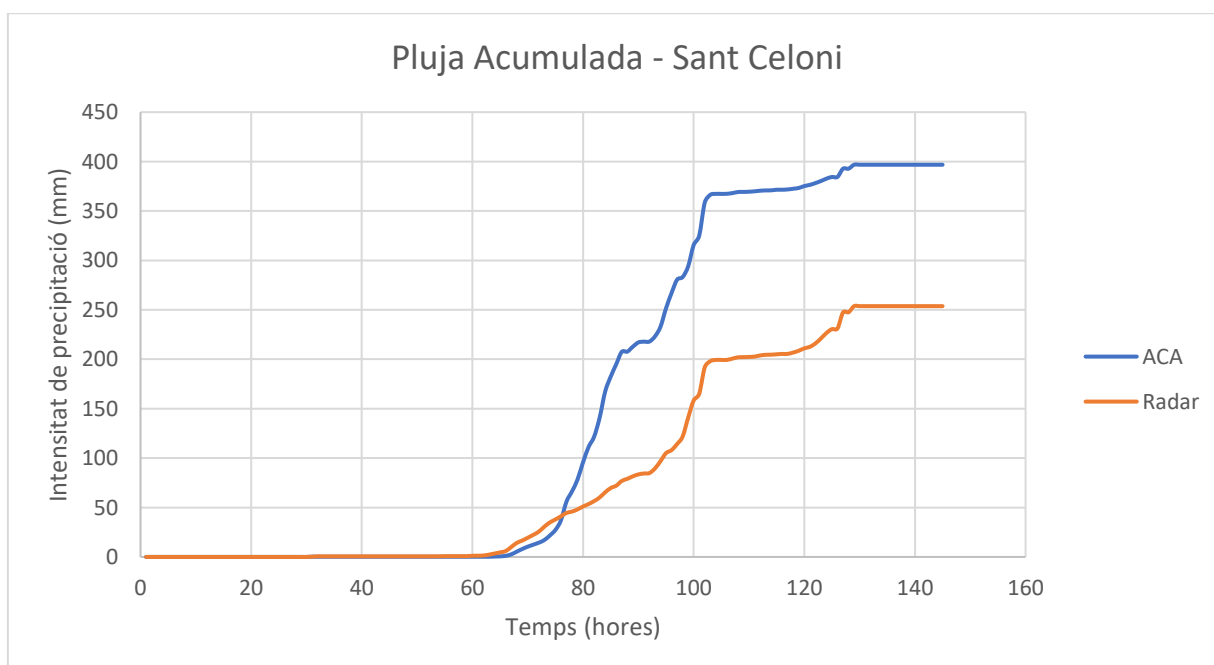


Figura 25: Precipitació acumulada a l'estació de Sant Celoni

En vista dels resultats obtinguts, es descarten les dades de precipitació obtingudes per l'ACA degut a la seva variabilitat i es fa una anàlisi més detallat de les dades proporcionades pel SMC.

A la Figura 26 s'observa la precipitació acumulada a l'estació de Santa Coloma, en el que s'observa que les dades obtingudes pel SMC 30-minutals són bastant inferiors a les altres dues durant tot l'episodi amb diferències màximes de 50 mm. A més, s'observa també una diferència entre les dades del SMC minutals i les de radar, ja que en aquest cas en general les dades del SMC minutals donen unes dades d'intensitat de precipitació lleugerament superiors.

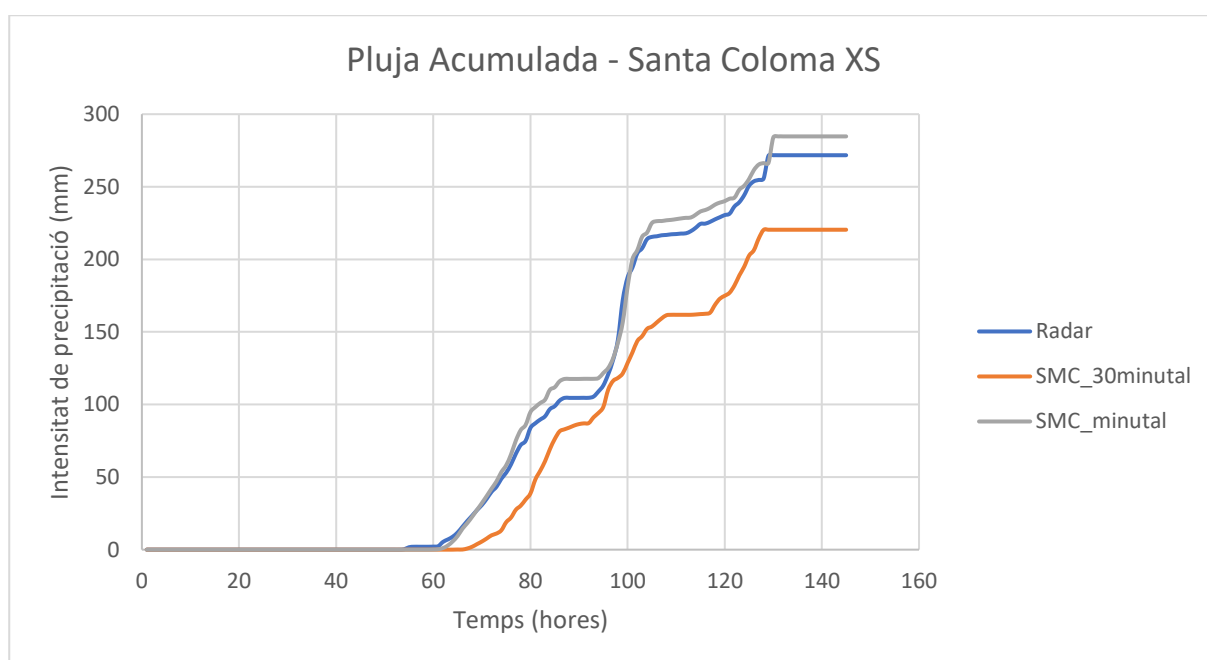


Figura 26: Precipitació acumulada a l'estació de Santa Coloma de Farners

Per últim, en la Figura 27 s'observa la precipitació acumulada de l'estació de Puig Sesolles que té una evolució més homogènia. No obstant, en aquest cas s'observa que les dades de radar són inferiors a les altres dues amb una diferència màxima d'uns 50 mm i que les dades del SMC 30-minutals i 1-minutals són idèntiques.

Aquest fet té sentit, ja que moltes vegades les dades 1-minutals són corregides per tal de fer les dades 30 minutals.

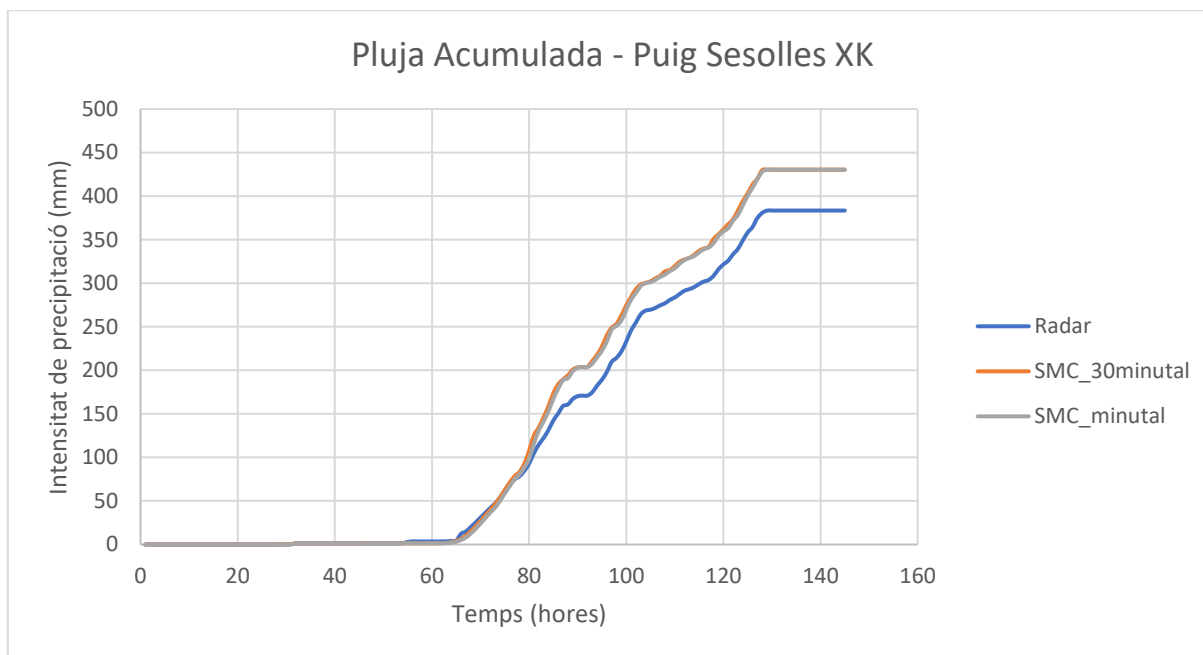


Figura 27: Precipitació acumulada a l'estació de Puig Sesolles

A la Taula 6 s'observa la quantitat de precipitació acumulada des de el dia 18 de gener al 24 de gener entre el radar i les fonts del SMC, en la qual s'observa com a l'estació de Fogars de la Selva les dades del SMC 1-minutal és la que mesura menys precipitació. No obstant, la intensitat de precipitació proporcionada pel SMC 1-minutal en el total de les tres estacions és la que més intensitat de precipitació acumula. Això té sentit tenint en compte que les dades es troben sense revisar i és possible que els errors en la mesura de la intensitat de precipitació en un minut s'acabi sumant provocant finalment intensitats de precipitació més altes.

Taula 6: Pluja total acumulada durant l'episodi a cada estació meteorològica del SMC

Estacions	RADAR (mm)	SMC _{30-minutals} (mm)	SMC-1-minutal (mm)
Fogars de la Selva	167.0	163.9	144.4
Santa Coloma	271.7	220.4	284.7
Puig Sesolles	383.4	430.4	430.4
Total	822.2	814.7	859.5

D'altra banda, a la Taula 7 es pot observar la pluja acumulada total de les estacions meteorològiques de l'ACA a la conca de la Tordera. Cal destacar que les dades de

precipitacions obtingudes per l'ACA són molt variables i difereixen molt de les obtingudes amb el radar, de manera que no s'han tingut en compte pel model hidrològic de la conca.

