Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Química

Títol: Avaluació de sistemes descentralitzats de tractament d'aigua

Document: Memòria

Alumne: Sergio Monleón Gargallo

Tutor: Marta Verdaguer Planas / Manel Poch Espallargas

Departament: EQATA

Àrea: Enginyeria Química

Convocatòria (mes/any): Setembre/2022

Glossari

AMB: Àrea Metropolitana de Barcelona.

Anammox: ANaerobic AMMonium OXidation.

AOB: Ammonia Oxidizing Bacteria.

BFS: Biofilm Surface.

BOD: Biological Oxygen Demand o demanda biològica d'oxigen.

BW: Black Water o aigües negres.

CAPEX: CAPital EXpenditures.

COD: Chemical Oxygen Demand o demanda química d'oxigen.

EDAR: Estació Depuradora d'Aigües Residuals.

ERA: Estació de Regeneració d'Aigua.

ETAP: Estació de Tractament d'Aigua Potable.

GEH: Gasos d'Efecte Hivernacle.

GW: Grey Water o aigües grises.

HRT: Hidraulic Retention Time o temps de retenció hidràulic

NOB: Nitrite Oxidizing Bacteria.

OLAND: Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification/Denitrification.

OPEX: OPerating EXpense.

P_T: Fòsfor Total.

RBC: Rotating Biological Contactor o biodisc.

RO: Reverse osmosis.

SBR: Sequential Batch Reactor o Reactor discontinu seqüencial.

SRT: Solid Retention Time o temps de retenció dels sòlids.

TN: Nitrogen total.

TP: Fòsfor total.

TSS: Sòlids Suspesos Totals.

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket.

UV: Ultra Violat.

VSS: Sòlids Suspesos Volàtils.

Índex

1 Introducció 1

1.1 Antecedents 1

1.2 Objectiu 2

1.3 Abast 2

2 Materials i mètodes 3

2.1 Metodologia del projecte 3

2.2 Estat del recurs aigua a la ciutat de Barcelona 5

2.2.1 Situació actual (2020) 5

2.2.2 Projeccions (2030 i 2050) 9

2.3 Descentralització del tractament d'aigües 13

2.3.1 Cas d'estudi 13

2.3.2 Estratègia de descentralització 14

2.3.3 Separació dels efluents 16

2.3.4 Recollida residual matèria orgànica 18

2.3.5 Classificació dels mètodes de tractament d'aigües residuals 19

2.3.6 Tractaments línia d'aigües grogues 20

2.3.7 Tractament línia aigües marrons 23

2.3.8 Tractament línia d'aigües grises 27

2.3.9 Tractament línia aigua de pluja 30

3 Resultats i discussió 31

3.1 Disponibilitat d'aigua a la ciutat de Barcelona 31

3.1.1 Demografia 31

3.1.2 Disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial 32

3.1.3 Consum d'aigua 34

3.1.4 Patró de pluja a la ciutat de Barcelona 35

3.1.5 Balanç i discussió de la disponibilitat d'aigua a Barcelona 36

3.2 Estudi tecno-econòmic de la descentralització d'una illa tipus de Barcelona .. 38

3.2.1 Cas d'estudi 38

3.2.2 Canalitzacions 40

3.2.3 Bombaments 41

3.2.4 Tractaments 42

3.2.5 Altres actius 67
3.2.6 Discussió dels resultats 69
4 Conclusions 81
5 Pressupost i planificació 83
5.1 Planificació 83
5.2 Pressupost 83
6 Bibliografia 85

Índex de taules

Taula 1: Taxa de població a la ciutat de Barcelona del 2018/2020 5
Taula 2: Disponibilitat d'aigua d'origen superficial a Barcelona l'any 2020 7
Taula 3: Consum a la ciutat de Barcelona el 2020 8
Taula 4: Consum mitjà diari per persona de cada sector a la ciutat de Barcelona el 2020 8
Taula 5: Projecció de la taxa de creixement de la població a Catalunya 11
Taula 6: Valors base mensuals per la projecció del patró de pluja de la ciutat de Barcelona 12
Taula 7: Composició dels influents 17
Taula 8: Projecció demogràfica de la ciutat de Barcelona als anys 2030 i 2050 32
Taula 9: Projecció de la disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial a l'AMB 33
Taula 10: Projecció de la disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial de l'escenari demogràfic mitjà pels possibles escenaris climàtics RCP 4.5 i RCP 8.5 33
Taula 11: Projecció de la disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial de l'escenari demogràfic alt pels possibles escenaris climàtics RCP 4.5 i RCP 8.5 33
Taula 12: Característiques del barri - Dreta de l'Eixample 38
Taula 13: Número d'edificis en funció del nombre de plantes del barri - Dreta de l'Eixample 38
Taula 14: Característiques d'un edifici tipus del barri - Dreta de l'Eixample 39
Taula 15: Informació de les canalitzacions 40
Taula 16: Costos de les canalitzacions de les línes de tractament 41
Taula 17: Costos dels bombaments de les líneas de tractament 42
Taula 18: Composició de l'influent i l'afluent de l'Uridis Cell 43
Taula 19: Costos i beneficis de l'Uridis Cell 44
Taula 20: Composició influent i afluent del MBBR 44
Taula 21: Costos i beneficis del MBBR 45
Taula 22: Composició dels cabals influents + combinació a l'UASB 45
Taula 23: Percentatges d'eliminació (en massa) de l'UASB 46
Taula 24: Composicions influent i efluent de l'UASB 46
Taula 25: Composició afluent de l'UASB 47
Taula 26: Paràmetres de disseny UASB 48
Taula 27: Volum de l'UASB en funció de si es duu a terme la codigestió o no 48
Taula 28: Costos i beneficis de l'UASB (amb cogestió) 53
Taula 29: Composició del cabal influent a l'OLAND 53
Taula 30: Percentatges d'eliminació (en massa) de l'OLAND 54
Taula 31: Composició efluent de l'OLAND 54
Taula 32: Costos de l'OLAND 55
Taula 33: Composició influent al reactor d'estruvita 55
Taula 34: Dades pel càlcul de l'obtenció de l'estruvita 56
Taula 35: Composició influent i efluent del reactor d'estruvita 58
Taula 36: Paràmetres per l'aplicació de la llei de Stokes (Reactor d'estruvita) 59
Taula 37: Costos i beneficis del reactor d'estruvita 61
Taula 38: Composició de l'influent combinat (aigües grises+marrons tractades) al MBR 61
Taula 39: Percentatges d'eliminació màssic del MBR 62
Taula 40: Composició efluent del MBR 62
Taula 41: Paràmetres de disseny del MBR 63
Taula 42: Volums calculats pel MBR 63
Taula 43: Costos del MBR 64
Taula 44: Composició de l'influent provinent del MBR 64
Taula 45: Percentatges d'eliminació (en massa) de la RO 65
Taula 46: Composició de l'efluent de la RO provinent del MBR 65
Taula 47: Costos de la RO de la línia d'aigües grises 66
Taula 48: Costos de la RO de la línia d'aigua de la pluja recollida 66
Taula 49: Costos del UV de la línia d'aigües grises 67
Taula 50: Costos de l'UV de la línia d'aigua de la pluja recollida 67
Taula 51: Característiques dels tancs d'emmagatzematge i buffers 68
Taula 52: Cost dels tancs d'emmagatzematge + unitats 68
Taula 53: CAPEX i OPEX+VAN totals del sistema 71
Taula 54: Cost dels efluents de les línies de tractament 72

Taula 55: Recull dels beneficis per la venda dels recursos generats 73
Taula 56: Volums de treball dels actius del sistema 80
Taula 57: Costs de la mà d'obra..... 84
Taula 58: Cost total del projecte..... 84

Índex de figures

Fig 1: Metodologia del treball 4
Fig 2: Abastiment d'aigua potable a l'Àrea Metropolitana de Barcelona el 2020 7
Fig 3: Consum a la ciutat de Barcelona el 2020 8
Fig 4: Precipitació acumulada per mesos a Barcelona els anys 2020 i 2021 9
Fig 5: Projecció de població a Barcelona en base l'any 2018 en front la població real 10
Fig 6: Diagrama de l'estratègia de descentralització proposada 15
Fig 7: Inodor No-Mix 16
Fig 9: Projecció demogràfica de la ciutat de Barcelona als anys 2030 i 2050 32
Fig 10: Projecció de la disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial a Barcelona els anys 2030 i 2050 34
Fig 11: Projecció del consum de l'aigua a la ciutat de Barcelona els anys 2030 i 2050 35
Fig 12: Percentatges de variació del patró de pluja projectats a Barcelona als anys 2030 i 2050 36
Fig 13: Projecció del patró de pluja de la ciutat de Barcelona als anys 2030 i 2050 36
Fig 14: Consum d'aigua en front la disponibilitat en l'escenari demogràfic mitjà a Barcelona 37
Fig 15: Consum d'aigua en front la disponibilitat en l'escenari demogràfic alt a Barcelona 37
Fig 16: Recompte d'edificis d'una Illa d'habitatges de la Dreta de l'Eixample 39
Fig 17: Volum de biogàs produït per dia en funció de si es duu a terme la codigestió o no 50
Fig 18: Consum energètic per dia en funció de si es duu a terme la codigestió o no 51
Fig 19: Balanç energètic de l'UASB en funció de si es duu a terme la codigestió o no 52
Fig 20: CAPEX dels tractaments de les línies d'aigua 69
Fig 21: CAPEX total del sistema per grups 70
Fig 22: OPEX+VAN dels tractaments de les línies d'aigua 70
Fig 23: OPEX+VAN total del sistema per grups 71
Fig 24: CAPEX enfront l'OPEX+VAN del sistema 72
Fig 25: Preu de l'aigua a Barcelona per un domicili tipus – Dreta de l'Eixample 74
Fig 26: Taula comparativa dels consums de la gestió actual amb la gestió proposada per l'escenari demogràfic alt i climàtic RCP 8,5 (2020) 75
Fig 27: Taula comparativa dels consums de la gestió actual amb la gestió proposada per l'escenari demogràfic alt i climàtic RCP 8,5 (2030) 76
Fig 28: Taula comparativa dels consums de la gestió actual amb la gestió proposada per l'escenari demogràfic alt i climàtic RCP 8,5 (2050) 77
Fig 29: Planificació del treball 83

1 Introducció

1.1 Antecedents

Els efectes del canvi climàtic són cada vegada més propers i, especialment, més ben entesos. L'escenari futur més probable, a dia d'avui, és el de que es produirà un augment de la temperatura d'entre 2,4 i 3,1 ºC (respecte al període preindustrial) d'aquí només 30-70 anys. Això repercutirà en canvis en les precipitacions, usos del sòl, exhauriment d'aqüífers, etc. Una anàlisi de 571 ciutats europees va trobar que les condicions de sequera s'intensificaran a les ciutats del sud d'Europa, especialment a Portugal i Espanya (Guerreiro et al., 2018). Aquests impactes portaran una reducció de la disponibilitat d'aigua de forma significativa. A gairebé un terç de les ciutats més grans del món, la demanda d'aigua pot superar la disponibilitat d'aigua superficial l'any 2050 (Flörke et al., 2018).

Per poder satisfer la creixent diferència entre l'aigua disponible i l'aigua necessària per al nostre desenvolupament, tal com el coneixem, el cicle de l'aigua haurà d'experimentar una transició tecnològica i molt probablement conceptual. Una de les possibles solucions podria ser la reutilització de les aigües residuals tractades, ja que es preveu que la producció d'aigües residuals augmenti a escala mundial fins als 574.000 milions de m^3 l'any 2050, un augment del 51% en comparació amb el 2015, principalment a causa d'una població urbana creixent (Qadir et al., 2020). La Comissió Europea ha reconegut el potencial no aprofitat de les aigües residuals tractades i ha demanat "tancar el cercle" mitjançant un enfocament d'economia circular (Directors E.W, 2016). Reconeix i permet la reutilització de les aigües residuals com a solució segura per reduir la demanda d'aigua.

La infraestructura de tractament d'aigües residuals existent no ha establert adequadament un ús eficient i sostenible de l'energia, l'aigua i els nutrients (Garrido-Baserba et al., 2018). La recuperació en comptes de l'eliminació de certs nutrients com el fòsfor esdevé un tema clau, ja que és un dels elements més importants per la humanitat, però és finit, i davant un possible futur marcat per l´increment demogràfic i l'escassetat de recursos, la seva recuperació pot ser necessària. La recuperació de nitrogen, fòsfor i potassi de les aigües residuals pot compensar el 13,4% de la demanda agrícola mundial d'aquests nutrients (Fernández-Arévalo et al., 2017;

Jiménez & Asano, 2008) i el reciclatge de residus humans a tot el món podria satisfer un 22% de la demanda mundial de fòsfor (Mihelcic et al., 2011).

1.2 Objectiu

El present treball té com a objectiu l'avaluació dels sistemes totalment descentralitzats de tractament d'aigua que puguin substituir progressivament els actuals sistemes de tractament centralitzats.

1.3 Abast

Per assolir l'objectiu del treball caldrà:

- Recopilar informació actualitzada, relativa a l'aplicació de sistemes descentralitzats de tractament de l'aigua, on s'han aplicat, i amb quines condicions.
- A partir d'aquesta informació definir les condicions d'un escenari (hipotètic o real, si és el cas) on sigui factible descentralitzar el tractament de l'aigua.
- Avaluar per aquest escenari els costos que implicaria aquesta nova forma de gestionar l'aigua.
- Treure conclusions sobre la viabilitat dels sistemes descentralitzats.

2 Materials i mètodes

2.1 Metodologia del projecte

En aquest treball s'han plantejat opcions per donar cobertura a la demanda d'aigua per l'ús domèstic a la ciutat de Barcelona, projectada als anys 2030 i 2050. A fi d'ajudar en l'esmortiment de l'impacte del canvi climàtic en la demanda d'aigua, s'ha plantejat el tractament de les aigües d'una manera descentralitzada d'una illa d'habitatges de la ciutat de Barcelona. Per dur a terme el treball s'ha utilitzat exclusivament el Microsoft Office Excel.

En primer lloc, s'ha definit quin és l'escenari actual de l'aigua a Barcelona, determinant l'oferta d'aigua potable i la demanda. Definit l'escenari 0 (situació actual), s'ha estudiat com variarà aquesta disponibilitat per diferents possibles futurs escenaris, projectant efectes per canvis de població i dels patrons de pluja a conseqüència del canvi climàtic.

En segon lloc, s'han definit les característiques tipus d'una illa d'habitatges de Barcelona, les quals s'han utilitzat com a cas d'estudi. Un cop definides les característiques, s'ha determinat quina serà l'estratègia que es durà a terme per al tractament descentralitzat de l'aigua, la qual consisteix en el tractament separat d'aigües grogues (orina), d'aigües marrons (excrements + orina + paper de vàter), d'aigües grises (resta d'aigües procedents del domicili) i de l'aigua de la pluja. També s'han dimensionat les canalitzacions i els bombaments necessaris per dur a terme l'estratègia proposada. El tractament descentralitzat en qüestió, a part del que implica en si mateix, té com a objectius:

- La reutilització d'aigües grises per a usos no potables domèstics on l'habitant no ingereix aquesta.
- La recuperació màxima de recursos, tant fertilitzants com biogàs per a una posterior comercialització.

L'aigua tractada de la línia d'aigües marrons s'ha unit amb la línia d'aigües grises, ja que la primera no té una qualitat suficient per a ser abocada. Això ha permès l'obtenció d'una quantitat d'aigua tractada superior.

L'estudi del sistema descentralitzat està basat en un període temporal de 30 anys. El sistema presentat està sobredimensionat per tal d'allargar la utilitat del

sistema i poder satisfer les necessitats de l'illa d'habitatges pel període de temps esmentat. S'ha sobredimensionat de manera que, en cas de complir-se la projecció de creixement alt de població a Barcelona, la instal·lació estigui treballant al màxim rendiment a partir del 2030.

Per acabar, s'han valorat els aspectes més importants del sistema descentralitzat estudiat, i s'ha realitzat una comparació del cost de l'aigua tractada obtinguda amb el preu de l'aigua actual, amb la finalitat de valorar la rendibilitat de l'estratègia presentada.

La Fig 1 presenta la metodologia utilitzada en aquest projecte.

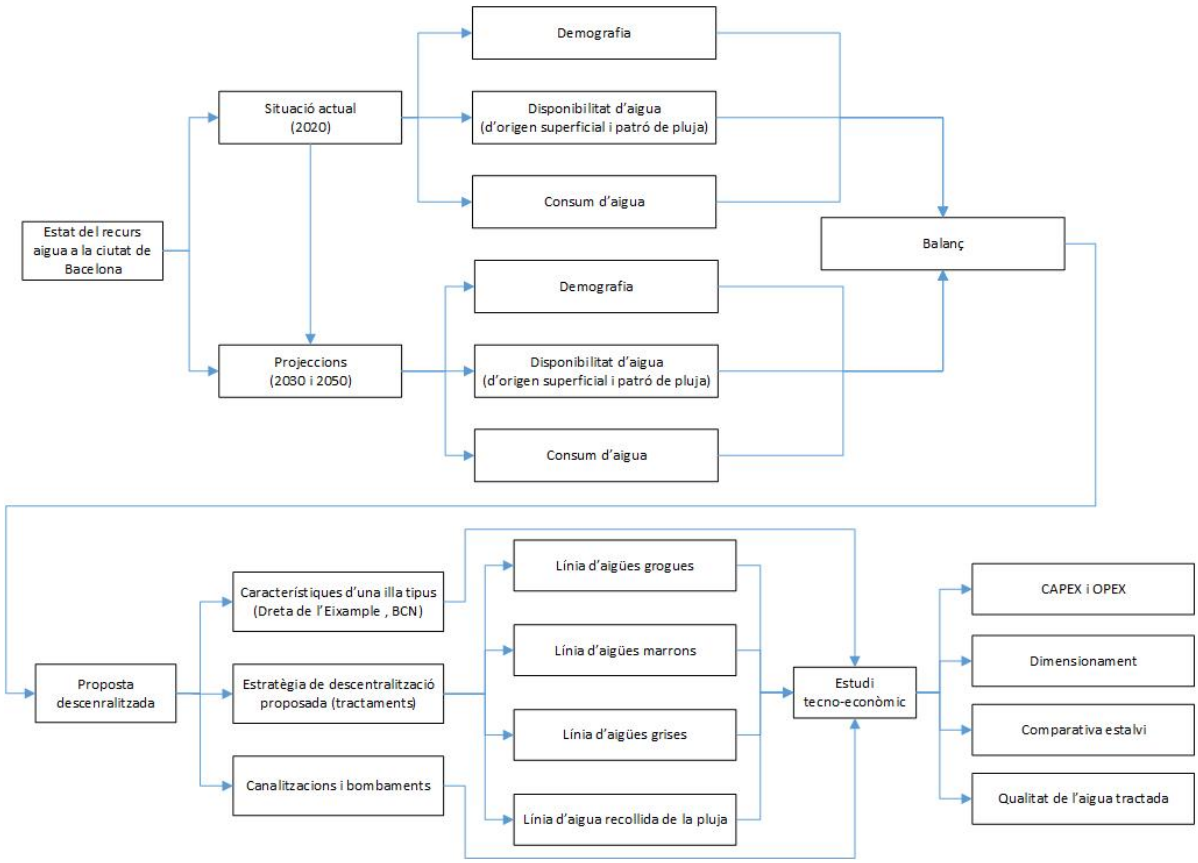


Fig 1: Metodologia del treball

2.2 Estat del recurs aigua a la ciutat de Barcelona

Per projectar quina serà la situació de l'aigua potable en què es trobarà la ciutat de Barcelona en un futur, primer s'ha mirat quin és el punt de partida, és a dir, l'escenari 0 (situació actual). Una vegada determinat, s'ha procedit a realitzar les projeccions per acabar fent un balanç final, el qual ha proporcionat una visió de quina serà la gravetat del problema al qual s'enfrontarà la ciutat de Barcelona respecte a la disponibilitat del recurs aigua. Per fer aquest balanç, els aspectes claus a tenir en compte són:

- La demografia de la ciutat
- La disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial
- El consum d'aigua domèstic

Aquestes són les variables que s'han tingut en compte a l'hora de realitzar el balanç final. Dins la disponibilitat d'aigua potable se'n poden trobar diferents tipus en funció de l'origen, igual que el consum que es diferencia en funció del sector abastit. El balanç final que s'ha fet, és de la disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial i del consum domèstic, més endavant s'ha explicat el perquè d'aquest balanç.

A part de les projeccions esmentades, també s'ha realitzat la projecció del canvi de patró de pluja de la ciutat. Aquesta, jugarà un paper en l'estratègia de descentralització del tractament de les aigües tractades a la segona part del projecte.

2.2.1 Situació actual (2020)

Demografia

La taxa de població de la ciutat de Barcelona durant l'any 2020, segons l'ajuntament, va ser d'1.664.182 habitants (IDESCAT, 2020). La Taula 1 presenta un recull de com ha variat la taxa de població a la ciutat de Barcelona des del 2018.

Taula 1: Taxa de població a la ciutat de Barcelona del 2018/2020

Any	Número d'habitants
2018	1.620.343
2019	1.636.762
2020	1.664.182
2021	1.636.732

Disponibilitat d’aigua

És important tenir present quines són les 3 fases que compren el cicle de l'aigua: l'abastiment, el sanejament i la reutilització. L'abastiment s'encarrega de la recollida, la potabilització i la distribució. El sanejament s'encarrega de la recollida i el tractament de l'aigua residual per poder abocar-la amb una certa qualitat. La reutilització s'encarrega de realitzar un tractament addicional a l'aigua depurada per donar-li un nou ús no potable (Àrea Metropolitana de Barcelona, 2022).

A Barcelona es diferencien 3 tipus d'aigua: l'aigua regenerada, l'aigua freàtica i l'aigua potable. L'aigua regenerada s'utilitza per als consums que no requereixen una qualitat com la potable. Aquesta, és aigua residual depurada que ha estat addicionalment tractada en una estació de regeneració d'aigua (ERA). S'entén com aigua freàtica, l'aigua potable d'origen subterrani que a l’actualitat també s'acaba fent servir per a usos no potables. L'aigua potable pot ser d'origen superficial, origen subterrani o provinent del mar (Àrea Metropolitana de Barcelona, 2022).

Actualment, l'aigua captada és majoritàriament de fonts superficials de les conques dels rius Ter i Llobregat. També, s'aprofiten algunes fonts subterrànies captades pels més de 60 pous distribuïts entre els aqüífers de la Vall Baixa i del Delta del Llobregat. En menor mesura, i en funció de la climatologia, s’extreu aigua del mar per ser dessalinitzada (Àrea Metropolitana de Barcelona, 2022).

L'aigua d'origen superficial abastida a Barcelona prové dels rius Ter i Llobregat. L'estació de tractament d’aigua potable (ETAP) de Cardedeu s'encarrega de potabilitzar l'aigua del riu Ter, dels embassaments de Sau, Susqueda i del Pasteral. L'ETAP d'Abrera, amb l'ajuda de la de Sant Joan Despí, potabilitza l'aigua del Llobregat, dels embassaments de la Baells, la Llosa del Cavall i Sant Ponç (Àrea Metropolitana de Barcelona, 2022).

L'abastiment d'aigua potable a l’àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) l'any 2020 vas ser de 218,492 hm^3. D’aquest volum, 161,007 hm^3 provenen d'aigües superficials, 52,898 hm^3 són procedents del Ter i 108,109 hm^3 del Llobregat. D'aigua dessalinitzada van ser abastits 10,634 hm^3. Els 46,851 hm^3 restants, corresponen a l'aigua potabilitzada d'origen subterrani (Àrea Metropolitana de Barcelona, 2021).

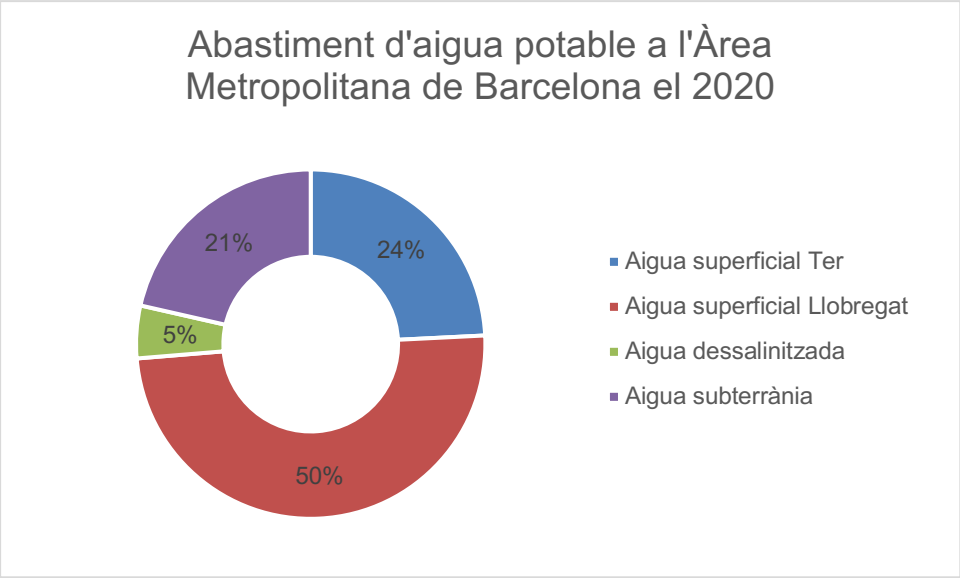


Fig 2: Abastiment d'aigua potable a l'Àrea Metropolitana de Barcelona el 2020

Com s'ha dit anteriorment, les dades d'abastiment corresponen a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), i aquest treball es focalitza en la ciutat de Barcelona. Per saber quina és l'aigua d'origen superficial que correspon a Barcelona, s'ha buscat primer quina és la població de l'AMB l'any 2020, per després determinar la quantitat d'aigua corresponent a cada habitant. Així, sabent la taxa de població de la ciutat de Barcelona l'any 2020, s'ha determinat el volum d'aigua potable que li correspon a la ciutat. Com que les dades de la taxa de població de l'AMB corresponents a l'any 2020 no s'han trobat, s'ha considerat que aquests són similars a les del 2021, on s'ha sumat la població de cada municipi que forma part de l'AMB, obtenint una taxa final de 3.303.927 habitants (IDESCAT, 2021). La Taula 2 presenta els valors de disponibilitat d'aigua d'origen superficial corresponents a la ciutat de Barcelona l'any 2020.

Taula 2: Disponibilitat d'aigua d'origen superficial a Barcelona l'any 2020

	Disponibilitat d'aigua (hm^3)
Barcelona	79,761
Persona (L/p*d)	131,310

Consum d'aigua potable

A Barcelona el consum d'aigua potable total durant el 2020 va ser de 91,20 hm^3. El consum es divideix en tres grans sectors: el domèstic, el comercial i industrial, i el municipal (serveis de l'Ajuntament) (Barcelona Cicle de l'Aigua S.A, 2021).

