Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Química

Títol: Estudi de la disponibilitat d'aigua en una ciutat mitjançant un model d'agents

Document: Memòria

Alumne: Eloi Pérez Bosch

Tutor: Marta Verdaguer Planas / Manuel Poch Espallargas
Departament: Enginyeria química, agrària i tecnologia agroalimentària
Àrea: Enginyeria química

Convocatòria (mes/any): Setembre 2024

Índex

I. Resum ... 9
II. Agraïments ... 11
1 Introducció ... 12
1.1 Antecedents ... 12
1.2 Abast ... 12
1.3 Objectius ... 12
1.4 Estructura del TFG ... 13
2 Materials i Mètodes ... 14
2.1 Diagrama de flux ... 15
3 Cas d'estudi ... 17
3.1 Perfil de la ciutat hipotètica ... 17
3.2 Entrades del sistema ... 18
3.2.1 Altres propietats del model ... 19
3.3 Agents ... 20
3.3.1 Habitatge ... 20
3.3.2 Indústria ... 24
4 Resultats ... 29
4.1 Simulació 1: Pluges del model ... 30
4.2 Simulació 2: Pluges i agents habitatge ... 31
4.3 Simulació 3: Pluges, agents habitatge i agents indústria ... 32
4.4 Simulació 4: Estalvi agents habitatge segons el preu i comportament ecologista 33
4.5 Simulació 5: Estalvi agents indústria segons la disponibilitat d'aigua ... 35
4.6 Simulació 6: Agents més ecologistes ... 37
4.7 Simulació 7: Aigua inicial reduïda ... 38
4.8 Simulació 8: Canvi en la distribució de la renda ... 39
4.9 Simulació 9: Reducció del 50% dels agents habitatge ... 40
4.10 Simulació 10: Augment del 20% dels habitatges ... 42
4.11 Simulació 11: Estalvis agents activats des de l'inici ... 43
4.12 Simulació 12: Estalvis des de l'inici i més probabilitat ecologista ... 45
4.13 Simulació 13: Disminució del preu fix ... 47
4.14 Simulació 14: Reducció de la pluja ... 48
4.15 Simulació 15: Augment de l'entrada de la dessaladora ... 50

4.16 Simulació 16: Ampliació del tanc 52
5 Discussió 54
6 Conclusions 58
7 Planificació 60
7.1 Diagrama de Gantt 60
7.2 Pressupost 62
8 Bibliografia 63
9 Annexos 65
9.1 Dades de les pluges diàries 65
9.2 Càlcul del preu de l'aigua 70
9.3 Càlculs dels consums dels agents indústria 72

Índex de figures

Figura 2-1: Diagrama de flux de l'estructura de l'estudi 15
Figura 4-1: Disponibilitat d'aigua. Simulació 1: Pluges del model 30
Figura 4-2:Disponibilitat d'aigua. Simulació 2: Pluges i agents habitatge 31
Figura 4-3: Disponibilitat d'aigua. Simulació 3: Pluges, agents habitatge i agents indústria 32
Figura 4-4: disponibilitat d'aigua. Simulació 4: Estalvi agents habitatge segons el preu i comportament ecologista 34
Figura 4-5: Disponibilitat d'aigua. Simulació 5: Estalvi agents indústria segons la disponibilitat d'aigua 36
Figura 4-6: Disponibilitat d'aigua. Simulació 6: Agents més ecologistes 37
Figura 4-7: Disponibilitat d'aigua. Aigua inicial reduïda 38
Figura 4-8: Disponibilitat d'aigua. Canvi en la distribució de la renda 39
Figura 4-9: Disponibilitat d'aigua. Simulació 9: Reducció del 50% dels agents habitatge 40
Figura 4-10: Disponibilitat d'aigua. Simulació 10: Augment del 20% dels habitatges 42
Figura 4-11: Disponibilitat d'aigua. Simulació 11: Estalvis agents activats des de l'inici 44
Figura 4-12: Disponibilitat d'aigua. Simulació 12: Estalvis des de l'inici i més probabilitat ecologista 45
Figura 4-13: Disponibilitat d'aigua. Simulació 13: Disminució del preu fix. 47
Figura 4-14: Disponibilitat d'aigua. Simulació 14: Reducció de la pluja 48
Figura 4-15: Disponibilitat d'aigua. Simulació 15: Augment de l'entrada de la dessaladora 51
Figura 4-16: Disponibilitat d'aigua. Simulació 16: Ampliació del tanc 53
Figura 7-1: Diagrama de Gantt de la planificació del Treball Final de Grau 61

Índex de taules

Taula 3-1: Habitatges a Tordera i la seva distribució segons el nombre de persones que hi viuen. Dades extretes del Instituto Nacional de Estadística (INE) que pertanyen a l'any 2021 17
Taula 3-2: Volum d'aigua consumit a Tordera (m3/any) l'any 2023, dades extretes per l'ACA 18
Taula 3-3: Valors de de l'aigua inicial del sistema, quantitat que subministra la dessaladora i valor crític de disponibilitat..... 19
Taula 3-4: Trams de disponibilitat d'aigua i valors que pren la part del preu de l'aigua 19
Taula 3-5: Preus diaris de l'aigua segons el tram de disponibilitat: 20
Taula 3-6: Distribució dels habitatges i consum diari segons el nombre d'habitants 21
Taula 3-7: Probabilitat dels agents de prendre una tipus de renda i valors que poden prendre el multiplicador segons l'assignació: 22
Taula 3-8: Estalvi dels agents habitatge segons el tipus de renda i la tarifa de l'aigua 24
Taula 3-9: Agents relacionats amb les activitats econòmiques, nom de l'agent, nombre i activitat a la que pertany: 25
Taula 3-10: Rangs dels consum diaris segons el tipus d'agent' 26
Taula 3-11: Valors que pren la variable quan la disponibilitat de l'aigua es troba per sobre els 100,000 m3..... 26
Taula 3-12: Valors que pren la variable quan la disponibilitat de l'aigua es situa entre els 100,000 m3 i 50,000 m3..... 27
Taula 3-13: Valors que pren la variable quan la disponibilitat de l'aigua cau dels 50,000 m3 27
Taula 4-1: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 2: Pluges i agents habitatge 31
Taula 4-2:Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 3: Pluges, agents habitatge i agents indústria..... 32
Taula 4-3: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 4: Estalvi agents habitatge segons el preu i el comportament ecologista 33
Taula 4-4:Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 5: Estalvi agents indústria segons la disponibilitat d'aigua 35
Taula 4-5: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 6: Agents més ecologistes 37
Taula 4-6: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 7: Aigua inicial reduïda 38
Taula 4-7:Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 8: Canvi en la distribució de la renda ... 39
Taula 4-8: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 9: Reducció del 50% dels agents habitatge 40
Taula 4-9: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 10: Augment del 20% dels habitatges. 42
Taula 4-10: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 11: Estalvis agents activats des de l'inici 43
Taula 4-11: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 12: Estalvis des de l'inici i més probabilitat ecologista..... 45
Taula 4-12: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 13: Disminució del preu fix 47
Taula 4-13: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 13: Reducció de la pluja 48
Taula 4-14: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 15: Augment de l'entrada de la dessaladora..... 50
Taula 4-15: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 16: Ampliació del tanc 52
Taula 7-1: Tasques i subtasques necessàries per al desenvolupament de Treball Final de Grau 60
Taula 7-2: Pressupost del Treball Final de Grau 62
Taula 9-1: Dades de la pluja caiguda a Tordera al llarg de l'any 2023. Dades recollides l'estació meteorològica de Tordera, gestionada pel Consell Comarcal del Maresme 66
Taula 9-2: Dades de la pluja caiguda a Tordera al llarg de l'any 2023. Dades recollides l'estació meteorològica de Tordera, gestionada pel Consell Comarcal del Maresme (continuació) 67
Taula 9-3: Dades de la pluja caiguda a Tordera al llarg de l'any 2023. Dades recollides l'estació meteorològica de Tordera, gestionada pel Consell Comarcal del Maresme (continuació) 68
Taula 9-4: Dades de la pluja caiguda a Tordera al llarg de l'any 2023. Dades recollides l'estació meteorològica de Tordera, gestionada pel Consell Comarcal del Maresme (continuació) 69
Taula 9-5: Relació de municipis de la repercussió del cànon de l'aigua segons l'Agència Catalana de l'Aigua. Tipus aplicables a partir d'1 de gener de 2024. 70
Taula 9-6: Càlcul de la factura de l'aigua pels habitatges del primer tram, preus extrets de la factura de l'aigua de Tordera. Càlcul sense impostos. 70
Taula 9-7: Càlcul de la factura de l'aigua pels habitatges del primer tram, preus extrets de la factura de l'aigua de Tordera. Càlcul amb impostos. 71

Taula 9-8: Tarifa social del cànon de l'aigua per a habitatges en situació de vulnerabilitat, segons l'Agència Catalana de l'Aigua. Tipus aplicables a partir d'1 de gener de 2024. 71
Taula 9-9: Consum diari de les indústries productores de llet, escorxadors de porc i arts gràfiques: 72

I. Resum

En el mes de febrer es va començar a realitzar aquest estudi, primer amb un contacte amb la tutora per decidir el tema del mateix i posteriorment per començar a preparar com havia de ser i quines preguntes calia poder respondre en acabar-lo.

El més important ha estat definir el model de la ciutat hipotètica, és a dir, definir allò que es vol estudiar i que s'ha de ser capaç de retornar una resposta davant una pregunta de l'usuari. Per tant, les primeres setmanes han estat destinades a plantejar el model que es vol aconseguir i a la cerca de la informació bibliogràfica necessària per poder fer-ho.

Un cop ben definit, es va començar a treballar amb el software, per poder materialitzar el que es tenia pensat, tot i que, en el procés d'aconseguir-ho hi ha hagut canvis en aquell model que es va plantejar inicialment, cada funció que s'aconseguia modelar en el programa en portava una de nova. Per aquest motiu s'ha hagut de posar un límit a la ciutat que s'estudia i centrar l'estudi en un model més senzill.

La metodologia per escriure el codi del programa ha estat la següent; es van començar a fer models simples, per entendre com funcionava el programa, un cop ja es començava a obtenir les simulacions esperades d'aquests models més senzills, es va passar a escriure el codi del model que es va plantejar, s'anava afegint propietats als agents i comprovant que funcionessin com es volia. D'aquesta manera es va anar obtenint un model més complex, assegurant que cadascuna de les funcions que s'introduïa funcionava correctament.

Un cop ben definits els límits del sistema i aconseguit que la simulació correspongui al que finalment es va anomenar com a ciutat tipus, es va començar a treballar a obtenir els resultats de les simulacions. Les simulacions són escenaris diferents d'aquell model tipus. Cada simulació ha estat una pregunta que es volia respondre veient com actuava el model davant del canvi. S'ha realitzat canvis en el comportament dels habitants, en la quantitat de pluja que queia, en les restriccions que imposava l'ajuntament de la ciutat i en el nombre i distribució dels habitatges. Tots els escenaris estudiats han esdevingut una figura on es pot veure l'evolució de la disponibilitat de l'aigua del dipòsit de la ciutat en m^3 al llarg d'un any natural.

Aquestes figures han servit per poder comparar els diferents models estudiats i poder explicar, mitjançant els comportaments assignats als agents en cada simulació, el perquè dels resultats obtinguts. S'ha posat especial èmfasi en el nombre d'actuacions de la dessaladora, pel fet que és un bon indicador de la disponibilitat del sistema, així com del preu de l'aigua.

Els resultats obtinguts han estat satisfactoris, en fer l'estudi en tants escenaris diferents s'ha pogut observar el comportament del model en cadascun d'ells i veure com s'adaptava davant diversos canvis. També han estat útils per a treure alguna conclusió que es podria extrapolar a un model de ciutat a la realitat per a millorar la disponibilitat d'aigua. La gran importància de les pluges per a la disponibilitat i el pes dels petits estalvis per part dels habitants del model han estat dues importants conclusions extretes en aquest model.

Es creu que aquest estudi pot ser la base per a dur a terme un de més complex i exhaustiu, ajustar més el comportament dels consumidors a la realitat i tenir dades més properes a les d'una ciutat real.

II. Agraïments

Un cop finalitzat aquest treball i, m'agradaria agrair a tot el professorat que ha estat present en aquesta etapa formativa i ha compartit els seus coneixements. En especial a la Dra. Marta Verdaguer i el Dr. Manuel Poch, qui han estat els tutors, els quals m'han guiat en la realització d'aquest Treball Final de Grau.

Afegir també el professorat que he tingut al llarg de la meva etapa de formació prèvia, tant a l'escola com en l'institut posteriorment, en especial al Sr. Albert Dellundé, sense la seva figura avui en dia no estaria a punt d'acabar la meva titulació en enginyeria.

A tots els companys de classe, amb qui he compartit els darrers quatre anys i junts hem recorregut aquest camí que avui arriba al seu final. Al llarg d'aquest temps hem après i crescut plegats, crec que és una experiència que recordarem per sempre.

Per acabar, agrair a la meva família el suport que m'han donat en aquest període, sense ells no hauria estat capaç d'afrontar els reptes que hi ha hagut en els darrers anys, tant en l'àmbit formatiu com personal.

1 Introducció

La disponibilitat d'aigua i la importància de gestionar-la correctament és una qüestió que cada vegada pren més importància en món actual, i més en el territori de Catalunya, on en els darrers anys s'han patit llargues èpoques de sequera i que, actualment, encara és un assumpte que preocupa.

Per aquests motius, també és una qüestió que darrerament ha anat preocupant més a la ciutadania, probablement pel fet que ha començat a afectar-los en el darrers anys amb les restriccions aplicades a certes poblacions per la sequera, entre d'altres: limitació del consum als habitatges, prohibició de l'ompliment de piscines municipals i privades, restriccions en els pavellons i instal·lacions públiques, etc.

1.1 Antecedents

Les activitats industrials presenten unes necessitats d'aigua molt vinculades al sector d'activitat que desenvolupen, però també a la tecnologia de què disposen i a la producció que abasten. Les restriccions d'abastament d'aigua durant períodes perllongats de temps poden afectar significativament tant a la seva producció, com al seu rendiment econòmic. Actualment, moltes activitats han adoptat, quan això és possible, mesures per fer un ús cada vegada més eficient de l'aigua. No obstant això, continuen presentant necessitats de subministrament. Determinar quines serien les conseqüències de la restricció d'aigua en una població que disposi d'un nombre elevat d'activitats industrials, pot ser una tasca molt complexa. Per a facilitar-la es podria comptar amb l'ajut de simulacions efectuades en un model multiagent.

1.2 Abast

Es definirà el perfil de població tant pel que fa als seus habitants, com a les activitats industrials. S'adaptarà un sistema multiagent, prèviament creat en una plataforma NetLogo, als requisits de les simulacions que es volen desenvolupar. Es simularan diferents propostes de restricció de l'aigua disponible i s'avaluaran les respostes del sistema.

1.3 Objectius

En el context mencionat, el present Treball Final de Grau té com a objectiu estudiar la disponibilitat d'aigua en una ciutat hipotètica, utilitzant un model d'agents. En aquest treball es pretén modelar una ciutat tipus i estudiar com canvia la disponibilitat d'aigua segons les restriccions que s'imposen i els comportaments dels ciutadans, de manera que es pugui obtenir una percepció més acurada de com poden influir les restriccions aplicades per una institució pública (en aquest cas l'ajuntament de la ciutat hipotètica, en els darrers anys a Catalunya ha estat el mateix Govern qui ha imposat les restriccions) o els comportaments dels consumidors en la disponibilitat de l'aigua en una ciutat.

Pel que s'ha comentat, en aquest estudi només es tindran en compte certs escenaris de simulació i certes variables, pel fet que la quantitat dels detalls i aspectes de la ciutat model a estudiar poden ser tants com es vulgui, per això, en el cas que s'estudia, s'han tingut en compte els que s'han cregut més importants.

1.4 Estructura del TFG

El treball principalment consta de cinc capítols. En el primer es presenten els materials i mètodes utilitzats pel desenvolupament del Treball Final de Grau. En el segon es desenvolupa el model de ciutat que s'estudia, quins són els aspectes més importants que s'han tingut en compte a l'hora de plantejar-lo i finalment, com funciona el model, tenint en compte quins agents hi participen, les seves característiques i les entrades que es contemplen al sistema. El tercer apartat s'exposen els resultats obtinguts per a cadascuna de les simulacions que s'han plantejat. El quart capítol discuteix els resultats obtinguts en l'apartat previ. Per acabar, el cinquè capítol conclou el treball, es discuteixen les conclusions que s'extreuen de les simulacions i resultats aconseguits al llarg de treball.

2 Materials i Mètodes

El programa que s'ha utilitzat per a l'estudi del comportament del consum d'aigua en una ciutat hipotètica ha estat el NetLogo.

La simulació que duu a terme el programa és l'estudi de la disponibilitat d'aigua en la ciutat, es fa el balanç entre l'aigua que entra i l'aigua que es consumeix, monitorant a cada pas de simulació la quantitat d'aigua disponible que queda en el sistema. El nostre sistema simula un tanc, en el qual, simplificant els processos que es produeixen, hi entra i hi surt aigua.

NetLogo és un programari que permet la creació i simulació de models multiagents, és molt útil per poder entendre o, fins i tot, predir el comportament dels agents dins un model. El programa empra un llenguatge de programació propi anomenat NetLogo, que es basa en el llenguatge Logo. Aquest llenguatge es va dissenyar pel modelatge i simulació de sistemes dinàmics. És un instrument molt útil per la investigació, permet simular i fins i tot predir el comportament d'entitats (els agents) com és en el cas estudiat, el comportament dels habitants de la ciutat hipotètica.

Un sistema multiagent és un sistema format per múltiples agents que interactuen entre ells. Cada agent és una entitat independent que té control sobre les seves accions. Les accions que pren l'agent venen determinades per les seves propietats, segons les característiques de l'agent i l'entorn que l'envolta, l'agent es comporta d'una manera u una altra.

Aquesta és una de les característiques més importants dels sistemes multiagents, l'adaptabilitat, segons els canvis en l'entorn l'agent ajusta el seu comportament, fins i tot poden tenir mecanismes d'aprenentatge.
Com és en el cas d'estudi, els diferents agents amb diferents comportaments, poden treballar en paral·lel sobre una mateixa variable, en el nostre cas la disponibilitat d'aigua.

A continuació es troba el diagrama de flux de l'estructura que s'ha seguit per a la realització del Treball Final de Grau, acompanyat d'una breu explicació de cadascun dels seus punts.