Taula 7: Pluja total acumulada durant l'episodi a cada estació meteorològica de l'ACA

Estacions	RADAR (mm)	ACA (mm)
Fogars de la Tordera	167.0	143.6
Santa Celoni	253.7	396.8
Total	420.8	540.4

En general, en totes les fonts s'ha observat que hi ha discrepàncies entre elles. No obstant, veient les dades obtingudes s'observa que les obtingudes de l'ACA són més variables i per tant no són suficientment consistents com per tenir-les en compte de cara a fer el model hidrològic. D'altra banda, les dades obtingudes a partir del SMC són més completes, encara que les dades 1-minutal no estan revisades i per tant també s'han descartat per fer el model. En quant a les dades de radar, també es troben més completes però tenen un pas de temps de 1 hora que les fa menys adequades pel model hidrològic.

En conclusió, per tal de fer el model hidrològic s'ha decidit emprar les dades trenta minutals del SMC i les dades de radar. Així doncs, es faran diferents simulacions per determinar quines són les dades que s'ajusten més a la realitat a partir d'aquestes dues.

Per tal d'analitzar la variabilitat espacial de les estacions meteorològiques i les dades de radar, s'ha calculat la precipitació mitjana de les àrees construïdes aplicant la tècnica dels Polígons de Thiessen a la conca de la Tordera. A la Figura 28 es pot observar la conca de la Tordera amb l'àrea d'influència de cada estació meteorològica utilitzat els Polígons de Thiessen.

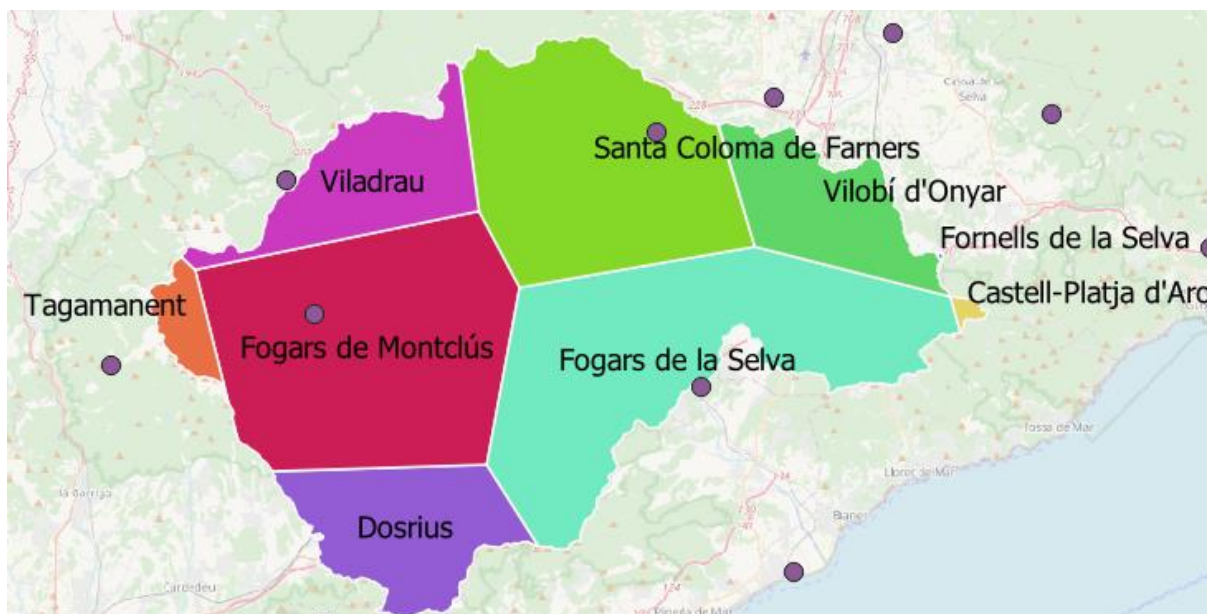


Figura 28: Polígons de Thiessen amb les estacions meteorològiques que influencien la conca

Com es pot observar, les estacions meteorològiques que més influencien la conca són la de Santa Coloma de Farners, Fogars de la Selva, Fogars de Montclús, Viladrau, Vilobí d'Onyar i Dosrius. En petita mesura les estacions de Tagamanent, Fornells de la Selva i Castell-Platja d'Aro.

A la Taula 8 es presenta el percentatge d'influència de cada estació meteorològica a la conca de la Tordera, mostrant que les tres estacions amb més del vint per cent de influència són les corresponents a Santa Coloma de Farners, Fogars de Montclús (Puig Sesolles) i Fogars de la Selva.

Taula 8: Àrea d'influència de les estacions meteorològiques a la conca de la Tordera

Estacions	Percentatge d'influència (%)
Vilobí d'Onyar	7.8
Viladrau	8.9
Tagamanent	2.0
Santa Coloma de Farners	20.3
Fornells de la Selva	0.01
Fogars de Montclús	25.5
Fogars de la Selva	25.7

Estacions	Percentatge d'influència (%)
Castell-Platja d'Aro	0.3
Dosrius	9.6

Capítol 4

Model Hidrològic Distribuït

En aquest capítol es descriu la metodologia emprada per portar a terme el model hidrològic de la conca de la Tordera. També s'identifiquen els fenòmens a capturar i les principals característiques aplicades al model hidrològic com per exemple els usos de sòl, la pèrdua de escorrentia, tipus de mallat, etc.

4.1 Fenòmens a capturar

Per tal de caracteritzar el temporal Glòria a la conca del Tordera s'ha optat per fer una simulació inicial amb les dades pluviomètriques trenta-minutals proporcionades pel SMC.

A més, per veure la funcionalitat del model utilitzant mètodes diferents per aplicar la precipitació es faran dues simulacions diferents. La primera utilitzant els hietogrames obtinguts a partir del SMC i la segona amb els rasters de precipitació de radar corregits per tal d'obtenir els mateixos valors en les estacions meteorològiques del SMC.

4.2 Funcionament i formulació bàsica

El software que s'ha utilitzat per la realització del treball és Iber, que actualment té un mòdul hidrològic que permet calcular la transformació de precipitació-esorrentia en tota una conca. Aquest mòdul permet resoldre els moviments de la esorrentia amb els processos de aportació de pluja, infiltració d'aigua al terreny, el flux superficial, la evapotranspiració y la percolació. (FLUMEN Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica, n.d.)

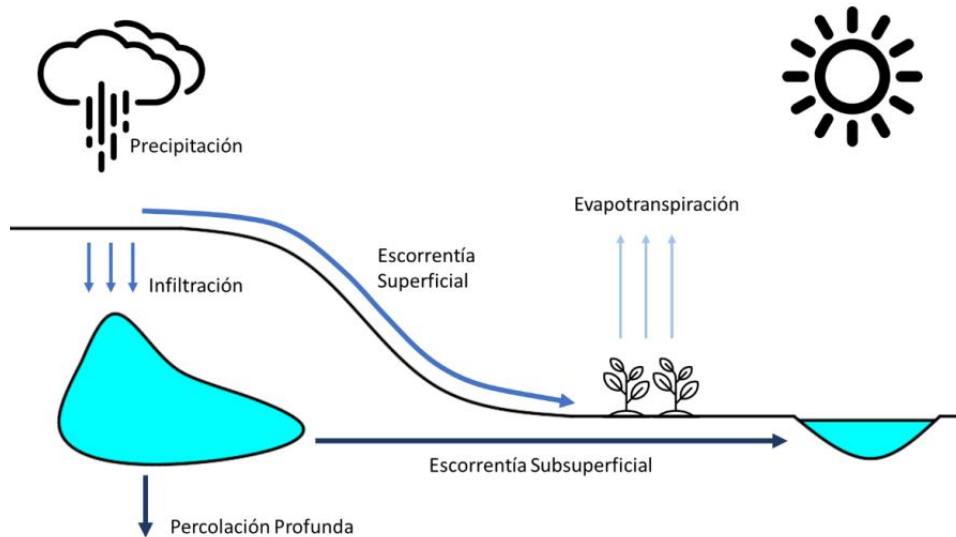


Figura 29: Processos que involucren el moviment d'escorrentia aplicat al mòdul hidrològic d'Iber (FLUMEN Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica, n.d.)

Cal destacar que tots aquests processos es poden activar i desactivar dins del mòdul. A més, el mòdul hidrològic utilitza la mateixa malla de càlcul del model hidrodinàmic, és a dir, bidimensional i distribuït a l'espai.

A continuació es descriu breument les principals equacions utilitzades en cada procés.

Escorrentia superficial

La escorrentia superficial y la seva evolució es pot calcular a partir de les equacions d'aigües poc profundes bidimensionals que es presenten a continuació.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = R - f$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - g \frac{n^2}{h^3} |q| q_x$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - g \frac{n^2}{h^3} |q| q_y$$

Sent h el calat; (q_x, q_y) les components del caudal unitari; $|q|$ el mòdul del caudal unitari; R la intensitat de precipitació; f la taxa d'infiltració d'aigua al subsol; n el coeficient de Manning; g l'acceleració de la gravetat i z_b la cota del fons. (FLUMEN Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica, n.d.)

Precipitació

Les dades de precipitació poden implementar-se el model a través de dues maneres: a través de la intensitat de precipitació coneguda en pluviòmetres o a través de fitxers raster georreferenciats. En els dos casos la precipitació pot ser variable a l'espai i el temps. (FLUMEN Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica, n.d.)

Infiltració

La infiltració de la precipitació al terreny és una dada molt difícil de mesurar i normalment pot ser necessari el calibratge d'alguns paràmetres amb treballs de camp. En el model, es pot calcular amb 4 models diferents: el model lineal, el model de Green-Ampt, amb el número de Corba (SCS) i amb el model Horton.

La selecció d'un d'aquests models fa que l'evapotranspiració i la percolació es calculin amb els mateixos models. (FLUMEN Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica, n.d.)

Evapotranspiració

El model pot calcular la evapotranspiració potencial i la real. Pel càlcul de l'evapotranspiració es fa servir la formulació de Balney i Criddle, modificada posteriorment per Doorenbos i Pruitt (1977), observada a continuació.

$$ETP = -2 + b [\xi (0.46 T_a + 8.13)]$$

On ETP és la evapotranspiració potencial en mm/dia; T_a temperatura en °C; ξ el percentatge d'hores totals de dia sobre el total d'hores anuals i b un paràmetre que s'ha de calibrar i que varia entre 0.7 i 2. (FLUMEN Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica, n.d.)

L'evapotranspiració real es calcula en funció del model seleccionat per calcular la infiltració.