Taula 3: Consum a la ciutat de Barcelona el 2020

Domèstic (hm^3)	Comercial i industrial (hm^3)	Municipal (hm^3)
67,06	19,15	4,99

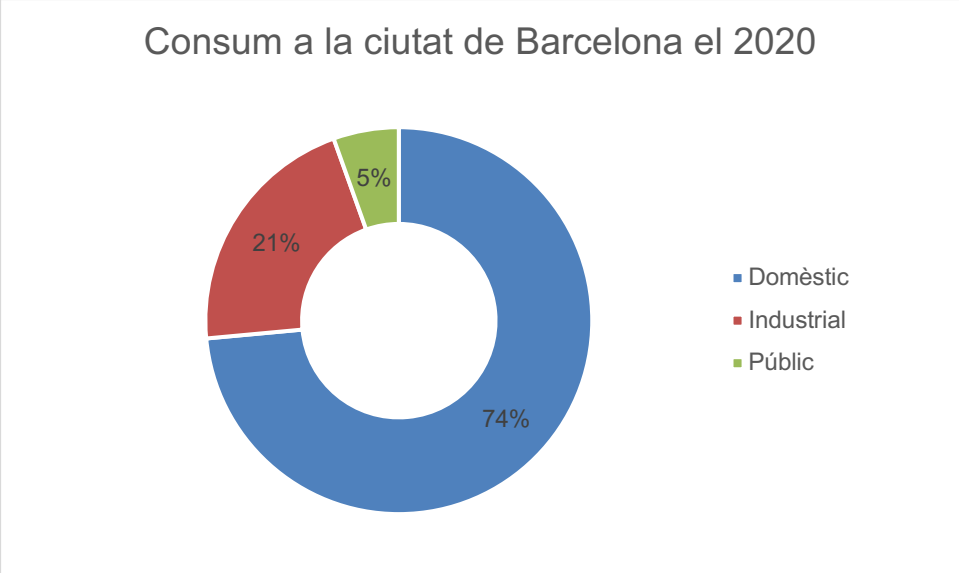


Fig 3: Consum a la ciutat de Barcelona el 2020

El consum mitjà d'aigua potable per persona i dia a Barcelona, l'any 2020, tenint en compte els tres sectors, va ser de 150 L/p·d (Barcelona Cicle de l'Aigua S.A, 2021). Coneixent els percentatges corresponents a cada sector respecte del consum total, permet determinar quin és el consum mitjà diari per persona de cada un dels tres sectors. La Taula 4 presenta quin és el consum mitjà diari corresponent a cada persona en cada sector.

Taula 4: Consum mitjà diari per persona de cada sector a la ciutat de Barcelona el 2020

Domèstic (L/p·d)	Comercial i industrial (L/p·d)	Municipal (L/p·d)
110,4	31,5	8,2

Patró de pluja de la ciutat

Actualment, la recollida d'aigua de la pluja de la ciutat no forma part de la gestió d'aigua potable. Però, en l'estratègia proposada, la captació i potabilització d'aquesta s'han tingut en compte. A continuació, la Fig 4 representa la precipitació acumulada a la ciutat de Barcelona els anys 2020 i 2021 (Servei Meteorològic de Catalunya, 2021).

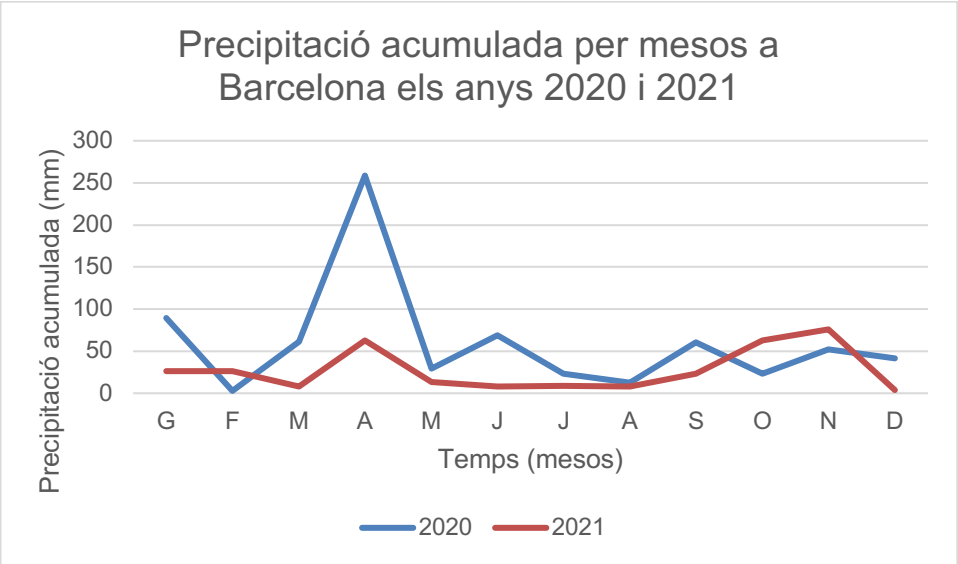


Fig 4: Precipitació acumulada per mesos a Barcelona els anys 2020 i 2021

2.2.2 Projeccions (2030 i 2050)

La magnitud del canvi climàtic depèn de les emissions dels gasos d'efecte hivernacle (GEH). Com que el futur és incert, quan es parla del canvi climàtic, s'ha de fer referència a escenaris d'emissions. L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha plantejat 4 escenaris assumint diferents nivells d'esforç contra les emissions dels GEH a escala global. A cadascun d'aquests casos es tenen en compte diferents impactes del canvi climàtic. A continuació, es fa una breu descripció dels 4 escenaris (LIMA COP20-CMP10, 2014):

- RCP 2,6: Escenari de declinació (mitigació agressiva). Assumeix una reducció substancial de les emissions dels gasos d'efecte hivernacle per aconseguir que el forçament radiatiu arribi primer a 3,1 W/m^2 l'any 2050 i després arribi a 2,6 W/m^2 l'any 2100. La temperatura probablement no excedirà els 2 ºC.

- RCP 4,5: Escenari d'estabilització (mitigació forta). El forçament radiatiu s'estabilitza posteriorment a l'any 2100. La temperatura molt probablement excedirà els 2 ºC.
- RCP 6,0: Escenari d'estabilització (mitigació baixa). El forçament radiatiu s'estabilitza després de l'any 2100. Sense forçament radiatiu, gràcies a l'aplicació de varies tecnologies i estratègies de reducció dels GEH. La temperatura molt probablement excedirà els 2 ºC.
- RCP 8,5: (mitigació nul·la). Increment de les emissions dels GEH al llarg del temps. La temperatura probablement no excedirà els 4 ºC.

El concepte forçament radiatiu fa referència a la diferència entre la insolació (llum solar) absorbida per la Terra i l'energia irradiada de la Terra. Per les projeccions de l'estudi s'ha treballat amb els escenaris RCP 4,5 i RCP 8,5.

Demografia

La projecció de la taxa de població d'interès per l'estudi, és la de la ciutat de Barcelona. Com que les bases de càlcul de la disponibilitat corresponen a la projecció de l'AMB, s'ha realitzat aquesta per acabar trobant la corresponent a la ciutat de Barcelona.

L'Ajuntament de Barcelona va fer una projecció de la demografia de la ciutat fins al 2031, en base l'any 2018. La Fig 5 contrasta la projecció realitzada per l'Ajuntament enfront de la població real que hi ha hagut fins al moment (Ajuntament de Barcelona, 2018).

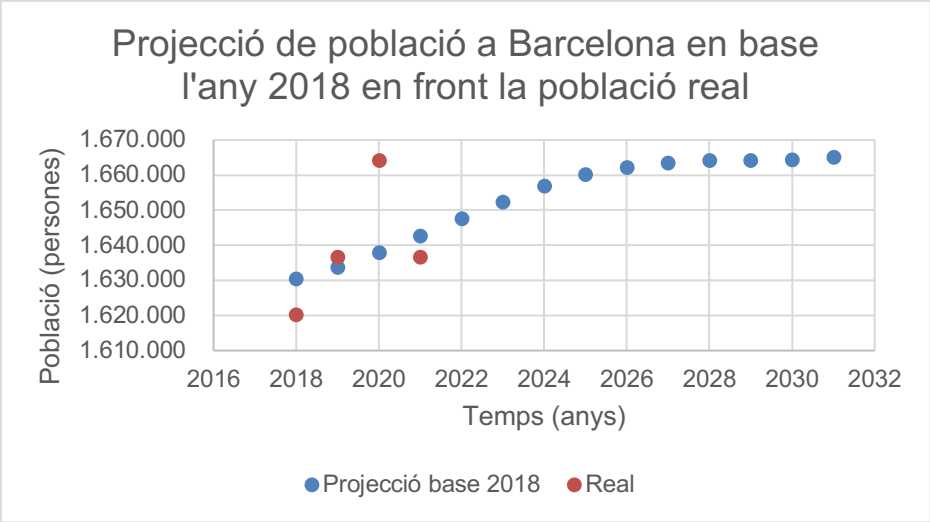


Fig 5: Projecció de població a Barcelona en base l'any 2018 en front la població real

Per l'estudi, aquesta projecció queda curta i no abasta el període de temps desitjat. Per això, s'han realitzat noves projeccions a més llarg termini per l'AMB i la ciutat de Barcelona, partint de la projecció demogràfica de la població de Catalunya, que va des del 2021 fins al 2100, realitzada per l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT, 2022b). Aquesta projecció comprèn 3 possibles escenaris: el baix, el mitjà i l'alt, però per les projeccions de l'estudi realitzades només s'han tingut en compte els escenaris mitjà i alt, considerant el baix poc probable degut a l'emigració dels pobles a la ciutat. La Taula 5 presenta els valors de la projecció de població de Catalunya de cada escenari, junt amb el percentatge de creixement respecte al 2021 (IDESCAT, 2022b). Establerts els percentatges de creixement de la població pels dos possibles escenaris, s'ha projectat la població de Barcelona i de l'AMB.

Taula 5: Projecció de la taxa de creixement de la població a Catalunya

Any	Escenari mitjà	Creixement (%)	Escenari alt	Creixement (%)
2021*	7.739.758	-	7.739.758	-
2030	8.073.329	4,31%	8.536.549	10,29%
2050	8.608.919	11,23%	9.778.079	26,34%
2070	8.705.831	12,48%	10.635.330	37,41%

*S'ha considerat que la població al 2020 i al 2021 és similar

Disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial

La projecció de la disponibilitat d'aigua d'origen superficial s'ha realitzat amb l'ajuda d'un document publicat pel METEOCAT (Servei Meteorològic de Catalunya, 2020), el qual és una adaptació dels aspectes climàtics de més interès tractats en la IPCC per a Catalunya.

Per la realització de la projecció, s'han realitzat un parell de consideracions. La primera consideració ha sigut tenir en compte el canvi de la disponibilitat d'aigua d'origen superficial dels embassaments amb el canvi de patró de pluja. La segona consideració és que s'han agafat com a base els valors de la disponibilitat d'aigua d'origen superficial de l'any 2020. Per determinar el canvi de patró de pluja anual s'han utilitzat els percentatges de cada estació corresponents als escenaris RCP 4,5 i RCP 8,5 dels anys 2030 i 2050. Cal fer èmfasi en el fet que la projecció de disponibilitat d'aigua d'origen superficial va lligada amb la de la taxa de població.

Fetes les projeccions, en el cas de l'embassament del Ter s'ha de tenir en compte l'existència del Pacte del Ter. Aquest pacte està constituït de 3 fases, cada una equivalent a un període en el temps. La primera fase va des del 2018 fins a l'actualitat. La segona fase es desenvoluparà durant els anys 2023 i 2027, i la tercera a partir de l'any 2028. El Pacte del Ter consisteix en reduir l'aportació d'aigua dels embassaments del riu Ter a Barcelona. En la tercera fase es limitarà la transferència d'aigua en un màxim anual del 30% sobre el volum total desembassat al riu, i sense superar un transvasament màxim de 90 hm^3/any (Generalitat de Catalunya, 2017).

Consum d'aigua domèstica

La projecció del consum d'aigua domèstica s'ha realitzat tenint en compte la projecció de la població de la ciutat. S'ha considerat que el consum per persona serà constant, essent de 110,4 L/p·d. A l'haver en la projecció demogràfica dos escenaris, s'han obtingut dos consums d'aigua domèstica de la ciutat.

Patró de pluja

La projecció de la precipitació acumulada a Barcelona s'ha realitzat seguint el mateix procediment de càlcul que l'utilitzat per la disponibilitat d'aigua d'origen superficial. Del document adaptat pel METEOCAT (Servei Meteorològic de Catalunya, 2020), s'han utilitzat els percentatges del canvi del patró de pluja pronosticats pels escenaris RCP 4,5 i RCP 8,5 dels anys 2030 i 2050 a la ciutat de Barcelona (Servei Meteorològic de Catalunya, 2020). La base de càlcul del document respecte del qual s'han aplicat aquests percentatges es mostren de manera mensual a la Taula 6 (Servei Meteorològic de Catalunya, 2021).

Taula 6: Valors base mensuals per la projecció del patró de pluja de la ciutat de Barcelona

ANY	G	F	M	A	M	J
Base (mm)	52,73	33,57	46,05	55,24	66,00	42,49
ANY	J	A	S	O	N	D
Base (mm)	22,11	51,27	76,18	80,42	65,41	60,14

2.3 Descentralització del tractament d'aigües

2.3.1 Cas d'estudi

Per l'estudi del tractament descentralitzat de l'aigua s'ha utilitzat com a base de càlcul una illa d'habitatges de Barcelona. De la pàgina web de l'Ajuntament, s'ha tret la informació necessària per a la definició de les característiques d'una illa d'habitatges tipus.

Per definir l'illa d'habitatges tipus, es necessita saber quines són les característiques d'un edifici tipus del barri, el nombre de persones que habiten a cada domicili, quin és el nombre de plantes per edifici, el nombre de portes per planta, quina és la superfície mitjana per domicili i quin és el factor de forma de l'edifici.

La densitat de persones que viuen per domicili, s'ha calculat agafant el nombre de població dividit pel nombre de domicilis que hi ha al barri.

El nombre de plantes per edifici s'ha calculat agafant el nombre total de plantes, dividit pel nombre d'edificis totals.

El càlcul del nombre de portes per planta d'un edifici, es troba dividint el nombre total de locals entre el nombre de plantes totals. Aquest últim es calcula fent el sumatori del producte del nombre de plantes que té un edifici pel nombre d'edificis que tenen aquesta característica.

Amb els resultats dels càlculs anteriors, s'han determinat les característiques d'un edifici tipus del barri, on amb la multiplicació dels tres valors s'ha obtingut el nombre d'habitants que hi ha per edifici del barri tipus. També cal saber la superfície del domicili, que és una dada que s'extreu de la pàgina web de l'Ajuntament de Barcelona (IDESCAT, 2022a).

Un cop definides les característiques d'un edifici tipus s'ha determinat el nombre d'edificis per illa d'habitatges per tal de saber la població que hi viu. La determinació del nombre d'edificis per illa s'ha fet de manera visual; a partir del "GOOGLE MAPS" s'ha buscat una illa qualsevol del barri seleccionat i s'ha mirat quin és el nombre d'edificis que hi ha. La superfície que ocupa una illa s'ha considerat d'1,24 ha (Gutiérrez, J & Gutiérrez, L, 2010).

Sabent el nombre d'edificis totals per illa d'habitatges, s'ha calculat el nombre total d'habitants de l'illa, a partir d'una multiplicació entre la quantitat de gent que viu

en un edifici i el nombre total d'edificis que s'ha establert per illa. Amb els valors calculats i trobats s'ha donat per finalitzada la caracterització d'una illa tipus d'habitatges de Barcelona.

2.3.2 Estratègia de descentralització

La descentralització del tractament de les aigües residuals s'entén com el tractament de les aigües en la mateixa font d'origen. Hi ha dos tipus de descentralització; la total i l'híbrida.

La descentralització total consisteix en el tractament "in situ" de les aigües negres i les grises. En canvi, el tractament "in situ" d'una de les aigües esmentades és la descentralització híbrida. En aquest treball s'estudiarà una possible estratègia per la descentralització total del tractament de les aigües.

L'objectiu principal de l'estratègia proposada pel tractament descentralitzat total de les diferents línies d'aigua és la recuperació dels recursos, tant dels nutrients (fertilitzants) com la producció de biogàs.

En aquest treball, el tractament dels fangs no s'ha comptabilitzat econòmicament, exceptuant la instal·lació d'un tanc d'emmagatzematge amb una autonomia de 7 dies, considerant que aquests seran recollits un cop per setmana.

La Fig 6 mostra visualment l'estratègia de descentralització proposada.

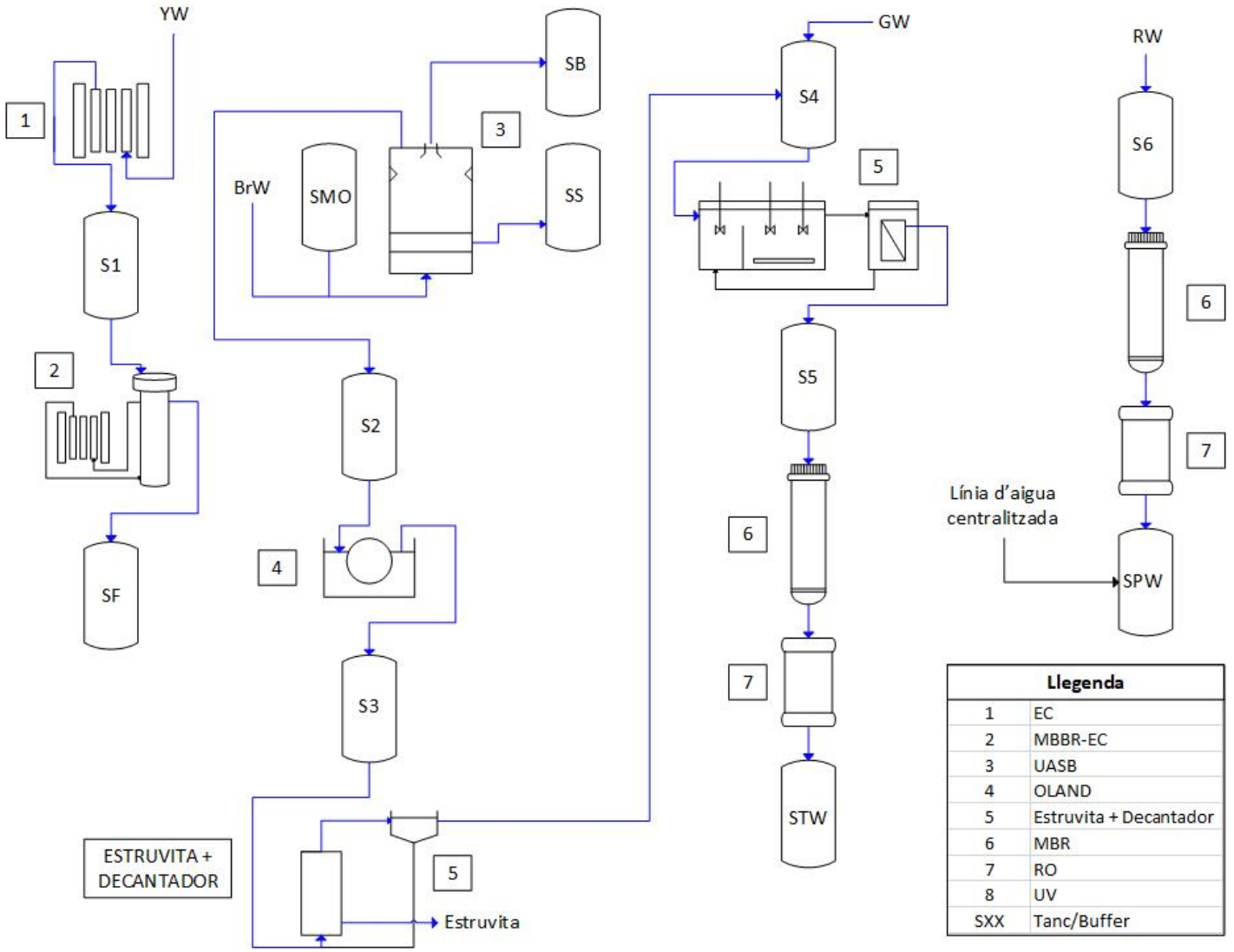


Fig 6: Diagrama de l'estratègia de descentralització proposada

2.3.3 Separació dels efluents

La separació dels diferents efluents és un tema clau per la recuperació dels nutrients, ja que separant-los s'obtenen cabals petits amb concentracions de nutrients elevades. La separació de les aigües negres (aigua de l'inodor) de les grises (resta d'aigües) amb un inodor al buit seria la millor estratègia d'estudi en termes econòmics (Garrido-Baserba et al., 2022). En aquest estudi, però, com que es prioritza la recuperació dels recursos, a banda de separar les aigües negres de les grises, les negres es separen en dos efluents: una línia d'aigües grogues (orina) i una d'aigües marrons (orina no recuperada + matèria fecal, paper). Aquesta separació es durà a terme amb l'ús d'inodors No-Mix.

Aquest tipus d'inodor utilitza 3L per descàrrega d'aigua. S'ha considerat una producció d'1,5 L/p·d d'orina i una eficiència de recuperació d'aquesta del 75% del cabal total, considerant les limitacions tecnològiques i de rendiment (Lienert & Larsen, 2010; Rossi et al., 2009). L'orina no recuperada es considera que es barreja amb l'aigua marró. Aquesta nova concentració de la barreja entre l'aigua marró i l'aigua groga no recuperada és calculada. La producció diària d'aigua marró per càpita considerada és de 15 L/p·d (Garrido-Baserba et al., 2022). Les aigües grises corresponen al 73% de les aigües residuals domèstiques, amb un valor mitjà de consum de 108 L/p·d (Larsen et al., 2013).

Fig 7: Inodor No-Mix. Font: Amazon

Taula 7: Composició dels influents (Coppens et al., 2016; Dhadwal et al., 2021; Kirchmann & Pettersson, 1994; Kujawa-Roeleveld & Zeeman, 2006; Maurer et al., 2006; Remy, 2010; Sun et al., 2020)

	YW (mg/L)	BrW (mg/L)	GW (mg/L)
COD	10.400,0	2.660,0	472,0
BOD	3.870,0	869,0	175,0
TN	8.800,0	278,0	8,0
NH4-N	463,0	80,9	3,0
N-NO3	0,0	0,0	6,0
TP	800,0	51,5	5,0
TSS	0,0	2.720,0	175,0
VSS	0,0	2.180,0	64,0

Línia d'aigües grogues

La separació de l'orina de la matèria fecal permet una millor recuperació dels nutrients i facilita la gestió de les aigües residuals, ja que l'orina té altes concentracions de nutrients i un cabal petit (De Paepe et al., 2020). Així, la separació permet tractar l'orina de manera més eficient, ja que el volum a tractar és inferior al de la barreja amb aigües marrons. Al llarg del treball, i en la recerca bibliogràfica, la línia d'aigües grogues es pot trobar referenciada com a "Yellow water" (YW). El tractament d'aquesta línia d'aigües permet l'obtenció de fertilitzants sòlids i líquids com a recursos.

Línia d'aigües marrons

Les aigües marrons estan constituïdes principalment d'orina (no recuperada), de matèria fecal, paper de vàter i aigua (Garrido-Baserba et al., 2022). Al llarg del treball, i en la recerca bibliogràfica, la línia d'aigües marrons es pot trobar referenciada com a "Brown water" (BrW i com BrW+NRYW). El tractament d'aquesta línia d'aigües permet l'obtenció de biogàs i fertilitzant sòlid com a recursos.

Línia d'aigües grises

Les aigües grises corresponen a les aigües d'ús domèstic que no estan relacionades amb els inodors, com per exemple cuina, dutxa, rentadora, etc. Aquestes es poden classificar en dues (Garrido-Baserba et al., 2018):

- Febles: corresponen a les aigües de la dutxa i la pica del bany.
- Fortes: corresponen a les aigües de la pica de la cuina i de tots els aparells que utilizen l'aigua com a element bàsic (rentadora).

Les característiques de les aigües grises depenen principalment de tres factors (Eriksson et al., 2002):

- Qualitat de l'abastiment.
- Tipus de xarxa de distribució (la lixiviació de la canalització, els processos biològics i químics en el biofilm de les canalitzacions poden ser perjudicials).
- Activitats de la casa.

Al llarg del treball, i en la recerca bibliogràfica, la línia d'aigües grises es pot trobar referenciada com a "Grey water" (GW). El tractament d'aquesta línia d'aigües permet l'obtenció d'aigua neta per usos no potables del domicili.

Línia de l'aigua de la pluja

L'aigua de la pluja es caracteritza per ser una aigua neta i, com a tal, necessita un tractament menor al de la resta d'aigües tractades en el projecte. Però, per poder tractar-la primer s'ha de captar. Al llarg del treball, i en la recerca bibliogràfica, aquesta es pot trobar referenciada com a "Rain water" (RW). El tractament d'aquesta línia d'aigües permet l'obtenció d'aigua potable per al consum domèstic.

2.3.4 Recollida residual matèria orgànica

S'ha estudiat l'aprofitament dels residus orgànics domèstics per tal de valorar quin efecte compartien en la producció de biogàs. Es considera que els residus orgànics domèstics són recollits a través d'un sistema de recollida porta a porta. L'any 2020, a Barcelona, es van recollir 110.854 tones de matèria orgànica (Ajuntament de Barcelona, 2021), corresponents a uns 182 g/p·d. Un estudi realitzat seguint aquest sistema de recollida a Barcelona, afirma que el contingut d'aquest és fruita (principalment pells de taronja) i residus vegetals, amb un contingut inert del 2% (Silvestre et al., 2015). Per dur a terme els càlculs del cabal volumètric, les concentracions dels diferents components, etc., cal saber la densitat dels residus. En

aquest estudi s'ha considerat que la densitat equival a la de les pells de taronja, essent d'1,05 g/cm^3 (Restrepo Duque et al., 2011).

2.3.5 Classificació dels mètodes de tractament d'aigües residuals

Els components que es troben a les aigües residuals s'eliminen per mitjans físics, químics i biològics. Els mètodes de tractament, es classifiquen en processos unitaris físics, químics i biològics. Tot i que aquests processos es produeixen en una varietat de combinacions en sistemes de tractament, s'ha trobat avantatjós estudiar la seva base científica per separat, ja que els principis implicats no canvien (Metcalf & Eddy, 2014).

Mètodes de tractament físics

Els mètodes de tractament en què predomina l'aplicació de principis físics es coneixen com a processos unitaris físics. Com que la majoria d'aquests mètodes van evolucionar directament a partir de les observacions directes de la natura per part de l'home, van ser els primers que es van utilitzar per al tractament d'aigües residuals. La floculació, la sedimentació, la flotació, la filtració i l'adsorció són processos d'unitat física típica. Per exemple, l'adsorció implica l'eliminació de compostos específics de les aigües residuals en superfícies sòlides utilitzant les forces d'atracció entre cossos (Metcalf & Eddy, 2014).

Mètodes de tractament químics

Els mètodes de tractament en què l'eliminació de components es produeix mitjançant l'addició de productes químics o per altres reaccions químiques es coneixen com a processos unitaris químics. La precipitació, la transferència de gasos, l'adsorció i la desinfecció són els exemples més comuns utilitzats en el tractament d'aigües residuals. En la precipitació induïda de forma química, el tractament s'aconsegueix produint un precipitat químic que es pot eliminar mitjançant processos de sedimentació, filtració o de membrana. L'addició d'oxigen a l'aigua per donar suport a les reaccions aeròbiques és l'exemple més comú de transferència de gasos. Un altre procés d'unitat química habitual és l'ús del clor per a la desinfecció d'aigües residuals, que es practica des de fa més d'un segle (Metcalf & Eddy, 2014).