2.1 Diagrama de flux

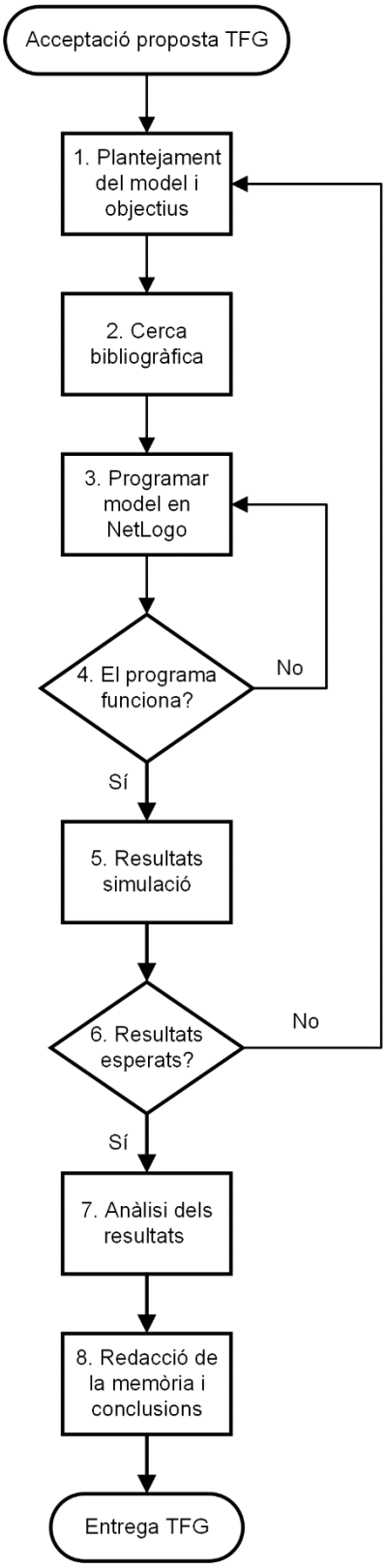

Figura 2-1: Diagrama de flux de l'estructura de l'estudi

1. Es planteja el model de ciutat que es vol estudiar, es defineixen quines seran les entrades del sistema, quins seran els consumidors (agents) i quins comportaments poden prendre segons com canviï el seu voltant. Es defineixen també quins són els objectius de l'estudi que es vol realitzar.

2. Es busca la informació bibliogràfica necessària per a poder modelar la ciutat hipotètica que es decideix crear, nombre i tipus d'agents, quantitats dels consums d'aigua, etc.

3. Un cop s'obtenen les dades per la ciutat que es vol estudiar es programa el mode[9] [10] en el NetLogo. Es comença a programar un model més senzill i, a mesura que es comprova que funciona, es van afegint noves funcionalitats i propietats al programa.

4. Per cada propietat que s'afegeix al programa es comprova que funciona, és a dir, el programa compila i es pot fer la simulació. En cas de no funcionar, cal repassar el codi i trobar quin és l'error. Un cop s'ha programat tot allò que es volia aconseguir que fes el model, es passa a obtenir resultats de les simulacions del NetLogo.

5. S'obtenen els resultats de les simulacions del programa, en aquest cas, figures que representen l'evolució de la disponibilitat de l'aigua en la nostra ciutat hipotètica al llarg del temps.

6. Es comprova que els resultats siguin els esperats, que no s'obtinguin valors fora del rang d'estudi, o valors que indiquin que el comportament dels agents no és l'esperat. En aquests casos caldrà repassar el programa sencer, des del plantejament per corroborar si els errors es deuen a un error en el plantejament del model, en les dades obtingudes bibliogràficament o són errors de sintaxi en la programació. Un cop els resultats són els esperats es passa a analitzar-los.

7. S'analitzen les figures obtingudes de les simulacions, s'estudien quins són els resultats obtinguts per a cada simulació i a quins són els factors que provoquen les figures per tal de poder explicar la diferència entre les simulacions i els comportaments dels agents segons el que els envolta.

8. Amb tota la informació recopilada, s'escriu la memòria del Treball Final de Grau i s'extreuen les conclusions amb els resultats que s'han obtingut. Es valora si s'han assolit els objectius i quines utilitats a futur pot tenir l'estudi que s'ha dut a terme.

3 Cas d'estudi

Com s'ha esmentat en el punt anterior, *Materials i Mètodes*, el NetLogo realitza un balanç de la disponibilitat de l'aigua en cada pas de simulació, es defineix un dia natural, fins a arribar als tres-cents seixanta-cinc, per tant, en el cas d'estudi, es calcula la disponibilitat d'aigua en la ciutat al llarg d'un any.

La simulació es fa sobre un dipòsit hipotètic on s'avaluen les entrades i sortides d'aigua. És important definir quines són les entrades i sortides al sistema per poder entendre com funciona el model, per tant, en els apartats *3.2* i *3.3* es defineixen les entrades i sortides respectivament. Per les sortides es detallen els agents, els encarregats de consumir l'aigua de la ciutat, que formen part del model i quines característiques/comportaments tenen.

En primer lloc, es defineix el perfil de la ciutat que s'utilitza per a la simulació de la disponibilitat d'aigua.

3.1 Perfil de la ciutat hipotètica

Com a referència per a la modelització s'ha escollit la població de la comarca del Maresme, Tordera. Es fan servir algunes de les dades del poble; el nombre d'habitants, el nombre d'habitatges i la seva distribució, el consum d'aigua (xarxa domèstica i activitats econòmiques), les pluges durant l'any 2023 i els tipus d'indústries més importants pel consum d'aigua.

Tordera pertany a l'ens d'abastament d'aigua Ter-Llobregat[2], una part de l'aigua que es consumeix prové de la dessaladora que hi ha al mateix poble, ITAM Tordera[3].La dessaladora capta l'aigua del mar i la converteix, mitjançant un sistema d'osmosi inversa, en aigua potable, produeix al voltant de 20 hm^3/any d'aigua apte pel consum. L'aigua serveix per abastir al mateix poble i als del seu voltant, principalment pobles de la costa del Maresme i La Selva (Blanes, Tossa de Mar, Canet de Mar, etc).

Tordera té una població al voltant dels disset mil cinc-cents[1] habitants, els quals es distribueixen segons la següent taula[6]:

Taula 3-1: Habitatges a Tordera i la seva distribució segons el nombre de persones que hi viuen. Dades extretes del Instituto Nacional de Estadística (INE) que pertanyen a l'any 2021

Habitatges totals	1 persona	2 persones	3 persones	4 persones	5 o més persones
6841	1,675	2,039	1,398	1,188	541[1]

[1]Els habitatges on hi viuen 5 o més persones es prenen com habitatges amb 5 habitants.

Els consums d'aigua registrats en l'any 2023 per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) els podem trobar en la taula següent[4]:

Taula 3-2: Volum d'aigua consumit a Tordera (m3/any) l'any 2023, dades extretes per l'ACA

Municipi	Domèstic xarxa (m^3/any)	Activitats econòmiques i fonts pròpies (m^3/any)	Total[1] (m^3/any)
Tordera	799,882	293,238	1,093,120

[1]Dades extretes de les declaracions presentades dels volums consumits facturats. Aquestes dades poden diferir dels consums efectuats durant l'any natural.

Els valors de la taula 8-2 s'utilitzen com a referència a l'hora d'ajustar els consums de la ciutat hipotètica, d'on prové el consum, domèstic o activitats econòmiques.

3.2 Entrades del sistema

Inicialment, el nostre dipòsit de disponibilitat ja comptarà amb una quantitat inicial d'aigua abans de començar la simulació. El tanc té una capacitat de 200,000 m^3.

L'entrada principal del model són les pluges enregistrades durant l'any 2023 a Tordera. Les dades de les pluges de cada dia de l'any 2023 han estat facilitades per l'ajuntament del poble, recollides per l'estació meteorològica de Tordera, gestionada pel Consell Comarcal del Maresme.

Les dades s'han tractat per poder incloure-les en la simulació, ja que es van rebre les pluges amb les unitats de mm o l/m^2, en la secció *Dades de les pluges diàries* es detallen els càlculs realitzats per adaptar les dades rebudes a valors útils per a la simulació.

Finalment, s'obtenen dades de pluja en m^3 per a cadascun dels dies de l'any, segons el dia de l'any en què es trobi la simulació, entren els m^3 d'aigua captats pel tanc en aquell dia natural.

La segona entrada que té el sistema és l'aigua subministrada per la dessaladora La Tordera, és una entrada de reforç que cridarà el procediment quan la disponibilitat d'aigua en el tanc arribi a un valor que es defineix com a crític, per tant, és necessària una entrada suplementària al sistema per evitar que es quedi sense disponibilitat, perquè amb l'aigua de la pluja no n'hi ha prou.

Els valors d'aigua inicial al sistema, quantitat d'aigua que subministra la dessaladora i a partir de quin nivell s'activa aquest abastament per part de la dessaladora, es defineixen en la següent taula:

Taula 3-3: Valors de de l'aigua inicial del sistema, quantitat que subministra la dessaladora i valor crític de disponibilitat

Variable	Valor (m^3)[1]
Aigua inicial en el tanc	200,000
Aigua que subministra la dessaladora	30,000
Disponibilitat crítica	20,000

[1]Els valors de la taula són els que prenen aquestes variables per defecte, en el cas que canviï, s'indicarà en la simulació.

3.2.1 Altres propietats del model

Per acabar de definir el perfil de la ciutat que s'ha preparat per a aquest estudi, s'introdueixen en aquest apartat les variables que afecten la tarifació de l'aigua, ja que es considera que el preu de l'aigua és un dels factors important a tenir en compte en l'estudi del seu consum.

Per fer la tarifació del model s'ha decidit crear un model en el qual hi ha un preu fix per l'aigua i un que és variable. El preu es modifica segons la disponibilitat d'aigua del sistema, la part fixa serà sempre la mateixa, però segons quina sigui la disponibilitat d'aigua, en baixar dels 100,000 m^3 primer i dels 50,000 m^3 després, la part variable multiplicarà la part fixa de la tarifa. El multiplicador de la part variable pren valors entre 1 i 2. En la següent taula es poden veure els diferents trams de disponibilitat i els valors que pren la part variable de la tarifa.

Taula 3-4: Trams de disponibilitat d'aigua i valors que pren la part del preu de l'aigua

Rang de disponibilitat (m^3)	Valor de la part variable de la tarifa
200,000 - 100,000	1
99,999 - 50,000	1.5
49,999 – 20,000	2

En el primer tram el preu de la tarifa és només el preu de la part fixa. En el segon tram, davant la baixada de la disponibilitat a la meitat, s'aplica un sobrepreu del 50% per a reduir el consum dels habitatges. En el tercer tram, l'entrada al sistema d'aigua de la dessaladora que és una aigua més costosa de produir i emmagatzemar que la de la pluja, provoca que es dupliqui el preu. El preu fix de l'aigua és de 0,6 €/dia, en l'annex *Càlcul del preu de l'aigua* es detallen els càlculs realitzats per a triar aquest valor per la part fixa de la tarifació de l'aigua. En la següent taula es troben els preus de l'aigua segons la disponibilitat.

Taula 3-5: Preus diaris de l'aigua segons el tram de disponibilitat:

Rang de disponibilitat (m^3)	Tarifa de l'aigua (€/dia)
200,000 - 100,000	0.6
99,999 - 50,000	0.9
49,999 – 20,000	1.2

El preu de l'aigua és una variable que modificarà el comportament dels agents habitatge, es pot veure en l'apartat *Estalvi dels habitatges*, dins *Habitatge*.

3.3 Agents

Els agents són els encarregats de consumir l'aigua disponible, es diferencien en consum de la xarxa domèstica i consum d'activitats econòmiques.

Per part dels consumidors de la xarxa domèstica, tenim els habitatges i, per les activitats econòmiques, tenim diferents indústries, que han estat escollides segons els principals sectors econòmics que es troben a Tordera, en aquest apartat també es tenen en compte les oficines.

A continuació es descriuen els tipus d'agents i les seves propietats:

3.3.1 Habitatge

Es defineix el consum base de l'agent habitatge com 0.126 m^3/dia, valor que s'ha pres a partir de les dades de la *Taula 3-1*, on la població total de la ciutat és de 17,404 habitants i les dades de la *Taula 3-2*, el consum total anual en la xarxa domèstica és de 800,000 m3/any. El consum base de l'habitatge és el d'un habitant. En total hi ha 6,841 habitatges.

El càlcul és el següent:

$$Consum\ diari = 800{,}000 \frac{m^3}{any} \cdot \frac{1\ any}{365\ dies} \cdot \frac{1}{17{,}404\ habitants} = 0.126 \frac{m^{\ 3}}{dia}\ habitants$$

Les propietats dels agents habitatge són: densitat de persones que hi viuen, la renda mitjana i el seu comportament estalviador. Seguidament, es desenvolupen amb més profunditat cadascuna d'aquestes característiques dels agents.

Densitat de l'habitatge

El programa pregunta a l'agent quantes persones hi viuen, seguint la mateixa distribució que Tordera, a cada agent se li assigna un nombre d'habitants. Depenent de les persones que hi viuen, l'habitatge pren un número que multiplica els 0.13 m^3/dia d'aigua que consumeix inicialment l'agent.

En la següent taula es pot observar com queden els consums i la distribució dels agents.

Taula 3-6: Distribució dels habitatges i consum diari segons el nombre d'habitants

Nombre d'habitatges	Nombre d'habitants	Consum diari per cada habitatge (m^3/dia)
1,675	1 habitant	0.126
2,039	2 habitants	0.252
1,398	3 habitants	0.378
1,188	4 habitants	0.504
541	5 habitants	0.630

Renda de l'habitatge

La segona propietat dels habitatges és la renda. Els agents poden prendre tres comportaments diferents quan se'ls hi pregunta quina és la seva renda; renda alta, mitjana i baixa. Segons el tipus de renda el seu consum varia.

Per poder fer aquesta distribució s'assigna una probabilitat entre 0 i 1 de què l'agent prengui una de les tres rendes, inicialment un 0.7 a què la renda sigui mitjana, un 0.2 que la renda sigui baixa i un 0.1 a què la renda sigui alta. El programa, mitjançant una distribució aleatòria depenent del valor de la probabilitat de cadascuna de les rendes, assigna a cada agent un tipus de la renda. Aquests valors comentats es poden veure afectats segons la simulació del programa, per així poder veure el canvi en el comportament dels agents quant al consum.

Segons el tipus de renda que reben els agents, el seu consum es veu modificat. Per cada tipus de renda s'aplica un multiplicador al consum d'aigua diari. Aquest multiplicador pren un nombre aleatori per cada pas de simulació (un dia) entre dos valors límit, per exemple per la renda alta, el multiplicador cada dia pren un valor entre 1.5 i 2, el que fa que el consum base d'un habitatge amb una persona sigui d'entre 0.195 m^3/ dia i 0.260 m^3/dia. Aquesta propietat s'ha inclòs per intentar aproximar el comportament del model a la realitat, ja que els consum d'aigua varia cada dia, dins uns certs marges.

En la següent taula es fa un resum dels valors que pot prendre cada renda.

Taula 3-7: Probabilitat dels agents de prendre una tipus de renda i valors que poden prendre el multiplicador segons l'assignació:

Tipus de renda	Probabilitat inicial	Rang multiplicador	Consum diari (m^3/dia)
Alta	0.1	[1.5, 2]	[0.195, 0.260]
Mitjana	0.7	[1, 1.3]	[0.130, 0.169]
Baixa	0.2	[0.9, 1]	[0.1235, 0.1495]

Com es pot veure en la taula, com menys capacitat econòmica menys consum diari d'aigua.

L'altra característica que té la propietat de la renda per l'agent, és que pels que rebin la renda baixa, se'ls hi assigna un valor a aquesta renda. El valor de la renda es fa mitjançant una distribució normal, on la mitjana és 12,000 €/any i la desviació estàndard és 2,000 €/any, el valor resultant d'aquesta distribució és la renda anual mitjana de l'habitatge, es divideix entre 365 per conèixer el valor diari que s'utilitza per comparar amb el preu de l'aigua dia a dia, d'aquesta manera s'estudia la capacitat de l'agent de fer front al preu de l'aigua diàriament.

En la del Parlament Europeu[17] i el consell, de 23 d'octubre de 2000, s'estableix un marc comunitari d'actuació en l'àmbit de la política de les aigües. D'aquesta directiva, una de les accions que es prenen és marcar com a indicador límit que el preu de l'aigua sigui un 3% de la renda del consumidor de l'aigua, en el cas que el preu sigui superior, aquell consumidor estarà en situació de vulnerabilitat per poder pagar un consum bàsic per a la vida com és l'aigua.

En el model es compara el preu de l'aigua i el valor del preu de l'aigua a cada iteració, en aquells casos on el 3% de la renda sigui inferior al preu de l'aigua, l'agent serà catalogat com a habitatge en risc, ja que no pot fer front al pagament de l'aigua que necessita pel consum bàsic, en el model es decideix que aquests agents passen a formar part dels habitatges en situació de vulnerabilitat. Al final de la simulació aquesta dada es té en compte, pel fet que es creu que és un indicador important a monitorar segons les característiques de cada simulació.

És un escenari com el que succeeix a Catalunya amb la tarifa social del cànon de l'aigua, aquells habitatges que consumeixin menys de 9 m^3 per persona i mes i estiguin en una situació de vulnerabilitat, se'ls hi aplica una reducció del 50% al valor del cànon de l'aigua i, per tant, el cost final de la factura per poder garantir les seves necessitats bàsiques. Els valors que prenen els cànons de l'aigua en habitatges dins la tarifa social a Catalunya es troben en la *Taula 9-8*.

Comportament ecològic

La tercera propietat dels agents habitatge és el seu comportament ecologista. Aquesta característica modifica el consum dels agents segons si tenen tendència a reduir el consum d'aigua segons la seva disponibilitat o les campanyes de conscienciació del bon ús dels recursos hídrics. Com s'ha pogut observar en casos d'emergència com el viscut en els darrers anys a Catalunya, a causa de la falta de pluges hi ha hagut una llarga temporada on les capacitats dels embassaments han estat molt per sota dels nivells habituals i des de la Generalitat s'han impulsat campanyes de conscienciació a la ciutadania, per reduir el consum en habitatges i, per tant, aconseguir que les reserves d'aigua del país puguin durar durant més temps, sense necessitat d'imposar restriccions.

En el model el programa preguntar a l'agent quin és el seu comportament, si té consciència ecològica o si no en té, mitjançant una distribució on, segons la probabilitat que s'assigni als habitatges de prendre comportament ecològic, s'assigna un dels dos comportaments a l'agent.