Percolació

Seguint el mateix procediment que amb l'evapotranspiració, el càlcul de la percolació també depèn del model escollit a la infiltració.

Flux Subsuperficial

Pel càlcul del Flux Subsuperficial es pot elegir entre un model agregat o distribuït. Pel càlcul del model agregat es pot fer servir qualsevol model d'infiltració mencionat anteriorment. No obstant, pel model distribuït és necessari aplicar el model d'infiltració de Green-Ampt.

(FLUMEN Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica, n.d.)

4.3 Definició del model

Un cop vist com funciona el mòdul hidrològic d'Iber, s'ha definit la geometria de la conca fins a l'estació de Can Simó a Fogars de la Selva i se li han aplicat totes les condicions de contorn necessàries pels càlculs. En aquest apartat es descriuen les condicions utilitzades.

4.3.1 Definició dels paràmetres de simulació

Condicions del model

Primerament s'ha definit la geometria de la conca utilitzant la eina RTIN amb la qual s'ha afegit les subconques i la capa de rius obtinguts. Un cop fet, s'han allargat els rius fins a tocar les subconques i d'aquesta manera s'han obtingut les superfícies.

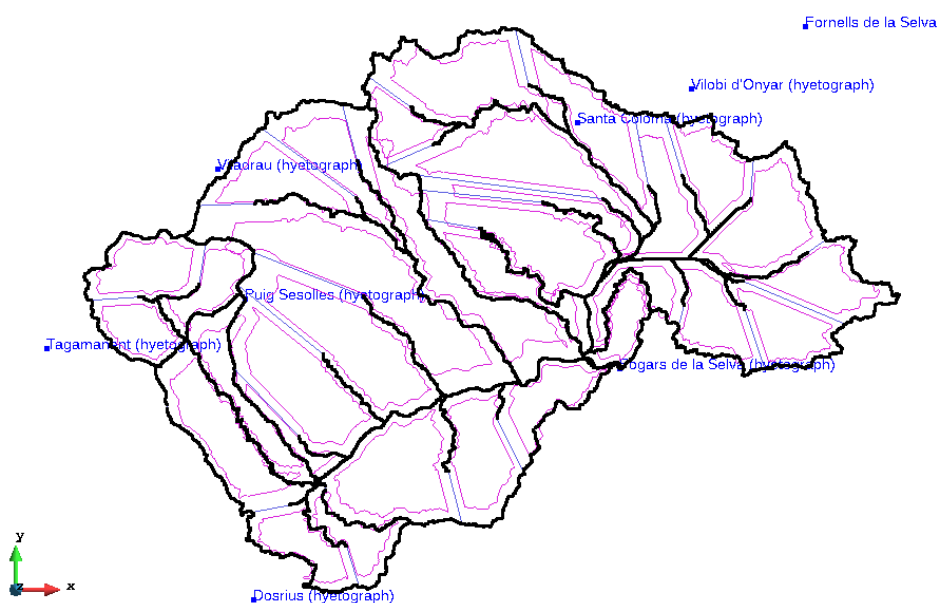


Figura 30: Geometria de la Conca de la Tordera

Un cop feta la geometria s'ha aplicat una condició de contorn de sortida de tipus règim crític en la zona baixa del riu. Aquesta geometria s'ha utilitzat en totes les simulacions.

Posteriorment, per definir les dades de precipitació a la geometria s'han utilitzat dos tècniques explicades amb anterioritat. A la Taula 9 s'indica l'eina utilitzada en cada simulació per aplicar la precipitació.

Taula 9: Tècnica d'aplicació de la precipitació per cada simulació

Simulació	Tipus de precipitació
Simulació 1	Hietogrames (polígons de Thiessen)
Simulació 2	Radar

Un cop aplicada la intensitat de precipitació s'ha definit el mallat. Per fer-ho s'ha decidit optar per mallar amb elements no estructurats de forma triangular i utilitzant dos mides diferents. D'aquesta manera, s'ha aconseguit tenir una malla més fina i amb més precisió a la part del riu que és la més interessant en aquest estudi, i una malla més gran a la resta, de manera que es fa servir un temps de simulació inferior.

A la Figura 31 es pot observar el tipus de mallat utilitzat, de manera que s'observa amb claredat que la malla del riu és molt més petita que a la resta de la conca.

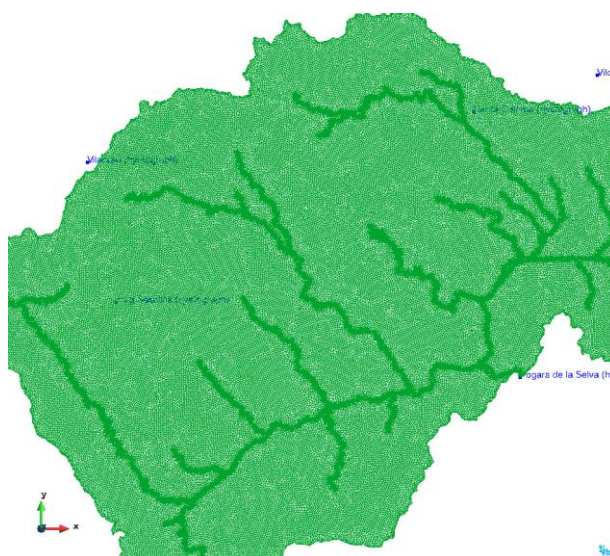


Figura 31: Mallat de la geometria utilitzat

Per tal d'eleger una mida de malla adient per cada part, s'ha fet un estudi de sensibilitat, per tal de veure com afecta la malla al resultat obtingut de cabal punta.

D'aquesta manera, a la Figura 32 es pot observar la variació del resultat del cabal punta en funció del nombre d'element de la malla.

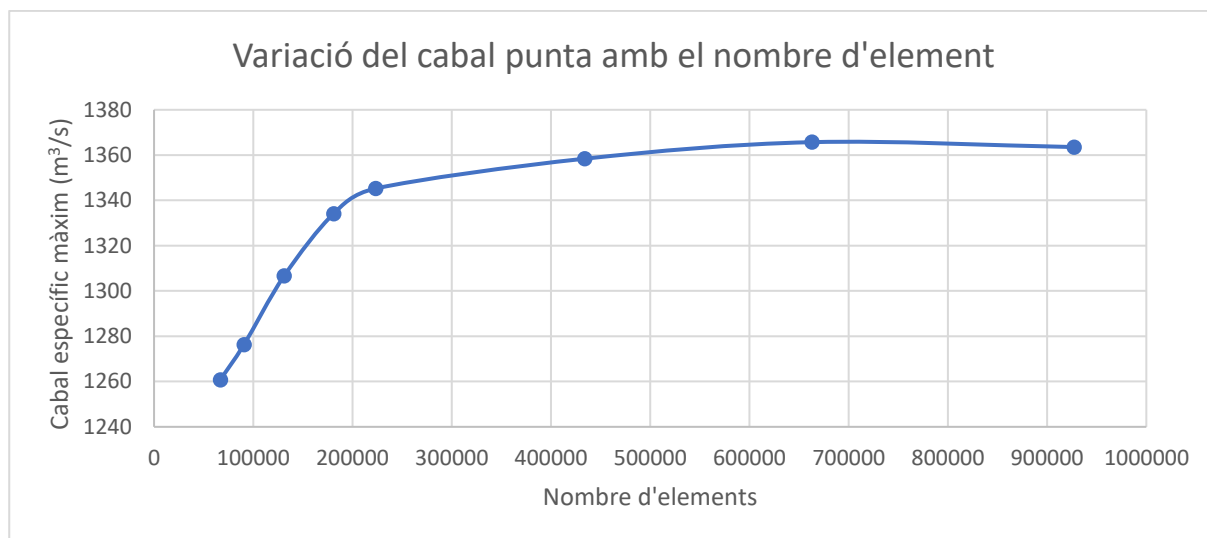


Figura 32: Variació del cabal específic màxim en funció del nombre d'elements de la malla

Com es pot veure el resultat convergeix aproximadament a partir de 200000 elements. Per aquest motiu, per tal de estudiar els resultats s'ha decidit fer servir una mida de malla de 20 al riu i de 100 a la resta de la geometria, ja que en la gràfica correspon al primer punt que dona un resultat fiable amb el temps de simulació més petit.

Un cop s'ha fet el mallat definitiu, s'ha aplicat el model digital del terreny, els usos de sòl i les pèrdues a partir del número de corba. Tal i com es pot veure a la Figura 33. Cal destacar que inicialment només s'han considerat pèrdues per infiltració considerant el model del nombre del corba del SCS.

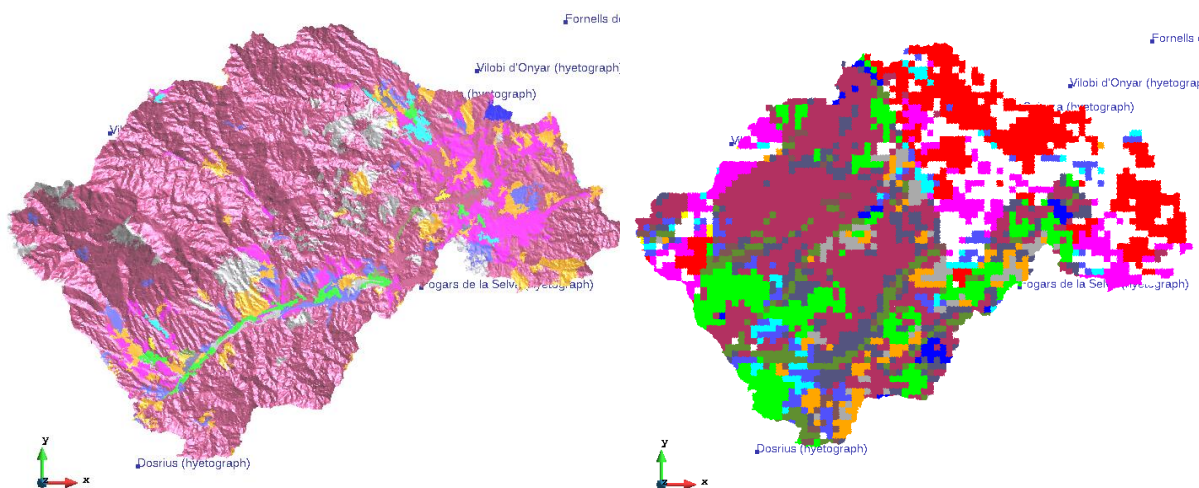


Figura 33: Usos de sòl (esquerra) i pèrdues per nombre de corba (dreta) aplicats al model

Per últim, s’han definit els paràmetres per fer la simulació que es poden observar a la Taula 10.