Mètodes de tractament biològics

Els mètodes de tractament en què l'eliminació de components es produeix per activitat biològica es coneixen com a processos d'unitats biològiques. El tractament biològic s'utilitza principalment per eliminar les substàncies orgàniques biodegradables col·loidals o dissoltes que es troben a les aigües residuals. Bàsicament, aquestes substàncies es converteixen en gasos que poden escapar a l'atmosfera i en teixit cel·lular biològic que es pot eliminar mitjançant la sedimentació o el procés de separació d'un altre sòlid. També s'utilitza el tractament biològic per eliminar el nitrogen i el fòsfor de les aigües residuals. Amb un control ambiental adequat, les aigües residuals es poden tractar biològicament en la majoria dels casos. Per tant, és responsabilitat de l'enginyer assegurar-se que l'entorn adequat es produeix i es controla de manera eficaç per assolir tots els objectius del tractament (Metcalf & Eddy, 2014).

2.3.6 Tractaments línia d'aigües grogues

L'estratègia estudiada pel tractament de l'orina consisteix en l'estabilització, la qual indueix una precipitació d'un fertilitzant, seguit d'una nitrificació per la transformació d'aquesta en un fertilitzant líquid.

L'estabilització de l'orina és necessària, ja que la urea s'hidrolitza ràpidament en amoni i (bi)carbonat provocant una pèrdua de nutrients, l'obstrucció de sistemes de recollida, la volatilització de l'amoníac i males olors. El segon tractament s'encarrega de transformar tot el nitrogen present en nitrat, que és el component de nitrogen d'interès pels cultius (De Paepe et al., 2020). A continuació es presenta la reacció de la hidròlisi de la urea en amoníac.

$$CO(NH_2)_2 + 2\,H_2O \rightarrow NH_3 + {NH_4}^+ + {HCO_3}^-$$

Després de la ureòlisi (hidròlisis de la urea), la fracció de nitrogen en l'orina constituïda per amoníac passa de ser del 5% al 90% (Udert et al., 2006). i, per tant, cal una estabilització ràpida que es pot dur a terme per diverses estratègies. Una d'elles, és l'addició d'àcid per limitar la supervivència microbiana i l'activitat de la ureasa, evitant així, la hidròlisi enzimàtica de la urea (Hellström & Johansson, 1999), o la nitrificació per obtenir un producte estable i ric en nitrats (Larsen et al., 2013).

L'orina estabilitzada es pot convertir biològicament en una solució rica i estable en nitrats, útil com a fertilitzant, mitjançant la nitrificació (Coppens et al., 2016). La nitrificació es basa en transformar l'amoníac en nitrats. La nitrificació es produeix en dues etapes, la nitritació (les dues primeres reaccions especificades més avall) i la nitratació (tercera reacció) (Larsen et al., 2013):

$$NH_3 + 0{,}5\ O_2 \rightarrow NH_2OH$$

$$NH_2OH + H_2O + O_2 \rightarrow {NO_2}^- + H^+ + 2\ H_2O$$

$$NO_2^- + H_2O + 0{,}5\ O_2 \rightarrow {NO_3}^- + H^+ + H_2O$$

Els nitrats, a diferència de l'amoníac, no es volatilitzen i no arriben a concentracions tòxiques pels microorganismes (Mattson & Leatherwood, 2009). Els principals factors que afecten el procés global són:

- La temperatura: influeix en la taxa de creixement i activitat microbiana.
- L'oxigen dissolt disponible (DO).
- La concentració de substrat (per oxidar l'amoníac s'utilitzen *ammonia oxidizing bacteria* (AOB), i per l'àcid nitrós *nitrite oxidazing bacteria* (NOB).
- La concentració del producte: en alguns casos provoca la inhibició de l'activitat microbiana responsable de la seva producció (per exemple, els AOBs són inhibits per l'àcid nitrós, que també té un efecte inhibidor sobre els NOB).
- El pH: també regula els equilibris de les parelles àcid/base per amoníac, nitrit i hidroxilamina (Udert, et al., 2003).

Uridis cell

Un cop recollida, l'orina passa a ser estabilitzada. En aquest estudi, s'ha optat per una estabilització mitjançant una cel·la electrolítica. Una cel·la electrolítica està composta, almenys, per un ànode i un càtode sovint separats en dos compartiments diferents per una membrana d'intercanvi iònic (IEM). També consta d'una font d'alimentació externa que s'encarrega de provocar la diferència de potencial, fent possible la transferència d'electrons. Els ions s'intercanvien entre compartiments mitjançant la migració a través de la membrana per tal d'aconseguir

l'electroneutralitat (Larsen et al., 2013). Quan alimentem el sistema amb la font d'alimentació, les reaccions en el càtode i ànode són:

$$2\,H_2O + 2\,e^- \rightarrow H_2 + 2\,OH^- \qquad \text{(càtode)}$$

$$2\,H_2O \rightarrow O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- \qquad \text{(ànode)}$$

Al recircular l'orina del compartiment catòdic, s'augmenta el pH fins arribar al desitjat. Per l'estabilització de l'orina temporal, el pH s'ha d'elevar i mantenir per sobre d'11 (De Pryck, 2017). El fet d'augmentar el pH de l'orina comporta certs avantatges com: la reducció de la càrrega patògena i la possibilitat de recuperar fosfats (Randall et al., 2016). Tenint en compte els riscos d'obstrucció, com a solució es proposa la seva precipitació de manera controlada en un dipòsit, el qual un cop recuperat es buida i es filtra així recuperant els minerals, com per exemple l'estruvita (De Pryck, 2017; Udert, et al., 2003).

Reactor de llit mòbil (MBBR)

L'orina estabilitzada s'ha de convertir en una solució nutritiva estable en el temps a partir de l'alimentació en un bioreactor aeròbic. En aquest, es produeix la nitrificació i l'oxidació de la DQO. Per dur a terme la nitrificació s'ha utilitzat un reactor de llit mòbil (MBBR).

El MBBR consisteix en un reactor amb un llit mòbil que es sol tractar d'un suport constituït per peces de plàstic (molts cops de polietilè) de mida petita, sobre la superfície del qual creix un prat bacterial o biomassa en forma de pel·lícula. Les peces del llit mòbil tenen geometries especials per tal d'aconseguir una elevada superfície específica per unitat de volum, a més d'una alta adhesió dels microorganismes. Les peces que formen el llit, es troben contínuament agitades i movent-se lliurement. En funció de l'atmosfera desitjada s'utilitza un mecanisme o un altre. En sistemes anaeròbics o anòxics les peces són agitades per acció mecànica. Per sistemes anaeròbics, també es pot utilitzar la recirculació de gasos; però com que aquest estudi requereix d'un sistema aeròbic, les peces són agitades amb aire (Orlando D, 2020).

Explicat el funcionament, cal tenir present que el pH juga un paper molt important en la nitrificació. Depenent de si es té o no un control del pH, es podrà assolir una nitrificació completa o parcial. En general, el rang de pH òptim per la

nitrificació oscil·la entre 7,2 i 8, però també s'ha observat una nitrificació completa a pH més baix, de 6,7 (Gritti, M. C, 2018). El control del pH es pot dur a terme mitjançant l'addició de bases o electro-químicament, fet que podria presentar beneficis i inconvenients específics, en termes d'impacte en les característiques del producte final i en els costos de tractament (Gritti, M. C, 2018). En aquest estudi es realitza el control de pH a 7,5 amb una cel·la electroquímica.

2.3.7 Tractament línia aigües marrons

En aquest estudi, la línia d'aigües marrons s'ha tractat com si fos aigua negra. Cal fer èmfasi en el fet que el potencial de recuperació d'energia i nutrients és inferior al de les negres, ja que gran part d'aquest se'n va a les aigües grogues. Tot i així, aquesta té els ingredients necessaris per a la producció de biogàs, la matèria fecal. L'estratègia proposada consisteix en la producció de biogàs mitjançant la codigestió, l'eliminació del nitrogen i la recuperació del fòsfor en forma d'estruvita. Un cop l'aigua marró ha sigut tractada per aquesta sèrie de tractaments esmentats, s'ha ajuntat amb la línia d'aigües grises per tractar-les de manera conjunta.

Un aspecte important a tenir en compte és la presència de microcontaminants en aquestes aigües. Els productes farmacèutics, els productes de neteja personals són alguns dels exemples de fonts principals d'aquests microcontaminants. L'eliminació d'aquests és elevada, per aquest motiu interessa fer-los passar pel màxim nombre de tractaments possible. Amb l'estratègia estudiada, les aigües marrons són sotmeses a tres tractaments i posteriorment són enviades a la línia d'aigües grises, afavorint així, l'eliminació de gran part dels microcontaminants (Garrido-Baserba et al., 2018).

Reactor de flux suspès (UASB)

Els reactors de flux suspès, en anglès "Upflow Anaerobic Sludge Blanket" (UASB), són una tipologia de digestors anaeròbics adequats per tractar aigües residuals (Buzzini & Pires, 2007). El procés que es duu a terme en aquests consisteix en què els microorganismes aconsegueixin l'energia necessària per créixer, a partr de la metabolització de la matèria orgànica, en un ambient lliure d'oxigen (Batstone et al., 2002). Aquest procés consta de 4 etapes on cadascuna requereix un tipus de microorganismes (Garrido-Baserba et al., 2018):

- Hidrólisis: els enzims exocel·lulars produeixen monòmers i dímers solubles a partir de bio-polímers. Aquesta etapa limita l'eliminació de matèria orgànica.
- Acidogènesi: els components orgànics solubles són convertits en àcids grassos volàtils i diòxid de carboni pels bacteris acidogènics.
- Acetogènesi: els bacteris acetogèncis fan que els àcids grassos volàtils passin a acetat.
- Metanogènesi: es produeix metà a partir dels bacteris que utilitzen àcid acètic o hidrogen i diòxid de carboni.

Com s'ha explicat amb anterioritat, el procés finalitza amb la producció de metà, el qual va acompanyat de CO_2, H_2S i H_2. El combustible que engloba aquesta combinació, s'anomena biogàs (Weiland, P, 2010). El contingut de metà en aquest, és del 60%, però hi ha la possibilitat d'augmentar aquest en funció de l'influent.

Per augmentar la producció de biogàs, s'ha dut a terme una codigestió de les aigües marrons junt amb els residus de matèria orgànica generats per la gent de l'illa. Aquesta estratègia implica treballar en condicions mesofíliques, amb una temperatura de 35ºC i igualant el temps hidràulic de residència al temps de residència dels sòlids, al voltant dels 15 dies (Metcalf & Eddy, 2014).

La velocitat ascensional de l'aigua és un dels paràmetres clau a controlar, ja que aquesta és la que s'encarrega que hi hagi contacte entre el fang i l'aigua a tractar, fent que el llit es mantingui en suspensió. Si aquesta és massa alta pot provocar despreniment de fangs al llit (Garrido-Baserba et al., 2018). L'aigua a tractar en el UASB, té una concentració elevada de sòlids, fet que provoca la generació d'un llit floculant en comptes de granular (Kujawa-Roeleveld & Zeeman, 2006). Tot i que la densitat dels flòculs sigui menor que la dels grànuls, la qual cosa implica un pitjor establiment del llit així poden comportar pèrdues dels fangs a través de l'efluent, es poden aconseguir bones retencions del fang amb el llit floculat (De Graaff et al., 2010; Larsen et al., 2013).

Com s'està parlant d'aigües amb altes concentracions, el nivell d'hidròlisis serà el factor limitant, pel qual s'establiran temps de retenció sòlids alts per tal d'aconseguir una correcta estabilització dels fangs a l'interior de l'equip. El fet de no

tenir el nivell d'hidròlisis com a factor limitant comporta una disminució important en la producció de metà i eliminació de matèria orgànica (De Graaff et al., 2010).

Nitrificació i desnitrificació autòtrofa (OLAND)

El tractament de nitrificació i desnitrificació autòtrofa o en anglès "Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification/Denitrification" (OLAND), és un tractament que consisteix en controlar l'oxigen dissolt a l'interior del reactor per tal de no inhibir l'activitat dels microorganismes anammox i d'afavorir la formació de nitrit (Kuai & Verstraete, 1998).

El procés convencional de tractament del nitrogen és la nitrificació/desnitrificació, però aquest per les aigües procedents d'un UASB no pot ser utilitzat, ja que no hi ha suficient matèria orgànica pels bacteris heterotròfics (Larsen et al., 2013).

El procés anammox (anaerobic ammonium oxidation) consisteix en oxidar l'amoni directament a nitrogen en un sol pas (Kuai & Verstraete, 1998). Per oxidar l'amoni directament a nitrogen necessita una espècie que es redueixi, on la conversió autotròfica de l'amoni a nitrogen gasós està constituïda de dues etapes: una primera etapa que consisteix en l'oxidació parcial de l'amoni a nitrit duta a terme pels AOBs, i la segona etapa sent una oxidació anaeròbica, procés anammox (Kuai & Verstraete, 1998; Vlaeminck et al., 2012).

$$NH_4^+ + NO_2^- \rightarrow N_2 + 2H_2O$$

Les variables a tenir en compte per dur a terme el procés anammox són el pH i la temperatura. El rang de pH de treball es troba entre 6,4 i 8,3, i una temperatura entre 37 i 40 ºC (Beylier et al., 2015). El pH i la temperatura de l'efluent del UASB ja està dintre dels rangs de treball, però tot i així s'ha de tenir un sistema de control que garanteixin que es mantenen les condicions de treball (Garrido-Baserba et al., 2018).

Format el nitrit no interessa que aquest passi a nitrat, ja que disminuiria l'eficiència de la reacció anammox. Per evitar aquesta s'ha d'inhibir els NOB, per fer-ho hi ha dues opcions: incrementar el pH i la temperatura i treballar en baixes concentracions d'oxigen (Larsen et al., 2013). Treballar amb un pH de 7,7 permet treballar en uns nivells d'amoníac que inhibeixen l'activitat dels NOB sense tenir grans efectes en els AOB (Vlaeminck et al., 2009).

Hi ha dues possibles configuracions per dur a terme el procés OLAND: els reactors discontinus seqüencials (SBR) i els biodiscs (RBC). En aquest estudi es durà a terme la segona configuració, ja que la primera no ha estat verificada pel tractament d'aigües (Garrido-Baserba et al., 2018) , tot i així l'ús d'un RBC sembla més adient per tractaments descentralitzats (Larsen et al., 2013). Un biodisc és un reactor de biomassa fixada, on els microorganismes es troben fixats sobre un suport format per discs, el qual una part es troba submergida permetent així l'aportació d'una quantitat d'oxigen dissolt al sistema. És important tenir una alta superfície de rebliment, ja que aquesta afavoreix la formació de biofilm (Garrido-Baserba et al., 2018).

Amb aquesta estratègia és recomanable col·locar l'OLAND abans que el tractament d'estruvita, ja que s'aconsegueix treballar a la temperatura de sortida de l'UASB, i es disminueixen les impureses en l'estruvita obtinguda en el cristal·litzador (Roefs et al., 2017).

Reactor d'estruvita + decantador

Consisteix en la cristal·lització del mineral estruvita, seguit d'una decantació per tal de fer possible la recuperació. La recuperació del fòsfor en forma d'estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$), és la forma de recuperació més utilitzada en l'actualitat (Garrido-Baserba et al., 2018). La reacció de recuperació de l'estruvita s'especifica més avall. Aquesta acostuma a precipitar amb una relació 1:1:1 on n és variable en funció del pH, essent un valor de 0, 1 o 2 (Pastor, L, 2008).

$$Mg^{2+} + {NH_4}^{+} + {H_nPO_4}^{n-3} \rightarrow MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O + nH^{+}$$

Els paràmetres clau que afecten en l'eficiència de la reacció són el pH i les condicions de sobresaturació. El pH necessari és d'entre 8 i 9,5, on l'augment de l'eficiència va relacionat amb l'augment de pH (De Graaff et al., 2011; Larsen et al., 2013), i aquest fa que les condicions de sobresaturació necessàries siguin majors o menors.

La nucleació i el creixement, són les dues etapes necessàries per a la cristal·lització de l'estruvita. La primera etapa és el naixement del cristall, la qual influirà en la primera cristal·lització. Es pot diferenciar entre nucleació primària, on l'aparició de nuclis es forma dins d'una solució que no conté cristalls de l'espècie a cristal·litzar (distingint entre homogènia i heterogènia), i nucleació secundària, on

l'aparició de nuclis és provocada per cristalls ja existents (Garrido-Baserba et al., 2018). La segona etapa del procés, consisteix en el creixement del cristall fins a convertir-se en un cristall de mida visible (Pastor, L, 2008). La primera etapa de la cristal·lització s'assoleix en qüestió de minuts, en canvi, el creixement del cristall ho fa de manera gradual amb el temps, per això s'ha de mantenir un temps de reacció adequat (Tarragó Avella, 2014).

Aquest tipus de reactor, consta de diferents possibles configuracions. La velocitat de caiguda, és la variable que permet controlar el diàmetre de les partícules, paràmetre clau per l'obtenció d'una mida de l'estruvita el més gran possible, ja que contra major sigui la mida, més gran serà el creixement de les plantes (Tarragó et al., 2016). Per poder controlar-la, l'influent entra al reactor per la zona inferior, així fent que la velocitat ascensional del fluid a través del reactor sigui un paràmetre clau, podent modelar-la a partir de la secció del reactor o a partir de la injecció d'aire (Tarragó et al., 2016). El fet de no controlar adequadament aquesta velocitat podria provocar que la mida de l'estruvita recuperada sigui molt petita (velocitat baixa) o un arrossegament de sòlids a l'efluent (velocitat alta) (Garrido-Baserba et al., 2018).

El disseny per aquest estudi serà simple, d'una secció i un sedimentador posterior, ja que com es treballa a petita escala no cal un disseny complex de varies seccions com els que presenten alguns models del mercat (Garrido-Baserba et al., 2018). La recirculació del sedimentador serveix per augmentar la formació de nuclis a partir dels nuclis ja existents, així augmentat l'eficiència del sistema (Garrido-Baserba et al., 2018). Per portar l'aigua a condicions de sobresaturació, s'utilitza l'hidròxid de magnesi el qual també ens ajuda a augmentar el pH fins a 8. Amb aquest disseny l'estruvita es recupera per la part inferior del reactor amb l'ajuda de vàlvules (Garrido-Baserba et al., 2018).

2.3.8 Tractament línia d'aigües grises

L'estratègia estudiada pel tractament de la línia d'aigües grises consisteix en tractar el conjunt d'aigües grises amb les marrons tractades. L'aigua marró tractada s'ha unit amb la línia d'aigües grises, ja que la primera no té una qualitat suficient per ser abocada. Això ha permès l'obtenció d'una quantitat d'aigua tractada superior. El conjunt s'ha fet passar per una seqüència de tres tractaments, dels quals surt una aigua d'una qualitat apte per ser considerada aigua de boca (Otterpohl et al., 2003).

El conjunt del sistema de tractament de les aigües grises estudiat està format per un reactor biològic de membrana, seguit d'una osmosi inversa i un tractament ultraviolat.

Consideracions de seguretat

Les distàncies físiques properes entre el tractament i l'equip, ja que la proximitat de l'alimentació als dipòsits d'aigua tractada, podria oferir una oportunitat per al transport microbià (per exemple, aerosols, connexions creuades, etc.) (Bhattacharjee & Datta, 2019). S'ha demostrat que la combinació de tecnologies MBR-RO-UV elimina bacteris i virus (Friedler & Gilboa, 2010; Ghernaout et al., 2019; Tang et al., 2018). Tot i així, es programarien proves de qualitat periòdiques per evitar el creixement de bacteris resistents al tractament UV, el salt de bacteris i el recreixement.

Reactor biològic de membrana (MBR)

El reactor biològic de membrana en anglès "Membrane Bioreactor" (MBR), és un sistema que separa els sòlids de l'aigua a partir de membranes de filtració. Aquesta és una tecnologia que permet reduir i eliminar etapes d'un tractament convencional de fangs actius.

El procés que porta a terme un bioreactor de membrana està compost de 5 etapes segons (BlueGold, 2020):

- Pretractament
- Reactor biològic
- Separació de sòlid-líquid
- Recirculació de fangs
- Condicionament de l'efluent

De les etapes esmentades que componen el procés, les tres primeres són les que adquireixen un paper important. El pretractament és la fase preventiva per evitar danys al sistema. En el reactor biològic es duu a terme l'oxidació tant aeròbica com anaeròbica, sent la segona variable en funció de les necessitats. I per últim la separació de sòlid-líquid a través d'una ultrafiltració, que segons la disposició de la membrana es poden diferenciar dos tipus: el primer tipus submergeix les membranes

com mòduls dins del propi bioreactor mentre que el segon, les submergeix en un tanc extern.

S'ha suposat que el MBR del sistema utilitza una configuració de rebuig de corrent lateral, incloent-hi la combinació del tractament biològic en un tanc d'aeració i una ultrafiltració de membrana multitubular en un flux creuat en bucle (Santasmasas et al., 2013).

Osmosi inversa (RO)

L'osmosi inversa (RO) és un procés de purificació de l'aigua el qual elimina les partícules en suspensió. És un mètode fisicoquímic que atrapa les partícules fent-les passar per unes malles semipermeables.

Normalment, a través de la membrana com a permeat passa el 15-30%, en funció de l'equip. La resta, roman al costat d'entrada i surt com a corrent de concentrat que conté la majoria de les sals, els orgànics i essencialment totes les partícules, totes les impureses. El gran avantatge de la RO és l'ampli ventall d'impureses que elimina (Elga Veolia, 2021).

Un cop l'aigua ha passat per l'osmosi inversa, l'aigua s'ha de sotmetre a un tractament de remineralització, ja que aquest tractament impedeix el pas de les sals. Un avantatge és el fet de poder adaptar la mineralització a mida en funció de l'ús que es vulgui prioritzar, atès que cada ús li anirà millor una concentració de sals o un altre.

Tractament ultraviolat

El tractament ultraviolat (UV) és un mètode comú de lluita contra els microorganismes en els sistemes de tractament d'aigües. Aquest procediment tracta només els bacteris que passen a través de la bombeta UV. S'ha de tenir en compte que aquest procediment no ofereix una protecció a llarg termini. Pel tractament d'aigües s'utilitzen sistemes UV amb bombetes de mitja i baixa pressió, però la majoria dels dispositius per aplicacions en edificis són amb bombetes de baixa pressió (Grundfos, 2022).

2.3.9 Tractament línia aigua de pluja

L'estratègia estudiada pel tractament l'aigua de la pluja consisteix en recollir-la i potabilitzar-la, fent-la passar per una osmosi inversa i un tractament d'ultraviolats. Un cop tractada, aquesta passa a ser utilitzada per les demandes d'ús potable de la llar. En la captació de l'aigua de la pluja s'ha de tenir en compte que no tota és recollida, aquest percentatge el determina el coeficient d'escorrentia o les pèrdues que es poden produir. En aquest estudi s'ha considerat un coeficient de recuperació del 85% (Verdaguer et al., 2014). Pel que respecta la concentració de l'aigua de la pluja, al ser valors variables i ser aigua que està neta, no s'ha estudiat com evoluciona aquesta al llarg del tractament.

3 Resultats i discussió

Per l'avaluació de l'estat recurs aigua a la ciutat de Barcelona, s'ha realitzat un balanç de la disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial amb el consum d'aigua potable als domicilis. S'ha fet així, ja que com representen el mateix percentatge en cadascun dels grups, és a dir, la disponibilitat d'aigua d'origen superficial dins la total disponible, equival al 74%, i el mateix passa amb el consum domèstic.

Per l'avaluació econòmica s'han utilitzat les eines d'avaluació CAPEX i OPEX per comparar el cost total del sistema proposat amb el del sistema actual.

- El CAPEX: sigles de CAPital EXpenditures són les inversions inicials de capitat en un actiu.
- L'OPEX: sigles de OPerating EXpenditures fa referència al cost d'operació i manteniment. Com és un cost anual, s'ha tingut en compte la variació del valor dels diners, s'ha aplicat un valor d'interès determinat. Per fer-ho s'han descomptat els costos anuals en funció del temps de vida a partir del valor actual net (VAN)

$$VAN = \sum_{t=1}^{temps\ de\ vida} \frac{OPEX\ anual\ total}{(1+r)^n} \quad \text{(eq 1)}$$

En aquest estudi s'ha tingut en compte un interès (r) del 5% amb un temps de vida de 30 anys (Roefs et al., 2017).

Dins del cost del CAPEX i l'OPEX hi ha el cost del monitoratge, el qual en aquest treball no s'ha comptabilitzat com a tal, però al final, se li ha donat un valor del 24,2% respecte al cost total del sistema (Garrido-Baserba et al., 2022).

3.1 Disponibilitat d'aigua a la ciutat de Barcelona

3.1.1 Demografia

Com s'ha esmentat en la metodologia, la projecció de població a Catalunya feta per l'IDESCAT, ha sigut l'estudi de referència per la realització de les projeccions tant de Barcelona com de l'AMB (IDESCAT, 2022b). En aquest estudi s'ha focalitzat amb els escenaris mitjà i alt, i s'han extrapolat aquests per realitzar les projeccions.

A la Taula 8 es mostren els resultats obtinguts de la projecció realitzada per la població de Barcelona, seguit de la representació gràfica respectiva (Fig 8).

Taula 8: Projecció demogràfica de la ciutat de Barcelona als anys 2030 i 2050

Any	Real	Mitjà	Alt
2021*	1.636.732	-	-
2030	-	1.707.272	1.805.230
2050	-	1.820.534	2.067.777
2070	-	1.841.028	2.249.061

*S'ha considerat que la població al 2020 i al 2021 és similar

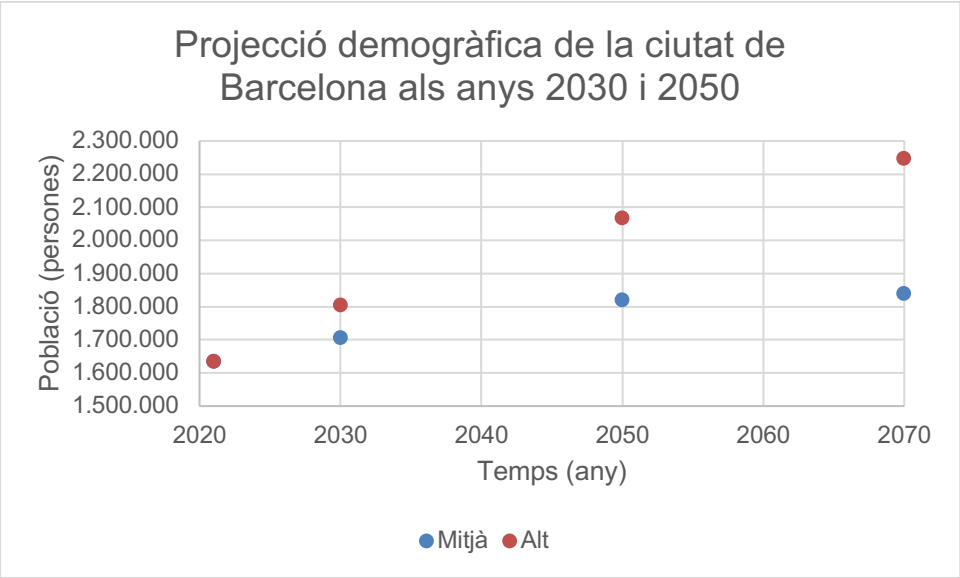


Fig 8: Projecció demogràfica de la ciutat de Barcelona als anys 2030 i 2050

Com s'observa a la Fig 8 en tots dos escenaris es projecta un augment de la població a la ciutat de Barcelona. L'escenari alt en comparació amb el mig, l'augment de població projectat és més intens.