En cas d'assignar-se comportament ecològic, el consum d'aquell habitatge es veurà reduït per un multiplicador, pren valors (0, 1). En cas que el comportament no sigui ecològic, el multiplicador pren valor 1, el consum no es veu afectat per aquesta característica.

Aquesta propietat només afecta als habitatges que prèviament han estat assignats com a habitatges de renda mitjana o baixa, ja que s'ha considerat que els domicilis de renda alta no modificaran el seu consum per la situació dels recursos de la ciutat i tampoc respondran als missatges de conscienciació fets pel Govern.

Els valors de la probabilitat que els agents prenguin comportament ecològic i el del multiplicador del consum, són valors que es modifiquen al llarg de les simulacions per tal de comprovar com canvia el consum d'aigua gràcies al factor ecologista dels ciutadans.

Estalvi dels habitatges

Com s'ha esmentat en el punt *3.2.1*, el preu de l'aigua també afectarà en el comportament dels agents. Els habitatges reduiran el seu consum depenent del valor del preu en aquella iteració, un multiplicador anomenat estalvi disminueix el consum de l'habitatge, el multiplicador pren valors (0,1).

La renda dels habitatges també és important, pel fet que si a l'agent se li assigna renda baixa el seu consum es veurà més reduït que pels de renda mitjana, per aquells de renda alta, el multiplicador sempre té valor 1, ja que es considera que els habitatges de renda alta no modifiquen el seu comportament en pujar la tarifa de l'aigua.

En la següent taula es troben els valors que pren la variable estalvi segons el preu de l'aigua i la renda de l'habitatge.

Taula 3-8: Estalvi dels agents habitatge segons el tipus de renda i la tarifa de l'aigua

Renda	Tarifa de l'aigua (€/dia)	Factor d'estalvi[1]
Baixa	0.60	1
	0.90	0.92
	1.20	0.85
Mitja	0.60	1
	0.90	0.95
	1.20	0.90

[1]Els valors de la taula són els que prenen aquestes variables per defecte, en el cas que canviï, s'indicarà en la simulació.

Càlcul del consum d'aigua dels agents habitatge

Un cop esmentades les propietats i els comportaments que poden prendre els habitatges, es presenta la següent equació que utilitza el programa per a calcular el consum d'aigua:

Equació 3-1: Càlcul del consum de l'aigua dels agents habitatge:

$$Disponibilitat = Disponibilitat - (Consum\ diari \cdot Multiplicador\ renda \cdot \\ \cdot Multiplicador\ eco \cdot Estalvi)$$

La variable disponibilitat és la quantitat d'aigua que hi ha en el tanc en cada iteració, que es veu modificada tant per les sortides com per les entrades del sistema.

El model pregunta als agents habitatge a cada iteració quin comportament prenen per a cadascuna de les quatre variables (consum-diari, multiplicador-renda, multiplicador-eco i estalvi) per poder fer el càlcul de la disponibilitat per cada dia.

3.3.2 Indústria

Els segons agents del sistema són els de les indústries. Per a cada tipus d'indústria s'assigna un agent diferent i, com s'ha comentat anteriorment, els tipus d'indústries que s'han seleccionat en el model de la ciutat hipotètica han estat les de les activitats econòmiques que es troben a Tordera.

En la següent taula es pot observar els agents que hi ha, el nombre i el tipus d'activitat econòmica que representen:

Taula 3-9: Agents relacionats amb les activitats econòmiques, nom de l'agent, nombre i activitat a la que pertany:

Agent	Nombre	Activitat econòmica
Farmacèutiques	5	Producció de medicaments i principis actius
Colorants	2	Producció de colorants i blanquejants òptics
Llet	2	Ramaderia per producció de llet
Bestiar[1]	3	Escorxador
Arts gràfiques	1	Impressió de paper decoratiu
Oficines	100	Oficines en general

[1]L'agent anomenat "bestiar" es refereix a indústries relacionades amb el bestiar, com és el cas dels escorxadors.

Els sis tipus d'agents diferents tenen les mateixes propietats, tot i que per cadascun d'ells són diferents, així com el seu comportament. Les propietats dels agents indústria són el consum diari i l'estalvi.

Consum de la indústria

Segons el tipus d'activitat econòmica el consum d'aigua canvia, per aquelles activitats econòmiques en què l'aigua és un material molt utilitzat en el procés de producció el consum diari serà més elevat.

En l'annex: *Càlculs dels consums dels agents indústria* es pot trobar com s'ha calculat els consums d'aigua per a cadascun dels agents, cal remarcar que aquests valors són aproximats i vàlids pel model hipotètic que s'estudia, tot i que s'ha intentat que siguin valors admissibles amb el consum real.

Els agents indústria prenen valors dins un rang, de manera que el consum és diferent per cadascun dels agents de la mateixa activitat econòmica i per a cada pas de simulació, aquesta decisió s'ha pres per intentar ajustar la simulació a un comportament real, ja que no totes les indústries del mateix sector consumeixen la mateixa quantitat d'aigua, així com el consum varia entre els dies de producció.

En la següent taula es troben els consum per les diferents activitats econòmiques.

Taula 3-10: Rangs dels consum diaris segons el tipus d'agent'

Agent	Consum diari (m^3/dia)
Farmacèutiques	[70, 90]
Colorants	[50, 60]
Llet	[15, 20]
Bestiar	[8, 10]
Arts gràfiques[1]	[30, 40]
Oficines[1]	[0.5, 1.5]

[1] Els agents d'arts gràfiques i oficines es considera que els caps de setmana el seu consum és 0, perquè els caps de setmana romanen tancats, la seva activitat es duu a terme només entre setmana. La resta dels agents consumeixen aigua al llarg de tota la setmana.

Estalvi de la indústria

L'altra propietat dels agents indústria és l'estalvi, com trobem en els habitatges. En el cas de les indústries, però, l'estalvi no dependrà del preu de l'aigua, s'ha cregut que aquesta variable no té suficient pes en l'àmbit industrial per a modificar els processos de producció, per aquest motiu, s'ha decidit que l'estalvi dependrà de la disponibilitat d'aigua.

L'estalvi vindrà imposat per l'ajuntament de la nostra ciutat hipotètica, s'imposa un tant per cent de reducció en el consum, com menys aigua hi hagi disponible més restrictiu és l'ajuntament amb les mesures.

L'estalvi és un multiplicador que modifica el consum diari dels agents, en les següents taules es pot veure els diferents valors que pren la variable segons la disponibilitat d'aigua.

Taula 3-11: Valors que pren la variable quan la disponibilitat de l'aigua es troba per sobre els 100,000 m3

Agent	Valor variable estalvi
Farmacèutiques	1
Colorants	1
Llet	1
Bestiar	1
Arts gràfiques	1
Oficines	1

Taula 3-12: Valors que pren la variable quan la disponibilitat de l'aigua es situa entre els 100,000 m3 i 50,000 m3

Agent	Valor variable estalvi
Farmacèutiques	1
Colorants	1
Llet	0.9
Bestiar	0.9
Arts gràfiques	0.95
Oficines	0.8

Taula 3-13: Valors que pren la variable quan la disponibilitat de l'aigua cau dels 50,000 m3

Agent	Valor variable estalvi
Farmacèutiques	0.9
Colorants	0.9
Llet	0.75
Bestiar	0.75
Arts gràfiques	0.85
Oficines	0.65

Com es pot observar en les taules, els valors dels estalvis depenen de les activitats econòmiques dels agents, aquelles que requereixen més aigua pel procés productiu se'ls hi imposa un percentatge menor, també perquè el valor afegit del producte és major. En estat normal de disponibilitat d'aigua, per sobre els 100,000 m^3, no s'imposa cap reducció del consum perquè no es considera necessari des de l'ajuntament.

Els valors que prenen els estalvis han estat seleccionats segons la importància que té l'aigua en el procés de producció, per intentar que s'adaptin a la realitat i no afectin notòriament les empreses al seu balanç econòmic final. Es podria arribar a estudiar com afectarien aquestes imposicions de reducció del consum a les indústries i, si fins i tot, poden arribar a provocar el tancament d'alguna d'elles.

El comentat no afecta les oficines, com que l'ús d'aigua en elles no és significatiu en l'activitat econòmica, i com es reflecteix en els valors que poden prendre l'estalvi, es creu que podria reduir-se considerablement únicament duent a terme unes millors pràctiques del consum.

Càlcul del consum d'aigua dels agents indústria

Com en el cas dels agents habitatge, es presenta la següent equació que utilitza el programa per a calcular el seu consum d'aigua:

Equació 3-2: Càlcul del consum de l'aigua dels agents indústria:

$$Disponibilitat = Disponibilitat - (Consum\ diari \cdot Estalvi)$$

Per les indústries només afecta les dues característiques esmentades, que depenen principalment de tipus d'agent, la seva activitat econòmica. Aquesta equació es fa en cada iteració per a cadascun dels sis agents indústria.

4 Resultats

Es mostren els resultats obtinguts en l'estudi de la disponibilitat d'aigua d'una ciutat hipotètica mitjançant un model d'agents, utilitzant el programari NetLogo.

Per cadascun dels casos simulats es fa una simulació i per cadascuna d'elles es presenta el resultat en una figura on es pot veure l'evolució de la disponibilitat d'aigua al llarg d'un any i una taula on es mostren els valors de les variables a monitorar més importants; els habitatges que tenen comportament ecologista i els que no, el nombre d'habitatges que reben cadascuna de les tres possibles rendes (alta, mitja i baixa) i els habitatges en risc, que com s'ha comentat anteriorment, són aquells que no poden fer front al preu de l'aigua per la seva renda. La disponibilitat inicial i final també són valors que es mostraran, especialment important serà la disponibilitat final, ja que és la que hi hauria inicialment en el tanc si es volgués estudiar el cicle de l'any següent.

En les figures, en l'eix de les abscisses, es representa el temps en dies, amb separacions de trenta per poder fer el seguiment mensual de la disponibilitat.
En l'eix de les ordenades es representa l'aigua disponible en m^3, els marcadors són per cada 20,000 m^3, excepte per la simulació de la pluja que es fa cada 200,000 m^3.

A continuació es presenten les simulacions i els resultats obtinguts:

4.1 Simulació 1: Pluges del model

En aquesta primera simulació s'observa l'acumulació de les pluges que van caure a Tordera l'any 2023. Els valors que apareixen en la figura són els de l'annex *Dades de les pluges diàries* després de fer els càlculs que s'expliquen en l'apartat.

Per la resta de simulacions es limita el volum d'aigua que pot emmagatzemar a 200,000 m^3, és la capacitat màxima del tanc. En completar la seva capacitat, si el balanç de l'aigua que entra és positiu respecta la que es consumeix, la disponibilitat continuarà sent 200,000 m^3 fins que el consum sigui superior a la pluja.

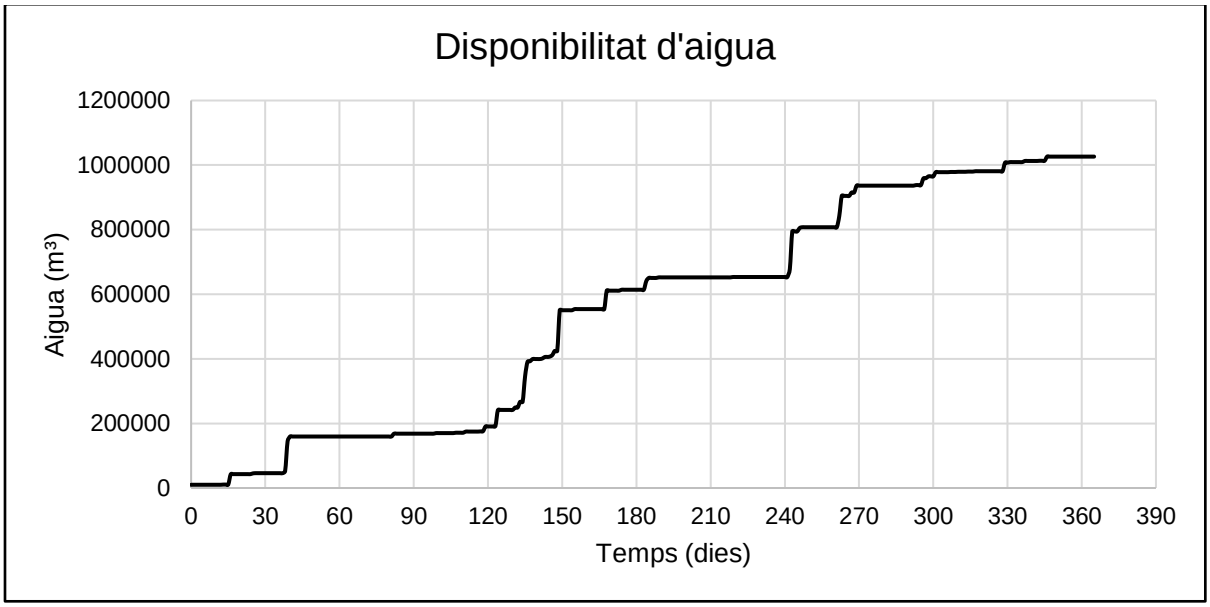

Figura 4-1: Disponibilitat d'aigua. Simulació 1: Pluges del model

Com es pot veure en la figura, al llarg de l'any hi ha una acumulació total d'1,000,000 m^3 d'aigua per al consum. Hi ha llargs períodes sense precipitacions, o poc importants, com en els trams del febrer a finals d'abril, els mesos de juliol i agost i a finals d'any. Les pluges més significatives es troben en els mesos de maig i setembre.

Aquest repartiment de les precipitacions afectarà considerablement el model, ja que llargs períodes amb poques precipitacions poden provocar l'entrada d'aigua de la dessaladora de manera continuada.

4.2 Simulació 2: Pluges i agents habitatge

En la segona simulació s'afegeixen els agents habitatge. Cal recordar que els habitatges segueixen la distribució de la densitat de la *Taula 3-1* i la probabilitat per la distribució de les rendes és la de la *Taula 3-6*Taula 3-7 i la de la *Taula 3-7*. L'estalvi dels habitatges segons el preu de l'aigua no està activat en aquesta simulació, així com el comportament ecològic. En aquesta simulació el consum dels habitatges només depèn de la seva densitat de població i el tipus de renda que rebin. L'evolució és la següent:

Taula 4-1: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 2: Pluges i agents habitatge

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	44,650
Habitatges renda alta	687
Habitatges renda mitja	4,819
Habitatges renda baixa	1,335
Actuacions de la dessaladora	1

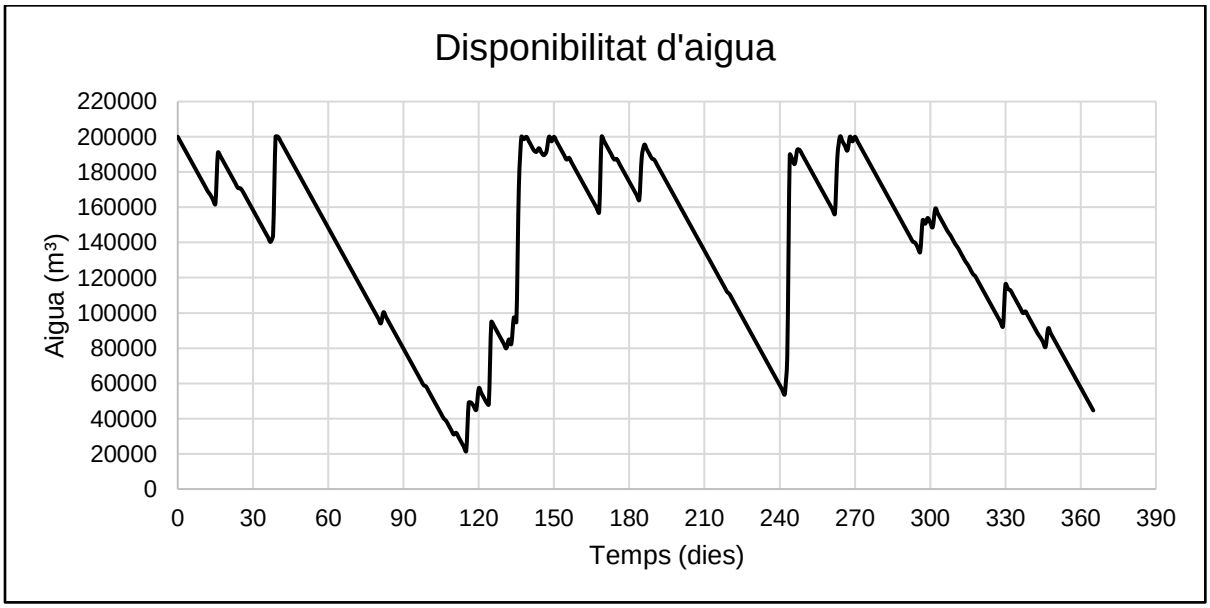

Figura 4-2:Disponibilitat d'aigua. Simulació 2: Pluges i agents habitatge

Amb l'afegit dels agents habitatge i el límit de volum del tanc, en aquesta simulació ja es pot veure el resultat del balanç de l'aigua. Els habitatges sols ja provoquen una entrada d'aigua de la dessaladora a finals del mes d'abril, però per la resta de l'any la disponibilitat és suficient per no requerir-ne més.

4.3 Simulació 3: Pluges, agents habitatge i agents indústria

En la tercera simulació s'afegeixen els altres agents del model, les indústries. El nombre d'agents de cada tipus per aquesta simulació i per les que segueixen, són els que es troben en la *Taula 3-9*. Els estalvis dels diferents agents segons el nivell de l'aigua i la tarifació no estan habilitats en aquesta simulació.

En afegir els agents indústria, el consum d'aigua augmenta uns 300,00 m^3 al llarg de l'any.