Taula 10: Tècnica d’aplicació de la precipitació per cada simulació

Paràmetres	
Temps màxim de simulació	255600
Interval de resultats	2700
Pèrdues	Esquema DHD
Coeficient sec-mullat	0.0001 m
Precipitació	Hietograma o Radar segons la simulació
Característiques addicionals	- Secat Hidrològic - Omplir depressions

D’aquesta manera, s’ha decidit utilitzar un temps de simulació que comença el dia 20 de gener a les 10 del matí i acaba el dia 23 de gener a les 9 del matí, que és quan es produeixen les intensitats de precipitació més altes. Els resultats s’han calculat cada 45 minuts.

Capítol 5

Resultats Inicials

A continuació, es mostren els resultats obtinguts en les dos simulacions realitzades i es fa una comparació entre elles.

Per tal de realitzar-les, s'ha decidit aplicar diferents mètodes per intentar refinar el model i que aquest tingui més similitud al que es va observar durant l'episodi Glòria.

Les millores són les següents:

- Augmentar el temps de simulació
- Augmentar el grau d'infiltració del terreny per disminuir els pics de cabal observats a través de calibrar el multiplicador del número de corba.
- Intentar millorar la geometria per evitar punts singulars amb valors extrems

D'aquesta manera, les dades utilitzades han estat les que s'han descrit a l'apartat anterior però considerant un temps de càlcul del dia 20 de gener a les 10:00 hores fins el dia 25 de gener a les 14:30 hores i amb els resultats obtinguts un cop calibrat els factors del model.

5.1 Simulació 1: Hietogrames

Per avaluar la primera simulació, primerament s'observa a la Figura 34 l'hidrograma de sortida del model amb les dades observades.

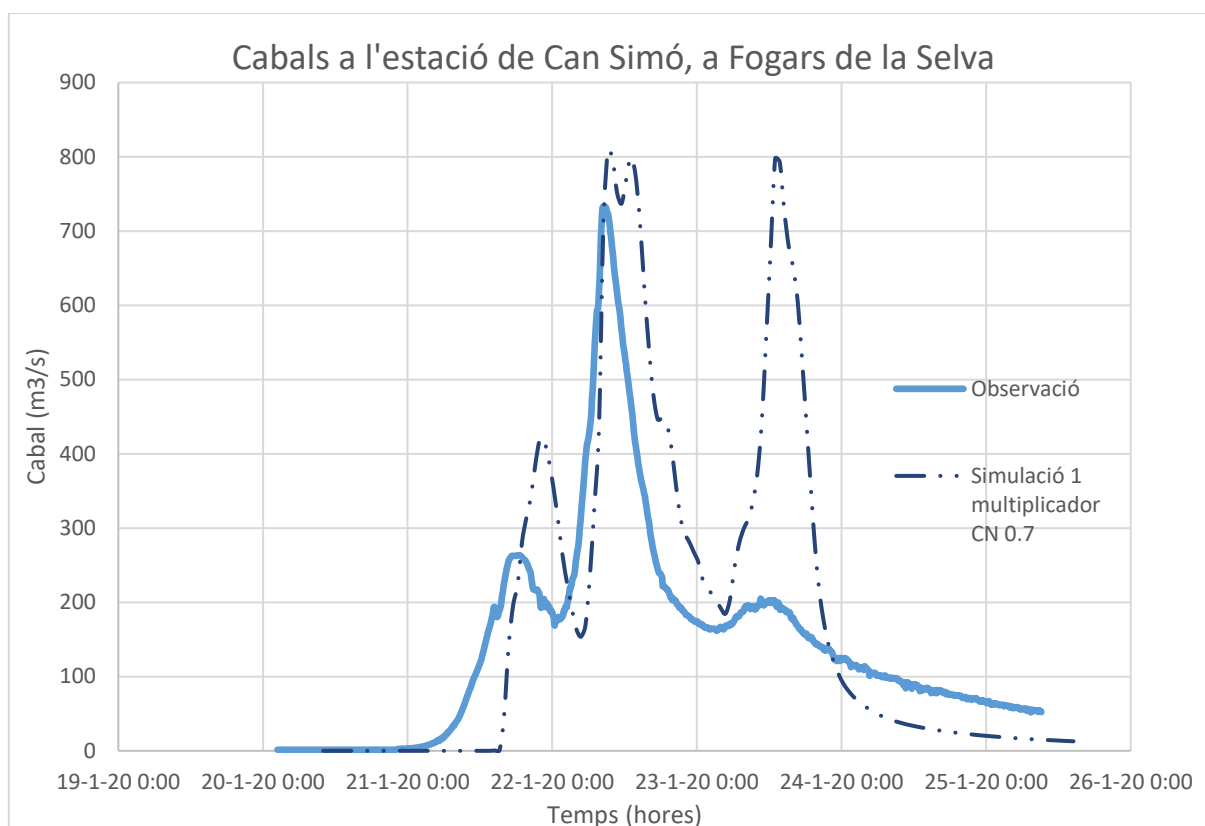


Figura 34: Hidrogrames de l'estació d'aforament de Fogars de la Selva a la conca del Tordera obtingut en la simulació 1

Com es pot observar, hi ha tres pics principals, corresponent als tres pics d'intensitat de precipitació que hi va haver durant al Glòria. No obstant, també hi ha una gran diferència entre el cabal que s'observa a l'estació de Can Simó amb la que dona el model.

En la Figura 35 es pot observar el calat d'aigua de la conca amb valors a Fogars de la Selva d'entre 3 a 6 metres. Així doncs, el calat d'aigua és bastant gran en alguns punts molts singulars possiblement degut a la definició dels contorns o del mallat.

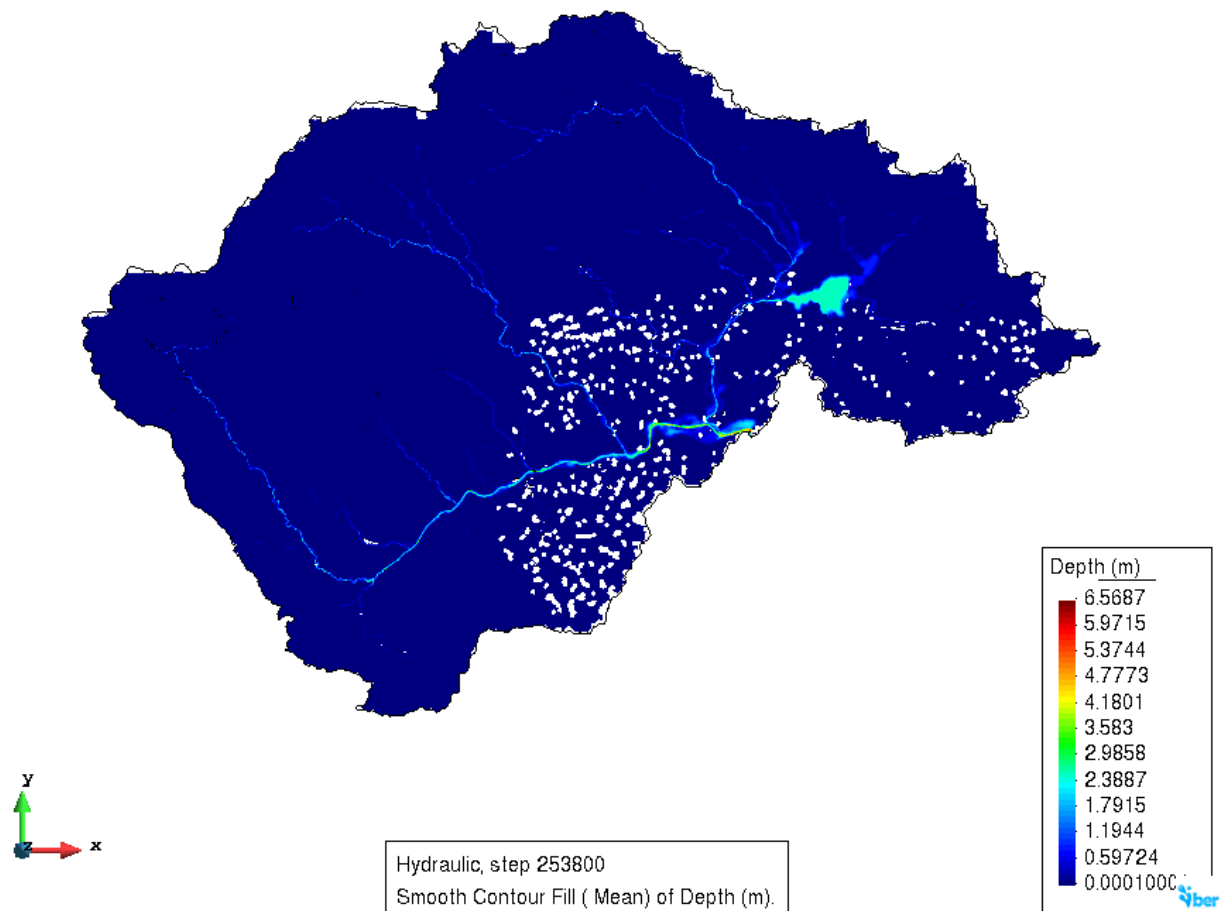


Figura 35: Calat d'aigua a l'últim pas de temps de la simulació 1

A la Figura 36 es pot observar la velocitat i profunditat d'infiltració de precipitació al terreny. En aquest cas, a l'últim pas de temps hi ha molt poca infiltració degut a que el terreny ja es troba saturat. A més, cal destacar que els valors més alts es troben situats en punts singulars de la conca que poden ser deguts a la formació de la malla o el contorn de la geometria de la conca.