3.1.2 Disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial

La projecció de la disponibilitat d'aigua s'ha realitzat considerant la disponibilitat de l'AMB, l'any 2020 com a base (Ajuntament de Barcelona, 2021), on la projecció d'aquesta anirà relacionada amb els canvis del patró de pluja en els embassaments (Servei Meteorològic de Catalunya, 2020). Primer s'ha realitzat la projecció de la disponibilitat a l'AMB (Taula 9) i després, s'ha determinat quina és la disponibilitat d'aigua per persona en cada un dels escenaris demogràfics, en funció

dels escenaris climàtics, així obtenint la combinació de disponibilitat d'aigua d'origen superficial respecte la projecció demogràfica i pluviomètrica.

Taula 9: Projecció de la disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial a l'AMB

	Disponibilitat d'aigua al 2030 (hm3)		Disponibilitat d'aigua al 2050 (hm3)	
Embassament	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
TER	51,964	51,849	47,993	47,217
Llobregat	106,508	97,926	104,055	97,760
Total	158,472	149,774	152,048	144,977

La Taula 10 mostra els valors obtinguts de la projecció de disponibilitat d'aigua d'origen superficial per un escenari demogràfic mitjà, i la Taula 11 per un escenari demogràfic alt. La Fig 9 representa la combinació de les projeccions de la disponibilitat d'aigua d'origen superficial de la ciutat de Barcelona.

Taula 10: Projecció de la disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial de l'escenari demogràfic mitjà pels possibles escenaris climàtics RCP 4.5 i RCP 8.5

	Disponibilitat d'aigua al 2030		Disponibilitat d'aigua al 2050	
Escenari	MRCP 4.5	MRCP 8.5	MRCP 4.5	MRCP 8.5
Barcelona (hm^3)	78,505	78,505	74,197	74,197
Persona (L/p*d)	125,980	119,144	119,066	112,605

Taula 11: Projecció de la disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial de l'escenari demogràfic alt pels possibles escenaris climàtics RCP 4.5 i RCP 8.5

	Disponibilitat d'aigua al 2030		Disponibilitat d'aigua al 2050	
Escenari	ARCP 4.5	ARCP 8.5	ARCP 4.5	ARCP 8.5
Barcelona (hm^3)	78,505	74,197	74,197	75,323
Persona (L/p*d)	119,144	119,066	112,605	113,354

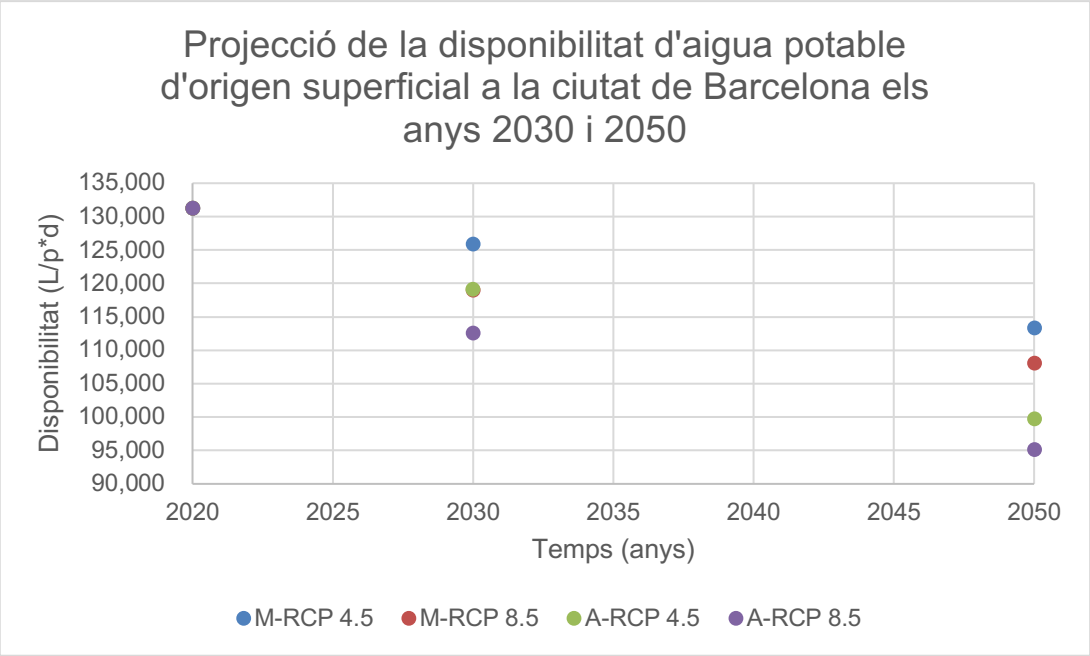


Fig 9: Projecció de la disponibilitat d'aigua potable d'origen superficial a Barcelona els anys 2030 i 2050

Com es pot observar a la Fig 9, la disponibilitat d'aigua d'origen superficial de la ciutat en tots els escenaris, en major o menor mesura acaba disminuint. Com és d'esperar, l'escenari climàtic RCP 8,5 en comparació amb el RCP 4,5, projecta una disponibilitat més baixa (comparant pel mateix escenari demogràfic). El mateix succeeix si es compara la disponibilitat en funció de la taxa de població de la ciutat pel mateix escenari climàtic. En l'escenari mitja com hi viu menys població la disponibilitat és major.

3.1.3 Consum d'aigua

La projecció del consum d'aigua domèstica s'ha realitzat tenint en compte la projecció de la població de la ciutat. S'ha considerat que el consum per persona serà constant, essent de 110,4 L/p·d. A l'haver dos escenaris demogràfics (mig i alt), s'han obtingut dos consums d'aigua domèstica de la ciutat. La Fig 10 representa la projecció de la demanda d'aigua a la ciutat de Barcelona.

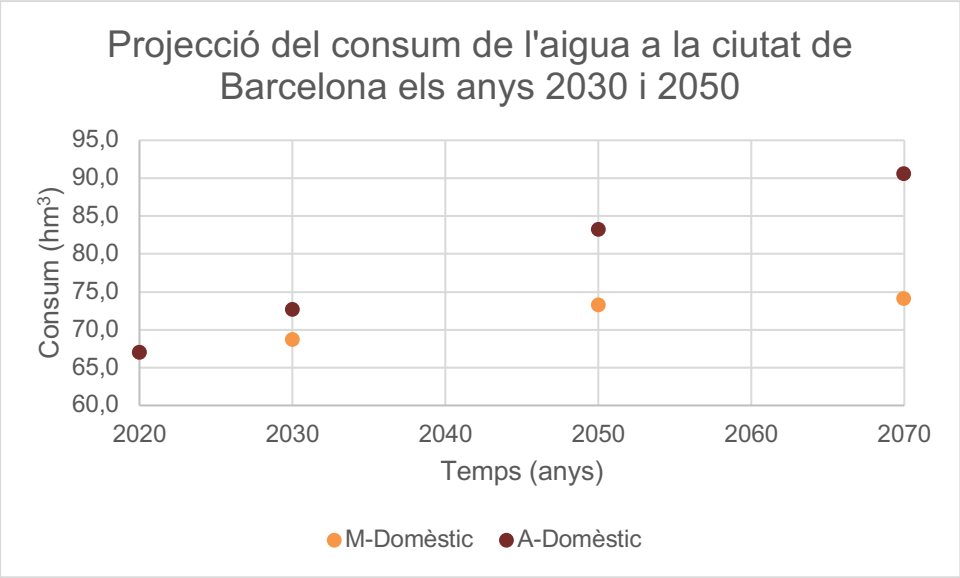


Fig 10: Projecció del consum de l'aigua a la ciutat de Barcelona els anys 2030 i 2050

Com s'observa a la Fig 10, en tots dos escenaris es projecta un augment del consum domèstic a la ciutat. Això és degut al fet que el consum és proporcional al nombre de persones que hi viuen a la ciutat. Per aquest motiu en l'escenari demogràfic alt, es projecta un consum domèstic superior que en l'escenari mitja.

3.1.4 Patró de pluja a la ciutat de Barcelona

Com s'ha comentat en la metodologia, la projecció de la precipitació acumulada a Barcelona s'ha realitzat seguint el mateix procediment de càlcul que l'utilitzat per la disponibilitat d'aigua d'origen superficial. Del document adaptat pel METEOCAT, s'han utilitzat els percentatges del canvi del patró de pluja pronosticats pels escenaris RCP 4,5 i RCP 8,5 dels anys 2030 i 2050 a la ciutat de Barcelona (Servei Meteorològic de Catalunya, 2020). La Fig 11 mostra els percentatges utilitzats per la realització de la projecció. La Fig 12 representa la projecció del patró de pluja a la ciutat de Barcelona als anys 2030 i 2050.

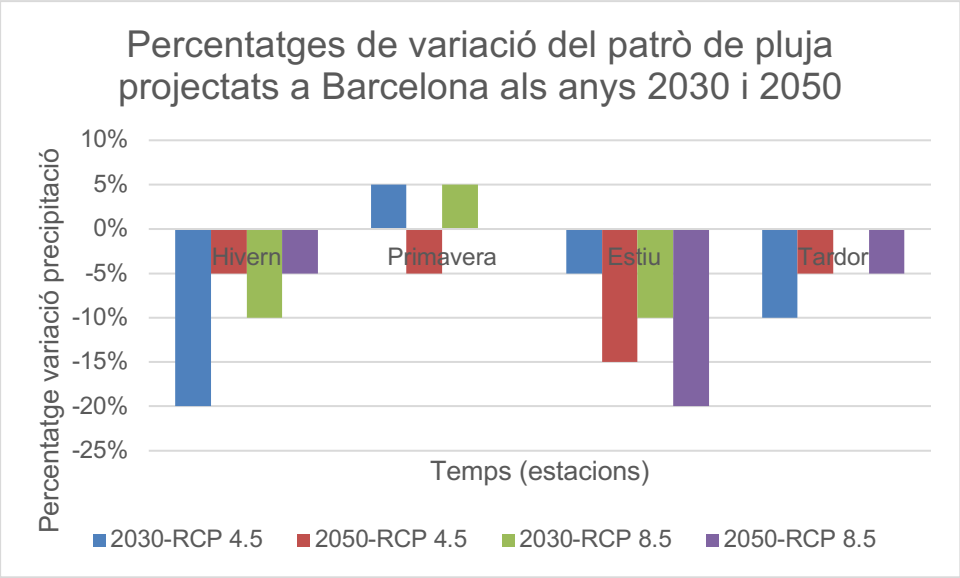


Fig 11: Percentatges de variació del patró de pluja projectats a Barcelona als anys 2030 i 2050

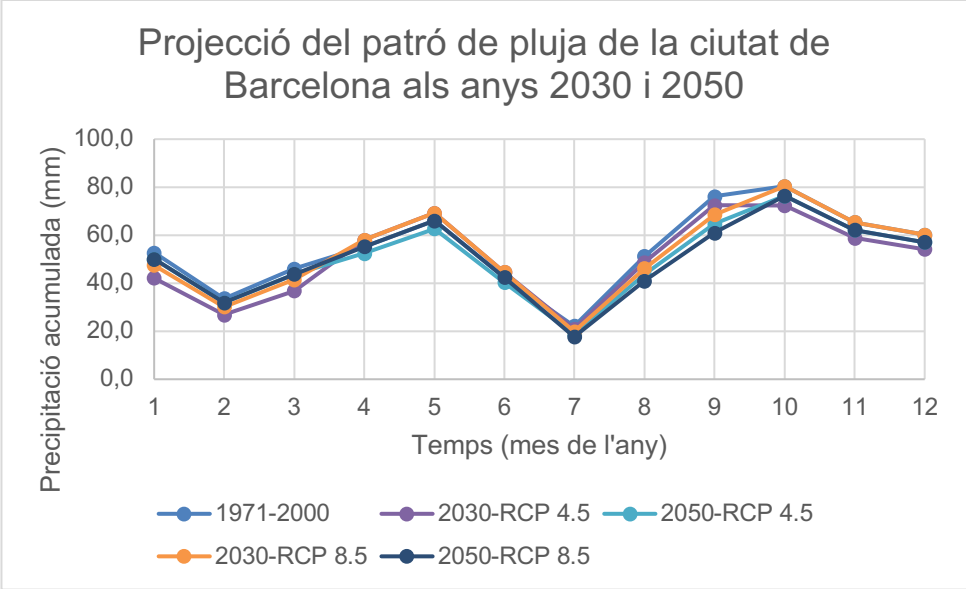


Fig 12: Projecció del patró de pluja de la ciutat de Barcelona als anys 2030 i 2050

3.1.5 Balanç i discussió de la disponibilitat d'aigua a Barcelona

Una vegada fetes les projeccions, s'ha fet i valorat quina serà la situació que es trobarà la ciutat de Barcelona, si aquesta continua utilitzant la mateixa estratègia pels diferents possibles escenaris estudiats.

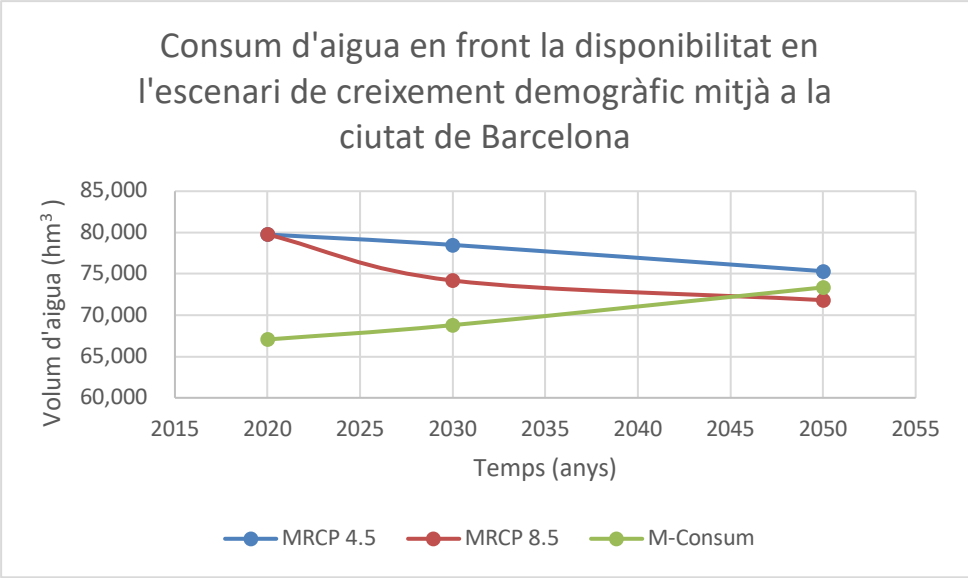


Fig 13: Consum d'aigua en front la disponibilitat en l'escenari demogràfic mitjà a Barcelona

En cas de complir-se l'escenari demogràfic de creixement mitjà a Barcelona, es pot observar que per l'escenari climàtic RCP 8,5, entre el 2030 i 2050 no es podran satisfer les necessitats d'aigua de la ciutat.

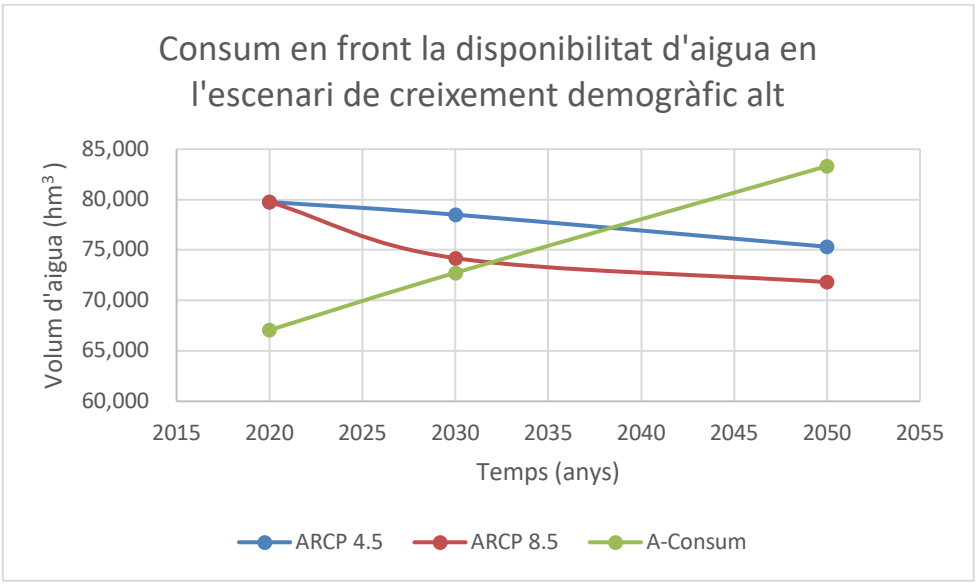


Fig 14: Consum d'aigua en front la disponibilitat en l'escenari demogràfic alt a Barcelona

En cas de complir-se l'escenari demogràfic de creixement alt a Barcelona, es pot observar que pels dos escenaris climàtics, entre el 2030 i 2050 no es podran satisfer les necessitats d'aigua de la ciutat. També es pot observar que la disponibilitat i demanda d'aigua en l'escenari RCP 8,5 l'any 2030, són molt properes. Aquest fet agreuja la situació de la ciutat, ja que l'escassetat és imminent.

3.2 Estudi tecno-econòmic de la descentralització d'una illa tipus de Barcelona

3.2.1 Cas d'estudi

Per la determinació de l'illa tipus, la base de càlcul, s'ha dimensionat com si fos del barri de la dreta de l'eixample. A continuació s'adjunten les dades necessàries per a la determinació d'un edifici tipus del barri (Gutiérrez, J & Gutiérrez, L, 2010; IDESCAT, 2011, 2016a, 2016b, 2022a).

Taula 12: Característiques del barri - Dreta de l'Eixample

Població	43.715
Domicilis	18.391
Total Locals	26.941
Superfície Vivenda (m^2)	113,4

Taula 13: Número d'edificis en funció del nombre de plantes del barri - Dreta de l'Eixample

Número de plantes	Nombre d'edificis
1	22
2	18
3	23
4	32
5	122
6	478
7	522
8	298
9	198
10	119
Total	1.832

Amb aquesta informació es pot determinar les característiques de l'edifici com la densitat, el nombre de portes per planta i quina és la mitjana de plantes que té un edifici al barri. Una característica important de l'edifici és el factor de forma, el qual ens diu quan quadrat és l'edifici. Els valors oscil·len entre 1 i 3, on quan el valor és proper a 1 tendeix a ser rectangular i quan el valor és proper a 3 tendeix a ser

quadrat. En aquest estudi s'ha utilitzat un factor de forma d'1,44 (Garrido-Baserba et al., 2022).

$$Densitat\ \left(\frac{pers}{domicili}\right) = \frac{població}{domicilis} \quad \text{(eq 2)}$$

$$Nombre\ de\ \frac{portes}{planta} = \frac{locals}{\sum nombre\ de\ plantes \times nombre\ d'edificis} \quad \text{(eq 3)}$$

$$Nombre\ mitjà\ de\ \frac{plantes}{edifici} = \frac{\sum nombre\ de\ plantes \times nombre\ d'edificis}{nombre\ d'edificis} \quad \text{(eq 4)}$$

Taula 14: Característiques d'un edifici tipus del barri - Dreta de l'Eixample

Densitat (persones/domicili)	2,4
Nombre de portes per planta	2,11
Mitjana número de plantes per edifici	7
f_2	1,44

Per acabar de determinar la base càlcul, s'ha de determinar quin és el nombre d'edificis per illa, aquesta es fa de manera visual amb l'ajuda del "Google Maps". S'ha agafat un barri qualsevol i s'han contat el nombre d'edificis d'una illa. Pel que respecta la superfície mitjana d'aquesta, s'ha trobat que és d'1,24 ha (Gutiérrez, J & Gutiérrez, L, 2010).

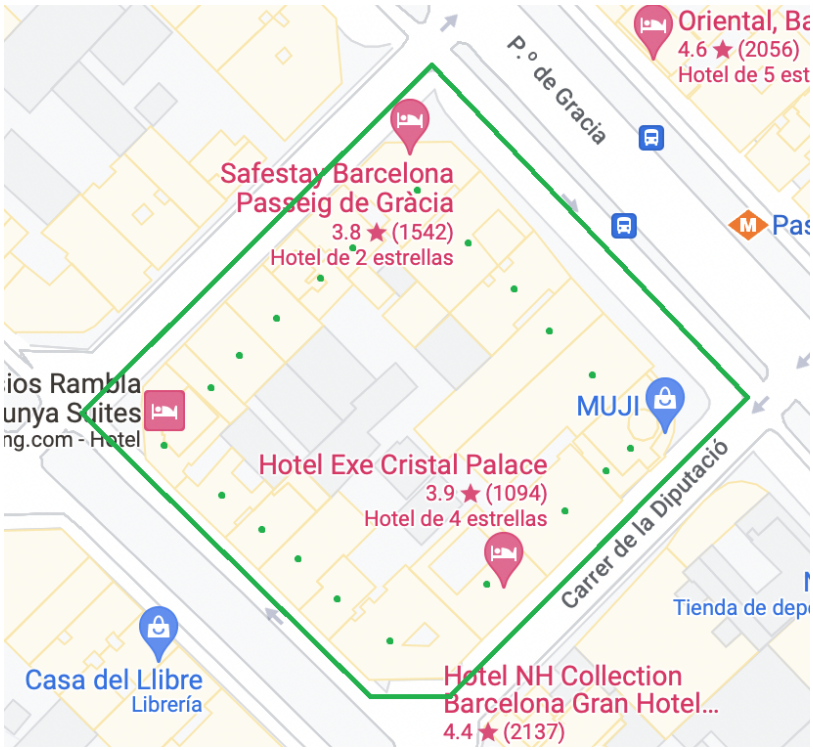


Fig 15: Recompte d'edificis d'una Illa d'habitatges de la Dreta de l'Eixample. Font: Google Maps

S'ha trobat que el nombre d'edificis per illa és de 20 edificis, llavors ja es pot determinar quin és el nombre de persones essent 699 persones l'any 2020.

3.2.2 Canalitzacions

Determinada al base de càlcul, es passa a determinar quina és la longitud necessària de les canonades. Per dur a terme l'estratègia proposada de descentralització, la instal·lació ha de constar de 4 canalitzacions diferents.

- **Dimensionament**

Primer de tot cal determinar la longitud de les canonades. Aquesta s'ha considerat igual per totes les línies d'aigua. El càlcul de la longitud, es fa amb l'ajuda de l'equació 6, però primer s'ha de determinar quina és l'àrea de la planta amb l'equació 5 on aquesta té en compte l'àrea comuna del replà.

$$A = 1{,}55 \times A_{HH} \times N_{HH} + 30 \qquad \text{(eq 5)}$$

On:

- A_{HH} és l'àrea per domicili
- N_{HH} és el nombre de portes per planta

$$L_s = 0{,}5 \times A \times \sqrt{f_2 \times \rho} \qquad \text{(eq 6)}$$

$$\rho = \frac{nombre\ de\ portes \times nombre\ de\ plantes}{\grave{A}rea\ planta} \qquad \text{(eq 7)}$$

Taula 15: Informació de les canalitzacions

Àrea edifici (m^2)	401,61
Factor de forma	1,44
Densitat d'edificis (domicilis/m^2)	0,04
Longitud (m)	46,11

El diàmetre de les canonades és diferent en funció de les línies d'aigua. Per la línia d'aigua groga s'utilitza un diàmetre de 32 mm, per la d'aigües marrons un de 72 mm i per les línies d'aigua gris i pluja, s'utilitza un diàmetre de 100 mm (Garrido-Baserba et al., 2022).

- **CAPEX i OPEX**

El tipus de material de la canonada afecta en el CAPEX i OPEX, en aquest estudi al no utilitzar inodors al buit, són tots del mateix tipus, de formigó, on les aigües són transportades per gravetat (Garrido-Baserba et al., 2022).

El CAPEX de les canonades és obtingut utilitzant l'equació 8, mentre que l'OPEX per les canonades on les aigües són transportades per gravetat és considerat de 0,17 €/m*any (Roefs et al., 2017).

$$CAPEX\ Gravity = 130 \times 1{,}3^{\frac{\emptyset(mm)-300}{120}} \quad \text{(eq 8)}$$

Taula 16: Costos de les canalitzacions de les línes de tractament

Línia d'aigua	CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)
Groga	66.726,33	7,84	120,50
Marró	72.506,89	7,84	120,50
Gris	79.133,50	7,84	120,50
Pluja	79.133,50	7,84	120,50

3.2.3 Bombaments

Els costos de bombament es poden calcular en funció de la població o en funció del volum transportat, on tant d'una forma o l'altre s'obtenen valors semblants (Garrido-Baserba et al., 2022). Per les línies d'aigües grogues, marrons i grises són calculats assumint un cost de 32,84 € per persona i un OPEX d'1,13 € per persona i any. Mentre que pel càlcul del CAPEX i OPEX s'ha utilitzat els preus per volum, essent 304,5 €/m^3 el cost del CAPEX, i 10,44 €/m^3*any (Roefs et al., 2017).

El volum utilitzat pel càlcul del cost pel bombament de les aigües de pluja, és la mitjana de la pluja acumulada de cada mes, de les projeccions realitzades pels anys 2030 i 2050 dels dos possibles escenaris. Un cop calculada la precipitació acumulada mitjana mensual, se li aplica un percentatge de recuperació del 85%, i amb la superfície de l'illa, trobem quin és el volum mensual. Per acabar, per saber el volum anual es multiplica per 12, el nombre de mesos a l'any, i ja es pot multiplicar pels costos esmentats.

Taula 17: Costos dels bombaments de les líneas de tractament

Línia d'aigües	CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)
Groga, marró i gris	22.956,91	302,09	4.643,93
Pluja	65.313,01	2.242,57	34.473,81

3.2.4 Tractaments

A l'hora de dimensionar els equips, s'ha tingut en compte un sobredimensionament amb l'objectiu de satisfer l'augment de població que es preveu. S'ha considerat que el percentatge d'augment de població a l'illa d'habitatges, serà el mateix que la de Catalunya per l'escenari alt. Anteriorment, s'ha establert que la base de càlcul per fer els balanços és de 699 persones, però pel dimensionament dels equips aquesta se li ha aplicat el percentatge de la projecció de creixement de la població a Catalunya el 2030, un 10,29% així fent que el dimensionament estigui fet per 771 persones, aplicant un factor de correcció al volum necessari per a 699 persones d'1,1. En aquest estudi s'ha configurat la distribució de l'augment de la població en base del mateix nombre d'habitatges edificats actualment.

En aquest estudi s'ha aplicat un factor corrector del volum de treball del reactor, ja que els equips no estan treballant al 100% de la seva capacitat, per això, s'utilitza un factor corrector del 0,8.

$$Factor\ correció\ dimensionament = \frac{771}{699} = 1{,}1 \qquad \text{(eq 9)}$$

Tots els volums de reactors i dels equips excepte el de l'uridis cell, venen donants amb els factors de correcció aplicats.