Taula 4-2:Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 3: Pluges, agents habitatge i agents indústria

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	22,151
Habitatges renda alta	693
Habitatges renda mitja	4,799
Habitatges renda baixa	1,349
Actuacions de la dessaladora	4

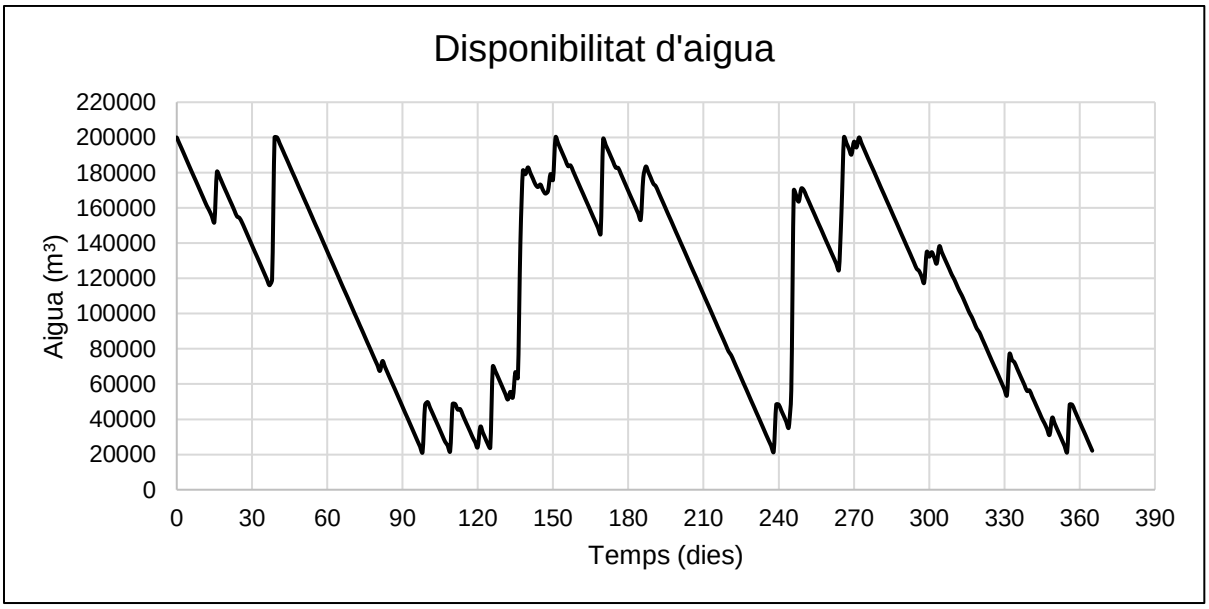

Figura 4-3: Disponibilitat d'aigua. Simulació 3: Pluges, agents habitatge i agents indústria

Com es pot veure, en tenir ja tots els agents en el model l'aigua de les precipitacions és menys capaç de mantenir la disponibilitat mínima i es necessita l'entrada auxiliar de la dessaladora. En acabar l'any la disponibilitat és molt propera a la crítica.

4.4 Simulació 4: Estalvi agents habitatge segons el preu i comportament ecologista

En la quarta simulació s'introdueix la tarifació, segons el preu de l'aigua els agents habitatge ajusten el seu consum, segons els nivells i valors de la *Taula 3-8*.

També s'activa la propietat dels habitatges que poden prendre comportament ecologista i estalviar aigua, reduint el consum quan ho siguin, la probabilitat de ser ecologistes és d'un 15%, mentre que l'estalvi d'aigua per ser-ho és del 10%.

Taula 4-3: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 4: Estalvi agents habitatge segons el preu i el comportament ecologista

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	31,874
Habitatges renda alta	681
Habitatges renda mitja	4,798
Habitatges renda baixa	1,362
Habitatges en risc	285
% habitatges en risc	4.16
Habitatges amb comportament ecologista	878
% habitatges ecologista	12.83
Actuacions de la dessaladora	4

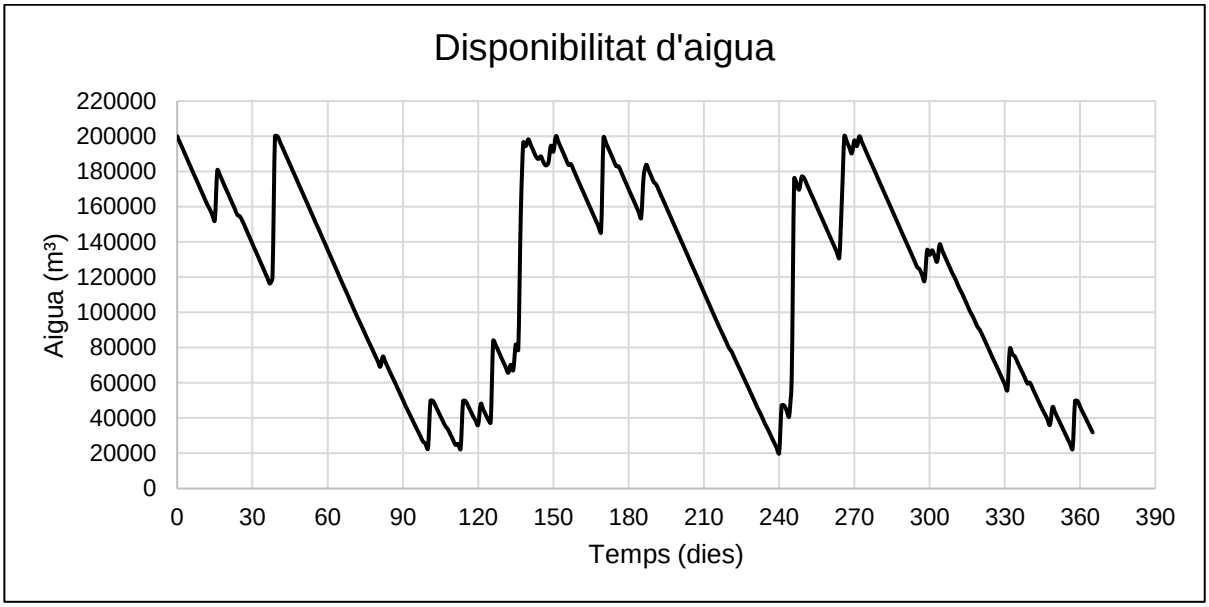

Figura 4-4: disponibilitat d'aigua. Simulació 4: Estalvi agents habitatge segons el preu i comportament ecologista

Observant les figures *Figura 4-3* i *Figura 4-4* es pot veure que tot i que les actuacions de la dessaladora són les mateixes, en afegir el comportament ecològic i l'estalvi segons el preu, el consum es redueix lleugerament, els pendents del consum es desplacen cap a la dreta.

Com la probabilitat dels agents en reduir el consum pel comportament ecològic és de tan sols 15%, només un 12.83% de tots els habitatges l'apliquen, per això el canvi en els pendents del consum no és gaire notable.

Tot i el que s'ha comentat, la disponibilitat final d'aigua és superior que en l'anterior simulació i a principis de maig, en la figura de la simulació 4 no s'arriba a una disponibilitat propera a la crítica, cosa que sí que es veu en la simulació 3.

4.5 Simulació 5: Estalvi agents indústria segons la disponibilitat d'aigua

En la cinquena simulació s'afegeix el comportament dels agents indústria d'estalviar segons la disponibilitat d'aigua. El comportament ve marcat pels valors de les variables de la *Taula 3-11*, *Taula 3-12* i *Taula 3-13*.

Aquest seria el model de ciutat que s'ha preparat per a l'estudi tenint en compte totes les variables i comportaments. En les següents simulacions s'estudia el comportament del model davant de diferents canvis.

Taula 4-4:Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 5: Estalvi agents indústria segons la disponibilitat d'aigua

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	38,174
Habitatges renda alta	679
Habitatges renda mitja	4,825
Habitatges renda baixa	1,337
Habitatges en risc	276
% habitatges en risc	4.03
Probabilitat comportament ecologista	15%
Habitatges amb comportament ecologista	928
% habitatges ecologista	13.56
Actuacions de la dessaladora	4

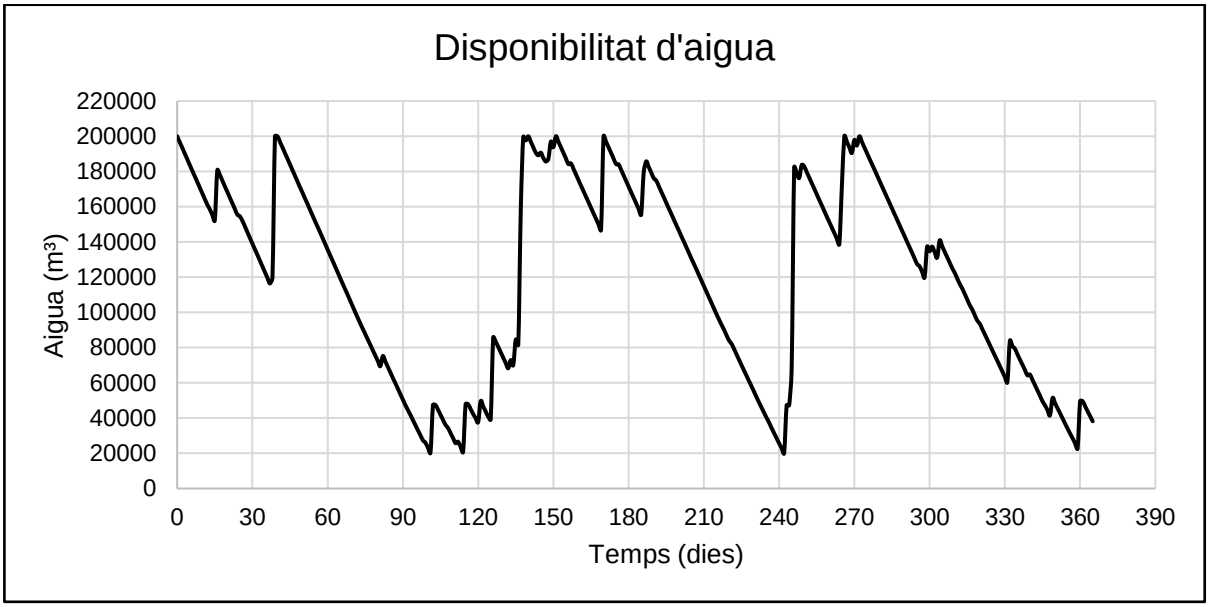

Figura 4-5: Disponibilitat d'aigua. Simulació 5: Estalvi agents indústria segons la disponibilitat d'aigua

Els canvis que es poden observar en la *Figura 4-5* respecte a la *Figura 4-4* són com en la simulació anterior, petits detalls en el pendent del consum i lleugers desplaçaments d'aquests cap a la dreta. Els estalvis de les indústries són petits, però ajuden a reduir el consum global del sistema, tot i que les actuacions de la dessaladora són les mateixes.

Com en el cas anterior, la disponibilitat final també millora.

4.6 Simulació 6: Agents més ecologistes

En la sisena simulació, es suposa un augment del nombre dels habitatges que prenen consciència de la importància del consum responsable de l'aigua, la probabilitat que els agents prenguin mesures per reduir el seu consum passa del 15% al 70%. L'estalvi que realitzen respecte als que no reben l'estat d'ecologista es manté en un 10%.

Taula 4-5: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 6: Agents més ecologistes

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	20,922
Habitatges renda alta	653
Habitatges renda mitja	4,836
Habitatges renda baixa	1,352
Habitatges en risc	291
% habitatges en risc	4.25
Habitatges amb comportament ecologista	4,347
% habitatges ecologista	63.54
Actuacions de la dessaladora	1

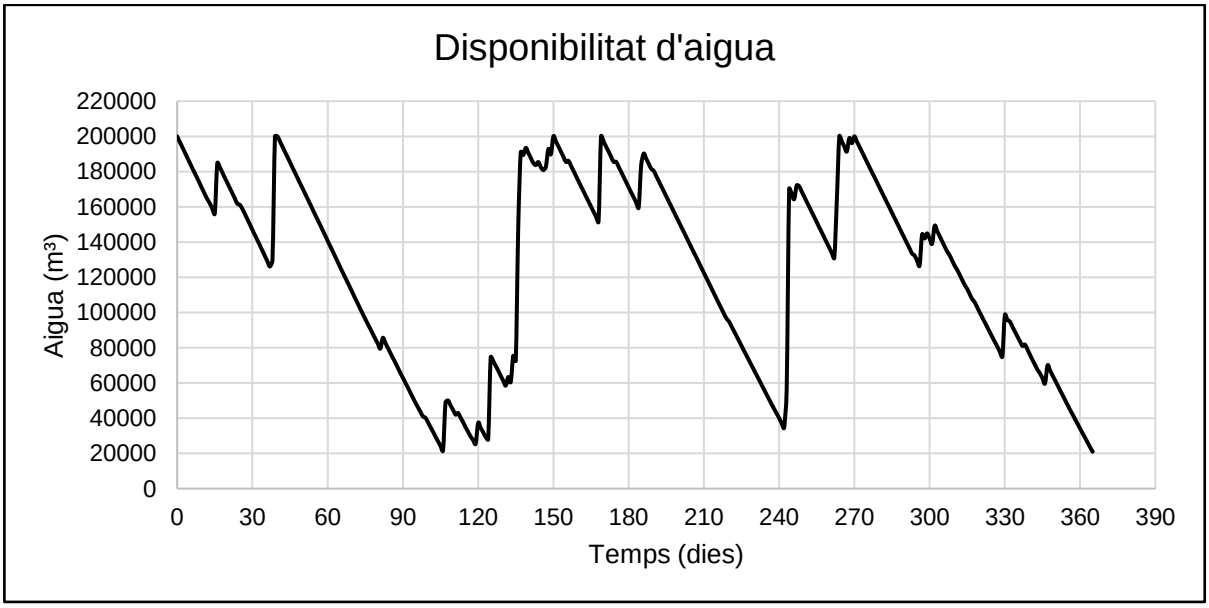

Figura 4-6: Disponibilitat d'aigua. Simulació 6: Agents més ecologistes

En aquesta figura sí que podem veure clarament l'impacte de l'augment de la probabilitat del comportament ecològic. Les actuacions de la dessaladora es redueixen a una sola, encara que la disponibilitat final és pràcticament la límit.

4.7 Simulació 7: Aigua inicial reduïda

En aquesta simulació es redueix la disponibilitat d'aigua, el tanc comença amb la meitat d'aigua de la seva capacitat, 100,000 m^3. S'estudia com afecta aquest canvi en el model.

Taula 4-6: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 7: Aigua inicial reduïda

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	100,000
Disponibilitat final (m^3)	44,796
Habitatges renda alta	688
Habitatges renda mitja	4,769
Habitatges renda baixa	1,384
Habitatges en risc	382
% habitatges en risc	5.58
Habitatges amb comportament ecologista	923
% habitatges ecologista	13.49
Actuacions de la dessaladora	6

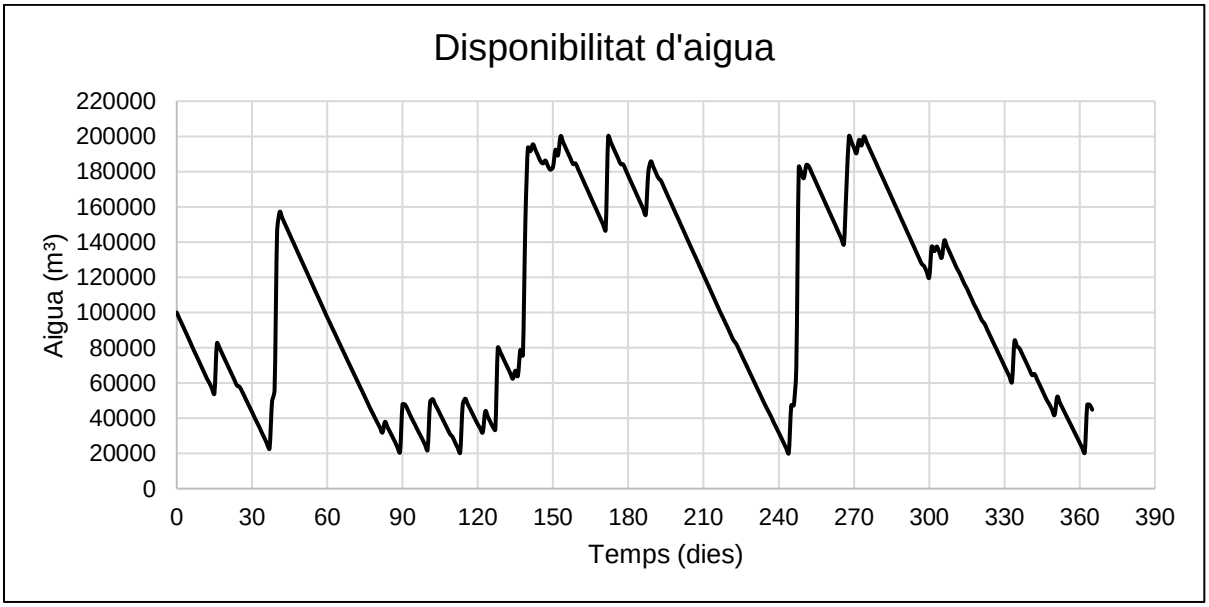

Figura 4-7: Disponibilitat d'aigua. Aigua inicial reduïda

En reduir l'aigua inicial a la meitat, la dessaladora ha de proporcionar aigua més sovint, especialment en el mes d'abril, on no hi ha pluges i només es consumeix aigua de la dessaladora. Les pluges acumulades abans de l'estiu, especialment al maig, permeten recuperar la totalitat de la disponibilitat del tanc i no haver de recórrer a la dessaladora més de dues vegades a finals d'any.

4.8 Simulació 8: Canvi en la distribució de la renda

En la vuitena simulació, es modifica la distribució inicial de la renda dels agents habitatge. La nova distribució és: Renda alta 20%, renda mitjana 40% i renda baixa 40%.