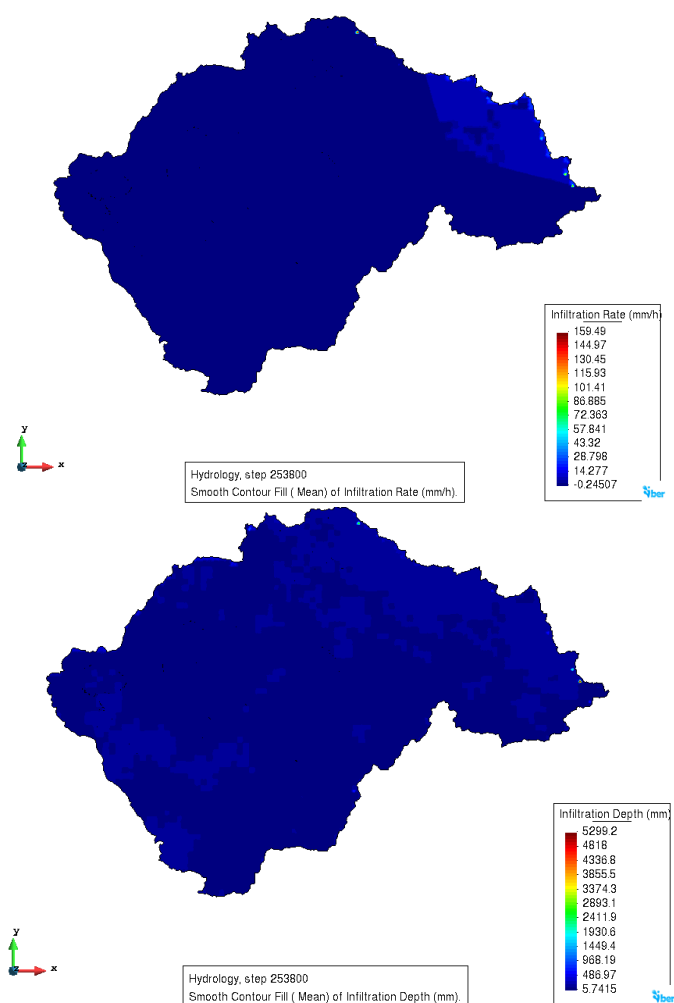


Figura 36: Velocitat i profunditat d'infiltració obtinguts en la simulació 1

A la Figura 37 hi ha representats la intensitat de precipitació a la esquerra i la profunditat de precipitació a la dreta, on s'observa que s'ha utilitzat el mètode de Poligons de Thiessen per tal de presentar la precipitació amb els hietogrames. En aquest pas de temps, es veu que on més plou és al nord-est de la conca, mentre que on s'ha produït més acumulació de precipitació és a la zona del Montseny.

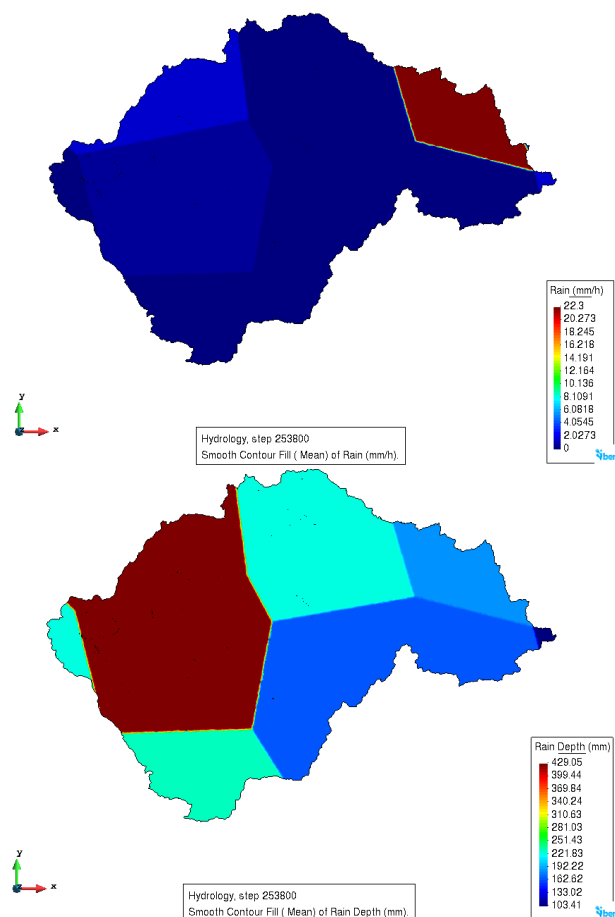


Figura 37: Intensitat de precipitació horària i profunditat de precipitació a la conca de la Tordera durant la simulació 1

En conclusió, en la simulació 1 s’observen uns pics de cabals molt més grans en comparació a les dades observades durant l’episodi. Per aquest motiu, es plantegen diferents mètodes per trobar un model que s’aproximi més a les dades obtingudes durant l’episodi.

5.2 Simulació 2: Dades de radar

En la segona simulació, s’observa a la Figura 38 l’hidrograma de sortida del model a l’estació de Fogars de la Selva en comparació a l’observat a l’estació d’aforament de l’ACA a la conca de la Tordera. Respecte a la simulació 1, en aquest cas el també s’observen els tres pics, però el primer és molt més inferior utilitzant les dades de radar.

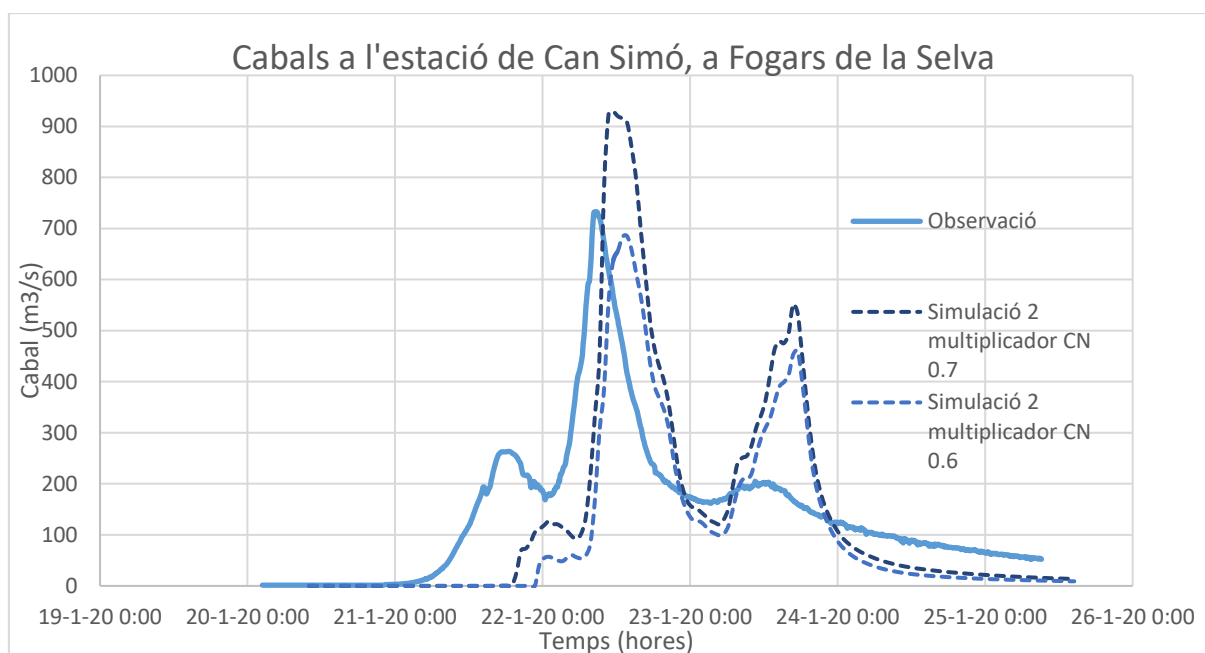


Figura 38: Hidrogrames de les estacions d'aforament de la conca del Tordera obtinguts en la simulació 2

Com es pot observar, en aquesta simulació els cabals observats en la primer pic i en l'últim són més baixos que en la primera simulació. No obstant, s'observa les dades observades més semblants s'acosten a un multiplicador de CN del 0.6, però que llavors el pic inicial és encara més petit.

A la Figura 39 es pot observar que el calat obtingut en la segona simulació, és en general inferior al de la simulació 1. Aquest fet pot ser degut a que la implantació de precipitació a partir del polígons de Thiessen i els hietogrames per cada estació meteorològica provoca una acumulació de precipitació més gran que en el cas de la implantació de la intensitat de precipitació a través de les dades de radar.

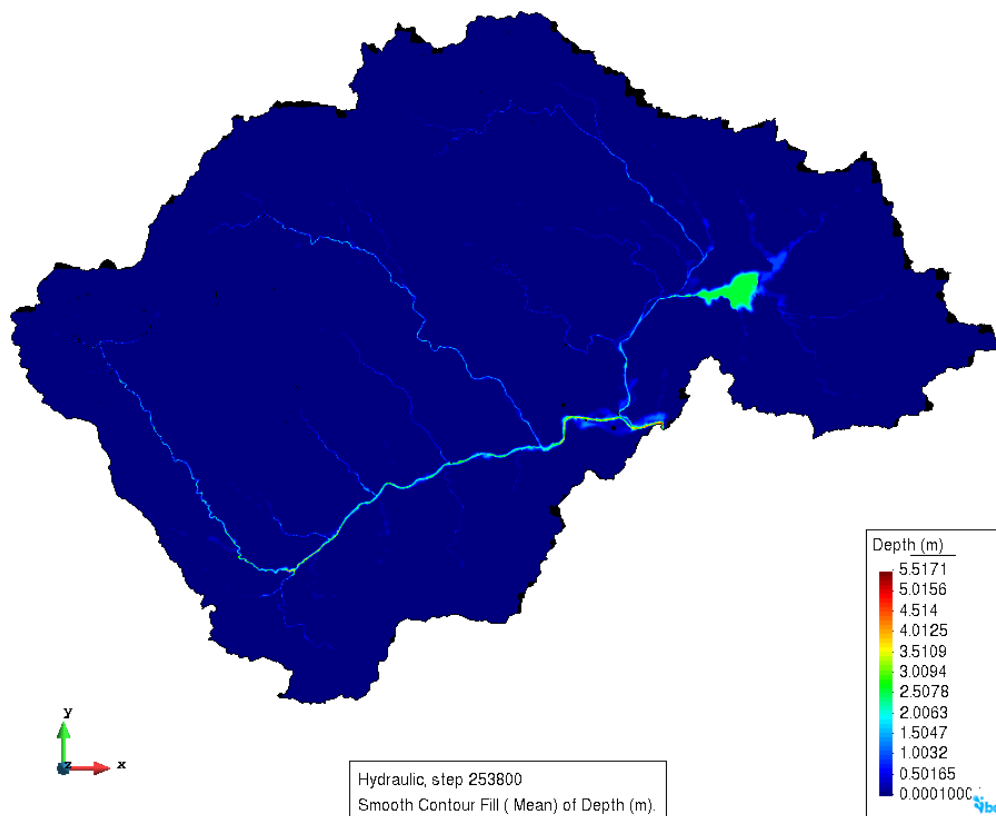


Figura 39: Calats d'aigua a la conca obtinguts en la simulació 2

A la Figura 40 es pot observar la velocitat i la profunditat d'infiltració de la precipitació al terreny. En aquest cas, a diferència de la simulació 1, la infiltració es produeix amb més rapidesa. Aquest fet explica perquè els cabals del primer i tercer pic són inferiors en aquesta simulació en comparació a l'anterior, ja que si l'aigua s'infiltra amb més rapidesa sobre el terreny la precipitació neta obtinguda és inferior.