Uridis cell

- **Cabals i composicions**

El cabal d'entrada correspon al de la línia groga, estimant un cabal de 0,73 m^3/dia per les 699 persones de l'illa tipus d'habitatges designada. Pel que respecta el cabal de l'efluent, s'ha considerat que per la precipitació dels fosfats hi ha una pèrdua del 2%, implicant un cabal de 0,72 m^3/dia (Garrido-Baserba et al., 2022).

El 72% del fòsfor inicial total són fosfats (Garrido-Baserba et al., 2022). El tractament utilitzat per l'estabilització de l'orina, provoca la precipitació del 78% dels fosfats en forma de sulfat de calci (Gritti, M. C, 2018).

Taula 18: Composició de l'influent i l'afluent de l'Uridis Cell

	Influent (mg/L)	Efluent (mg/L)
COD	10.400,0	10.400,0
BOD	3.870,0	3.870,0
TN	8.800,0	8.800,0
NH4-N	463,0	463,0
TP	800,0	350,7

- **Característiques equip**

El volum de l'uridis cell ha sigut seleccionat bibliogràficament, essent de 3,24 m^3 amb una superfície de la cel·la electroquímica de 55 cm^2 (Gritti, M. C, 2018).

- **Producció de fertilitzant sòlid**

El sulfat de calci pot ser utilitzat com a fertilitzant sòlid. Per trobar quina és la quantitat del fertilitzant sòlid recuperat primer s'ha de trobar la quantitat de mols de fosfats. Un cop calculada, ja es pot trobar la quantitat de fosfat precipitat per dia. Per fer-ho s'ha seguit el procediment mostrat a continuació (Garrido-Baserba et al., 2022).

$$0{,}73\left(\frac{m^3}{dia}\right) \times 800\left(\frac{g\ TP}{m^3}\right) \times 0{,}72 = 422{,}82\ \frac{g\ P{-}PO_4{}^{3-}}{dia} \qquad \text{(eq 10)}$$

$$420{,}48\ \frac{g\ P{-}PO_4{}^{3-}}{dia} \times \frac{1\ mol\ P{-}PO_4{}^{3-}}{30{,}97\ g\ P{-}PO_4{}^{3-}} \times \frac{1\ mol\ PO_4{}^{3-}}{1\ mol\ P{-}PO_4{}^{3-}} = 13{,}65\ \frac{mol\ PO_4{}^{3-}}{dia} \qquad \text{(eq 11)}$$

$$13{,}65\ \frac{mol\ PO_4{}^{3-}}{dia} \times 0{,}78 \times \frac{1\ mol\ Ca_3(PO_4)_2}{2\ mol\ PO_4{}^{3-}} \times \frac{310{,}18\ g\ Ca_3(PO_4)_2}{1\ mol\ Ca_3(PO_4)_2} \times \frac{1\ kg}{1000\ g} =$$

$$1{,}65\ \frac{kg\ Ca_3(PO_4)_2}{dia} \qquad \text{(eq 12)}$$

- **CAPEX i OPEX**

El cost del CAPEX s'ha estimat a 5,12 €/m^3 d'orina a estabilitzar, mentre que l'OPEX d'un 7 €/m^3 tractat. El preu de venda del fertilitzant sòlid precipitat s'ha considerat de 0,36 €/kg (Etter et al., 2011; Gritti, M. C, 2018).

Taula 19: Costos i beneficis de l'Uridis Cell

CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)	Benefici (€/any)
107.382,77	4.893,75	75.228,87	217,01

MBBR

- **Cabals i composicions**

El cabal d'entrada correspon al de sortida de l'Uridis cell, de 0,72 m^3/dia. Mentre que el de sortida, s'ha estimat que hi ha una producció de fangs del 2% respecte al cabal d'entrada, obtenint un cabal de 0,70 m^3/dia (Garrido-Baserba et al., 2022).

L'objectiu d'aquest reactor, és reduir el percentatge de la DQO i la DBO en un 88% (en massa), i transformar el 97% (en massa) de l'amoníac de l'orina estabilitzada en nitrats.

Taula 20: Composició influent i afluent del MBBR

	Influent (mg/L)	Efluent (mg/L)
COD	10.400,0	404.250,0
BOD	3.870,0	0,0
TN	8.800,0	6.327,3
NH4-N	463,0	913,5
TP	350,7	0,0

- **Característiques de l'equip**

Per determinar el volum de l'equip, s'ha estimat un temps de retenció hidràulic de 7,1 dies (Gritti, M. C, 2018), implicant un volum mínim del reactor de 7,04 m^3. Com el control del pH es duu a terme mitjançant una cel·la electrolítica, la superfície de la cel·la s'ha estimat fent una regla de 3 respecte la de l'Uridis cell. D'aquesta manera s'obté que la superfície de la cel·la, hauria de ser d'uns 125 cm^2.

- **Producció de fertilitzant líquid**

El volum de fertilitzant líquid produït estimat és de 0,70 m^3/dia. El fertilitzant líquid obtingut en l'estudi d'on s'han basat els càlculs, tenia una composició NPK de 0,5/0,7 - 0 - 0,1. Cal esmentar que hi ha la possibilitat de concentrar el fertilitzant

líquid, així poden arribar a obtenir una concentració NPK de 9/12 - 0,1/0,4 - 1,1/1,3. Però cal dir que el fet de concentrar-lo provocaria canvis del fertilitzant en aspectes com la salinitat i el pH (Gritti, M. C, 2018).

- **CAPEX i OPEX**

El cost del CAPEX s'ha estimat a 17 €/p·any. En aquest preu no està inclòs el cost del reactor, ja que no se'n disposen dades. L'OPEX d'un 1,9 €/p·any. El preu de venda del fertilitzant líquid s'ha considerat de 3,38 €/m^3 (Gritti, M. C, 2018).

Taula 21: Costos i beneficis del MBBR

CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)	Benefici (€/any)
356.544,34	1.328,30	20.419,26	869,75

UASB

Pel tractament de les aigües marrons junt amb les grogues no recuperades, es vol comparar quin és l'efecte de dur a terme o no una codigestió. Els apartats que han sigut comparats són: les característiques de l'equip, la producció de biogàs i el balanç energètic.

- **Cabals i composicions**

El cabal d'entrada per dur a terme la codigestió correspon a la línia d'aigües marrons amb l'aigua groga no recuperada més la matèria orgànica, equivalent a 10,80 m^3/dia i 0,12 m^3/dia respectivament, generant un cabal influent de 10,92 m^3/dia. A Taula 22 es pot observar les concentracions dels influents. A la Taula 23 els percentatges màssics d'eliminació de l'UASB i a la Taula 24 la composició de l'influent i de l'efluent de l'equip.

Taula 22: Composició dels cabals influents + combinació a l'UASB

	Influent aigua marró (mg/L)	Influent mat. orgànica (mg/L)	Influent conjunt (mg/L)
COD	2.660,0	404.250,0	7.127,5
BOD	869,0	0,0	859,3
TN	278,0	6.327,3	345,3
NH4-N	80,9	913,5	90,2
TP	51,5	0,0	50,9
TSS	2.720,0	271.950,0	5.715,1
VSS	2.180,0	259.350,0	5.040,9

Els percentatges d'eliminació que es produeixen en un reactor UASB són (De Graaff et al., 2010) fent possible el càlcul de la càrrega màssica de l'efluent:

Taula 23: Percentatges d'eliminació (en massa) de l'UASB

	Eliminació. (% en massa)
COD	78
BOD	100
TN	9
TP	39
TSS	93
VSS	95

Taula 24: Composicions influent i efluent de l'UASB

	Influent (mg/L)	Influent (g/dia)	Efluent (g/dia)
COD	7.127,5	77.851,6	1.745,5
BOD	859,3	9.386,2	0,0
TN	345,3	3.771,6	349,8
NH4-N	90,2	984,8	100,4
TP	50,9	556,3	34,6
TSS	5.715,1	62.423,9	445,3
VSS	5.040,9	55.060,2	280,6

Obtinguda la càrrega màssica de l'efluent, falta trobar quin és el cabal per tal de determinar la concentració de l'efluent.

Per tal d'estimar-lo s'ha pres com a referència les concentracions de DQO de l'influent i de l'efluent que van utilitzar (De Graaff et al., 2010), essent de 9.800 i 2.400 mg/L respectivament. Estimant una eliminació del 78% de la DQO (Taula 23), s'ha calculat el volum sobrenedant i el cabal de fangs que requereixen ser purgats al dia. Primer es troba la càrrega màssica inicial de DQO amb aquesta composició.

$$10{,}92\ \frac{m^3}{dia} \times 9.800\ \frac{g}{m^3} = 107.042{,}52\ \frac{g}{dia} DQO \qquad \text{(eq 13)}$$

Es troba la càrrega màssica de l'efluent estimant l'eliminació del 78%.

$$107.042{,}52\ \frac{g}{dia} DQO \times (1 - 0{,}78) = 23.549{,}35\ \frac{g}{dia} DQO \qquad \text{(eq 14)}$$

Es determina el cabal de l'efluent dividint la càrrega màssica de l'efluent per la concentració de l'efluent establida.

$$\frac{23{,}549{,}35\ g/dia}{2400\ g/m^3} = 9{,}81\,\frac{m^3}{dia} \qquad \text{(eq 15)}$$

Aquests 9,81 és el cabal que entra al següent tractament, i el 0,99 restant, és el cabal de fangs que són purgats del sistema. Dividint la càrrega màssica de l'efluent pel cabal obtingut, es troba la composició de l'efluent.

Taula 25: Composició afluent de l'UASB

	Influent (mg/L)	Efluent (mg/L)
COD	7.127,5	1.745,5
BOD	859,3	0,0
TN	345,3	349,8
NH4-N	90,2	100,4
TP	50,9	34,6
TSS	5.715,1	445,3
VSS	5.040,9	280,6

- **Característiques de l'equip**

El volum del reactor ve determinat pel temps de retenció hidràulic. Aquest temps variaria en funció de l'estratègia utilitzada, és a dir, si es duu a terme una codigestió o no. En cas de dur-la a terme, el temps hidràulic de residència s'ha establert de 15 dies (Bi et al., 2020; Metcalf & Eddy, 2014). Mentre que si no es du a terme, s'ha de determinar aplicant l'equació 16. A la Taula 26 es mostren els paràmetres de disseny. La concentració de DQO inicial és la de la línia d'aigües marrons més la groga no recuperada, ja que al no fer la digestió no és te en compte la matèria orgànica.

Taula 26: Paràmetres de disseny UASB

Demanda química d'oxigen total de l'influent	C_{DQO} (g/L)	2,66
Sòlids en suspensió de l'influent	SS	0,653
Concentració fangs	X (g/L)	34,2
Fracció eliminada de sòlids	R	0,93
Nivell d'hidrolització	H	0,49
Temps de retenció dels sòlids	SRT (dies)	75

$$HRT = C \times \frac{SS}{X} \times R \times (1 - H) \times SRT \quad \text{(eq 16)}$$

$$HRT = 2{,}66\,\frac{g}{L} \times \frac{0{,}653}{34{,}2\ g/L} \times 0{,}93 \times (1 - 0{,}49) \times 75\ dies = 1{,}81\ dies \quad \text{(eq 17)}$$

Es pot determinar el volum de l'UASB a partir de l'equació 18, on V és el volum en m^3, Q és el cabal en m^3/dia i HRT és el temps de retenció hidràulic en dies.

$$V = Q \times HRT \quad \text{(eq 18)}$$

Taula 27: Volum de l'UASB en funció de si es duu a terme la codigestió o no

CODIGESTÍO?	Q (m^3/dia)	HRT (dies)	V (m^3)	$V_{corretgit}$ (m^3)
SÍ	10,92	15	163,84	225,88
NO	10,80	1,81	19,51	26,90

Pel que respecta el volum, es pot observar que el fet de dur a terme la codigestió requereix un volum mínim de quasi 10 magnituds superior respecte el que es necessitaria si no es fa la codigestió, el qual requerirà un espai superior. Com el volum necessari és molt gran, s'ha decidit per temes de gestió i de logística posar 6 reactors de 50 m^3 cadascun. Aquest fet ens proporciona varies avantatges, la primera és que s'ha guanyat capacitat de tractament, ja que ara la combinació té una capacitat de tractament de 300 m^3. La segona és la possibilitat d'anar utilitzant els reactors en funció de la necessitat, i la possibilitat d'anar utilitzant algun com a buffer i per poder a dur a terme els manteniments sense haver d'aturar el sistema.

- **Producció de biogàs**

El volum de biogàs generat va directament relacionat amb la quantitat de DQO que s'aconsegueix eliminar a través de la digestió anaeròbica. Cal fer èmfasi, que no tot el biogàs generat és metà. La quantitat de metà que s'obté ve determinada pel nivell d'hidròlisis, per tant, només s'aconsegueix que el 49% de la DQO ho faci en forma de metà. Per cada gram de DQO eliminat, s'obtenen 0,35 L de metà en condicions normals de 0 ºC i 1 atm de pressió (Metcalf & Eddy, 2014).

La recuperació de biogàs si no és fa mitjançant la codigestió, aquest s'obté a 25 ºC, mentre que si es duu a terme la codigestió, aquest s'obté a 35 ºC. Per aquest motiu s'ha trobat el volum que ocupa un mol del gas en aquestes condicions. S'ha fet aplicant la llei dels gasos ideals (eq 13). El procediment de càlcul que és mostra a continuació serà pel cas en què es realitza la codigestió. S'ha realitzat el mateix procediment pel cas en què no es duu a terme.

$$PV = nRT \rightarrow V = \frac{nRT}{P} \qquad \text{(eq 19)}$$

$$V = \frac{1\ mol \times 0{,}082 \frac{atm\ L}{{}^{o}K\ mol} \times (273{,}15 + 35\ {}^{o}K)}{1\ atm} = 25{,}27 \frac{L\ \mathrm{CH_4}}{mol\ \mathrm{CH_4}} \qquad \text{(eq 20)}$$

La reacció estequiomètrica entre el gas i l'oxigen és la següent (Garrido-Baserba et al., 2018):

$$\mathrm{CH_4 + 2\ O_2 = CO_2 + 2\ H_2O}$$

Cada mol de CH_4 correspon a 2 mols d'O_2, equivalent a 2 mols de DQO.

$$25{,}27 \frac{L\ \mathrm{CH_4}}{mol\ \mathrm{CH_4}} \times \frac{1\ \mathrm{mol\ CH_4}}{2\ \mathrm{mol\ DQO}} \times \frac{1\ \mathrm{mol\ DQO}}{32\ \mathrm{g}} = 0{,}39\ \frac{\mathrm{L\ CH_4}}{\mathrm{g\ DQO}} \qquad \text{(eq 21)}$$

Amb la càrrega màssica de DQO de l'influent i sabent que el 49% d'aquesta passa a metà, s'ha trobat la quantitat de metà obtinguda en aquestes condicions.

$$77.851{,}6 \frac{g\ DQO}{dia} \times 0{,}49 = 38.147{,}27 \frac{g}{dia} DQO\ eliminada \qquad \text{(eq 22)}$$

$$38.147{,}27 \frac{g\ DQO\ eliminada}{dia} \times 0{,}39 \frac{L\ CH_4}{g\ DQO} = 14.877\ \frac{L\ CH_4}{dia} \qquad \text{(eq 23)}$$

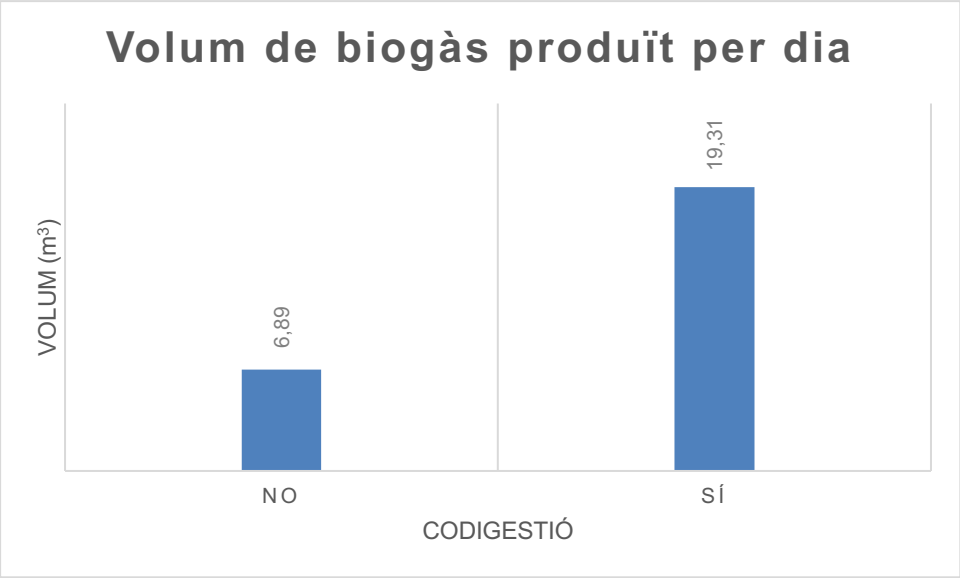


Fig 16: Volum de biogàs produït per dia en funció de si es duu a terme la codigestió o no

Com és d'esperar, l'aportació dels residus de matèria orgànica fa que la producció de biogàs augmenti en un 280%, aproximadament 3 vegades més, això és degut a l'aportació de la DQO de la matèria orgànica. Aquest fet força la necessitat d'un tanc més gran per la recollida del biogàs.

- **Consum energètic**

Les aigües negres procedents d'un lavabo poden arribar a estar a temperatures de 20 ºC aproximadament (De Graaff et al., 2010). Per dur a terme la digestió anaeròbica sense l'aportació dels residus de matèria orgànica, es requereix una temperatura de 25 ºC, mentre que en cas d'aportar-la, de 35 ºC, fet que implica la necessitat d'aportar calor en ambdós casos.

Per poder realitzar el càlcul, es necessita la densitat i calor específica de les aigües. S'ha seguit el procediment esmentat per (Garrido-Baserba et al., 2018), aproximar els valors als d'uns fangs convencionals que són 1.020 Kg/m^3 i 4,2 KJ/Kg ºC respectivament (Metcalf & Eddy, 2014). A partir d'aquestes dades, s'ha calculat quina és la calor necessària a aportar amb la següent equació.

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \qquad \text{(eq 24)}$$

$$Q = 10{,}92\,\frac{m^3}{dia} \times 1.020\,\frac{Kg}{m^3} \times 4{,}2\,\frac{KJ}{Kg\,ºC} \times (35-20)ºC = 701.893{,}1\,\frac{KJ}{dia} \qquad \text{(eq 25)}$$

S'ha de tenir en compte que hi ha pèrdues de calor, per aquest motiu s'assumeix que l'eficiència global del procés és del 80% (Metcalf & Eddy, 2014):

$$\frac{701.893{,}1\ KJ/dia}{0{,}8} = 877.366{,}4\ \frac{KJ}{dia} \quad \text{(eq 26)}$$

$$877.366{,}4\ \frac{KJ}{dia} \times \frac{1\ dia}{24\ h} \times \frac{1\ h}{3.600\ s} = 10{,}15\ KW \quad \text{(eq 27)}$$

$$10{,}15\ KW\ \frac{h}{h} \times \frac{24\ h}{1\ dia} = 243{,}71\ \frac{KWh}{dia} \quad \text{(eq 28)}$$

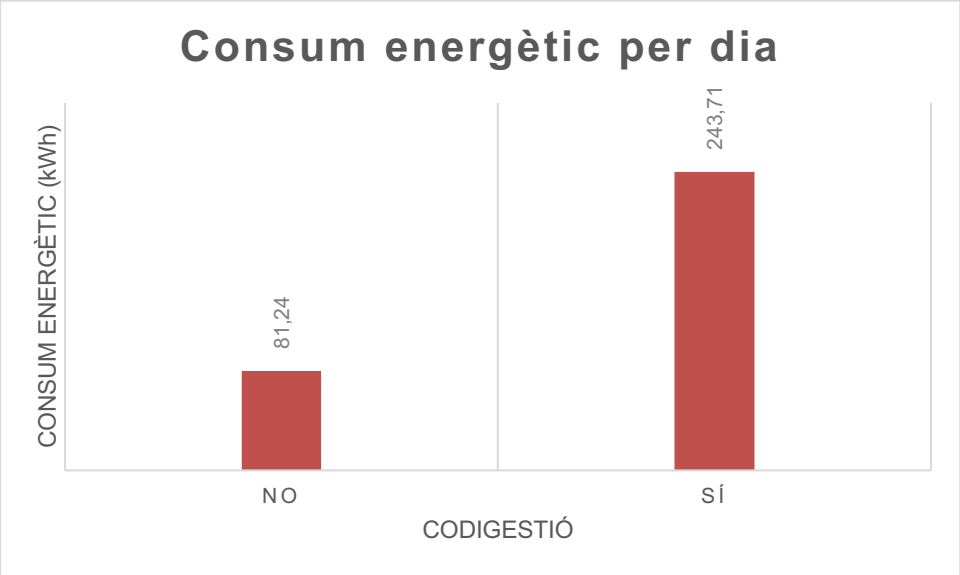


Fig 17: Consum energètic per dia en funció de si es duu a terme la codigestió o no

Com l'aportació de calor és superior en cas de dur a terme una codigestió, el resultat obtingut té sentit, ja que el consum energètic és directament proporcional a l'aportació de calor. Realitzar una codigestió implica un augment del consum energètic del 300%.

- **Balanç energètic**

En aquest estudi s'ha optat per la recollida i posterior venda del biogàs, ja que el fet d'aprofitar-ho implicaria la construcció d'una petita planta de cogeneració. Tot i així, s'ha realitzat un balanç de com quedaria el consum si es cremés el biogàs produït.

El poder calorífic del metà és de 38.846 KJ/m^3 en condicions normals (Metcalf & Eddy, 2014). El gas s'ha obtingut a 35 ºC, i per això, per trobar la quantitat equivalent de metà obtingut s'ha aplicat la llei de Charles (eq 29).

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{(eq 29)}$$

$$\frac{15{,}06}{308{,}15} = \frac{V_2}{273{,}15} \rightarrow V_2 = 13{,}35\ \frac{m^3 CH_4}{dia}\ en\ C.N. \quad \text{(eq 30)}$$

$$13{,}35\ \frac{m^3 CH_4}{dia} \times 38.846 \frac{KJ}{m^3} = 518.614{,}73 \frac{KJ}{dia} \quad \text{(eq 31)}$$

$$518.614{,}73 \frac{KJ}{dia} \times \frac{1\ dia}{24\ h} \times \frac{1\ h}{3.600\ s} = 6{,}00\ KW \quad \text{(eq 32)}$$

$$6{,}00\ KW \frac{h}{h} \times \frac{24\ h}{1\ dia} = 144{,}06 \frac{KWh}{dia} \quad \text{(eq 33)}$$

Si es fa la diferència entre l'aportació energètica del biogàs amb el consum diari, es tindrà el balanç energètic.

$$144{,}06 \frac{KWh}{dia}\ obtinguts - 243{,}71 \frac{KWh}{dia} consumits = -99{,}65 \frac{KWh}{dia} \quad \text{(eq 34)}$$

Com que el resultat obtingut és negatiu, això vol dir que tot i aprofitar la producció de biogàs, l'aportació energètica d'aquest, no és suficient per cobrir el consum de l'equip. A la Fig 18 es pot veure, la compensació energètica necessària és major en cas de dur a terme la codigestió que en cas de no dur-la.

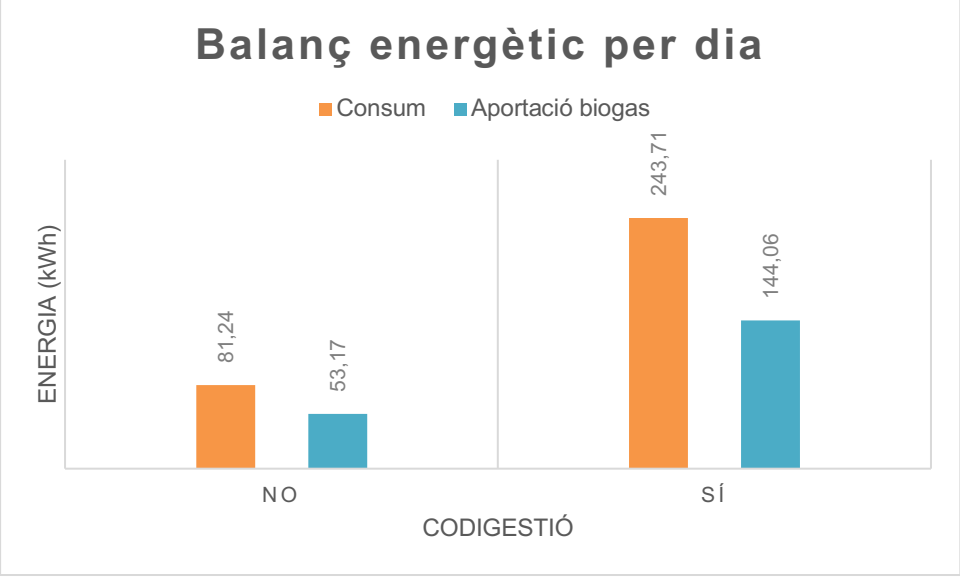


Fig 18: Balanç energètic de l'UASB en funció de si es duu a terme la codigestió o no

Com és pot veure, en cap dels dos casos s'aportaria l'energia suficient per a fer-la autosuficient. També es pot observar l'aportació energètica externa necessària és superior en el cas on es du a terme la codigestió, fet que implica un cost operacional superior.

- **Per què la codigestió?**

Tot i que dur a terme la codigestió no sigui la millor opció en termes energètics ni de requisits d'espai, els quals impliquen un cost econòmic superior, s'ha optat per aquesta opció, ja que aquest estudi prioritza l'aprofitament dels recursos, en forma de subproductes.

- **CAPEX i OPEX**

El cost del CAPEX ha sigut estimat de 278,42 € per persona, mentre que l'OPEX d'un 11,15 €/persona*any (Garrido-Baserba et al., 2022). El preu de venda del biogàs s'ha considerat de 0,126 €/m^3 (Garrido-Baserba et al., 2018).

Taula 28: Costos i beneficis de l'UASB (amb cogestió)

CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)	Benefici (€/any)
194.645,25	7.796,44	119.850,34	606,48

OLAND

- **Cabals i composicions**

El cabal d'entrada del procés OLAND, correspon al de sortida de la codigestió. A la Taula 29 és mostra la composició de l'influent.

Taula 29: Composició del cabal influent a l'OLAND

	Influent (mg/L)	Influent (g/dia)
COD	1.745,5	17.127,3
TN	349,8	3.432,1
NH4-N	100,4	984,8
TP	34,6	339,3
TSS	445,3	4.369,7
VSS	280,6	2.753,0

Els percentatges d'eliminació que es produeixen en el procés de l'UASB són els que es poden observar a la Taula 30 (De Clippeleir et al., 2011; Roefs et al., 2017).