Taula 4-7:Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 8: Canvi en la distribució de la renda

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	32,628
Habitatges renda alta	1,380
Habitatges renda mitja	2,790
Habitatges renda baixa	2,671
Habitatges en risc	601
% habitatges en risc	8.78
Habitatges amb comportament ecologista	843
% habitatges ecologista	12.32
Actuacions de la dessaladora	4

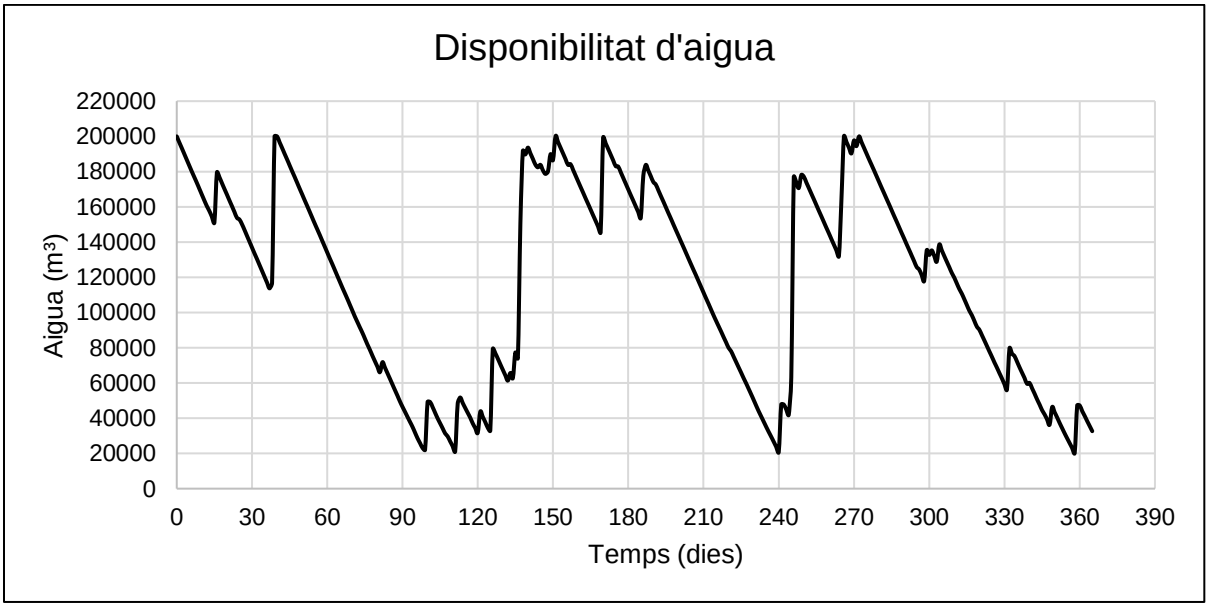

Figura 4-8: Disponibilitat d'aigua. Canvi en la distribució de la renda

La figura que s'obté en aquest cas és molt semblant a la de la simulació 5, *Figura 4-5*, pel fet que en augmentar tant els habitatges de renda alta com baixa, es compensen els seus consums. El que és interessant en aquesta simulació és veure que en canviar la distribució de les rendes, i augmentar els habitatges de renda baixa, augmenten també el nombre d'habitatges en risc, arribant a ser quasi un 10% del total d'habitatges.

4.9 Simulació 9: Reducció del 50% dels agents habitatge

En la novena simulació es redueix a la meitat la quantitat d'agents habitatge. Per aquest cas hi ha un total de 3,420 habitatges, el que farà que el consum d'aigua anual també es redueixi fins a uns 400,000 m^3, aproximadament.

Taula 4-8: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 9: Reducció del 50% dels agents habitatge

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	106,474
Habitatges renda alta	339
Habitatges renda mitja	2,366
Habitatges renda baixa	715
Habitatges en risc	0
% habitatges en risc	0
Habitatges amb comportament ecologista	493
% habitatges ecologista	14.41
Actuacions de la dessaladora	0

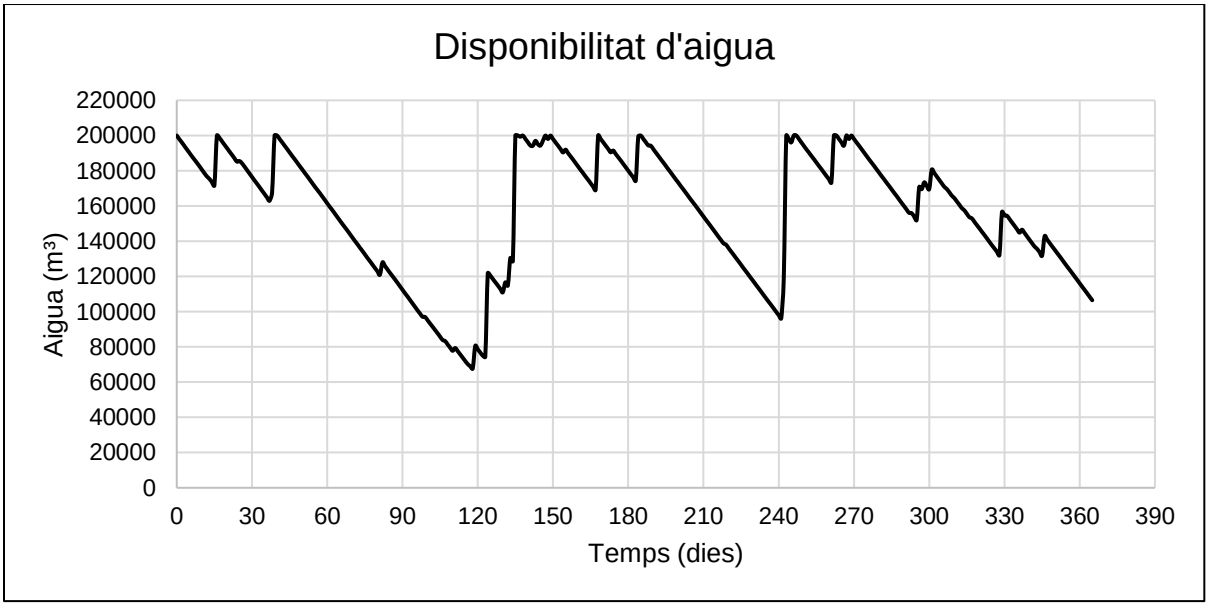

Figura 4-9: Disponibilitat d'aigua. Simulació 9: Reducció del 50% dels agents habitatge

Com es podia esperar, una disminució tan gran dels consumidors domèstics provoca que el sistema estigui sempre amb disponibilitats d'aigua molt per sobre del risc, generalment per sobre del 50% del tanc. Aquests fets provoquen que el preu de l'aigua es mantingui en el preu fix i que no hi hagi cap agent que tingui problemes per pagar-la.

4.10 Simulació 10: Augment del 20% dels habitatges

En aquest cas, s'augmenta el nombre dels agents habitatge un 20%. El nombre total d'habitatges és de 8,210. Aquests és un cas que es podria arribar a donar en la ciutat, per tant, és interessant veure com actua el model davant aquest canvi.

Taula 4-9: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 10: Augment del 20% dels habitatges

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	37,036
Habitatges renda alta	809
Habitatges renda mitja	5,830
Habitatges renda baixa	1,571
Habitatges en risc	528
% habitatges en risc	7.72
Habitatges amb comportament ecologista	1,079
% habitatges ecologista	13.14
Actuacions de la dessaladora	7

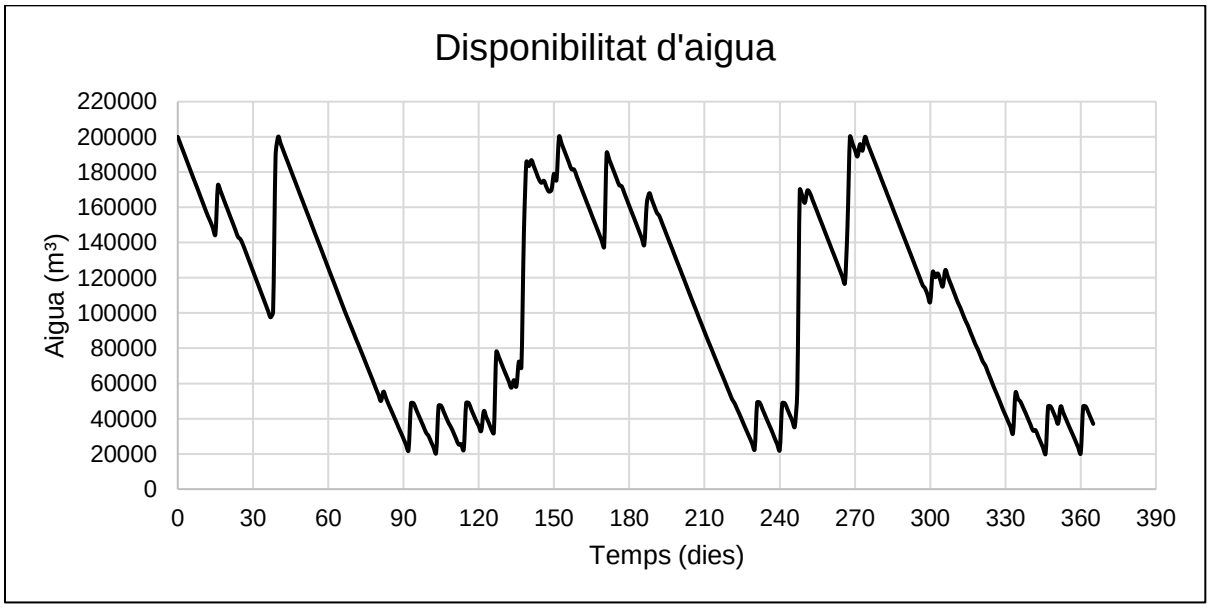

Figura 4-10: Disponibilitat d'aigua. Simulació 10: Augment del 20% dels habitatges

En augmentar els habitatges es veu com en els tres períodes de menys pluges el model necessita l'entrada auxiliar de la dessaladora, el que fa que el preu de l'aigua augmenti durant més temps i acaba provocant que hi hagi més habitatges en risc que no poden fer front al pagament.

4.11 Simulació 11: Estalvis agents activats des de l'inici

En l'onzena simulació s'estudia la disponibilitat d'aigua en la ciutat en un escenari on des de l'inici els agents habitatge estalvien com en la *Taula 3-8* i els agents indústria com en la *Taula 3-12* i la *Taula 3-13*. Aquesta simulació pretén estudiar l'impacte de les mesures d'estalvi des d'un inici, sense esperar que la disponibilitat d'aigua quedi per sota de la meitat i el seu preu es vegi afectat.

Taula 4-10: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 11: Estalvis agents activats des de l'inici

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	47,127
Habitatges renda alta	690
Habitatges renda mitja	4,833
Habitatges renda baixa	1,318
Habitatges en risc	201
% habitatges en risc	2.93
Habitatges amb comportament ecologista	919
% habitatges ecologista	13.43
Actuacions de la dessaladora	3

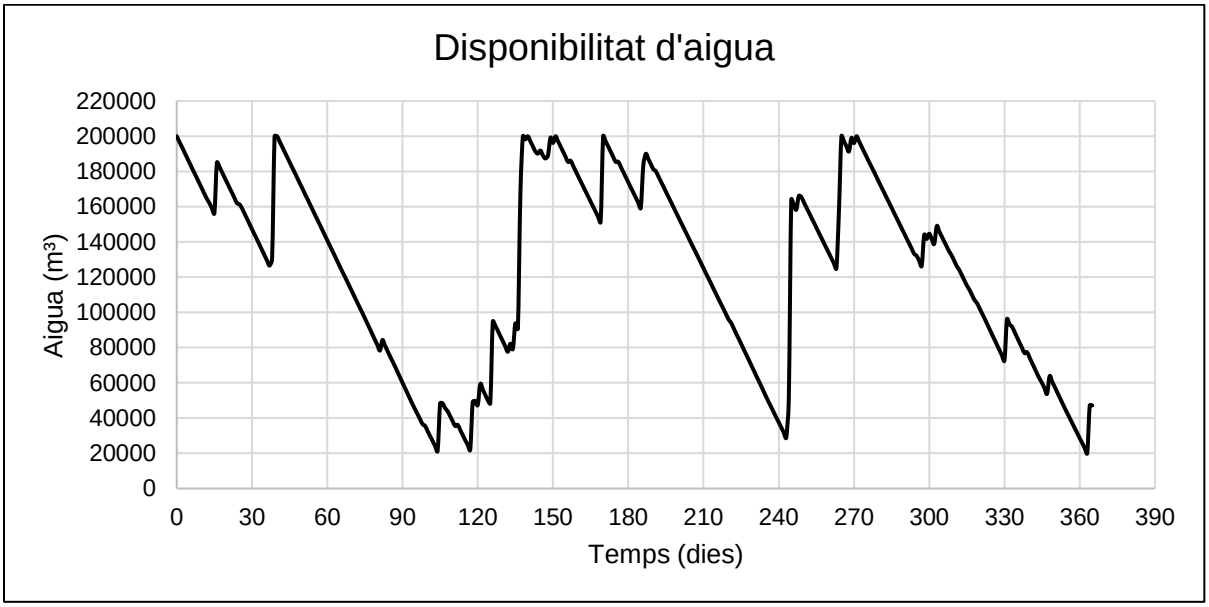

Figura 4-11: Disponibilitat d'aigua. Simulació 11: Estalvis agents activats des de l'inici

En activar els estalvis des d'un inici es pot veure com tenen un impacte considerable en el sistema, es redueix el nombre d'actuacions respecte a la simulació 5.

4.12 Simulació 12: Estalvis des de l'inici i més probabilitat ecologista

En aquesta simulació els estalvis funcionen igual que en l'anterior, s'afegeix l'increment de la probabilitat de que els habitatges preguin comportament ecologista com en la simulació número 6, la probabilitat augmenta al 70%.

Taula 4-11: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 12: Estalvis des de l'inici i més probabilitat ecologista

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	35,038
Habitatges renda alta	686
Habitatges renda mitja	4,758
Habitatges renda baixa	1,397
Habitatges en risc	187
% habitatges en risc	2.73
Habitatges amb comportament ecologista	4,362
% habitatges ecologista	63.76
Actuacions de la dessaladora	1

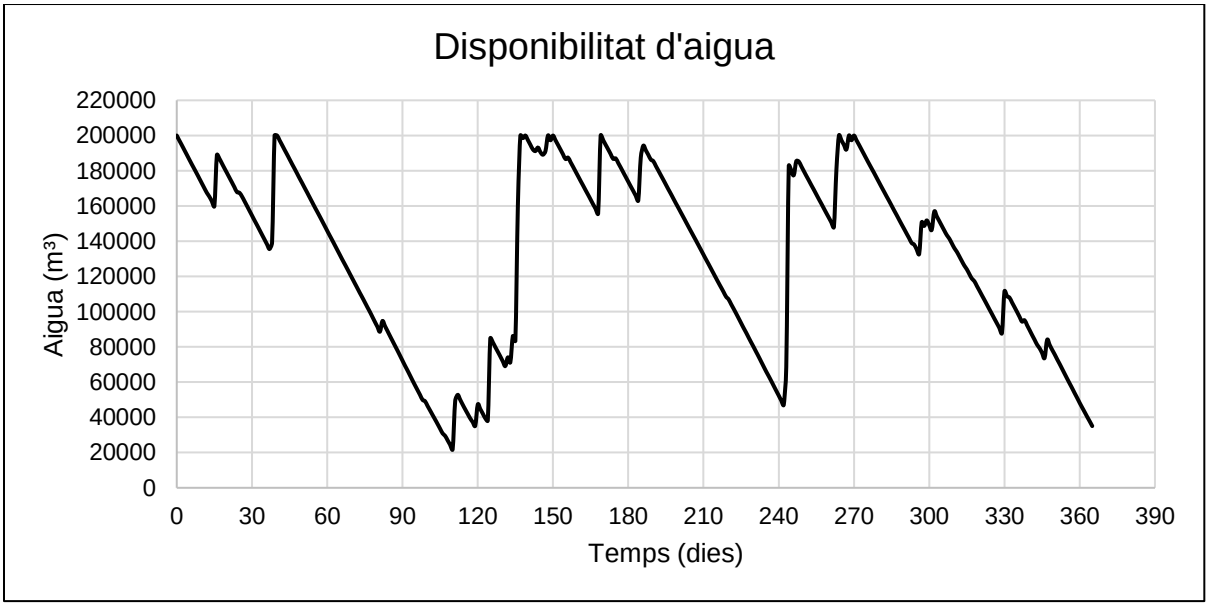

Figura 4-12: Disponibilitat d'aigua. Simulació 12: Estalvis des de l'inici i més probabilitat ecologista

En la figura es veu com l'augment del comportament ecològic millora la disponibilitat d'aigua al llarg de l'any, la dessaladora només es necessita un cop en tot l'any. En els trams de poca pluja és visible com només s'arriba a valors propers al límit en l'actuació de la dessaladora i a finals d'any, senyal que el consum s'ha reduït en comparació amb altres simulacions. Aquest estalvi també millora el percentatge d'habitatges en risc.

4.13 Simulació 13: Disminució del preu fix

En la següent simulació s'estudia el comportament del model en reduir la tarifa fixa del preu un 33%, el preu fix és de 0.2 €/dia.

Taula 4-12: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 13: Disminució del preu fix

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	30,396
Habitatges renda alta	667
Habitatges renda mitja	4,837
Habitatges renda baixa	1,337
Habitatges en risc	0
% habitatges en risc	0
Habitatges amb comportament ecologista	885
% habitatges ecologista	12.93
Actuacions de la dessaladora	4

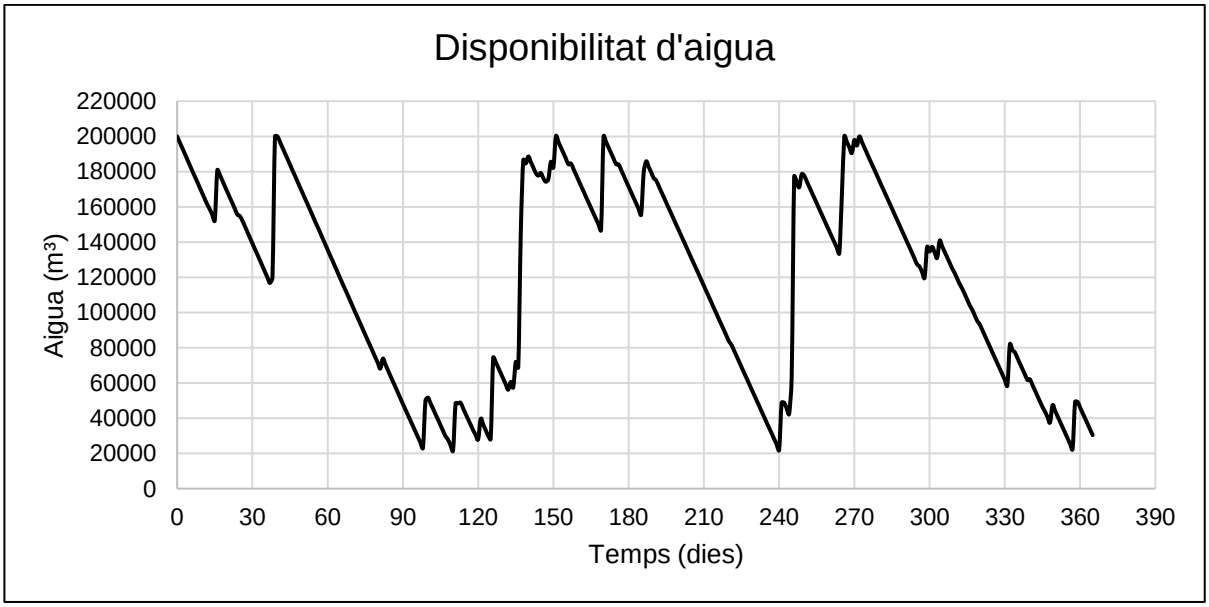

Figura 4-13: Disponibilitat d'aigua. Simulació 13: Disminució del preu fix.