Pel que fa a la profunditat de precipitació s'observen valors similars respecte la simulació anterior, on també hi ha alguns punts singulars amb uns valors molt alts, segurament degut al mallat del contorn o la geometria de la conca.

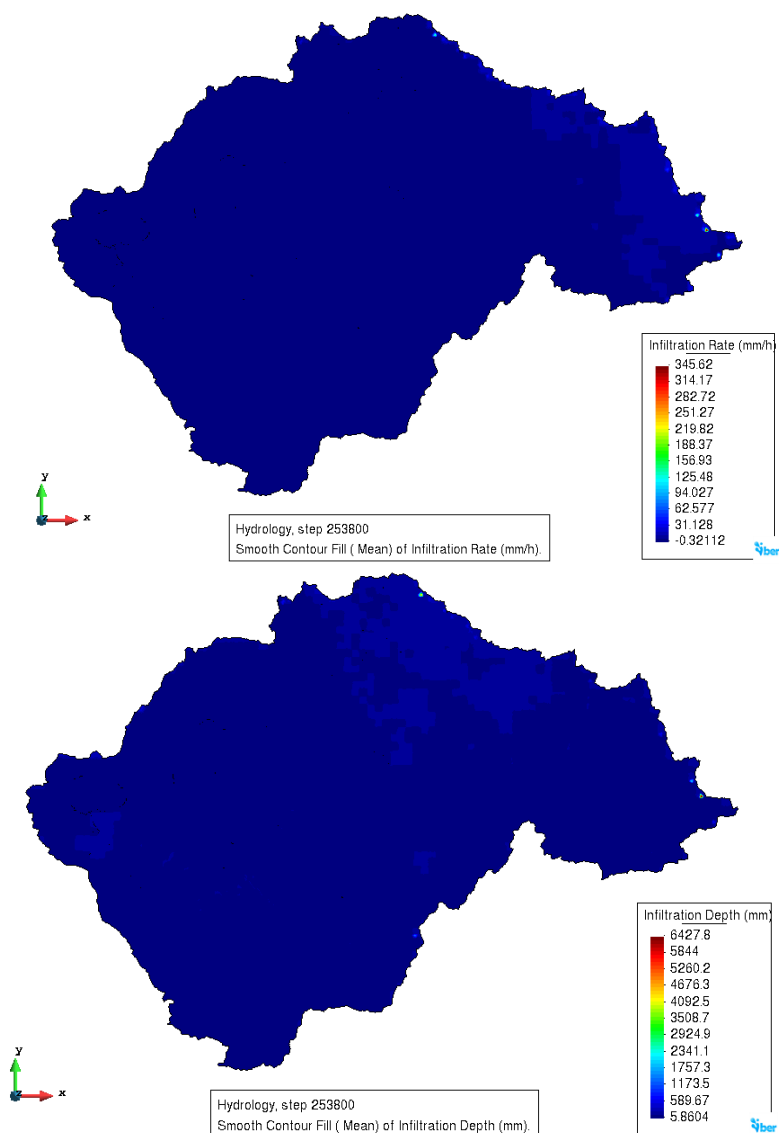


Figura 40: Velocitat i profunditat de infiltració obtinguts en la simulació 2

A la Figura 41 es pot observar la intensitat de precipitació i la profunditat de precipitació de la conca durant un pas de temps de la simulació. En el cas de la intensitat de precipitació, de la mateixa manera a la simulació 1 s'observa que és més intensa al nord-est de la conca, mentre que la precipitació acumulada és més gran a la zona del Montseny.

En aquest cas, es nota que l'aplicació de la intensitat de precipitació a través de les dades raster és més precís i els resultats en el cas dels cabals en les estacions d'aforament són més similars als observats durant l'episodi.

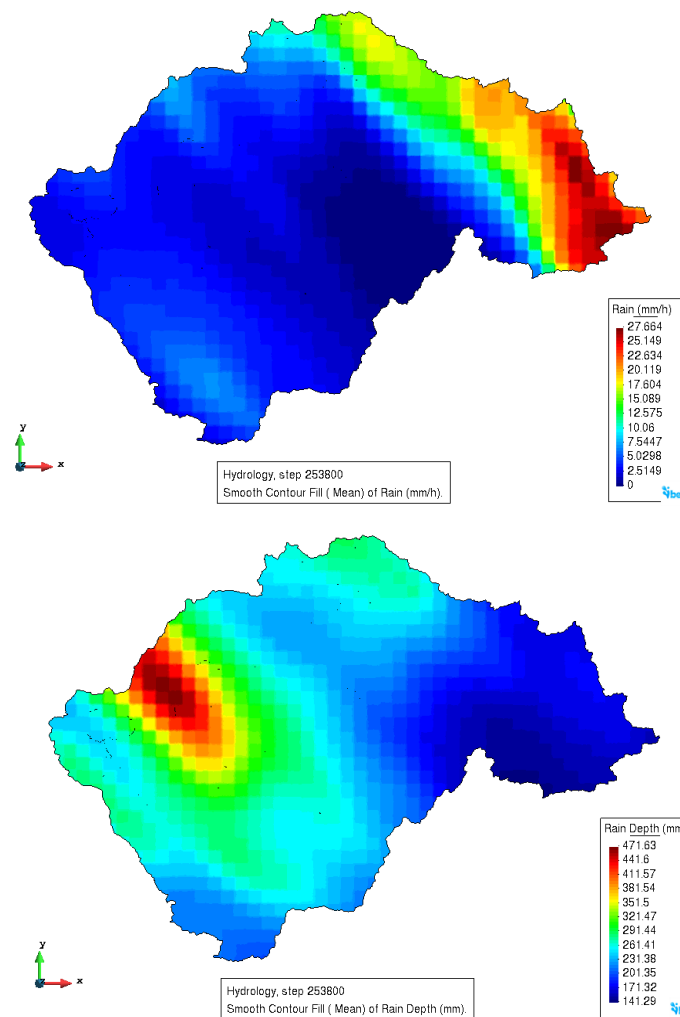


Figura 41: Velocitat i profunditat d'intensitat de precipitació obtinguts en la simulació 2

En conclusió, en la simulació 2 s'observen resultats similars a la simulació 1 però amb els cabals del primer pic de l'episodi Glòria més inferiors.

D'aquesta manera, en vista dels resultats es decideix fer dues últimes simulacions, que consisteixen en refinar el model a partir de l'aplicació del model d'infiltració del SCS continu. Amb això, es pretén aconseguir una simulació més acurada i poder comparar amb les mateixes dades les diferències entre els dos mètodes d'aplicació de la intensitat de la precipitació per veure quin és el més representatiu.

Capítol 6

Refinament del Model

Per tal de millorar el model es fa servir el model d'infiltració SCS continu per fer una comparació quantitativa dels resultats obtinguts i intentar ajustar-los amb més precisió a les observacions.

6.1 Model de infiltració del SCS continu

Per tal de millorar la precisió del model, s'ha decidit utilitzar el model d'infiltració del SCS continu, que s'utilitza per a simulacions amb durades grans (a partir de 3 dies fins a mesos), ja que durant els períodes que no plou, es recupera la capacitat d'infiltració del terreny.

Aquest model utilitza l'expressió següent per calcular la capacitat de retenció del terreny (S):

$$S^n = S^{n-1} + (e^{n-1} + p^{n-1} - f^{n-1}) \cdot \Delta t$$

On la capacitat de retenció del terreny en mm (S) es calcula en cada pas de temps (n) a partir de l'evapotranspiració (e), la percolació (p) i la infiltració real (f). (FLUMEN Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica, n.d.)

Per tal d'activar aquest model d'infiltració és necessari activar els models de percolació i evapotranspiració. Per aquest motiu, ha estat necessari definir i aplicar les característiques d'un aquífer sota la conca i aplicar les dades de temperatura durant el període de simulació.

6.2 Dades Aplicades

En aquest treball, s'ha decidit utilitzar els següents coeficients i valors per tal de realitzar les simulacions i intentar reduir al màxim el tercer pic de les simulacions.

Model de percolació

A l'hora d'activar el model de percolació ha estat necessari definir un aquífer sota la conca de la Tordera per tal que la precipitació pugui percolar dins del terreny. Per tal de definir l'aquífer s'han introduït les dades observades a la Taula 11.

Taula 11: Definició de l'aquífer pel model de percolació del terreny

Paràmetres	Valors Adoptats
A (1/h)	0.001
B (mm)	0.8
Profunditat màxima (mm)	300
Saturació inicial (0-1)	0.5

Cal destacar que aquests paràmetres haurien de calibrar-se, però en la simulació que s'ha considerat s'han assumit aquests valors i no s'han calibrat.

Model d'evapotranspiració

Per tal d'activar el model d'evapotranspiració s'ha definit els valors de temperatura (Cº), humitat relativa, vent (m/s) i radiació solar (W/m²) per cada pas de temps de simulació.

En aquest cas, s'han utilitzat les dades de temperatura del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) de l'estació de Castell – Platja d'Aro, tenint en compte que es l'estació amb les temperatures més altes i per tant s'assumeix una evapotranspiració màxima a la conca.

A la Figura 42 es pot observar els valors de temperatura aplicats el model. S'ha de destacar que durant l'episodi Glòria la temperatura es va comportar de manera estranya, ja que no es veu una gran diferència de temperatura entre el dia i la nit. No obstant, s'han validat les dades en altres estacions i coincideixen en aquest fenomen.