Taula 30: Percentatges d'eliminació (en massa) de l'OLAND

	Eliminació. (% en massa)
COD	38
TN	70
NH_4-N	70
TP	8
TSS	38

El cabal de sortida s'ha considerat igual que el d'entrada, essent aquest de 9,81 m^3 al dia (Garrido-Baserba et al., 2022). A la Taula 31 es mostra la composició i la càrrega màssica per dia de l'efluent.

Taula 31: Composició efluent de l'OLAND

	Efluent (mg/L)	Efluent (g/dia)
COD	1.082,2	10.619,0
TN	104,9	1.029,6
NH4-N	30,1	295,4
TP	31,8	312,2
TSS	276,1	2.709,2
VSS	280,6	2.753,0

- **Característiques de l'equip**

El volum necessari del contactor rotatiu biològic, és determinat en funció de la càrrega de nitrogen a tractar (Garrido-Baserba et al., 2022). Llavors el primer que s'ha de determinar és la superfície necessària per al creixement del biofilm (BFS), el rebliment del reactor per unitat de volum. Per tal de determinar-la, es pot utilitzar l'equació 35 tenint en compte una càrrega superficial de nitrogen de 0,015 Kg de TN/m^2·dia (Roefs et al., 2017).

$$BFS = \frac{N_{influent}}{N_{càrrega\ superficial}} \quad \text{(eq 35)}$$

$$BFS = \frac{3.432{,}1\frac{g\,TN}{dia}}{0{,}015\,\frac{Kg\,TN}{m^2 \cdot dia}} \times \frac{1\,Kg}{1000\,g} = 228{,}81\,m^2 \qquad \text{(eq 36)}$$

Sabent la superfície necessària per al creixement del biofilm i considerant una relació superfície-volum del material de 350 m^2/m^3 (Roefs et al., 2017), el volum és calculat amb la següent expressió:

$$V = \frac{BFS}{Relació\ superfície{-}volum\ del\ material} = \frac{228{,}81\,m^2}{350\frac{m^2}{m^3}} = 0{,}65\,m^3 \qquad \text{(eq 37)}$$

El volum de l'equip necessari amb els factors de correcció aplicats és de 0,90 m^3.

- **CAPEX i OPEX**

El cost del CAPEX estimat ha sigut de 1.686 €/m^3, mentre que l'OPEX de 2 € per Kg de nitrogen tractat (Courtens et al., 2014; Lozano et al., 2007).

Taula 32: Costos de l'OLAND

CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)
1.519,59	1.252,72	19.257,44

Reactor d'estruvita + decantador

- **Cabals i composicions**

L'influent al reactor d'estruvita correspon a l'efluent del procés anamox OLAND, amb un cabal de 9,81 m^3/dia. El cabal de l'efluent s'ha considerat el mateix que el de l'influent, ja que la quantitat d'estruvita formada, base addicionada i sòlids recirculats equivalen a una fracció molt petita respecte al cabal d'entrada (Garrido-Baserba et al., 2018). La Taula 33 mostra la composició de l'influent, i en la Taula 34 les dades necessàries per la determinació de les concentracions finals de fòsfor i nitrogen.

Taula 33: Composició influent al reactor d'estruvita

	Influent (mg/L)
COD	1.082,2
TN	104,9
NH4-N	30,1
TP	31,8
TSS	276,1
VSS	280,6

Taula 34: Dades pel càlcul de l'obtenció de l'estruvita

Fòsfor (g/mol)	30,97
Nitrogen (g/mol)	14
Fosfat (g/mol)	94,97
Amoni (g/mol)	18
% P-Fosfat	72
Grau de conversió	0,9

Primer s'ha determinat quin és el reactiu limitant, si l'amoni o el fosfat:

$$9{,}81\,\frac{m^3}{dia} \times 30{,}11\ \frac{g\ N{-}NH_4{}^+}{m^3} = 295{,}44\,\frac{g\ N{-}NH_4{}^+}{dia} \qquad \text{(eq 38)}$$

$$295{,}44\,\frac{g\ N{-}NH_4{}^+}{dia} \times \frac{1\ mol\ N{-}NH_4{}^+}{14\ g\ N{-}NH_4{}^+} \times \frac{1\ mol\ NH_4{}^+}{1\ mol\ N{-}NH_4{}^+} = 21{,}1\ \frac{mols\ NH_4{}^+}{dia} \qquad \text{(eq 39)}$$

$$9{,}81\,\frac{m^3}{dia} \times 31{,}81\ \frac{g\ TP}{m^3} \times 0{,}72 = 224{,}77\,\frac{g\ P{-}PO_4{}^{3-}}{dia} \qquad \text{(eq 40)}$$

$$224{,}77\,\frac{g\ P{-}PO_4{}^{3-}}{dia} \times \frac{1\ mol\ P{-}PO_4{}^{3-}}{30{,}97\ g\ P{-}PO_4{}^{3-}} \times \frac{1\ mol\ PO_4{}^{3-}}{1\ mol\ P{-}PO_4{}^{3-}} = 7{,}26\ \frac{mols\ PO_4{}^{3-}}{dia} \qquad \text{(eq 41)}$$

Com es pot observar, el reactiu limitant de la reacció és el fosfat. Coneguts els mols dels reactius, ja es pot procedir a trobar la concentració en l'efluent del fòsfor, de l'amoni i del nitrogen. S'ha considerat un grau de conversió de 0,9 (Garrido-Baserba et al., 2018).

$$7{,}26\ \frac{mols\ PO_4{}^{3-}}{dia} \times 0{,}9 = 6{,}53\,\frac{mols\ PO_4{}^{3-}\ reaccionats}{dia} \qquad \text{(eq 42)}$$

Primer s'ha calculat la concentració final de l'amoni. La relació entre l'amoni i el fosfat és equimolar, per tant, la quantitat d'amoni reaccionat és la següent:

$$6{,}53\ \frac{mols\ PO_4{}^{3-}\ reacccionats}{dia} \times \frac{1\ mol\ NH_4{}^+}{1\ mol\ PO_4{}^{3-}} = 6{,}53\,\frac{mols\ NH_4{}^+\ reacccionats}{dia} \qquad \text{(eq 43)}$$

Sabent els mols reaccionats i els inicials, fent la diferència s'obté la quantitat de mols finals:

$$21{,}10\,\frac{mols\ NH_4{}^+\ inicials}{dia} - 6{,}53\,\frac{mols\ NH_4{}^+\ reacccionats}{dia} = 14{,}57\,\frac{mols\ NH_4{}^+}{dia} \qquad \text{(eq 44)}$$

Amb la relació entre l'amoni i el nitrogen en forma d'amoni, s'estima la massa del nitrogen en forma d'amoni:

$$14{,}57\,\frac{mols\ {NH_4}^+}{dia} \times \frac{1\ mol\ N{-}{NH_4}^+}{1\ mol\ {NH_4}^+} \times \frac{14\ g\ N{-}{NH_4}^+}{1\ mol\ N{-}{NH_4}^+} = 204{,}00\ \frac{g\ N{-}{NH_4}^+}{dia} \qquad \text{(eq 45)}$$

Sabent la càrrega màssica i el cabal de l'efluent, ja es pot determinar la concentració del nitrogen en forma d'amoni a l'efluent.

$$Concentració\ N-{NH_4}^+\ final = \frac{204{,}00\,\frac{g\ N{-}{NH_4}^+}{dia}}{9{,}81\frac{m^3}{dia}} = 20{,}79\ \frac{g\ N{-}{NH_4}^+}{m^3} \qquad \text{(eq 46)}$$

Si diem que es redueix la concentració del nitrogen en forma d'amoni, també ho fa la concentració de nitrogen total.

$$104{,}9\,\frac{g\ TN}{m^3} - \left(30{,}11\,\frac{g\ N{-}{NH_4}^+\ inicials}{m^3} - 20{,}79\,\frac{g\ N{-}{NH_4}^+\ finals}{m^3}\right) = 95{,}61\,\frac{g\ TN}{m^3} \text{ (eq 47)}$$

Per acabar, s'ha calculat la concentració final de fòsfor total.

$$7{,}26\ \frac{mols\ inicials\ {PO_4}^{3-}}{dia} - 6{,}53\ \frac{mols\ {PO_4}^{3-}\ reaccionats}{dia} = 0{,}73\ \frac{mols\ {PO_4}^{3-}\ finals}{dia} \text{ (eq 48)}$$

Sabent que la relació entre el fòsfor i el fosfat és equimolar, es pot determinar la càrrega màssica de fòsfor final:

$$0{,}73\ \frac{mols\ {PO_4}^{3-}}{dia} \times \frac{1\ mol\ P{-}{PO_4}^{3-}}{1\ mol\ {PO_4}^{3-}} \times \frac{30{,}97\ g\ P{-}{PO_4}^{3-}}{1\ mol\ P{-}{PO_4}^{3-}} = 22{,}48\ \frac{g\ P{-}{PO_4}^{3-}}{dia} \qquad \text{(eq 49)}$$

A partir del cabal de l'efluent, es troba la concentració en l'efluent:

$$Concentració\ final\ P-{PO_4}^{3-} = \frac{22{,}48\,\frac{g\ P{-}{PO_4}^{3-}}{dia}}{9{,}81\frac{m^3}{dia}} = 2{,}29\ \frac{g\ P{-}{PO_4}^{3-}}{m^3} \qquad \text{(eq 50)}$$

Com el fòsfor eliminat ha estat en forma de fosfat, i es sap que del fòsfor total un 72% és en forma de fosfat. Per això, s'ha restat la concentració de fosfats eliminada a la concentració inicial de fòsfor total:

$$31{,}81\ \frac{g\ TP\ inicials}{m^3} - \left(31{,}81\ \frac{g\ TP}{m^3} \times 0{,}72 - 2{,}29\ \frac{g\ P{-}{PO_4}^{3-}}{m^3}\right) = 11{,}20\ \frac{g\ TP\ finals}{m^3} \text{ (eq 51)}$$

A la Taula 35 es pot veure la composició de l'influent i de l'efluent del reactor d'estruvita. Amb aquest tractament només es considerà que s'elimina nitrogen i fòsfor.

Taula 35: Composició influent i efluent del reactor d'estruvita

	Influent (mg/L)	Efluent (mg/L)
COD	1.082,2	1.082,2
TN	104,9	95,6
NH4-N	30,1	20,8
TP	31,8	11,2
TSS	276,1	276,1
VSS	280,6	280,6

- **Característiques de l'equip**

El temps de retenció hidràulic és la variable que determina el volum del reactor. En aquest estudi, s'ha considerat un temps de retenció hidràulic de 3,5 hores (Tarragó et al., 2016).

$$V = 9{,}81 \frac{m^3}{dia} \times 3{,}5\ h \times \frac{1\ dia}{24\ h} = 1{,}43\ m^3 \quad \text{(eq 52)}$$

$$V_{corretgit} = \frac{1{,}43\ m^3 \times 1{,}1}{0{,}8} = 1{,}97\ m^3 \quad \text{(eq 53)}$$

Per determinar el diàmetre i l'alçada del reactor, s'ha establert una relació ¼. Tenint en compte aquesta relació, amb el sistema d'equacions següents s'ha determinat el diàmetre i l'alçada

$$V = \pi \times \frac{D^2}{4} h \quad \text{(eq 54)}$$

$$h = 4 \times D \quad \text{(eq 55)}$$

Resolent el sistema, s'obté que el reactor ha de tenir un diàmetre de 0,86 m i una alçada de 3,42 m.

Pel dimensionament del decantador s'utilitza la llei de Stokes (eq 56). En el punt de la producció d'estruvita, s'ha determinat que les partícules amb un diàmetre inferior a 20,2 micròmetres no sedimentaran. El diàmetre crític considerat ha sigut de 10 micròmetres, corresponent a la meitat del diàmetre màxim calculat (Garrido-Baserba et al., 2018). Els paràmetres necessaris per a l'aplicació de la llei de Stokes es mostren a la Taula 36.

Taula 36: Paràmetres per l'aplicació de la llei de Stokes (Reactor d'estruvita)

Densitat sòlid (Kg/m^3)	1.700
Densitat sòlid (Kg/m^3)	995,65
Gravetat (m/s^2)	9,81
Viscositat (Kg/m·s)	7,978·10^{-4}

$$u_T = \frac{1}{18}\frac{(10{\cdot}10^{-6})^2 \times \text{gravetat} \times (\text{densitat sòlid} - \text{densitat líquid})}{\text{viscositat}} \quad \text{(eq 56)}$$

$$u_T = \frac{1}{18}\frac{(10{\cdot}10^{-6})^2 \times 9{,}81 \times (1.700 - 995{,}65)}{7{,}978} = 4{,}81 \cdot 10^{-5}\,\frac{m}{s} \quad \text{(eq 57)}$$

Es considera un temps de caiguda del decantador d'1 hora, el qual equivaldria al temps de retenció hidràulic d'un dels reactors (Garrido-Baserba et al., 2018). Aquest fet d'igualar els dos temps, permet calcular el volum del decantador:

$$V = 9{,}81\,\frac{m^3}{dia} \times 1\,h \times \frac{1\,dia}{24\,h} = 0{,}41\,m^3 \quad \text{(eq 58)}$$

Al volum calculat se li ha aplicat el factor de correcció, quedant un volum de 0,56. Amb el temps de caiguda establert, s'ha determinat l'alçada del decantador amb l'equació següent:

$$h = v \times t \quad \text{(eq 59)}$$

$$h = 4{,}81 \cdot 10^{-5}\,\frac{m}{s} \times 3.600s = 0{,}17\,m \quad \text{(eq 60)}$$

Sabent el volum, l'alçada i considerant que el decantador té una secció circular, amb l'equació del volum d'un cilindre, es pot determinar el diàmetre del decantador (Garrido-Baserba et al., 2018):

$$0{,}56 = \pi \times \frac{D^2}{4} \times 0{,}17 \rightarrow D = 2{,}04\,m \quad \text{(eq 61)}$$

Resolent l'equació, s'ha trobat que el decantador ha de tenir una alçada de 0,17 m i un diàmetre de 2,04 m.

- **Producció d'estruvita**

Per determinar la producció d'estruvita, es fa a partir dels mols de fosfat reaccionats.

$$7{,}26\,\frac{mols\ {PO_4}^{3-}}{dia} \times 0{,}9 \times \frac{1\,mol\ estruvita}{1\,mol\ {PO_4}^{3-}} = 6{,}53\,\frac{mols\ estruvita}{dia} \quad \text{(eq 62)}$$

$$6{,}53\ \frac{mols\ estruvita}{dia} \times \frac{245{,}3\ g\ estruvita}{1\ mol\ estruvita} \times \frac{1\ Kg\ estruvita}{1000\ g\ estruvita} = 1{,}60\ \frac{Kg\ estruvita}{dia} \quad \text{(eq 63)}$$

Un dels factors principals que determina el diàmetre de l'estruvita és la velocitat ascensional de l'influent. Per determinar aquesta, es necessita conèixer la secció del reactor, la qual s'ha considerat circular (Garrido-Baserba et al., 2018).

$$A = \pi \times \frac{D^2}{4} \quad \text{(eq 64)}$$

$$A = \pi \times \frac{0{,}86^2}{4} = 0{,}581\ m^2 \quad \text{(eq 65)}$$

Determinada l'àrea superficial, es pot determinar la velocitat ascensional del fluid amb la següent equació.

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{(eq 66)}$$

$$v = \frac{9{,}81 \frac{m^3}{dia} \times \frac{1\ dia}{24\ h} \times \frac{1\ h}{3600\ s}}{0{,}581\ m^2} = 1{,}95 \cdot 10^{-4}\ \frac{m}{s} \quad \text{(eq 67)}$$

El diàmetre de les partícules d'estruvita és determinat amb la llei de Stokes (eq 56). Els paràmetres necessaris per a l'aplicació d'aquesta es mostren a la Taula 36.

$$d_p = \left(\frac{1{,}95 \cdot 10^{-4} \times 18 \times 7{,}7978 \cdot 10^{-4}}{9{,}81 \times (1.700 - 995{,}65)}\right)^{\frac{1}{2}} = 20{,}2 \cdot 10^{-6}\ m \quad \text{(eq 68)}$$

Aquest, determina el diàmetre de partícula mínim que s'obtindrà, ja que qualsevol partícula d'estruvita amb un diàmetre més petit, tindrà una velocitat més petita que la d'ascens.

- **Consum d'hidròxid de magnesi**

Per tal d'assegurar les condicions de sobresaturació, cada mol de PO_4^{3-} requereix 1,5 mols de Mg^{2+} (De Graaff et al., 2011). Llavors amb la quantitat mols inicial dels fosfats, s'ha determinat quina serà la necessitat de l'hidròxid de magnesi:

$$7{,}26\ \frac{mols\ {PO_4}^{3-}}{dia} \times \frac{1{,}5\ mols\ Mg(OH)_2}{1\ mol\ {PO_4}^{3-}} \times \frac{58{,}32\ g\ Mg(OH)_2}{1\ mol\ Mg(OH)_2} = 634{,}89\ \frac{g\ Mg(OH)_2}{dia} \quad \text{(eq 69)}$$

- **Consum energètic**

S'ha estimat un consum de 2,2 kWh per cada Kg de fòsfor recuperat. En aquest també s'inclou la despesa del decantador (Garrido-Baserba et al., 2018). Per això s'ha trobat quants Kg de fòsfor han sigut recuperats:

$$6{,}53\ \frac{mol\ PO_4{}^{3-}}{dia} \times \frac{1\ mol\ TP}{1\ mol\ PO_4{}^{3-}} \times \frac{30{,}97\ g\ TP}{1\ mol\ TP} \times \frac{1\ Kg}{1000\ g} = 0{,}20\ \frac{Kg\ TP\ recuperats}{dia} \quad \text{(eq 70)}$$

$$Consum\ elèctric = 0{,}20\ \frac{Kg\ TP\ recuperats}{dia} \times \frac{2{,}2\ KWh}{1\ Kg\ TP\ recuperat} = 0{,}45\ KWh \text{ (eq 71)}$$

- **CAPEX i OPEX**

El cost del CAPEX ha sigut estimat d'1,3 €/m^3, mentre que l'OPEX correspon a la suma del cost consum d'hidròxid de magnesi i del consum elèctric. S'ha de tenir en compte que pel càlcul del CAPEX, s'ha tingut en compte la suma dels volums de reactor i del decantador. El cost de l'hidròxid de magnesi és de 0,25 €/Kg (Garrido-Baserba et al., 2022) i de 0,4 €/kWh el preu de l'electricitat. El preu de venda de l'estruvita s'ha considerat de 0,36 Kg (Etter et al., 2011).

Taula 37: Costos i beneficis del reactor d'estruvita

CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)	Benefici (€/any)
3.284,76	123,49	1.898,31	210,53

MBR

- **Cabals i composicions**

El cabal d'entrada al reactor biològic de membrana, és la suma de la línia d'aigües grises més l'efluent de les aigües marrons tractades, implicant un cabal de 85,32 m^3/dia. En ser una combinació de dos cabals, s'ha fet un balanç per determinar les concentracions de l'influent. Aquestes són presents a la Taula 38.

Taula 38: Composició de l'influent combinat (aigües grises+marrons tractades) al MBR

	Influent (mg/l)	Influent (g/dia)
COD	542,2	46.256,6
BOD	154,9	13.213,1
TN	18,1	1.542,2
NH4-N	5,0	430,5
N-NO3	5,3	453,0
TP	5,7	487,4
TSS	186,6	15.922,3
VSS	88,9	7.585,2

A la Taula 39, són presents els percentatges d'eliminació màssics considerats (Garrido-Baserba et al., 2022).

Taula 39: Percentatges d'eliminació màssic del MBR

	Eliminació. (% en massa)
COD	97
BOD	96
TN	73
NH4-N	94
N-NO3	39
TP	80
TSS	99
VSS	99

El tractament de l'aigua que s'ha fet passar pel reactor biològic de membrana genera fangs. S'ha considerat que el 97,8% del cabal d'entrada passa al següent tractament, i la resta ho fa en forma de fangs (Garrido-Baserba et al., 2022). Així doncs, es generen 1,88 m^3 de fangs al dia. Al següent tractament passen 83,44 m^3/dia. Coneguts els cabals i els percentatges d'eliminació de càrrega màssica, s'ha determinat la concentració de l'efluent del tractament. Els valors obtinguts es poden veure a la Taula 40 (Liu et al., 2005; Lo et al., 2015; Wen et al., 1999; Xing et al., 2001).

Taula 40: Composició efluent del MBR

	Efluent (mg/l)	Efluent (g/dia)
COD	16,6	1.387,7
BOD	6,3	528,5
TN	5,0	416,4
NH4-N	0,3	25,8
N-NO3	3,3	276,3
TP	1,2	97,5
TSS	1,9	159,2
VSS	0,9	75,9

- **Característiques de l'equip**

El dimensionament del reactor biològic de membrana en l'estudi, s'ha dut a terme seguint dos procediments de càlculs diferents però obtenint resultats similars. Fins al moment, tots els càlculs del volum han sigut determinats amb el temps de retenció hidràulic, aquest cas no serà l'excepció, amb l'equació 72, s'ha trobat el temps de retenció hidràulic, i amb l'equació 73 el volum. Aquest seria el primer procediment de càlcul. El segon consisteix en determinar-lo sense el temps de retenció hidràulic. Això es fa a partir de l'equació 74 (Fletcher et al., 2007; Wen et al., 1999; Xing et al., 2001).

$$HRT = \frac{(BOD_i - BOD_e)}{k_e X \times BOD_e} \quad \text{(eq 72)}$$

$$V = HRT \times Q \quad \text{(eq 73)}$$

$$V = \frac{QY\theta_x(C_i - C_e)}{X(1+k_e\theta_x) - Y(C_i - C_{sup})} \quad \text{(eq 74)}$$

Els paràmetres de disseny necessaris són presents a la Taula 41 (Liu et al., 2005; Lo et al., 2015; Wen et al., 1999; Xing et al., 2001).

Taula 41: Paràmetres de disseny del MBR

Concentració dels fangs en el tanc d'aireació	X (mg/L)	13.000,00
Temps dels fangs	θ_x (dies)	30,00
Rendiment cel·lular	Y (mg VSS/mg COD)	0,56
Constant de desintegració de la biomassa	K_d (30ºC) ($dies^{-1}$)	0,08
Constant de la taxa de degradació del substrat	K_e (30ºC) ($dies^{-1}$)	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$

La Taula 42 presenta els resultats obtinguts dels dos procediments

Taula 42: Volums calculats pel MBR

	HRT (dies)	V_{eq73} (m^3)	V_{eq74} (m^3)
Calculat	0,69	59,19	53,93
Corregit	0,69	81,61	74,35

Per decidir quin dels dos volums és l'escollit s'ha tingut en compte quin és el més crític, quin és el més gran. Per aquest motiu, el volum del reactor biològic és de 81,61 m^3.

- **CAPEX i OPEX**

El cost del CAPEX estimat ha sigut de 1.283,78 €/m^3, mentre que l'OPEX de 336,31 €/m^3 tractat al dia (Garrido-Baserba et al., 2022).

Taula 43: Costos del MBR

CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)
104.763,71	28.061,00	431.366,31

Osmosi inversa

- **Cabals i composicions**

La tècnica d'osmosi inversa és utilitzada per tractar dues línies diferents, la línia d'aigües grises i l'aigua de la pluja recollida. Per no mesclar les aigües, s'ha decidit tractar-les per separat utilitzant diferents equips.

El cabal provinent del reactor biològic de membrana és de 83,44 m^3/dia. Pel que respecta el cabal d'aigua de pluja influent, com aquest és un valor variable que va en funció de la disponibilitat, per realitzar els balanços s'ha considerat el cabal necessari per satisfer la demanda total d'aigua per usos potables pel 2030, és a dir, per la població projectada que hi haurà a l'illa. Essent aquest un cabal de 25,53 m^3/dia. A la Taula 44 es mosta la composició de l'influent provinent del MBR.

Taula 44: Composició de l'influent provinent del MBR

	Influent (mg/l)	Influent (g/dia)
COD	16,6	1.387,7
BOD	6,3	528,5
TN	5,0	416,4
NH4-N	0,3	25,8
N-NO3	3,3	276,3
TP	1,2	97,5
TSS	1,9	159,2
VSS	0,9	75,9

Coneguts els cabals influents i la composició de l'aigua provinent del MBR, s'ha mirat com surt el cabal efluent de la RO. La Taula 45 presenta els percentatges d'eliminació màssics.

Taula 45: Percentatges d'eliminació (en massa) de la RO

	Eliminació. (% en massa)
COD	92
BOD	90
TN	66
NH4-N	85
N-NO3	77
TP	97
TSS	99
VSS	99

Tenint en compte els percentatges d'eliminació màssics, s'ha determinat quina és la càrrega màssica, i la composició final de l'efluent (Taula 46). S'ha de tenir en compte que l'equip té un percentatge de pas màxim del 85% (segons les especificacions de l'equip). S'ha obtingut un cabal efluent d'aigües grises de 66,75 m^3/dia, i de 21,70 m^3/dia per la línia d'aigua pluja recollida.

Taula 46: Composició de l'efluent de la RO provinent del MBR

	Efluent (mg/l)	Efluent (g/dia)
COD	1,3	111,0
BOD	0,6	52,9
TN	1,7	141,6
NH4-N	0,0	3,9
N-NO3	0,8	63,6
TP	0,0	2,9
TSS	0,0	1,6
VSS	0,0	0,8

- **Característiques de l'equip**

La selecció dels equips ha sigut via catàleg d'un proveïdor, el qual també proporciona les característiques. Per tractar la línia d'aigües grises s'ha seleccionat

un model amb una capacitat de tractament de 60 m^3/dia. Amb un equip sol, no és suficient per tractar el volum d'aigua diari, per aquest motiu s'utilitzaran dos equips. Pel que respecta les dimensions de l'equip, aquest té una alçada de 2 m, d'una amplada d'1,2 m i de 4 m de longitud, implicant un volum de 9,60 m^3 (Aquaenergy, 2022a).

Per tractar l'aigua de la pluja recollida s'ha seleccionat un model amb una capacitat de tractament de 43,2 m^3/dia. Les dimensions de l'equip en qüestió són de 1,8-0,8-3,5 m, equivalent respectivament a l'alçada, l'amplada i la longitud, implicant un volum de 5,04 m^3 (Aquaenergy, 2022b).

- **CAPEX i OPEX**

En aquest apartat s'ha separat els costos per línia d'aigua tractada. En la Taula 47, es mostren els costos de l'osmosi inversa pel tractament d'aigües grises. En la Taula 48, es presenten els costos pels de l'aigua provinent de la pluja. El CAPEX s'ha extret del catàleg (Aquaenergy, 2022b, 2022a), i l'OPEX ha sigut considerat igual per ambdues línies, estimat en 0,17 €/m^3 tractat (Garrido-Baserba et al., 2022).

Taula 47: Costos de la RO de la línia d'aigües grises

CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)
42.260,00	5.177,38	79.588,98

Taula 48: Costos de la RO de la línia d'aigua de la pluja recollida

CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)
33.600,00	1.584,20	24.353,08

Tractament ultraviolat

- **Cabals i composicions**

Els cabals i les composicions tant dels influents com dels efluents s'han considerat iguals als de l'osmosi inversa, ja que aquest és un tractament de purificació de l'aigua i s'encarrega de matar els possibles bacteris i microorganismes restants en l'aigua (Garrido-Baserba et al., 2022).

- **Característiques de l'equip**

Seguint en la mateixa línia que amb l'osmosi inversa, el tractament ultraviolat també es fa per separat, és a dir, cada línia té el seu tractament ultraviolat.