Es pot observar en la figura que el consum augmenta lleugerament comparat amb la *Figura 4-5,* ja que en reduir el preu els habitatges no estalvien; tot i això, la diferència no és significativa, el que si ho és, és la no presència d'habitatges en risc, a causa de la notable reducció del preu, tots els agents poden pagar la tarifació.

4.14 Simulació 14: Reducció de la pluja

En la catorzena simulació es redueix un 50% les pluges que entren en el sistema. S'estudia aquest cas perquè es creu un possible escenari en el futur, per culpa del canvi climàtic que es pateix i la creixent possibilitat de llargues etapes sense pluja, o amb pluges poc intenses.

Taula 4-13: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 13: Reducció de la pluja

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	47,604
Habitatges renda alta	654
Habitatges renda mitja	4,751
Habitatges renda baixa	1,436
Habitatges en risc	607
% habitatges en risc	8.88
Habitatges amb comportament ecologista	915
% habitatges ecologista	13.37
Actuacions de la dessaladora	13

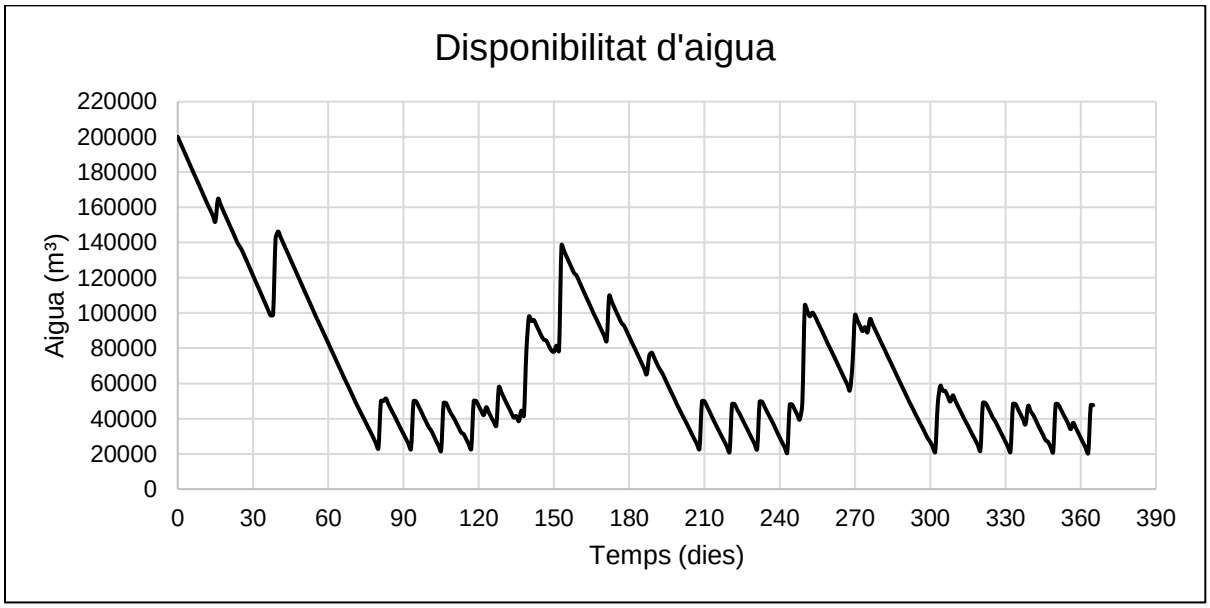

Figura 4-14: Disponibilitat d'aigua. Simulació 14: Reducció de la pluja

La reducció de la quantitat de pluja caiguda a la ciutat al 50% provoca un gran augment d'actuacions de la dessaladora, com era d'esperar, i també un gran augment dels habitatges en risc. Els períodes amb poques pluges s'accentuen per la reducció de les pluges i en les tres etapes es concentren 13 actuacions de la dessaladora. Aquest cas no és sostenible, es decideix fer una altra simulació per intentar trobar una solució.

4.15 Simulació 15: Augment de l'entrada de la dessaladora

En la quinzena simulació, s'estudia el comportament de la ciutat en les condicions de pluja de l'anterior. En rebre un 50% menys de pluja, es decideix augmentar l'aigua que aporta la dessaladora en arribar al nivell crític de 20,000 m^3, la dessaladora per aquest cas aporta 60,000 m^3, el doble que en la resta de simulacions. La decisió es pren per a intentar reduir el nombre de vegades que la dessaladora ha d'actuar per la falta d'aigua.

Aquest canvi implica que en baixar dels 80,000 m^3 (suma de l'aigua que introdueix la dessaladora i el nivell crític) s'aplica la tarifació més cara per l'aportació de la dessaladora

Taula 4-14: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 15: Augment de l'entrada de la dessaladora

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	75,036
Habitatges renda alta	699
Habitatges renda mitja	4,747
Habitatges renda baixa	1,395
Habitatges en risc	1,395
% habitatges en risc	20.39
Habitatges amb comportament ecologista	934
% habitatges ecologista	13.65
Actuacions de la dessaladora	6

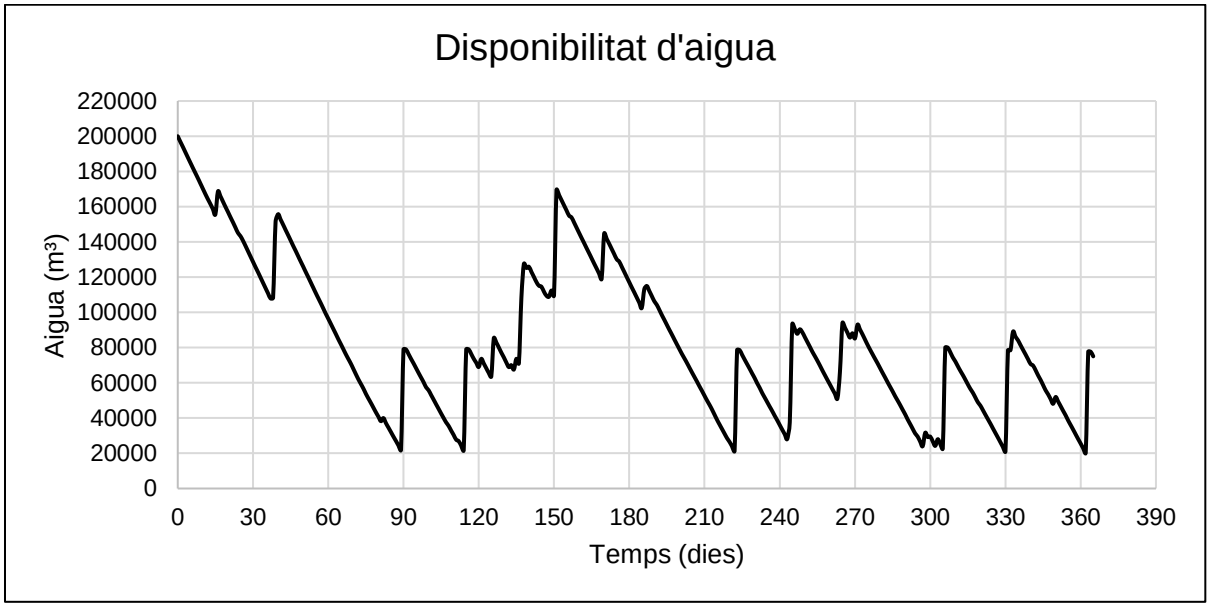

Figura 4-15: Disponibilitat d'aigua. Simulació 15: Augment de l'entrada de la dessaladora

S'aconsegueix reduir a més de la meitat les actuacions de la dessaladora i, per tant, els habitatges en risc, aquest model seria més acceptable tot i que la disponibilitat és per sota de la meitat de la disponibilitat total al llarg de tota la simulació, cosa que no és gaire aconsellable.

4.16 Simulació 16: Ampliació del tanc

Un cop fets tots els casos que es volien estudiar, es realitza l'última simulació. En veure el comportament del model pels diferents escenaris estudiats, es vol estudiar com actuaria el sistema si el dipòsit tingués més capacitat. Es mantenen la resta de variables iguals que en la simulació tipus del model, únicament s'augmenta la disponibilitat del dipòsit a 250,000 m^3, aquests són els resultats.

Taula 4-15: Resultats de la sortida de la simulació. Simulació 16: Ampliació del tanc

Variable	Valor
Disponibilitat inicial (m^3)	200,000
Disponibilitat final (m^3)	44,326
Habitatges renda alta	638
Habitatges renda mitja	4,830
Habitatges renda baixa	1,373
Habitatges en risc	187
% habitatges en risc	2.73
Habitatges amb comportament ecologista	972
% habitatges ecologista	14.21
Actuacions de la dessaladora	1

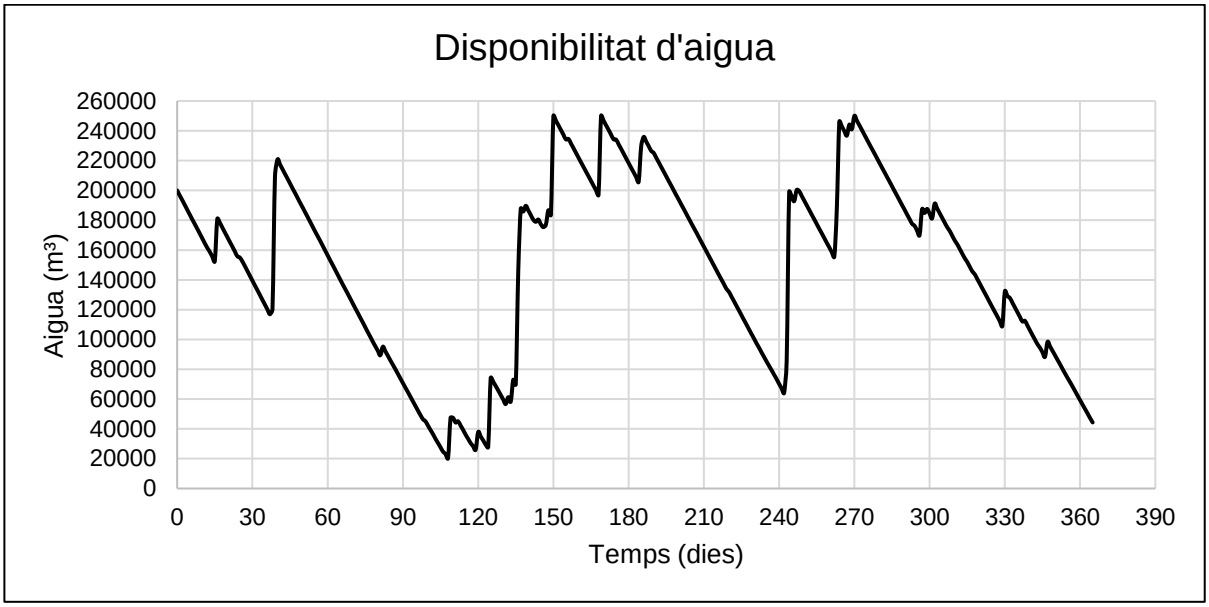

Figura 4-16: Disponibilitat d'aigua. Simulació 16: Ampliació del tanc

Com es pot observar en la figura, la major capacitat del dipòsit permet emmagatzemar molta més aigua de les pluges del més dels mesos de juny i octubre que en les anteriors simulacions es desaprofitava. Hi ha una reducció en el nombre d'habitatges en risc també.

5 Discussió

En l'apartat anterior, *Resultats*, s'han recopilat tots els resultats obtinguts al llarg de l'estudi, en forma de taules i figures, també s'han comentat breument aquests resultats. En aquest capítol es discutiran amb més profunditat.

Les primeres cinc simulacions són per presentar el model que s'ha creat per aquest estudi.

En la primera es pot veure l'entrada principal al sistema, la pluja. S'observa la distribució que segueix i quines quantitats s'acumulen. La pluja, com és l'entrada més important, és qui defineix en gran part com funciona la resta del model, tots els agents acaben depenent d'ella. Amb la *Figura 4-1* es pot intuir des d'un inici quins seran els trams de l'any més crítics, aquells on hi ha llargs períodes amb poca, o nul·la, pluja i que en futures simulacions es necessitarà d'una entrada auxiliar.

En les següents dues simulacions s'afegeixen els dos agents del model, els habitatges i les indústries respectivament. La figura obtinguda en la tercera simulació, *Figura 4-3*, pren la forma "tipus" del model i que prendran les pròximes simulacions amb algunes modificacions. Es pot observar com en afegir les indústries, tot i que el total d'aigua que consumeixen és molt menor en comparació amb els habitatges, seguint els valors de la *Taula 3-2* aproximadament, provoquen que el sistema arribi en més ocasions al nivell de disponibilitat crític, cosa que amb el consum dels habitatges únicament, només passa una vegada.

En la quarta i cinquena simulació s'introdueixen les propietats dels agents, amb els valors per defecte de les taules: *Taula 3-8*, *Taula 3-11*, *Taula 3-12*, *Taula 3-13*. Entre ambdues simulacions s'observen petites diferències en la disponibilitat d'aigua de les figures, si ens fixem en els pics de la zona dels dies 100 i 130, aproximadament, es pot veure com en la *Figura 4-4* aquests es troben més amunt, hi ha més disponibilitat en el mateix punt de l'any. Tot i que les actuacions de la dessaladora són les mateixes (4) també es pot corroborar la millora en la disponibilitat d'aigua en comparar la quantitat final en el tanc, és superior per la cinquena simulació, com que l'entrada de la dessaladora ha estat més tard, el que significa que s'ha trigat més temps a arribar al nivell crític. La cinquena simulació és l'escenari de ciutat complet que s'ha dissenyat per aquest estudi.

A partir de la sisena simulació es comencen a estudiar diferents casos al que s'ha modelat per veure com actua el sistema davant els canvis. En aquest primer escenari s'estudia com afecta un augment considerable dels agents que tenen consciència ecològica i que cuiden el seu consum d'aigua. D'un 15% inicial, s'arriba a un 70% dels habitatges que prenen consciència de la importància de l'ús responsable de l'aigua, s'adopta la hipòtesi que gràcies a una campanya de sensibilització del bon ús de l'aigua a les llars duta a terme per l'ajuntament de la ciutat, els habitants comencen a tenir més cura del consum de l'aigua, fins a arribar a aquest percentatge de domicilis que estalvien el 10% de l'aigua total que consumeixen.

En fer aquest canvi, en la figura resultant es pot veure una considerable reducció de l'aigua usada, la dessaladora actua només un cop en tot l'any, tot i que en acabar la disponibilitat és molt propera a la crítica. Aquesta simulació és útil per veure com un petit estalvi per part de molts usuaris pot provocar un gran impacte la disponibilitat d'aigua.

En la setena simulació s'estudia el cas en què l'aigua del dipòsit inicial és la meitat de la seva capacitat. Com és d'esperar, en la figura es pot veure com aquest canvi provoca més actuacions de la dessaladora, especialment en la primera meitat de l'any abans que arribin les pluges intenses del mes de maig que recuperen l'estat de les simulacions anteriors de la disponibilitat. Es dupliquen les intervencions de la dessaladora en aquest període, el que provoca que els habitatges en risc augmentin, més temps on l'aigua és més cara.

En la vuitena simulació es modifica la distribució de les rendes dels habitatges, les noves probabilitats són: Renda alta 20%, renda mitjana 40% i renda baixa 40%. La *Figura 4-9* resultant és molt similar a la de la simulació 5, model base de la ciutat, això es deu al fet que en augmentar els habitatges amb renda alta i baixa, i reduir els de renda mitjana, els consums es compensen. El que si és destacable d'aquest cas és l'augment dels habitatges en risc, en duplicar la probabilitat dels habitatges de renda baixa el nombre d'habitatges en risc també ho fa. Més discret és la reducció en el tant per cent d'habitatges ecologistes en augmentar el nombre d'habitatges de renda alta, els quals no poden prendre el comportament.

En la novena simulació es redueixen els habitatges a la meitat, cas poc probable en la realitat, però que s'ha volgut estudiar per veure com respon el sistema davant una baixada considerable dels agents, quan està dimensionat pel doble. Com es pot veure en la *Figura 4-9,* el sistema de disponibilitat per aquesta nova ciutat està sobredimensionat, no és necessari un dipòsit tan gran per a fer front a les demandes d'aigua. Com és previsible, la dessaladora gairebé no es necessita i no hi ha habitatges en risc, només actua en una ocasió i durant uns vint dies, que és quan la disponibilitat cau per sota del nivell mitjà del tanc, tot i que els consums es mantenen alts pràcticament durant tot l'any, ja que habitatges i indústries redueixen els consum en baixar de la meitat de la disponibilitat màxima.

En la desena simulació s'estudia com es comporta el model davant un augment del 20% dels habitatges, la distribució de les rendes es manté. Com a resultat la dessaladora ha d'actuar fins en set ocasions, en els períodes de menys pluja com ha augmentat considerablement el consum de la ciutat, no pot fer front a la demanda amb la pluja que hi ha acumulada i una o dues participacions de la dessaladora. Com a conseqüència, el nombre d'habitatges en risc es dispara fins al 7.72%, un de cada tres habitatges de renda baixa acaben convertint-se en habitatges en risc que no poden fer front al pagament de l'aigua. Per aquest model seria necessari trobar una manera de reduir el preu de l'aigua per evitar el nombre d'habitatges en risc.

En l'onzena classificació s'activen els estalvis dels agents habitatge i indústria des d'un inici, no és necessari arribar a la meitat de la disponibilitat, d'es d'un inici els agents estalvien, les indústries prenen els valors de la *Taula 3-12*. En fer aquesta modificació i comparant la *Figura 4-11* amb la *Figura 4-5,* és significant l'estalvi d'aigua que s'aconsegueix en comparar els pics de les zones amb menys pluges. Així com el nombre d'actuacions de la dessaladora, que es redueix a 3 i la tercera apareix els últims dies de l'any. Els habitatges en risc també disminueixen, de manera menys notable fins a un 2.93% del total.

En la dotzena simulació s'afegeix l'augment de la probabilitat de prendre consciència ecològica per part dels agents habitatge. Com s'ha pogut veure en la *Simulació 6: Agents més ecologistes*, aquest canvi sol ja comportava una millora important de la disponibilitat, ara es vol comprovar com actual el model l'addició del comportament estalviador dels habitatges i indústries. Com es pot esperar, la disponibilitat millora encara més que en la simulació anterior. La dessaladora només ha d'actuar un cop i la disponibilitat es manté per sobre del 25% durant tot l'any, exceptuant quan intervé la dessaladora. Per aquests motius els habitatges en risc també disminueixen fins al 2.73% del total. Aquesta simulació reforça la hipòtesi que un petit estalvi en la majoria dels agents provoca una gran millora en la disponibilitat d'aigua de la ciutat.