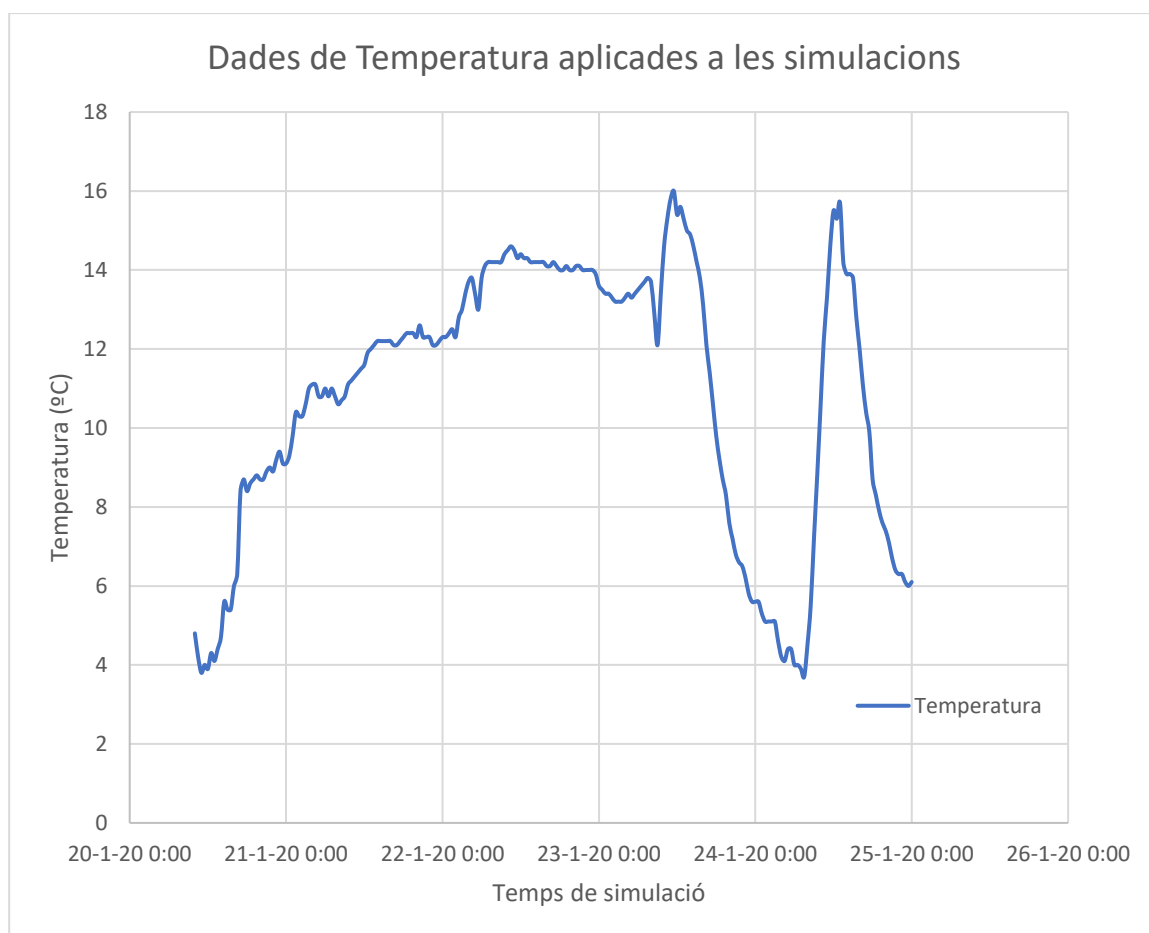


Figura 42: Dades de temperatura de l'estació de Castell-Platja d'Aro aplicades a les simulacions

Factors Aplicats

Un cop definits les característiques del model de percolació i evapotranspiració s'han definit els factors de calibratge que s'apliquen al model.

A la Taula 12 es mostren els valors que s'han adoptat per les simulacions amb el model SCS continu.

Taula 12: Paràmetres definits per les simulacions

Paràmetres	Valors Adoptats
Multiplicador del CN	0.7
Coefficient Ia (per l'abstracció inicial del SCS)	0.2
B depletion (Coefficients d'esgotament per l'evapotranspiració)	1

Paràmetres	Valors Adoptats
Coeficient S inicial (capacitat de retenció del terreny)	1
Coeficient corrector de l'evapotranspiració	2
Index de distribució de la mida del sòl	0.5
Ks per la percolació (mm/h) (permeabilitat de la capa de sòl)	8

Cal mencionar que tots els paràmetres mostrats s'haurien de calibrar per tal de trobar els valors que fan que el model hidrològic s'ajusti més a les observacions. No obstant, en aquest cas s'han adoptat un valors inicials i s'ha observat com aquest afecten al resultat.

En conclusió, per intentar refinar el model i reduir al màxim el pic inicial i final que surt molt més gran que l'observat, s'ha aplicat el model d'infiltració de l'SCS continu, que permet recuperar la capacitat de retenció del terreny durant el temps de simulació.

Capítol 7

Resultats Finals

En aquest apartat es mostren els resultats finals de les dues simulacions utilitzant el model de infiltració de l'SCS continu, assumint una sèrie de valors per tal de maximitzar la recuperació de la capacitat del terreny durant les simulacions.

7.1 Simulació 1: Hietogrames

En el cas de la simulació amb la precipitació aplicada amb hietogrames, en la Figura 43 es pot observar els resultats obtinguts en la primera simulació, la segona simulació (utilitzant SCS continu) i les dades observades.

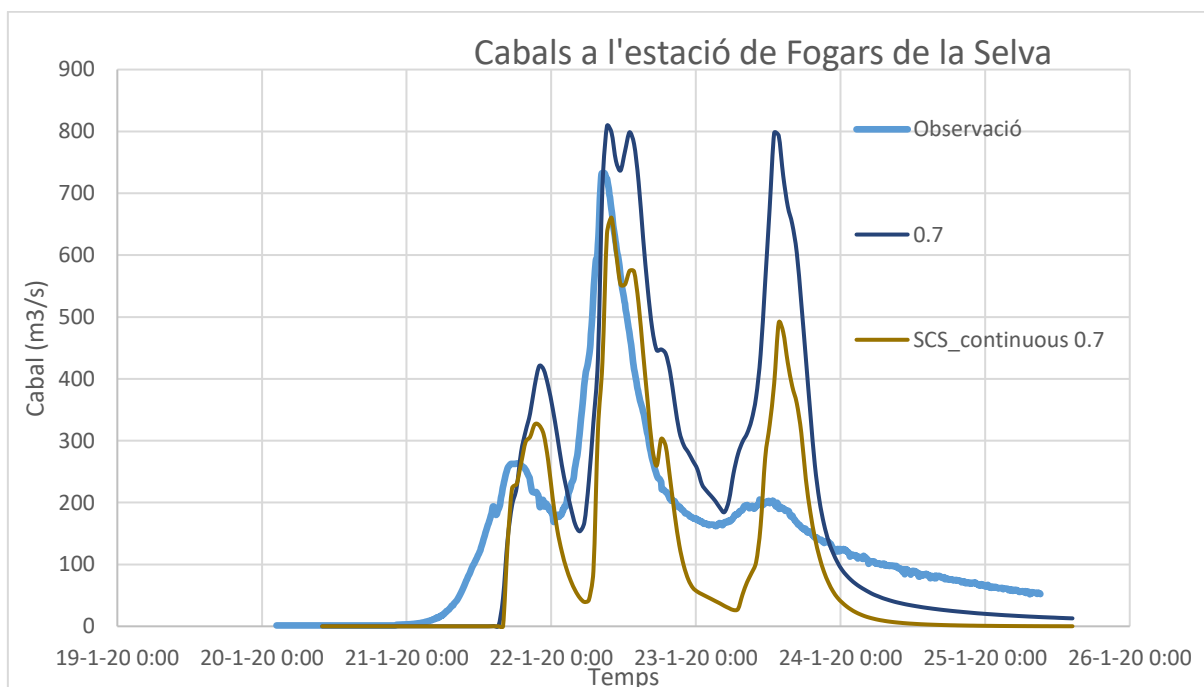


Figura 43: Hidrograma de l'estació de Fogars de la Selva aplicant la infiltració amb el mètode de SCS continu

Com es pot observar, en aquest cas, amb el model d'infiltració de l'SCS continu el primer i últim pic s'han reduït considerablement en comparació a la primera simulació. No obstant, cal destacar que entre les parts situades entre els pics també es veuen molt reduïdes, i per tant, el resultat no s'ajusta gaire a les dades observades.

7.2 Simulació 2: Dades de radar

En el cas de la simulació amb la precipitació aplicada amb les dades de radar, en la Figura 44 es pot observar els resultats obtinguts en la primera simulació, la segona simulació (utilitzant SCS continu) i les dades observades.

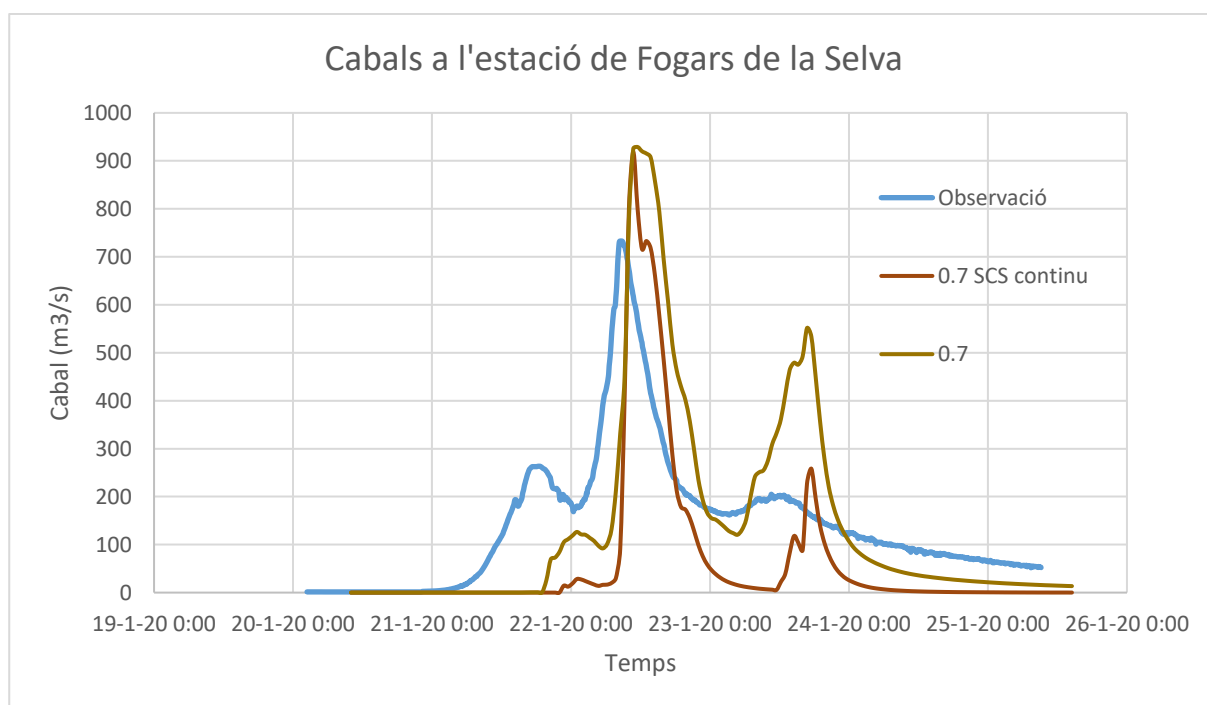


Figura 44: Hidrograma de l'estació de Fogars de la Selva aplicant la infiltració amb el mètode de SCS continu

Com es pot observar, en aquest cas, amb el model d'infiltració de l'SCS continu el primer i últim pic s'han reduït considerablement en comparació a la primera simulació. No obstant, cal destacar que aquesta reducció fa que el resultat no s'ajusti gaire a les dades observades.