El model seleccionat per tractar el cabal d'aigua provinent de l'osmosi inversa de la línia d'aigües grises té una capacitat de tractament de 86,4 m^3/dia, amb una alçada de 0,98 m i una amplada de 0,19 m, amb un volum de 0,04 m^3, considerant una base de secció quadrada (Aquaenergy, 2022d).

El model seleccionat per tractar el cabal d'aigua provinent de l'osmosi inversa de la línia d'aigua de pluja té una capacitat de tractament de 43,2 m^3/dia, amb una alçada de 0,72 m i una amplada de 0,09 m, amb un volum de 0,01 m^3, considerant una base de secció quadrada (Aquaenergy, 2022c).

- **CAPEX i OPEX**

En aquest apartat s'ha separat els costos per línia d'aigua tractada. En la Taula 49, es mostren els costos de l'osmosi inversa pel tractament d'aigües grises. En la Taula 50, es presenten els costos pels de l'aigua provinent de la pluja. El CAPEX s'ha extret del catàleg del proveïdor (Aquaenergy, 2022d, 2022c), i l'OPEX ha sigut considerat igual per ambdues línies, estimat en 0,16 €/m^3 tractat (Mazuki et al., 2020).

Taula 49: Costos del UV de la línia d'aigües grises

CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)
845,00	3.898,26	59.925,82

Taula 50: Costos de l'UV de la línia d'aigua de la pluja recollida

CAPEX (€)	OPEX (€/any)	OPEX+VAN (€)
691,80	1.045,41	16.070,45

3.2.5 Altres actius

En aquest apartat es presentaran una sèrie d'actius que són necessaris per dur a terme l'estratègia estudiada i tenen un cost en el projecte. S'ha de dir que només s'ha tingut en compte el cost d'inversió inicial, el CAPEX.

Inodors

Per poder dur a terme l'estratègia proposada és molt important l'ús de l'inodor no-mix, que és el que ens permet separar les aigües negres en aigües grogues i aigües marrons. El cost unitari de cada inodor és de 989 € (Amazon, 2022), implicant a tota l'illa d'habitatges un CAPEX total de 290.880,45 €.

Buffers i tancs d'emmagatzematge

Per un bon funcionament de les instal·lacions i per poder realitzar manteniment dels equips, és indispensable la presència de buffers i tancs d'emmagatzematge. Les dimensions dels tancs han sigut seleccionades d'un catàleg digital d'un proveïdor de tancs (Izoplas, 2022), en canvi, el preu ha sigut estimat a partir d'una relació de volum-preu (Garrido-Baserba et al., 2022). A la Taula 51 es mostren les dimensions dels diferents tancs presents en el sistema. La Taula 52 presenta la quantitat d'aquests que hi ha en cada punt del sistema junt amb el cost total en el punt.

Taula 51: Característiques dels tancs d'emmagatzematge i buffers

Volum (m^3)	Diàmetre (cm)	Alçada (cm)	Llargada (cm)	Amplada (cm)
0,120 (MO)	-	100,5	55,5	50,5
10	-	200	420	180
30	-	250	640	230
37 (pluja)	270	295	680	-
60	-	250	1250	250

Taula 52: Cost dels tancs d'emmagatzematge + unitats

Tancs d'emmagatzematge / buffers	Volum	(m^3)	Unitats	Cost subtotal (€)
S1	10		1	874,03
SF	10		1	874,03
S2	10		2	1.748,06
S3	10		2	1.748,06
SB	30		2	11.300,00
SS	30		1	3.382,42
SMO	0,120		2	302,50
S4	60		2	3.804,20
S5	60		2	3.804,20
STW	60		3	5.706,30
S6	37		3	6.884,68
SPW	37		1	1.721,17

3.2.6 Discussió dels resultats

Un cop plantejada l'estratègia, és hora de fer balanç i valorar els aspectes econòmics, l'estalvi d'aigua, quin espai requerirà la instal·lació, quin serà l'estalvi d'aigua de l'illa d'habitatges.

Econòmic

Primer s'ha analitzat el CAPEX i l'OPEX de manera individualitzada. S'ha començat comparant només els tractaments i després del conjunt total del sistema. Això s'ha fet amb l'objectiu de poder valorar primer quins són els tractaments més costosos tant del CAPEX com l'OPEX, i després el conjunt per visualitzar com es reparteixen els costos dels actius del sistema. A continuació, s'han presentat els costos globals de l'estratègia, seguit del cost que té l'aigua tractada que surt del sistema. Per acabar, s'ha determinat el benefici que es pot obtenir amb la venda dels recursos obtinguts.

La primera part s'ha realitzat amb l'ajuda de les representacions gràfiques circulars de l'Excel. L'única diferència que es trobarà entre els costos d'inversió i els operacionals és que en el segons, no s'observen els d'altres actius (inodors i tancs d'emmagatzematge), ja que aquests no han sigut comptabilitzats.

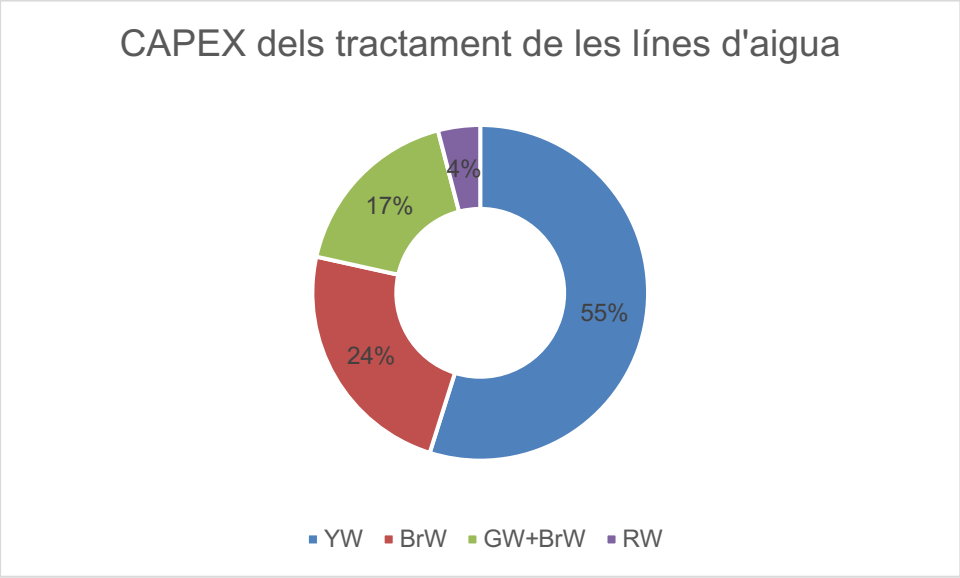


Fig 19: CAPEX dels tractaments de les línies d'aigua

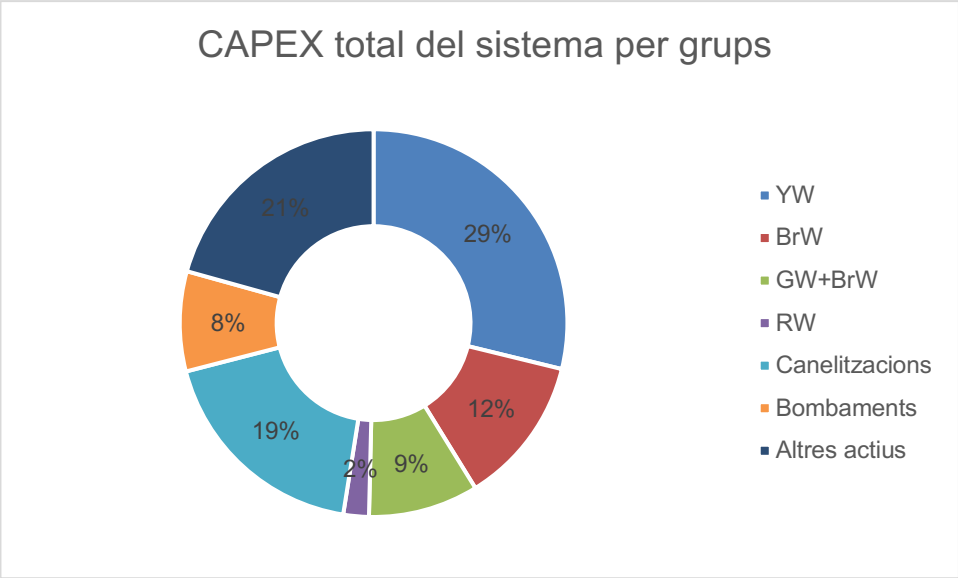


Fig 20: CAPEX total del sistema per grups

A la Fig 19 es pot observar que tot i no haver compatibilitzat el cost del reactor del MBBR, la línia del tractament de l'orina és la més costosa. A la Fig 20 s'observa que un 30% de la inversió inicial del sistema és pels equips de la línia d'aigües grogues. L'ordre decreixent del CAPEX de les línies d'aigües és, seguit de la línia d'aigües grogues, la marró, la grisa, i per últim la recollida de la pluja. Dins del sistema, els tancs d'emmagatzematge i els inodors són el segon cost d'inversió més gran, equivalent al 21% del total, i les canalitzacions la tercera amb un 18%.

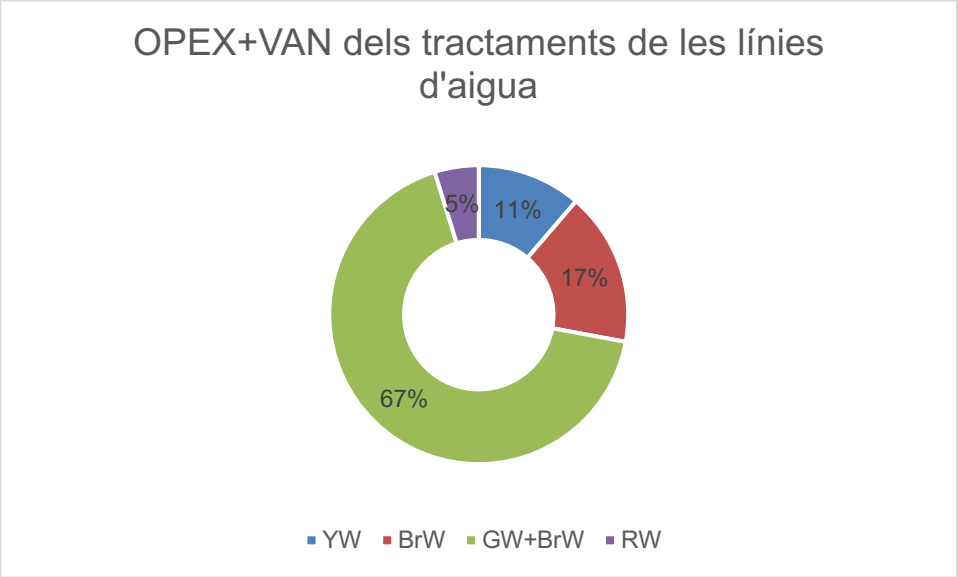


Fig 21: OPEX+VAN dels tractaments de les línies d'aigua

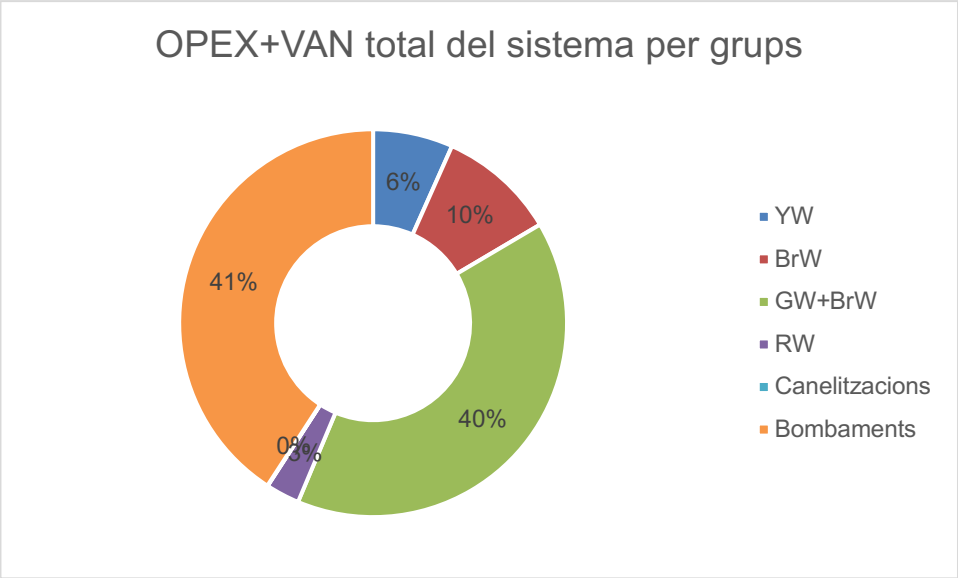


Fig 22: OPEX+VAN total del sistema per grups

A la Fig 21 es pot observar que el tractament de la línia d'aigües grises té el cost operacional més alt (un 74% dels costos de les línies de tractament). De la Fig 22 s'observa que aquest equival al 42% del total del cost operacional del sistema. L'ordre decreixent de l'OPEX de les línies de tractaments és, seguit de la línia d'aigües grises, la marró, la recollida de la pluja i la groga. Els bombaments dins del sistema tenen l'OPEX més gran, equivalen a un 43% respecte al total. Seguit d'aquest, va la línia de tractament d'aigües grises amb un 42% del total, i les marrons amb un 10%.

Un cop realitzada l'anàlisi individualitzat del CAPEX i de l'OPEX, s'ha fet de manera conjunta. En aquest estudi s'han tingut en compte els costos d'inversió inicials i els costos operacionals dels equips. A la Taula 53 es presenten els valors globals d'ambdós costos, seguit d'una representació gràfica circular (Fig 23), on s'observa que el CAPEX té representa un 54% del total, indicant que la inversió serà més gran que el manteniment. Tenint en compte els costos totals, el preu de l'aigua tractada amb el sistema proposat té un cost general de 2,70 €/m^3. La Taula 54 presenta el cost per unitat de volum de cada línia de tractament.

Taula 53: CAPEX i OPEX+VAN totals del sistema

CAPEX (€)	OPEX + VAN (€)
1.610.251,28	1.433.551,51

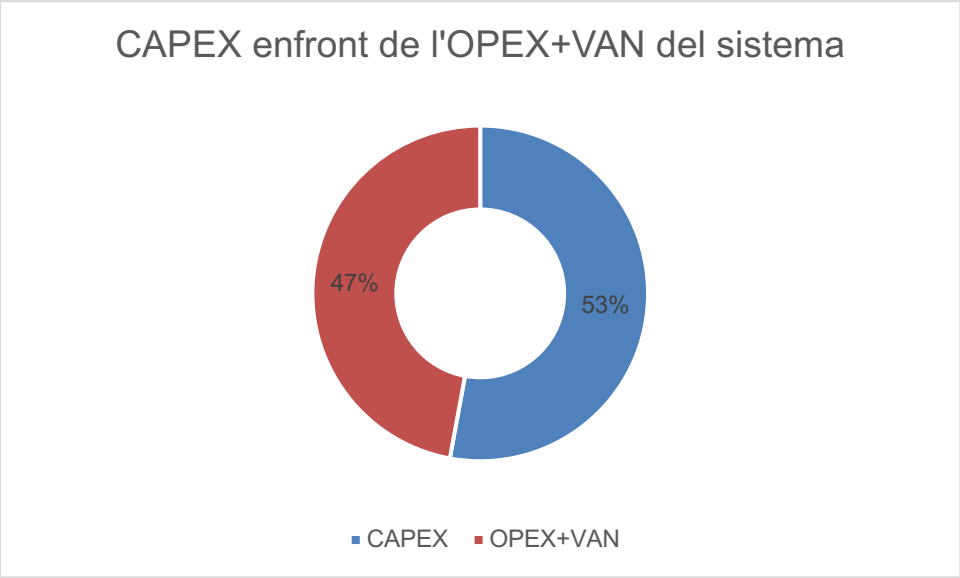


Fig 23: CAPEX enfront l'OPEX+VAN del sistema

Taula 54: Cost dels efluents de les línies de tractament

	YW	BrW	BrW+GW	RW
COST (€/m^3)	81,58	4,45	1,40	0,94

A part d'aquests dos costos, hi ha un de molt important que no s'ha comptabilitzat, el del monitoratge. Per garantir l'acceptació pública, s'han de complir els estàndards més alts de seguiment. La reutilització de l'aigua ha de satisfer els requisits de qualitat més estrictes, exigint un sistema de tractament avançat, robust i segur capaç de complir amb els estàndards de salut i controls més estrictes (Garrido-Baserba et al., 2022). Per tenir una estimació de com quedaria el preu de l'aigua tenint en compte el cost de monitoratge, s'ha considerat que aquest equival al 24,2% del cost total del sistema (Garrido-Baserba et al., 2022). Els costos de seguiment van ser calculats diferenciant tres blocs principals: en proves al laboratori, en CAPEX i OPEX dels sensors i en el monitoratge en temps real del sistema (Garrido-Baserba et al., 2022). El preu de l'aigua tractada tenint en compte els costos de monitoratge estimats passa a ser de 3,56 €/m^3.

Segons (Garrido-Baserba et al., 2022), la recuperació de recursos mitjançant el sistema de reciclatge d'aigua, podria compensar el cost d'instal·lació i funcionament dels sistemes. Per això, en aquest treball s'ha escollit la venda d'aquests. A continuació, s'analitza quin és el benefici que se'n treu de la venda dels

recursos recuperats. En la Taula 55 es mostra el recull dels beneficis que s'obtindrien. La venda dels recursos permet un estalvi de 0,05 €/m^3. Com es pot veure, aquesta venda genera un benefici molt petit, fent qüestionable l'interès de la recuperació d'aquests per la posterior venda.

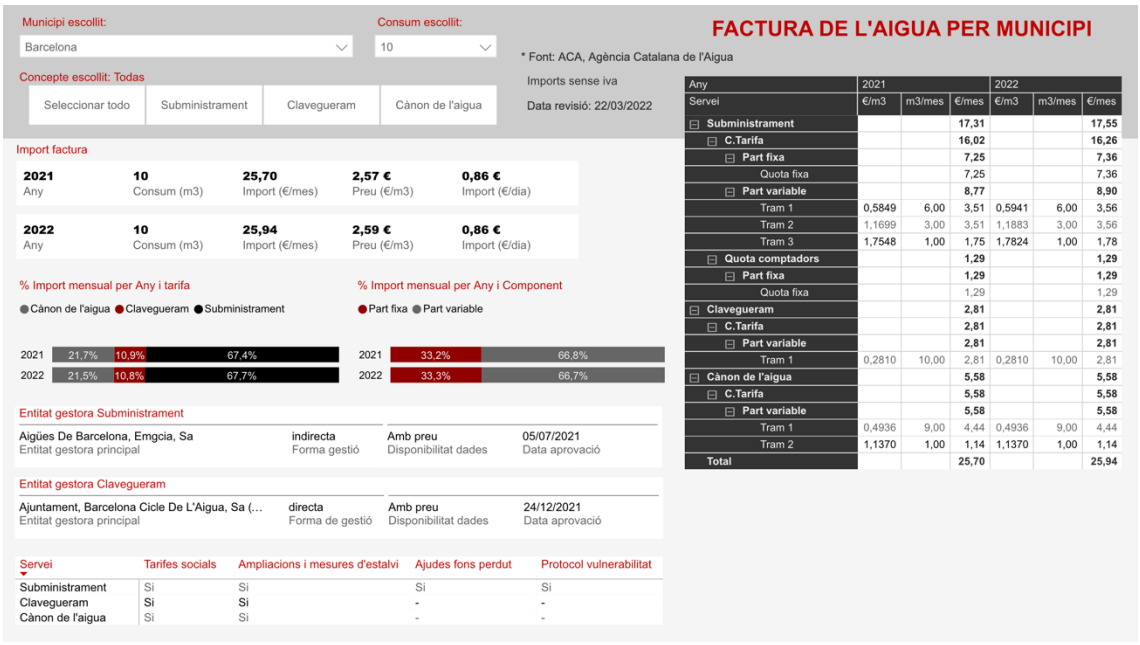
Taula 55: Recull dels beneficis per la venda dels recursos generats

	Benefici anual (€)	Benefici en 30 anys (€)
Fertilitzant UC	217,01	6.510,42
Fertilitzant líquid	869,75	26.092,50
Biogàs	666,48	18.194,46
Estruvita	210,53	6.316,04
Total	1.903,78	57.113,41

Fent balanç dels costos amb els beneficis el preu global de l'aigua tractada és de 3,51 €/m^3, un estalvi molt petit. Per saber si és un cost elevat o baix es compara amb el preu en l'actualitat. Per determinar aquest preu s'ha utilitzat una calculadora que calcula el preu de la factura del domicili per municipi i consum (Agència Catalana de l'Aigua, 2022). Per això s'ha de saber primer quin és el consum en un domicili. Amb el valor de consum mitjà per persona (110 L/p·d) i la densitat del domicili (2,4 aproximant a 3) es troba quin és el consum mensual.

$$Consum\ mensual = 110\,\frac{L}{p{\cdot}d} \times 3\ persones \times \frac{30\ dies}{1\ mes} \times \frac{1\ m^3}{1000\ L} = 9{,}9\ \frac{m^3}{mes} \sim 10\,\frac{m^3}{mes} \quad \text{(eq 75)}$$

Estimat el consum mensual, ara s'entra a la calculadora seleccionant com a municipi Barcelona i posant un consum de 10 m^3. Seguint aquest procediment, s'obté que el preu de l'aigua a Barcelona per un domicili tipus del barri és de 2,59 €/m^3. Aquest cost respecte al cost obtingut de l'aigua del sistema proposat (3,51 €/m^3), és considerablement inferior, fet que a primera vista no el fa atractiu.



Any	2021			2022		
Servei	€/m3	m3/mes	€/mes	€/m3	m3/mes	€/mes
Subministrament			17,31			17,55
C.Tarifa			16,02			16,26
Part fixa			7,25			7,36
Quota fixa			7,25			7,36
Part variable			8,77			8,90
Tram 1	0,5849	6,00	3,51	0,5941	6,00	3,56
Tram 2	1,1699	3,00	3,51	1,1883	3,00	3,56
Tram 3	1,7548	1,00	1,75	1,7824	1,00	1,78
Quota comptadors			1,29			1,29
Part fixa			1,29			1,29
Quota fixa			1,29			1,29
Clavegueram			2,81			2,81
C.Tarifa			2,81			2,81
Part variable			2,81			2,81
Tram 1	0,2810	10,00	2,81	0,2810	10,00	2,81
Cànon de l'aigua			5,58			5,58
C.Tarifa			5,58			5,58
Part variable			5,58			5,58
Tram 1	0,4936	9,00	4,44	0,4936	9,00	4,44
Tram 2	1,1370	1,00	1,14	1,1370	1,00	1,14
Total			25,70			25,94

Fig 24: Preu de l'aigua a Barcelona per un domicili tipus – Dreta de l'Eixample

Estalvi d'aigua

La compensació més important del sistema està relacionada amb la demanda d'aigua del sistema centralitzat d'aigua, ja que amb aquesta es reutilitza l'aigua tractada pels usos no potables dels domicilis. A continuació s'ha fet un balanç de quin és l'estalvi d'aigua que implica l'estratègia proposada per l'illa d'habitatges dimensionada comparant-la amb l'estratègia actual als anys 2020, 2030 i 2050 pel pitjor escenari, l'escenari demogràfic alt i el climàtic RCP 8,5.

ANY	2020 (amb sistema)											
	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DemAP (m3/mes)	704,09	704,09	704,09	704,09	704,09	704,09	704,09	704,09	704,09	704,09	704,09	704,09
RW (m3/mes)	609,68	19,12	420,57	1.766,24	199,36	471,77	157,71	84,66	411,01	157,71	358,44	283,34
Balanç AP (m3/mes)	- 94,40	- 684,97	- 283,52	1.062,15	- 504,73	- 232,32	- 546,37	- 619,43	- 293,08	- 546,37	- 345,65	- 420,75
Balanç AP (m3/any)	-3509,44											

DemANP (m3/any)	19714,41
TW (m3/any)	19850,42
BalanANP (m3/any)	136,02

DispTot (m3/any)	32661,22
DispFin (m3/any)	29151,79

ANY	2020 (sense sistema)											
	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DemAigua (m3/mes)	2.346,95	2.346,95	2.346,95	2.346,95	2.346,95	2.346,95	2.346,95	2.346,95	2.346,95	2.346,95	2.346,95	2.346,95
DemAiguaTot (m3/any)	28163,44											
DispTot (m3/any)	32661,22											
DispFin (m3/any)	4497,79											

Fig 25: Taula comparativa dels consums de la gestió actual amb la gestió proposada per l'escenari demogràfic alt i climàtic RCP 8,5 (2020)

ANY	ARCP 8.5 2030 (amb sistema)											
	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DemAP (m3/mes)	776,57	776,57	776,57	776,57	776,57	776,57	776,57	776,57	776,57	776,57	776,57	776,57
RW (m3/mes)	324,01	206,28	282,94	395,98	473,11	304,60	135,86	315,06	468,08	549,03	446,55	410,60
Balanç AP (m3/mes)	- 452,56	- 570,29	- 493,63	- 380,59	- 303,46	- 471,97	- 640,71	- 461,51	- 308,49	- 227,54	- 330,02	- 365,97
Balanç AP (m3/any)	-5006,75											

DemANP (m3/any)	21743,96
TW (m3/any)	21893,98
BalanANP (m3/any)	150,02

DispTot (m3/any)	31692,08
DispFin (m3/any)	26685,32

ANY	ARCP 8.5 2030 (sense sistema)											
	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DemAigua (m3/mes)	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57
DemAiguaTot (m3/any)	31062,80											
DispTot (m3/any)	33510,46											
DispFin (m3/any)	2447,66											

Fig 26: Taula comparativa dels consums de la gestió actual amb la gestió proposada per l'escenari demogràfic alt i climàtic RCP 8,5 (2030)

Escenari	ARCP 8.5 2050 (amb sistema)											
	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
AP	889,51	889,51	889,51	889,51	889,51	889,51	889,51	889,51	889,51	889,51	889,51	889,51
RW	342,01	217,73	298,66	377,12	450,58	290,09	120,76	280,05	416,07	521,58	424,23	390,07
Balanç	- 547,51	- 671,78	- 590,85	- 512,39	- 438,93	- 599,42	- 768,75	- 609,46	- 473,44	- 367,93	- 465,28	- 499,44
DemAPFin	-6545,19											

ANP	24906,34
TW	25078,18
Dem ANP	171,84

DispTot	30676,95
DispFin	24131,76

Escenari	ARCP 8.5 2050 (sense sistema)											
	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
AIGUA	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57	2.588,57
DemTot	31062,80											
DispTot	30676,95											
DispFin	-385,85											

Fig 27: Taula comparativa dels consums de la gestió actual amb la gestió proposada per l'escenari demogràfic alt i climàtic RCP 8,5 (2050)

Com es pot observar en la Fig 25, en cas d'haver implementat el sistema l'any 2020, aquest hauria sigut capaç de satisfer les necessitats d'aigua d'ús no potable del domicili, però no pels usos potables. L'aigua que falta per compensar aquesta demanda ha de ser proporcionada pel sistema centralitzat. L'estalvi d'aigua que hagués proporcionat tenir el sistema implementat el 2020 hagués sigut del 88%.