En la tretzena simulació s'estudia el comportament en reduir considerablement el preu de l'aigua a 0.2€/dia. El resultat obtingut en la figura és molt semblant a la de la simulació 5, en fixar-se detalladament en les dues figures, es pot observar com en la d'aquesta simulació, els pics de disponibilitat en els mesos de poques precipitacions són més baixos i es donen una mica abans en el temps. Aquests factors ens permeten determinar un major consum en aquest cas. És el que s'esperava, pel fet que en abaixar el preu els habitatges no entren en mode estalvi i consumeixen més aigua, també, com era d'esperar, no hi ha cap habitatge en risc.
En la catorzena simulació es vol veure com es comporta el model davant una reducció destacable, la meitat. Es creu que és interessant d'estudiar perquè és un possible escenari en el futur, pel canvi climàtic i les sequeres més importants i duradores que s'esperen. El resultat és una simulació amb una gran quantitat d'actuacions de la dessaladora, fins a tretze. Aquest indicador mostra clarament com el sistema no és viable, la disponibilitat és durant molts dies de l'any propera al nivell crític, provocant que fins a un 42% dels habitatges en renda baixa estiguin en situació de vulnerabilitat, també podria arribar a provocar majors restriccions a les indústries, restriccions que podrien comprometre seriosament en els processos de producció i arribar a provocar tancaments o reduccions de plantilla per poder fer front a les pèrdues. Per aquests motius es decideix fer una nova simulació per buscar una possible solució a aquest cas, per si un dia fos real.

En la simulació quinze duplica la quantitat d'aigua que entra al sistema la dessaladora, així com el nivell de disponibilitat en què els agents, tant habitatge com indústria, comencen a reduir el seu consum. Les dues mesures preses provoquen una millora del resultat obtingut, es redueix a més de la meitat les actuacions de la dessaladora, tot i que el nivell és per sota la meitat de la capacitat del dipòsit en molts dies de l'any.

En entrar molta més quantitat d'aigua de la dessaladora i el nivell on es multiplica per la part variable del preu és més amunt i que en ser de la dessaladora és més car, resulta un 100% dels habitatges amb distribució de renda baixa són avaluats com a risc. És necessari buscar una alternativa de tarifació de l'aigua per a aconseguir-la a un preu més assequible.

En la darrera simulació, es decideix estudiar la hipòtesi, què passaria si el dipòsit de disponibilitat d'aigua fos més gran, amb els resultats de les altres simulacions es creu que en posar un dipòsit més gran es solucionarien els problemes de disponibilitat, especialment en passar les pluges que hi ha a partir del mes de maig, que en les altres simulacions no s'aprofiten suficient. La resta de paràmetres són els de la simulació 5. Com es pot veure en la *Figura 4-16*, amb l'ampliació del dipòsit s'aconsegueix que la dessaladora només actuï una vegada just abans d'arribar al mes de maig, on les pluges permeten passar la resta de l'any, juntament amb les de setembre, sense necessitar més ajudes de l'entrada auxiliar. En augmentar la capacitat s'aprofiten més les pluges que cauen en els períodes de pluja. En acabar l'any, però, la disponibilitat final és propera al límit, ja que en els darrers tres mesos hi ha poques precipitacions. Amb aquesta simulació podem determinar que pel model estudiat una ampliació del dipòsit pot ser una bona solució per millorar la disponibilitat del tanc. S'aconsegueix reduir la quantitat d'habitatges en situació de vulnerabilitat gràcies a aquest canvi també.

6 Conclusions

Un cop s'han analitzat i discutit més profundament els resultats obtinguts en l'estudi, en aquest aparta s'esmenten les conclusions que se'n poden extreure.

Primer de tot, comentar que els objectius que s'havien plantejat en un inici s'han complert notablement. S'ha pogut plantejar un model de ciutat amb agents que interactuïn entre si i que actuïn segons una sèrie de comportament i variables externes a ells. Tot això utilitzant el programari NetLogo, que abans d'aquest estudi no s'havia treballat amb ell.

En segon lloc, de les simulacions podem concloure que les restriccions del consum de l'aigua tenen impacte en la disponibilitat. En aquelles simulacions on s'apliquen estalvis de l'aigua pel nivell de disponibilitat s'ha vist que un cop aplicades el consum disminueix, especialment en aquelles simulacions on s'apliquen des d'un inici. Tot i que aquestes restriccions les restriccions del primer nivell són d'un 10% o 15% a les indústries, quantitats que no afecten considerablement el procés productiu i que possiblement són assolibles mitjançant una millora del procés o dels equips que s'utilitzen.

En tercer lloc, aquelles simulacions on s'ha augmentat el comportament mediambiental dels habitants, quant a nombre de persones no a quantitat d'aigua estalviada, també s'ha vist una disminució gran del consum de l'aigua. Els agents amb comportament d'estalvi, només reduïen un 10% el seu consum, xifra més que assolible pels consumidors. Per tant, s'ha comprovat la importància de la conscienciació del bon ús de l'aigua i que els petits esforços de cada usuari poden tenir un gran impacte en el global.

En quart lloc, tot i el que s'ha comentat arran de la importància d'estalviar aigua, en l'estudi s'ha comprovat la importància que tenen les pluges en la disponibilitat de l'aigua. En les primeres simulacions ja es podia veure com llargs períodes sense pluja provocaven grans caigudes en la disponibilitat i en aquelles simulacions on s'ha reduït la quantitat d'aigua ploguda, s'ha vist com el sistema no era capaç de fer front a les demandes dels consumidors, només a través d'aigua provinent de la dessaladora, cosa que ens porta a la següent conclusió.

En cinquè lloc, la importància de trobar maneres alternatives de subministrar aigua a les xarxes de subministrament, a Catalunya recentment s'està impulsant la construcció de dessaladores per poder deixar de dependre tant de l'aigua de les pluges per al consum. És necessari trobar diferents vies d'aconseguir aigua apta pel consum per les sequeres més importants que s'esperen en el futur.

En sisè lloc, la importància de dimensionar correctament el dipòsit d'aigua del sistema Com s'ha pogut comprovar en la darrera simulació, augmentant lleugerament la capacitat del dipòsit es podia aprofitar millor l'aigua de les pluges, aconseguint una millora de disponibilitat al llarg de l'any, cosa que també ajuda a disminuir la tarifa de l'aigua i a reduir costos de generació d'aigua per al consum de vies alternatives com la dessaladora.

En setè i últim lloc, es vol comentar la importància de models com el d'aquest estudi per poder predir els comportaments de la disponibilitat d'aigua en les ciutats. El cas estudiat és hipotètic, però amb les eines utilitzades es podria arribar a simular més precisament una ciutat real mitjançant un projecte més exhaustiu.

7 Planificació

7.1 Diagrama de Gantt

En aquesta secció es mostra la planificació que ha seguit l'estudi, es fa mitjançant un diagrama de Gantt. Es mostren tots els processos que s'han dut a terme, el temps requerit per a completar-los, i l'ordre que s'ha seguit per a completar les accions.

S'ha usat el programari ProjectLibre per a la realització del diagrama de Gantt. Com es pot veure la *Taula 7-1*, hi ha cadascuna de les tasques i subtasques dutes a terme, la seva duració, data d'inici i acabament i les predecessores, és a dir, de quina tasca es depèn per a poder realitzar la següent. La taula s'extreu directament del programa.

En la *Figura 7-1* es mostra el diagrama de Gantt relacionat amb la mateixa informació ordenada de manera cronològica.

Taula 7-1: Tasques i subtasques necessàries per al desenvolupament de Treball Final de Grau

	Nombre	Duracion	Inicio	Terminado	Predecesores
1	**Treball final de Grau**	**139 days**	**1/02/24 8:00**	**13/08/24 17:00**	
2	**Elecció del projecte**	**17 days**	**1/02/24 8:00**	**23/02/24 17:00**	
3	Contacte amb la tutora	3 days	1/02/24 8:00	5/02/24 17:00	
4	Tria del projecte	14 days	6/02/24 8:00	23/02/24 17:00	3
5	**Plantejament del treball**	**26 days**	**11/03/24 8:00**	**15/04/24 17:00**	**2FS+10 days**
6	Definició l'abast del model	14 days	11/03/24 8:00	28/03/24 17:00	
7	Definició els objectius	5 days	29/03/24 8:00	4/04/24 17:00	6
8	**Cerca bibliogàfica**	**26 days**	**11/03/24 8:00**	**15/04/24 17:00**	**2**
9	Cerca d'informació	21 days	11/03/24 8:00	8/04/24 17:00	
10	Contrast informació	5 days	9/04/24 8:00	15/04/24 17:00	9
11	**Part experimental**	**65 days**	**16/04/24 8:00**	**15/07/24 17:00**	**8**
12	Familiarització amb el programa	7 days	16/04/24 8:00	24/04/24 17:00	
13	Programació models senzills	14 days	25/04/24 8:00	14/05/24 17:00	12
14	Addició noves característiques	30 days	15/05/24 8:00	25/06/24 17:00	13
15	Comprovació funcionament programa	7 days	26/06/24 8:00	4/07/24 17:00	14
16	Obtenció resultats	7 days	5/07/24 8:00	15/07/24 17:00	15
17	**Anàlisi i avaluació**	**14 days**	**16/07/24 8:00**	**2/08/24 17:00**	**11**
18	Anàlisi dels resultats	7 days	16/07/24 8:00	24/07/24 17:00	16
19	Discusió i conclusions	7 days	25/07/24 8:00	2/08/24 17:00	18
20	**Memòria**	**112 days**	**11/03/24 8:00**	**13/08/24 17:00**	**8SS**
21	Redacció memòria	105 days	11/03/24 8:00	2/08/24 17:00	
22	Revisió memòria	7 days	5/08/24 8:00	13/08/24 17:00	21
23	Entrega TFG	1 day	14/08/24 8:00	14/08/24 17:00	20

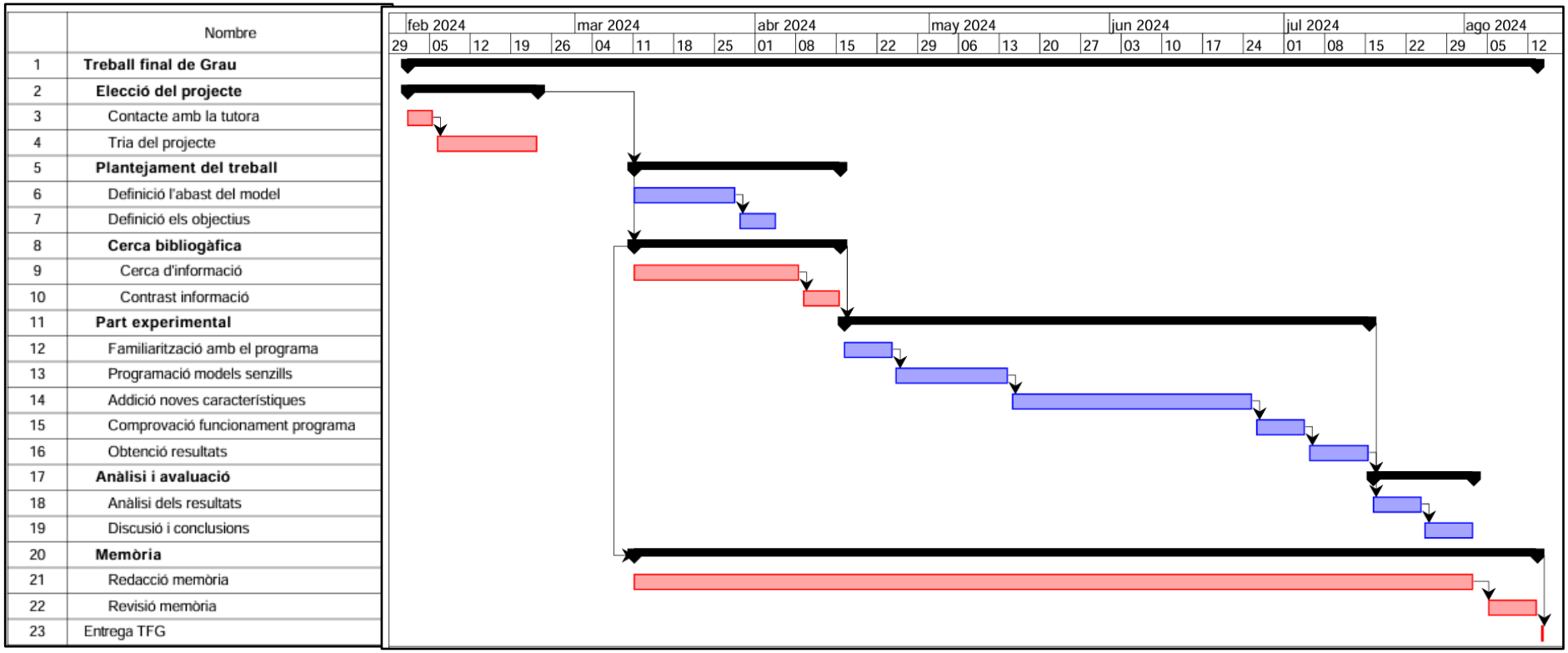

Figura 7-1: Diagrama de Gantt de la planificació del Treball Final de Grau

7.2 Pressupost

En l'apartat pressupost es presenta una recopilació dels costos associats a la realització de l'estudi. Es mostra la següent taula amb les despeses desglossades i el cos final del projecte:

Taula 7-2: Pressupost del Treball Final de Grau

Despesa	Concepte	Unitats	Preu unitari	Import total
1	Ordinador personal	1	800€	800€
2	Llicència anual Microsoft Office	1	69€	69€
3	Llicència NetLogo	1	0€	0€
4	Llicència ProjectLibre	1	0€	0€
5	Connexió mensual a internet	6	26€	156€
6	Hores personals dedicades al projecte	600	8€	4,800€
7	Hores dedicades per l'especialista	20	20€	400€
Total				6,225€

Com es pot veure en la taula, les principals despeses que hi ha en la realització d'aquest projecte són les hores dedicades en ell. Els materials emprats han estat l'ordinador, els programaris necessaris per redactar l'estudi i fer les simulacions del model, alguns d'aquests són gratuïts, i connexió a internet.

L'especialista ha estat la persona que ha donat suport en la matèria relacionada amb la programació del codi en NetLogo.

8 Bibliografia

1. *Idescat. El municipio en cifras. Tordera (Maresme)*. (n.d.). Retrieved March 11, 2024, from https://www.idescat.cat/emex/?id=082845&lang=es

2. *La red de distribución | Ens d'Abastament d'Aigua Ter-Llobregat*. (n.d.). Retrieved March 11, 2024, from https://www.atl.cat/es/la-red-de-distribucion_3776

3. *Desalinizadora de la Tordera | Ens d'Abastament d'Aigua Ter-Llobregat*. (n.d.). Retrieved March 11, 2024, from https://www.atl.cat/es/desalinizadora-de-la-tordera_3406

4. Catalana de, A., & Generalitat de Catalunya, A. (2021). *Estudi de volums d'aigua subministrats i captats a Catalunya*.

5. *INEbase / Agricultura y medio ambiente /Agua /Estadística sobre el suministro y saneamiento del agua / Últimos datos*. (n.d.). Retrieved March 14, 2024, from https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602

6. *Hogares por municipios y tamaño del hogar*. (n.d.). Retrieved March 14, 2024, from https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?tpx=59543&L=0

7. *Idescat. Anuari estadístic de Catalunya. Pluviometria. Precipitació mensual i anual. Comarques i Aran.* (n.d.). Retrieved March 16, 2024, from https://www.idescat.cat/indicadors/?id=aec&n=15195

8. Instituto Nacional de Estadística. (n.d.). *Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua-Año 2020*.

9. *NetLogo Home Page*. (n.d.). Retrieved April 16, 2024, from https://ccl.northwestern.edu/netlogo/

10. Stack Overflow - Where Developers Learn, Share, & Build Careers. (n.d.). Retrieved May 2, 2024, from https://stackoverflow.com/

11. *Factura de l'aigua i estructura de la tarifa. Agència Catalana de l'Aigua*. (n.d.). Retrieved March 20, 2024, from https://aca.gencat.cat/ca/laca/observatori-del-preu-de-laigua/factura-de-laigua-i-estructura-de-la-tarifa/index.html

12. *Bonificacions. Agència Catalana de l'Aigua*. (n.d.). Retrieved March 20, 2024, from https://aca.gencat.cat/ca/laca/observatori-del-preu-de-laigua/bonificacions/index.html

13. *Domèstic. Agència Catalana de l'Aigua*. (n.d.). Retrieved March 20, 2024, from https://aca.gencat.cat/ca/laca/canon-i-altres-tributs/canon-de-laigua/domestic/index.html

14. *Dades de consum. El portal de la sequera*. (n.d.). Retrieved March 290, 2024, from https://sequera.gencat.cat/ca/estat-actual/dades-consum/index.html

15. *Aesan - Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición*. (n.d.). Retrieved March 29, 2024, from https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/carne_productos_carnicos.htm

16. *Unidad de Ganado Mayor - UGM – Duroagro*. (n.d.). Retrieved May 17, 2024, from https://duroagro.es/unidades-de-ganado-mayor-ugm/

17. *Directive - 2000/60 - EN - Water Framework Directive - EUR-Lex*. (n.d.). Retrieved May 9, 2024, from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060

18. La Fageda. (n.d.). Retrieved May 17, 2024, from https://www.fageda.com/es/sabias-que-las-vacas-de-la-fageda-nos-dan-una-media-diaria-de-entre-34-y-35-litros-de-leche-por-vaca-y-dia/

19. Best Available Techniques Reference Document (BREFs): Food. Drink and Milk Industries. Institute for Prespective Technological Studies. Joint Research Centre. European Commission. 2006.

20. Best Available Techniques Reference Document (BREFs): Food. Drink and Milk Industries. Institute for Prespective Technological Studies. Joint Research Centre. European Commission. 2006.

21. Henze M, Harremoës P, Arvin E, la Cours Jansen J. Wastewater treatment: Biological and Chemical Processes. 3rd Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002.

9 Annexos

9.1 Dades de les pluges diàries

Es presenten les taules amb les dades de les pluges recollides per l'estació meteorològica de Tordera, gestionada pel Consell Comarcal del Maresme.