Capítol 8

Conclusions

L'objectiu d'aquest treball ha estat caracteritzar des del punt de vista hidrològic l'episodi Glòria a tota la conca del Tordera utilitzant la modelització numèrica distribuïda.

Primerament s'han obtingut dades hidrològiques de l'episodi, a través del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) i l'Agència Catalana de l'aigua (ACA). Respecte aquest aspecte s'han tret les següents conclusions:

- Les dades que s'obtenen han de tenir la major precisió possible i coherència, ja que dades amb molta variabilitat o amb parts de temps sense informació són inconsistents i per tant s'han de descartar. En aquest treball s'han descartat les dades hidrològiques de l'ACA per aquest motiu.
- Cal fer un bon contrast de les dades de precipitació a aplicar al model hidrològic, cal aplicar dades validades i amb la major precisió possible. En el cas de les dades hidrològiques minutals del SMC, s'han descartat perquè no estaven validades i per tant podien contenir molt error associat.
- Finalment, s'ha decidit agafar les dades de radar i les dades de les estacions meteorològiques de la conca adquirides a través del SMC per tal de fer les simulacions del model hidrològic.

En referència al model hidrològic, s'ha decidit utilitzar Iber, una eina que integra la modelització hidràulica bidimensional amb la modelització hidrològica distribuïda. Amb la realització del model hidrològic s'han trobat els següents resultats.

- A l'hora d'utilitzar un mòdul recent a Iber cal considerar que el software es va actualitzant i arreglant problemes, de manera que s'ha de saber treballar dinàmicament i actualitzar el model hidrològic en les versions més recents.

- S'ha determinat elegir elements no estructurals de tipus triangular ja que s'adapten amb més facilitats a les irregularitats demogràfiques de la conca i s'ha decidit utilitzar mides dels elements més petites a la zona del riu i més grans a la resta per tal d'obtenir bons resultats del cabal del riu amb el mínim temps de simulació possible.
- A l'hora d'escollir un temps de simulació, s'ha de fer una anàlisi dels resultats que s'obtenen per diferents número d'elements, per tal d'escollir el número d'elements mínim que donen un resultat bo. En aquest cas, s'ha observat que amb aproximadament 200000 elements el model donava bons resultats.
- També cal tenir en compte que quan s'elegeix un model d'infiltració, cal definir certs paràmetres que s'han de calibrar. En aquest treball s'ha utilitzat el mètode nombre de corba del SCS, amb el qual s'han calibrat dos paràmetres: multiplicador CN i coeficient la. Aquest calibratge és fonamental per tenir resultats més acurats i es important analitzar com afecta cada paràmetre al resultat.

De cara als resultats inicials obtinguts, s'han extret les conclusions següents:

- Les dades de precipitació aplicades a través de hietogrames al model hidrològic ofereixen millors resultats que els de radar, fet que té certa lògica tenint en compte que les dades dels hietogrames són en passos de temps de 30 minuts i en canvi les de radar són de cada hora i per tant tenen menys detall.
- El model hidrològic realitzat amb el model d'infiltració del SCS mostra un bon ajust en el pic principal de l'episodi però en les dues simulacions mostra en l'hidrograma de sortida un tercer pic molt elevat en comparació a les dades observades.
- Cal tenir en compte que amb el calibratge del multiplicador del CN s'han aconseguit els resultats més ajustats amb un valor de 0.7, de manera que en la realitat la capacitat de retenció del terreny és més alta del que indiquen les dades del terreny aplicades.

En vista dels resultats, s'ha decidit fer un refinament del model hidrològic. D'aquesta manera, per intentar ajustar al màxim el tercer pic s'ha decidit utilitzar el mètode d'infiltració del nombre de corba del SCS continu. Amb aquest refinament, les conclusions dels resultats obtinguts son les següents:

- El model hidrològic realitzat amb el model d'infiltració del SCS continu ofereix la possibilitat de reduir el primer i tercer pic de l'episodi per tal que s'ajusti més a les dades observades. No obstant, caldria calibrar tots els factors i posar uns valors més ajustats, ja que en aquest treball s'han considerat un valors per tal de maximitzar la capacitat de retenció del terreny però es poden modificar per ajustar-los més a les dades observades.
- Hi ha la possibilitat que durant el pic màxim de l'episodi Glòria les seccions de l'estació d'aforament de Fogars de la Selva es veiés modificada i que les dades observades en la realitat hagin de ser més grans de les que s'observen en el tercer pic, de manera que s'ha de tenir en compte a l'hora de realitzar el model hidrològic.

Capítol 9

Treballs Futurs

En aquest treball s'ha realitzat el model hidrològic del Glòria però s'han utilitzat certes assumpcions.

D'aquesta manera, en línies futures hi ha certes parts que es poden millorar per tal d'obtenir un model molt més ajustat:

- Intentar trobar dades de precipitació més acurades per poder ajustar el model hidrològic amb més precisió a les dades observades.
- Fer el calibratge en detall els factors utilitzats amb el model d'infiltració del SCS continu
- Analitzar els hidrogrames obtinguts en les altres estacions d'aforament (Riera de Santa Coloma, Montseny i Sant Celoni).
- Canviar el model d'usos del sòl i el número de Manning associat a cada un per tal d'ajustar al màxim possible els resultats del model.
- Tenir en compte les estructures que es troben al riu (ponts) i intentar representar el volum de materials flotants i la sedimentació que es van donar durant el Glòria per veure com aquests afecten al resultat final del model.

Capítol 10

Bibliografia

- AEMET. (2020). AEMET. *INFORME DE EPISODIO METEOROLÓGICO DE TEMPORAL INVERNAL*.
- Canals, M., & Miranda, J. (2020). Precipitacions torrencials a Catalunya: el temporal Gloria i perspectives de futur. In *Sobre el temporal Gloria (19-23.01.20), els seus efectes sobre el país i el que se'n deriva*.
- El temporal Glòria. Intitut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2020). In *Intitut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (Vol. 0, Issue 186).
- FLUMEN Dinàmica fluvial i enginyeria hidrològica. (n.d.). Modelo de Hidrología distribuido. *Anexo 2: Modelo de Hidrología Distribuido*, 0–99.
- METEOCAT. (2020). *Butlletí climàtic mensual. gener del 2020*. 93, 38–48.
- Meteovilatorta. (n.d.). *METEO VILATORTA: Nou pluviòmetre THIES*. Retrieved October 18, 2021, from <http://meteovilatorta.blogspot.com/2013/12/nuevos-instrumentos.html>
- Minuto a minuto de la borrasca Gloria: Se elevan a ocho los muertos por el temporal*. (n.d.). Telecinco. Retrieved June 20, 2021, from https://www.telecinco.es/informativos/sociedad/borrasca-gloria-dos-nuevos-desaparecidos_18_2887245004.html
- Pavón, D., & Panareda, J. M. (2020). La tempesta Glòria i els seus efectes a la conca de la Tordera: entre la contingència i la necessitat de plantejar accions estructurals. *Treballs de La Societat Catalana de Geografia*, 2190, 137–162. <https://doi.org/10.2436/20.3002.01.194>
- Quatre línies ferroviàries tallades i menys trens dels habituals pel temporal | SER Catalunya | Cadena SER*. (n.d.). Retrieved June 20, 2021, from

https://cadenaser.com/emisora/2020/01/22/sercat/1579680909_252173.html

Ràdio Tordera – Tordera a l’espera de les ajudes anunciades per les destrosses del Glòria un any després. (n.d.). Retrieved June 20, 2021, from <http://radiotordera.cat/radio/?p=87391>

Reformar lo que ya existe para resistir lo que vendrá. (n.d.). La Razón. Retrieved June 20, 2021, from <https://www.larazon.es/economia/20200503/igyd2tqbe5a3hdmkllespwgl24.html>

Servei Meteorològic de Catalunya. (2011). *Les Estacions meteorològiques automàtiques (EMA)*. http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2014/11/18120559/Les_Estacions_XEMA.pdf

Un hombre muerto en Ametlla de Mar eleva a 13 las víctimas mortales por la borrasca ‘Gloria.’ (n.d.). Retrieved June 20, 2021, from <https://www.lavanguardia.com/vida/20200123/473087580978/desaparecidos-temporal-gloria-catalunya-alertas-precaucion-desbordamiento-lluvia.html>

Un total de 42 comunidades de regantes afectadas por los aguaceros de octubre de 2019 y por el temporal Gloria de enero de 2020 han solicitado la ayuda del Departamento de Agricultura | GuiAgro. (n.d.). Retrieved June 20, 2021, from <http://www.guiagro.es/index.php/noticias/un-total-de-42-comunidades-de-regantes-afectadas-por-los-aguaceros-de-octubre-de-2019-y>

Vídeo: La borrasca “Gloria” deja ya diez muertos. (n.d.). Retrieved June 20, 2021, from <https://www.20minutos.es/videos/nacional/4126883-la-borrasca-gloria-deja-ya-diez-muertos/>

Xarxa de Radars (XRAD) - Servei Meteorològic de Catalunya | Meteocat. (n.d.). Servei Meteorològic de Catalunya. Retrieved October 18, 2021, from <https://www.meteo.cat/wpweb/divulgacio/equipaments-meteorologics/radar-meteorologic/xarxa-de-radars-xrad/>

Xavier Torras. (n.d.). *Universitat de Barcelona i el Centre d’Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC)*. Retrieved June 29, 2021, from <https://urbanriverlab.com/medsoul/>