En les següents quatre taules es recopilen les dades de les pluges usades en l'entrada del sistema, en cadascuna es poden veure les pluges captades diàriament originalment per l'estació amb les unitats de L/m^2.

Per poder utilitzar les dades en el nostre model, es multiplica l'aigua recollida (L/m^2) per la superfície de la població que és de 84 km^2 i es fan les pertinents conversions per obtenir l'aigua que entra al sistema en m^3.

També s'aplica un factor d'escorrentia de 0.7, el 70% de l'aigua ploguda serà captada pel tanc de disponibilitat. Finalment, el valor obtingut es multiplica per un factor reductor per a poder adequar-lo al rang del model que es simula.

Taula 9-1: Dades de la pluja caiguda a Tordera al llarg de l'any 2023. Dades recollides l'estació meteorològica de Tordera, gestionada pel Consell Comarcal del Maresme

Data	Pluja (L/m^2)	Data	Pluja (L/m^2)	Data	Pluja (L/m^2)
01/01/2023	0	01/02/2023	0	01/03/2023	0
02/01/2023	0	02/02/2023	0	02/03/2023	0
03/01/2023	0	03/02/2023	0	03/03/2023	0
04/01/2023	0	04/02/2023	0	04/03/2023	0
05/01/2023	0	05/02/2023	0	05/03/2023	0
06/01/2023	0	06/02/2023	2.2	06/03/2023	0
07/01/2023	0	07/02/2023	31.4	07/03/2023	0
08/01/2023	0	08/02/2023	5	08/03/2023	0
09/01/2023	0	09/02/2023	0	09/03/2023	0
10/01/2023	0	10/02/2023	0	10/03/2023	0
11/01/2023	0	11/02/2023	0	11/03/2023	0
12/01/2023	0.2	12/02/2023	0	12/03/2023	0
13/01/2023	0	13/02/2023	0	13/03/2023	0
14/01/2023	0	14/02/2023	0	14/03/2023	0
15/01/2023	10.8	15/02/2023	0	15/03/2023	0
16/01/2023	0.2	16/02/2023	0	16/03/2023	0
17/01/2023	0	17/02/2023	0	17/03/2023	0
18/01/2023	0	18/02/2023	0	18/03/2023	0
19/01/2023	0	19/02/2023	0	19/03/2023	3
20/01/2023	0	20/02/2023	0	20/03/2023	0
21/01/2023	0	21/02/2023	0	21/03/2023	0
22/01/2023	0	22/02/2023	0	22/03/2023	0
23/01/2023	0	23/02/2023	0	23/03/2023	0
24/01/2023	0.8	24/02/2023	0	24/03/2023	0
25/01/2023	0.2	25/02/2023	0	25/03/2023	0
26/01/2023	0	26/02/2023	0	26/03/2023	0
27/01/2023	0	27/02/2023	0	27/03/2023	0
28/01/2023	0	28/02/2023	0	28/03/2023	0
29/01/2023	0			29/03/2023	0
30/01/2023	0			30/03/2023	0
31/01/2023	0			31/03/2023	0

Taula 9-2: Dades de la pluja caiguda a Tordera al llarg de l'any 2023. Dades recollides l'estació meteorològica de Tordera, gestionada pel Consell Comarcal del Maresme (continuació)

Data	Pluja (L/m^2)	Data	Pluja (L/m^2)	Data	Pluja (L/m^2)
01/04/2023	0	01/05/2023	0.2	01/06/2023	0
02/04/2023	0	02/05/2023	0	02/06/2023	0
03/04/2023	0	03/05/2023	0	03/06/2023	0
04/04/2023	0	04/05/2023	0	04/06/2023	0
05/04/2023	0.6	05/05/2023	0	05/06/2023	0
06/04/2023	0	06/05/2023	0	06/06/2023	0
07/04/2023	0	07/05/2023	2.6	07/06/2023	0
08/04/2023	0	08/05/2023	0	08/06/2023	0
09/04/2023	0	09/05/2023	6	09/06/2023	0
10/04/2023	0	10/05/2023	0	10/06/2023	0
11/04/2023	0	11/05/2023	27	11/06/2023	0
12/04/2023	0	12/05/2023	15.2	12/06/2023	0
13/04/2023	0.4	13/05/2023	0.4	13/06/2023	19.4
14/04/2023	0	14/05/2023	2.4	14/06/2023	0
15/04/2023	0	15/05/2023	0	15/06/2023	0
16/04/2023	0	16/05/2023	0	16/06/2023	0
17/04/2023	1.2	17/05/2023	0	17/06/2023	0
18/04/2023	0	18/05/2023	0.6	18/06/2023	0
19/04/2023	0	19/05/2023	1.6	19/06/2023	1
20/04/2023	0	20/05/2023	0	20/06/2023	0
21/04/2023	0	21/05/2023	0.4	21/06/2023	0
22/04/2023	0	22/05/2023	1.6	22/06/2023	0
23/04/2023	0.2	23/05/2023	4.4	23/06/2023	0
24/04/2023	0.2	24/05/2023	0	24/06/2023	0
25/04/2023	5	25/05/2023	42.8	25/06/2023	0
26/04/2023	0	26/05/2023	0	26/06/2023	0
27/04/2023	0	27/05/2023	0	27/06/2023	0
28/04/2023	0	28/05/2023	0	28/06/2023	0
29/04/2023	0.4	29/05/2023	0	29/06/2023	9.2
30/04/2023	16.8	30/05/2023	0	30/06/2023	3.2
		31/05/2023	1.2		

Taula 9-3: Dades de la pluja caiguda a Tordera al llarg de l'any 2023. Dades recollides l'estació meteorològica de Tordera, gestionada pel Consell Comarcal del Maresme (continuació)

Data	Pluja (L/m^2)	Data	Pluja (L/m^2)	Data	Pluja (L/m^2)
01/07/2023	0	01/08/2023	0	01/09/2023	0
02/07/2023	0	02/08/2023	0	02/09/2023	0
03/07/2023	0	03/08/2023	0	03/09/2023	0
04/07/2023	0.6	04/08/2023	0.4	04/09/2023	0
05/07/2023	0	05/08/2023	0	05/09/2023	0
06/07/2023	0	06/08/2023	0	06/09/2023	0
07/07/2023	0	07/08/2023	0	07/09/2023	0
08/07/2023	0	08/08/2023	0	08/09/2023	0
09/07/2023	0	09/08/2023	0	09/09/2023	0
10/07/2023	0	10/08/2023	0	10/09/2023	0
11/07/2023	0	11/08/2023	0	11/09/2023	0
12/07/2023	0	12/08/2023	0	12/09/2023	0
13/07/2023	0	13/08/2023	0	13/09/2023	0
14/07/2023	0	14/08/2023	0	14/09/2023	0
15/07/2023	0	15/08/2023	0	15/09/2023	12
16/07/2023	0	16/08/2023	0	16/09/2023	21
17/07/2023	0	17/08/2023	0	17/09/2023	0
18/07/2023	0	18/08/2023	0	18/09/2023	0
19/07/2023	0	19/08/2023	0	19/09/2023	0
20/07/2023	0	20/08/2023	0	20/09/2023	3.6
21/07/2023	0	21/08/2023	0	21/09/2023	0
22/07/2023	0	22/08/2023	0	22/09/2023	7.2
23/07/2023	0	23/08/2023	0	23/09/2023	0
24/07/2023	0	24/08/2023	0	24/09/2023	0
25/07/2023	0	25/08/2023	0	25/09/2023	0
26/07/2023	0	26/08/2023	8.2	26/09/2023	0
27/07/2023	0	27/08/2023	39.8	27/09/2023	0
28/07/2023	0	28/08/2023	0	28/09/2023	0
29/07/2023	0	29/08/2023	0	29/09/2023	0
30/07/2023	0	30/08/2023	3.6	30/09/2023	0
31/07/2023	0	31/08/2023	0.8		

Taula 9-4: Dades de la pluja caiguda a Tordera al llarg de l'any 2023. Dades recollides l'estació meteorològica de Tordera, gestionada pel Consell Comarcal del Maresme (continuació)

Data	Pluja (L/m^2)	Data	Pluja (L/m^2)	Data	Pluja (L/m^2)
01/10/2023	0	01/11/2023	0	01/12/2023	0
02/10/2023	0	02/11/2023	0.2	02/12/2023	0
03/10/2023	0	03/11/2023	0	03/12/2023	0
04/10/2023	0	04/11/2023	0	04/12/2023	0
05/10/2023	0	05/11/2023	0	05/12/2023	0.2
06/10/2023	0	06/11/2023	0.2	06/12/2023	0
07/10/2023	0	07/11/2023	0	07/12/2023	0
08/10/2023	0	08/11/2023	0	08/12/2023	4.4
09/10/2023	0	09/11/2023	0.4	09/12/2023	0
10/10/2023	0	10/11/2023	0	10/12/2023	0
11/10/2023	0	11/11/2023	0	11/12/2023	0
12/10/2023	0	12/11/2023	0	12/12/2023	0
13/10/2023	0	13/11/2023	0	13/12/2023	0
14/10/2023	0	14/11/2023	0	14/12/2023	0
15/10/2023	0	15/11/2023	0	15/12/2023	0
16/10/2023	0.6	16/11/2023	0	16/12/2023	0
17/10/2023	0	17/11/2023	0	17/12/2023	0
18/10/2023	0	18/11/2023	0	18/12/2023	0
19/10/2023	7	19/11/2023	0	19/12/2023	0
20/10/2023	0.2	20/11/2023	0	20/12/2023	0
21/10/2023	2	21/11/2023	9	21/12/2023	0
22/10/2023	0	22/11/2023	0	22/12/2023	0
23/10/2023	0	23/11/2023	0.6	23/12/2023	0
24/10/2023	4.4	24/11/2023	0	24/12/2023	0
25/10/2023	0	25/11/2023	0	25/12/2023	0
26/10/2023	0	26/11/2023	0	26/12/2023	0
27/10/2023	0	27/11/2023	0	27/12/2023	0
28/10/2023	0	28/11/2023	0	28/12/2023	0
29/10/2023	0	29/11/2023	1.2	29/12/2023	0
30/10/2023	0.2	30/11/2023	0	30/12/2023	0
31/10/2023	0			31/12/2023	0

9.2 Càlcul del preu de l'aigua

La part fixa del preu s'ha triat utilitzant una factura del consum d'aigua a Tordera, és important remarcar que les factures són trimestrals, és a dir, es paga pel consum de tres mesos. Es té en compte que els habitatges de renda baixa i mitjana, els agents que actuen en funció del preu de l'aigua, no superen el consum màxim per persona i dia per formar part del primer tram, que són 9 m^3 per persona i mes[11].

Coneixent el preu de l'aigua i la repercussió del cànon de l'aigua, Tordera té un coeficient demogràfic d'1 pel càlcul de la repercussió del cànon de l'aigua, com es pot veure en la següent taula de l'Agència Catalana de l'Aigua:

Taula 9-5: Relació de municipis de la repercussió del cànon de l'aigua segons l'Agència Catalana de l'Aigua. Tipus aplicables a partir d'1 de gener de 2024.

Municipi	Coeficient	Usos Domèstics		Tipus 1r. Tram
	Demogràfic	Protegit	General	
Tordera	1.000	0.4936[1]	0.5685	0.4936

[1]Valors d'acord amb: Llei 2/2023, del 16 de març, de pressupostos per a la Generalitat de Catalunya per al 2023 (prorrogats).

El valor que s'aplica a Tordera per habitatges del primer tram, menys de 9 m^3 per persona i mes, és de 0.4936.

De la factura també s'extreuen el preu del m^3 d'aigua que és de 0.4741 €/m^3 i els valors d'altres conceptes com les quotes fixes de manteniment, equilibri i clavegueram. Amb aquesta informació, es presenta la següent taula amb els càlculs de la factura d'aigua per als habitatges del primer tram.

Taula 9-6: Càlcul de la factura de l'aigua pels habitatges del primer tram, preus extrets de la factura de l'aigua de Tordera. Càlcul sense impostos.

Concepte	m^3 facturats	€/m^3	Import base (€)
Aigua	27	0.4741	12.80
Quota de manteniment fixa	-	-	2.43
Quota fixa equilibri	-	-	23.10
Clavegueram	-	-	2.87
Repercussió cànon aigua	27	0.4936	13.37

Taula 9-7: Càlcul de la factura de l'aigua pels habitatges del primer tram, preus extrets de la factura de l'aigua de Tordera. Càlcul amb impostos.

	Import base (€)	I.V.A.	Import I.V.A (€)	Import total (€)
No subjecte	13.37		0.00	13.37
Base imposable 10%	38.77	10%	3.88	42.65
Base imposable 21%	2.43	21%	0.51	2.94
Total factura				**58.96**

El valor final obtingut del preu de l'aigua per a tres mesos de consum s'arrodoneix a 60 €, per tant, el preu de l'aigua diari és:

Equació 9-1 Càlcul del preu fix de l'aigua

$$\text{Preu fix diari de l'aigua} = \frac{60\ €}{3\ \text{mesos}} \cdot \frac{1\ mes}{30\ dies} = 0.666\ €/dia$$

S'arrodoneix el preu a 0.6 €/dia, és el valor que s'introdueix al model i el que s'utilitza per fer el càlcul final del preu de l'aigua, juntament amb el multiplicador de la tarifa variable.

En aquest apartat també es presenta la següent taula de la tarifa social del cànon de l'aigua[12]:

Taula 9-8: Tarifa social del cànon de l'aigua per a habitatges en situació de vulnerabilitat, segons l'Agència Catalana de l'Aigua. Tipus aplicables a partir d'1 de gener de 2024.

Tarifa social del cànon de l'aigua			
1r. Tram x 0,5	**2n. Tram x 0,5**	**3r. Tram x 0,5**	**4t. Tram x 0,5**
0.2468[1]	0.5685	1.4213	2.2740

[1]Valors d'acord amb: Llei 2/2023, del 16 de març, de pressupostos per a la Generalitat de Catalunya per al 2023 (prorrogats).

9.3 Càlculs dels consums dels agents indústria

En aquest annex es presenten els càlculs realitzats per obtenir els valors dels consums diaris pels agents indústria. En la següent taula es troben les dades bibliogràfiques dels consums diaris per les indústries de la producció de llet, escorxadors de porcs i arts gràfiques.

Taula 9-9: Consum diari de les indústries productores de llet, escorxadors de porc i arts gràfiques:

Sector	Subsector	Consum d'aigua (m^3/Tn)
Productes alimentaris	Producció de llet	0.8-25[19]
Escorxadors	Carn de porc	1.6-8.3[20]
Arts gràfiques	Impressió de paper	30 – 40 m^3/dia[21]

Com es veu en la taula, per les dues primeres indústries el consum d'aigua depèn de les tones de producte que es produeixi, calen càlculs per determinar el seu valor, en canvi, per les indústries d'arts gràfiques ja obtenim el consum en m^3/dia, és el rang que prenen aquest tipus d'indústries en el model.

Càlcul del consum per les productores de llet

S'estima que una vaca produeix uns 35 litres de llet al dia[18], el seu període de lactància és de 305 dies l'any.

Equació 9-2: Càlcul de la producció anual de llet d'una vaca

$$Producció\ de\ llet\ per\ vaca\ i\ any = 35\frac{L}{dia}llet \cdot 305\ \frac{dies\ lactància}{any} = 10{,}675\frac{L}{any}\ llet$$

Es considera que cada ramaderia compta amb unes 100 vaques, per tant, cada dia es produeixen:

Equació 9-3: Càlcul de la producció de llet diària de les productores de llet

$$Producció\ de\ llet\ diària = 10{,}675\frac{L}{any}\ llet \cdot 100\ vaques \cdot \frac{1\ any}{365\ dies} = 2{,}924\ L\frac{llet}{dia}$$

Arrodonint, s'assumeix que les indústries de producció de llet produeixen 3 m^3 de llet al dia, que passat a tones (es suposa la densitat de la llet 1032kg/m3) i aproximant el resultat, són 3 tones de llet al dia.

Per tant, del rang de la *Taula 9-9* es pren que el consum és d'entre 5 i 7 m^3 d'aigua per tona de llet produïda, així s'arriba al rang de [15, 20] m3/dia d'aigua que consumeixen les indústries de producció de llet.

Càlcul del consum pels escorxadors de porcs

S'estima que els escorxadors sacrifiquen unes 40 Unitats Ramaderes Majors (URM)[16] que són uns 80 porcs, aquests porcs tenen un pes mitjà de 150 kg (0.150 Tn) i es treballen 50 setmanes l'any. Amb aquestes dades:

Equació 9-4: Càlcul de la producció diària de carn en els escorxadors

$$Producció\ diària = 80\frac{porcs}{setmana} \cdot 0.150\frac{Tn}{porc} \cdot 50\frac{setmanes}{any} \cdot \frac{1\ any}{365} dies = 1.64\ \frac{Tn}{dia}\ de\ carn$$

Com el rang de consum d'aigua de la taula és 1.6 i 8.3 (m3/Tn), es decideix que el rang de consum per aquestes indústries sigui [8, 10] m^3/dia.

Consum per les indústries farmacèutiques i colorants

Per aquests tipus d'indústries no s'ha trobat informació bibliogràficament on es detalli el consum d'aigua en aquest tipus d'empreses. S'han decidit els consums de manera que estiguin en concordança amb la resta d'indústries i amb la capacitat del model. Com s'ha comentat anteriorment, l'estudi es fa en una ciutat hipotètica, en el cas de voler aproximar el model a un cas real i conèixer els consums reals, només caldria substituir els valors de les variables en el model.

Els consums escollits finalment són: farmacèutiques [70, 90] m^3/dia i colorants [50, 60] m^3/dia.

Consum per les oficines

Pels agents oficines s'estima un consum mitjà entre 20 i 30 L per treballador i dia, i que cada oficina té entre 25 i 50 treballadors, per tant, el rang que pot prendre cada oficina és:

Equació 9-4: Càlcul del rang inferior del consum d'aigua en les oficines

$$Rang\ inferior = 20\frac{L}{treballador \cdot dia} \cdot 25\ treballadors \cdot \frac{1\ m3}{1000\ L} = 0.5\frac{m^3}{dia}$$

Equació 9-4: Càlcul del rang superior del consum d'aigua en les oficines

$$Rang\ superior = 30\frac{L}{treballador \cdot dia} \cdot 50\ treballadors \cdot \frac{1\ m3}{1000\ L} = 1.5\frac{m^3}{dia}$$

El rang de consum d'aigua de les oficines és de [0.5, 1.5] m^3/dia.