A la Fig 26 es pot observar que en cas de complir-se les projeccions i tenir el sistema implementat pel 2030, el sistema seguirà sent capaç de satisfer les necessitats d'aigua d'usos no potables dels domicilis. De la mateixa forma que en el 2020, el sistema no és capaç de satisfer les demandes d'aigua per usos potables dels domicilis. Tot i així s'ha previst que l'estalvi d'aigua subministrada en comparació amb el sistema de gestió actual pot arribar al 84%.

Per últim en la Fig 27 s'observa que en cas de complir-se les projeccions i tenir el sistema implementat pel 2050, el sistema continuaria sent capaç de satisfer les necessitats d'aigua d'usos no potables dels domicilis, però no pels usos potables. També s'observa que si es continués amb la gestió actual, aquesta no podria satisfer la demanda. S'ha previst que l'estalvi d'aigua subministrada en comparació amb el sistema actual de gestió pot arribar al 79%.

Vists els estalvis de l'abastiment d'aigua amb la implementació del sistema proposat, es pot concloure que aquest és capaç de satisfer les necessitats d'aigua d'usos no potables dels domicilis. Per aquest motiu es pot afirmar que en cas de no captar ni potabilitzar l'aigua de la pluja, l'estalvi d'aigua del sistema és del 70%. La captació i potabilització de l'aigua de la pluja és la que farà incrementar l'estalvi de l'aigua del sistema. Aquest augment amb el pas del temps es preveu que anirà decreixent, ja que disminuiran les precipitacions, però tot i així, pel 2050 es preveu un estalvi del 79% en el pitjor escenari (RCP 8,5).

Qualitat de les aigües tractades

Un terme molt important a tenir en compte és la qualitat de l'aigua que s'obté, aquest. Com s'ha explicat amb anterioritat amb la importància del monitoratge, és clau que l'aigua tractada compleixi amb els requisits de qualitat més estrictes, i el sistema sigui capaç de complir amb els estàndards de salut i control més estrictes (Garrido-Baserba et al., 2022).

Per poder comprovar si l'aigua tractada compleix amb els requisits de qualitat, s'han valorat els paràmetres de DQO, de DBO i de TN de la composició de l'efluent. Per això, s'ha buscat quin és el règim jurídic estatal espanyol de les aigües tractades per tal de determinar els límits de qualitat de l'aigua. En absència de límits pels paràmetres de DQO i DBO en el (RD1620, 2007), la normativa de referència és la Directiva Europea 91/271 CEE (EEC Council, 1991), que estableix els límits d'abocament de l'aigua depurada en 125 mg O_2/L per la DQO i 25 mg O_2/L per la DBO_5. Pel que respecta al nitrogen total de l'efluent, el límit segons l'Agència Catalana de l'Aigua és de 10 mg/L (Garrido-Baserba et al., 2018). Com es pot veure en la Taula 46, es recull la concentració de l'efluent que surt de la línia d'aigües grises. Es pot comprovar que el sistema garanteix que els valors de les concentracions de l'efluent és per sota dels límits.

Espai necessari

En aquest apartat s'ha valorat quin és l'espai necessari mínim per dur a terme l'estratègia estudiada. La Taula 56 presenta un recull de tots els volums de treball del sistema, i tot seguit, s'ha valorat la possibilitat de poder posar tota la instal·lació en la planta baixa d'un edifici.

La suma total dels volums de treball és de 1.126,63 m^3. Conegut el volum total mínim necessari, s'ha valorat si la instal·lació pot ser instal·lada en només una planta baixa d'un edifici. Per això, primer s'ha de trobar el volum de la planta baixa. S'ha considerat que totes les plantes tindran la mateixa alçada, 3 m (Garrido-Baserba et al., 2022). L'àrea de la planta és la mateixa que la de l'edifici, ja calculada anteriorment essent de 401,61 m^2. El volum d'una planta s'ha trobat seguint la fórmula següent:

$$V_{planta} = A_{planta} \times Alçada = 401{,}61\ m^2 \times 3\ m = 1204{,}83\ m^3 \qquad \text{(eq 76)}$$

Taula 56: Volums de treball dels actius del sistema

YW (m^3)		BrW+YWNR (m^3)		GW+BrW+YWNR. (m^3)		RW (m^3)	
UC	1,62	SMO	0,24	S4	120,00	S6	111,00
S1	10,00	UASB	300,00	MBR	81,61	RO	5,04
MABR	7,04	SB	60,00	S5	120,00	UV	0,01
SF	10,00	SS	30,00	RO	9,60	SPW	37,00
		S2	20,00	UV	0,04		
		OLAND	0,90	STW	180,00		
		S3	20,0				
		Estruvita + decantador	2,54				

El volum mínim de treball dels equips del sistema respecte al de planta baixa, equival al 94%. S'ha de tenir en compte que en tot moment s'ha estat parlant de volum de treball i no de disseny. Per tenir en compte aquest, s'ha considerat que el disseny fa augmentar en un 40% el volum de l'equip, obtenint un volum del sistema de 1.577,28 m^3. Això s'ha fet amb l'objectiu de tenir una visió més realista del volum necessari. Amb aquest factor de correcció de disseny, el sistema no hi cap en una planta baixa. Com en una no ha sigut suficient, s'ha mirat com quedaria amb dues plantes baixes. El sistema ocuparia un 65,46% del volum total de les dues plantes baixes. Llavors es pot afirmar que l'espai requerit pel sistema són dues plantes baixes de l'illa d'habitatges.

4 Conclusions

Del treball s'han pogut extreure les següents conclusions:

- Si la ciutat de Barcelona segueix amb el mateix ritme de consum i la mateixa estratègia de gestió de l'aigua actual, amb l'augment de població que es pronostica, en un curt-mitjà període de temps no serà possible satisfer les necessitats d'aigua de la ciutat, ja que arribarà un punt en què la demanda d'aigua serà superior a l'oferta.
- L'estratègia de descentralització total proposada permet satisfer les necessitats d'aigua d'usos no potable dels domicilis, però no l'aigua per usos potables, ja que aquesta en el sistema, depèn exclusivament de l'aigua recollida de la pluja. Per aquest motiu, com que aquesta no serà suficient, l'illa d'habitatges ha de romandre connectada al sistema centralitzat per tal de compensar la falta d'aigua. Tot i així, s'ha vist que amb la implementació del sistema s'aconsegueix reduir la demanda d'aigua en valors superiors al 80%, així minimitzant o acabant amb l'estrès hídric de la ciutat.
- A primera vista, el preu obtingut de l'aigua tractada amb l'estratègia proposada comparat amb el preu actual no és atractiu, però és difícil obtenir una conclusió clara, ja que hi ha altres aspectes a tenir en compte, com el tractament de la matèria orgànica, l'impacte ambiental i el futur preu de l'aigua, que incrementarà amb el pas del temps si es segueix amb el mateix sistema actual, atès que la disponibilitat anirà decreixent i la demanda incrementant-se.
- L'estratègia proposada de descentralització total, permet la recuperació de recursos de les aigües residuals. Un cop recuperats, hi ha l'opció d'utilitzar aquests en benefici dels habitants de l'illa d'habitatges, com per exemple sense la necessitat de noves inversions, l'aprofitament dels fertilitzants pel creixement de les plantes i/o dels cultius del domicili, fet que promouria l'economia verda circular. També hi ha l'opció de vendre'ls o la combinació de totes dues. En aquest estudi s'ha optat per la posterior venda de tots els recursos generats, però hi ha la possibilitat de no ser l'opció més

econòmicament rendible, caldria fer una valorització de quin impacte econòmic tindria l'aprofitament d'aquests o la combinació d'ambdues.

5 Pressupost i planificació

A continuació es presentarà la planificació i pressupost per la realització d'aquest treball.

5.1 Planificació

En la Fig 28 s'observa el diagrama de Gantt fet amb Microsoft Project, que mostra la planificació de les diferents tasques dutes a terme en el treball:

Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
	Treball final de grau	**145 días?**	**lun 14/2/22**	**vie 2/9/22**	
	Definició i realització del projecte	**135 días?**	**lun 14/2/22**	**vie 19/8/22**	
	Definició dels objectius	1 día	lun 14/2/22	lun 14/2/22	
	Recerca bibliogràfica	**134 días**	**mar 15/2/22**	**vie 19/8/22**	
	Estat del recurs aigua a Barcelona al futur	**9 días**	**mar 26/4/22**	**vie 6/5/22**	
	Situació actual	2 días	mar 26/4/22	mié 27/4/22	3FC+50 días
	Projeccions	7 días	jue 28/4/22	vie 6/5/22	6
	Proposta descentralitzada	**134 días**	**mar 15/2/22**	**vie 19/8/22**	
	Cas d'estudi	4 días	mié 8/6/22	lun 13/6/22	16FC+15 días
	Canalitzacions i bombaments	2 días	mié 15/6/22	jue 16/6/22	18
	Tractaments	134 días	mar 15/2/22	vie 19/8/22	3
	Càlculs	**114 días?**	**mar 15/3/22**	**vie 19/8/22**	
	Estat del recurs aigua a Barcelona al futur	**7 días**	**lun 9/5/22**	**mar 17/5/22**	
	Situació actual	1 día	lun 9/5/22	lun 9/5/22	7
	Projeccions	5 días	mar 10/5/22	lun 16/5/22	14
	Balanç	1 día	mar 17/5/22	mar 17/5/22	15
	Proposta descentralitzada	**114 días?**	**mar 15/3/22**	**vie 19/8/22**	
	Cas d'estudi	1 día?	mar 14/6/22	mar 14/6/22	9
	Canalitzacions i bombaments	4 días	vie 17/6/22	mié 22/6/22	10
	Tractaments	114 días	mar 15/3/22	vie 19/8/22	11CC+20 días
	Redacció del treball	**20 días**	**lun 8/8/22**	**vie 2/9/22**	
	Introducció	1 día	lun 8/8/22	lun 8/8/22	20FC-10 días
	Metodologia amb marc teòric	10 días	mar 9/8/22	lun 22/8/22	22
	Projeccions i estudi tecno-econòmic	7 días	mar 23/8/22	mié 31/8/22	23
	Discussió dels resultats i conclusions	2 días	jue 1/9/22	vie 2/9/22	24

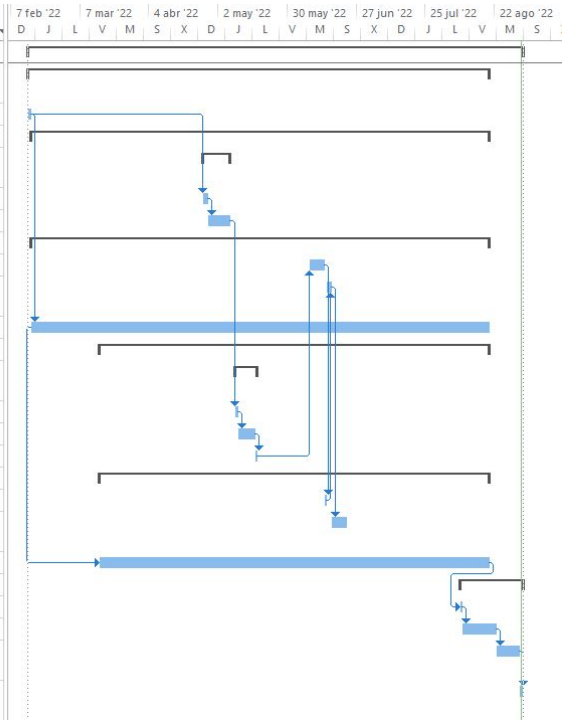


Fig 28: Planificació del treball

Com es pot observar, hi ha una sèrie de tasques vinculades entre si, on fins que la tasca no era finalitzada, no començava la següent. Això no passa en tots el casos, tant en la recerca bibliogràfica com els càlculs dels tractaments s'han realitzat realitzant de manera independent.

5.2 Pressupost

Per comptabilitzar els costos, s'han diferenciat entre els costos de mà d'obra i els costos indirectes.

Mà d'obra

A part de la mà d'obra realitzada per l'estudiant per realitzar el treball, s'han mantingut reunions amb dos especialistes dels processos utilitzats. En la Taula 57: Costs de la mà d'obra es pot observar el cost per mà d'obra desglossat.

Taula 57: Costs de la mà d'obra

	Temps treballat (hores)	Cost unitari (€/h)	Cost Subtotal (€)
Alumne	580	15	8.700
Especialista 1	12	30	360
Especialista 2	2	30	60
		Total	9120

Costos indirectes

Els costos indirectes generats pel treball es consideren d'un 5% dels costos de mà d'obra. Per tant els costos indirectes són de 456€.

Costos total del projecte

La Taula 58 mostra el cost total del projecte. S'ha considerat un IVA del 21%.

Taula 58: Cost total del projecte

	Cost (€)
Mà dòbra	9.120
Costos indirectes	456
Total (sense IVA)	9.576
Total (amb IVA)	**11.586,96**

6 Bibliografia

Agència Catalana de l'Aigua. (2022). *Calculadora del preu de l'aigua per municipis i consum*. https://aca.gencat.cat/ca/laca/observatori-del-preu-de-laigua/Preu-per-municipis-i-evolucio/

Ajuntament de Barcelona. (2018). *Projeccions de població a 1 de gener (base 2018). Barcelona*. https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Estadistiques_per_temes/Poblacio_i_demografia/Poblacio/Projeccions_de_poblacio/poblacio/base2018/Barcelona/t119.htm

Ajuntament de Barcelona. (2021). *Anuari Estadístic de la Ciutat de Barcelona 2021*.

Amazon. (2022). *Inodor NO-MIX*. https://www.amazon.com/-/es/Villa-9210-DC-AC-Inodoro/dp/B01N3QSLZK/ref=sr_1_7?__mk_es_US=ÅMÅŽÕÑ&crid=14P1CFZTE903U&keywords=composting+toilet&qid=1658732660&sprefix=inodoro+de+compostaje%2Caps%2C179&sr=8-7

Aquaenergy. (2022a). *Cost RO 60 m3/dia*. https://aquaenergy.es/producto/osmosis-inversa-industrial-2500-litros-hora/

Aquaenergy. (2022b). *Cost RO 43,2 m3/dia*. https://aquaenergy.es/producto/osmosis-inversa-industrial-1800-litros-hora/

Aquaenergy. (2022c). *Cost UV 43,2 m3/dia*. https://aquaenergy.es/producto/ultravioleta-1800-litros-h/

Aquaenergy. (2022d). *Cost UV 86,4 m3/dia*. https://aquaenergy.es/producto/ultravioletas-3600-litros-hora/

Àrea Metropolitana de Barcelona. (2021). *Evolució dels recursos hídrics a Barcelona*.

Àrea Metropolitana de Barcelona. (2022). *Ciclo del agua*. https://www.amb.cat/s/es/web/ecologia/aigua/cicle-de-l-aigua.html

Barcelona Cicle de l'Aigua S.A. (2021). *El consum d'aigua a Barcelona. L'aprofitament i els usos dels recursos hídrics Any 2020*. www.bcasa.cat

Batstone, D. J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S. V., Pavlostathis, S. G., Rozzi, A., Sanders, W. T. M., Siegrist, H., & Vavilin, V. A. (2002). The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1). *Water Science and Technology*, *45*(10), 65–73. https://doi.org/10.2166/wst.2002.0292

Beylier, M. R., Blauvelt, A., Yan, P., Li, M., Wei, G., Li, H., Gao, Z. qiu Z., Lopez, M. V., Schreiber, F., Hu, B.-L., Shen, L.-D. dong, Lian, X., Zhu, Q., Liu, S., Huang, Q., He, Z.-F. fei, Geng, S., Cheng, D.-Q., Lou, L.-P., … Gao, Z. qiu Z. (2015). Treatment of manture landfill leachates by anammox process. *Applied and Environmental Microbiology*, *3*(4).

Bhattacharjee, T., & Datta, S. S. (2019). Bacterial hopping and trapping in porous media. *Nature Communications*, *10*(1). https://doi.org/10.1038/s41467-019-10115-1

Bi, S., Hong, X., Yang, H., Yu, X., Fang, S., Bai, Y., Liu, J., Gao, Y., Yan, L., Wang, W., & Wang, Y. (2020). Effect of hydraulic retention time on anaerobic co-digestion of cattle manure and food waste. *Renewable Energy*, *150*, 213–220. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.091

BlueGold. (2020). *Biorreactor de membrana MBR: Descripción y su aplicación al tratamiento de aguas residuales*. https://www.bluegold.es/biorreactores-de-membrana-mbr-descripcion-y-aplicacion/

BOE MARM. (2007). Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. *Boe 7 DICIEMBRE*.

Buzzini, A. P., & Pires, E. C. (2007). Evaluation of a upflow anaerobic sludge blanket reactor with partial recirculation of effluent used to treat wastewaters from pulp and paper plants. *Bioresource Technology*, *98*(9). https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.030

Coppens, J., Lindeboom, R., Muys, M., Coessens, W., Alloul, A., Meerbergen, K., Lievens, B., Clauwaert, P., Boon, N., & Vlaeminck, S. E. (2016). Nitrification and microalgae cultivation for two-stage biological nutrient valorization from source separated urine. *Bioresource Technology*, *211*. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.001

Courtens, E. N. P., Meerburg, F., Mausen, V., & Vlaeminck, S. E. (2014). When the smoke disappears: dealing with extinguishing chemicals in firefighting wastewater. *Water Science and Technology*, *69*(8), 1720–1727. https://doi.org/10.2166/wst.2014.081

de Clippeleir, H., Yan, X., Verstraete, W., & Vlaeminck, S. E. (2011). OLAND is feasible to treat sewage-like nitrogen concentrations at low hydraulic residence times. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *90*(4). https://doi.org/10.1007/s00253-011-3222-6

de Graaff, M. S., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. N. (2010). Anaerobic treatment of concentrated black water in a UASB reactor at a short HRT. *Water (Switzerland)*, *2*(1). https://doi.org/10.3390/w2010101

de Graaff, M. S., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. N. (2011). Energy and phosphorus recovery from black water. *Water Science and Technology*, *63*(11), 2759–2765. https://doi.org/10.2166/wst.2011.558

de Paepe, J., de Pryck, L., Verliefde, A. R. D., Rabaey, K., & Clauwaert, P. (2020). Electrochemically Induced Precipitation Enables Fresh Urine Stabilization and Facilitates Source Separation. *Environmental Science and Technology*, *54*(6). https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06804

de Pryck, L. (2017). *Precipitation options for source separated urine to recover nutrients and avoid scaling*.

Dhadwal, M., Liu, Y., & Dhar, B. R. (2021). Coupling microbial electrolysis cell and activated carbon biofilter for source-separated greywater treatment. *Processes*, *9*(2). https://doi.org/10.3390/pr9020281

Directors, E. W. (2016). *Guidelines on Integrating Water-reuse into Water Planning and Management in the context of the WFD. Common Implementation Strategy for the Water Framework directive and the foods directive.*

EEC Council. (1991). Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC). *Official Journal of the European Communities*, *L 135*.

Elga Veolia. (2021). *Reverse osmosis*. https://www.elgalabwater.com/technologies/reverse-osmosis?gclid=Cj0KCQjw9ZGYBhCEARIsAEUXITWBih5gf1qRw9-TUnvBd6_rIJVMJAZ8mkvC-2O0K4MyNbVfznIed58aAhB8EALw_wcB

Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, *4*(1), 85–104. https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4

Etter, B., Tilley, E., Khadka, R., & Udert, K. M. (2011). Low-cost struvite production using source-separated urine in Nepal. *Water Research*, *45*(2). https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.10.007

Fernández-Arévalo, T., Lizarralde, I., Fdz-Polanco, F., Pérez-Elvira, S. I., Garrido, J. M., Puig, S., Poch, M., Grau, P., & Ayesa, E. (2017). Quantitative assessment of energy and resource recovery in wastewater treatment plants based on plant-wide simulations. *Water Research*, *118*. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.001

Fletcher, H., Mackley, T., & Judd, S. (2007). The cost of a package plant membrane bioreactor. *Water Research*, *41*(12). https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.02.038

Flörke, M., Schneider, C., & McDonald, R. I. (2018). Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nature Sustainability*, *1*(1). https://doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8

Friedler, E., & Gilboa, Y. (2010). Performance of UV disinfection and the microbial quality of greywater effluent along a reuse system for toilet flushing. *Science of The Total Environment*, *408*(9), 2109–2117. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.051

Garrido-Baserba, M., Barnosell, I., Molinos-Senante, M., Sedlak, D. L., Rabaey, K., Schraa, O., Verdaguer, M., Rosso, D., & Poch, M. (2022). The third route: A techno-economic evaluation of extreme water and wastewater decentralization. *Water Research*, *218*. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118408

Garrido-Baserba, M., Vinardell, S., Molinos-Senante, M., Rosso, D., & Poch, M. (2018). The Economics of Wastewater Treatment Decentralization: A Techno-economic Evaluation. *Environmental Science and Technology*, *52*(15). https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01623

Generalitat de Catalunya. (2017). *Acord-Ter-signat*.

Ghernaout, D., Elboughdiri, N., & Alghamdi, A. (2019). Direct Potable Reuse: The Singapore NEWater Project as a Role Model. *OALib*, *06*(12), 1–10. https://doi.org/10.4236/oalib.1105980

Gritti, M. C. (2018). *FROM EARTH TO SPACE AND BACK-NUTRIENT RECOVERY FROM URINE FOR A CIRCULAR ECONOMY*.

Grundfos. (2022). *Tratamiento de agua UV*. https://www.grundfos.com/es/learn/research-and-insights/uv-water-treatmenthttps://www.grundfos.com/es/learn/research-and-insights/uv-water-treatment

Guerreiro, S. B., Dawson, R. J., Kilsby, C., Lewis, E., & Ford, A. (2018). Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities. *Environmental Research Letters*, *13*(3), 034009. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaaad3

Gutiérrez, J., & Gutiérrez, L. (2010). *Rehabilitació i canvi d'ús d'un edifici situat al carrer Consell de Cent, 435, de Barcelona 2*.

Hellström, D., & Johansson, E. (1999). *Nitrification in combinatin with drying as a method for treatment and volume reduction of stored human urine, in "Urine separating wastewater systems: Design Experiences and Nitrogen conservation."*

IDESCAT. (2011). *Nombre d'edificis destinats principalment a habitatges segons nombre de plantes sobre rasant*. https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Estadistiques_per_temes/Habitatge_i_mercat_immobiliari/Edificis_i_habitatges/Cens_edificis/a2011/princhabit/t23.htm

IDESCAT. (2016a). *Característiques dels domicilis per barris. Any 2016*. https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Estadistiques_per_territori/Barris/Poblacio_i_demografia/Llars_i_domicilis/Domicilis_padronals/a2016/cll02.htm

IDESCAT. (2016b). *Característiques dels domicilis per barris. Any 2016*. https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Estadistiques_per_territori/Barris/Poblacio_i_demografia/Llars_i_domicilis/Domicilis_padronals/a2016/cll02.htm

IDESCAT. (2020). *Xifres oficials de població a 1 de gener de 2020*. https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Estadistiques_per_territori/Barris/Poblacio_i_demografia/Poblacio/Xifres_oficials_poblacio/a2020/ine01.htm

IDESCAT. (2021). *El municipi en xifres*. https://www.idescat.cat/tema/xifpo?lang=es

IDESCAT. (2022a). *Locales uso destino principal vivienda según superficie. 2022*. https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/castella/Estadistiques_per_temes/Habitatge_i_mercat_immobiliari/Edificis_i_habitatges/Dades_cadastrals/habitatges/superficie/a2022/A3.htm

IDESCAT. (2022b). *Proyecciones de población. 2021–2071*. https://www.idescat.cat/novetats/?id=4192&lang=es

Izoplas. (2022). *Catàleg de tancs d'emmagatzematge i buffers*. https://izoplas.com/en/category/fiberglass-water-tanks/

Jiménez, B., & Asano, T. (2008). Water reclamation and reuse around the world. *Water Reuse - An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*, *d*.

Kirchmann, H., & Pettersson, S. (1994). Human urine - Chemical composition and fertilizer use efficiency. *Fertilizer Research*, *40*(2). https://doi.org/10.1007/BF00750100

Kuai, L., & Verstraete, W. (1998). Ammonium removal by the oxygen-limited autotrophic nitrification- denitrification system. *Applied and Environmental Microbiology*, *64*(11). https://doi.org/10.1128/aem.64.11.4500-4506.1998

Kujawa-Roeleveld, K., & Zeeman, G. (2006). Anaerobic treatment in decentralised and source-separation-based sanitation concepts. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, *5*(1). https://doi.org/10.1007/s11157-005-5789-9

Larsen, T. A., Udert, K. M., & Lienert, J. (2013). *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*. IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/9781780401072

Lienert, J., & Larsen, T. A. (2010). High acceptance of urine source separation in seven European countries: A review. In *Environmental Science and Technology* (Vol. 44, Issue 2). https://doi.org/10.1021/es9028765

LIMA COP20-CMP10. (2014). *Guión Conceptos Básicos sobre Cambio Climático*.

Liu, R., Huang, X., Chen, L., Wen, X., & Qian, Y. (2005). Operational performance of a submerged membrane bioreactor for reclamation of bath wastewater. *Process Biochemistry*, *40*(1). https://doi.org/10.1016/j.procbio.2003.11.038

Lo, C. H., McAdam, E., & Judd, S. (2015). The cost of a small membrane bioreactor. *Water Science and Technology*, *72*(10). https://doi.org/10.2166/wst.2015.394

Lozano, J., Sabaté, F., & Subiranas, J. (2007). *Análisi comparativa dels processos emergents SHARON i ANAMMOX pel tractament d'aigües amb una alta càrrega de nitrogen 1-116*.

Mattson, N., & Leatherwood, R. (2009). Nitrogen : All Forms Are Not Equal. *Greenhouse Management and Production*, *29*(June).

Maurer, M., Pronk, W., & Larsen, T. A. (2006). Treatment processes for source-separated urine. In *Water Research* (Vol. 40, Issue 17). https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.07.012

Metcalf, W., & Eddy, C. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, Fifth Edition. In *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, Fifth Edition*.

Mihelcic, J. R., Fry, L. M., & Shaw, R. (2011). Global potential of phosphorus recovery from human urine and feces. *Chemosphere*, *84*(6), 832–839. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.046

Mohamad Mazuki, N. I., Teow, Y. H., Ho, K. C., & Mohammad, A. W. (2020). Techno-economic analysis of single disinfection units and integrated disinfection systems for sewage effluent reclamation. *Journal of Water Process Engineering*, *36*. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101398

Orlando D, G. C. (2020). *Tecnología MBBR (Moving Bed Bio Reactor) Tratamiento biológico de aguas residuales (PTARS)*. https://es.linkedin.com/pulse/tecnolog%C3%ADa-mbbr-moving-bed-bio-reactor-tratamiento-de-orlando-d-

Otterpohl, R., Braun, U., & Oldenburg, M. (2003). *Innovative technologies for decentralised water-, wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas*. http://iwaponline.com/wst/article-pdf/48/11-12/23/421979/23.pdf

Pastor Alcañiz, L. (2008). *Estudio de la precipitación y recuperación del fósforo presente en las aguas residuales en forma de estruvita (MgNH4PO4·6H2O)* [Universitat Politècnica de València]. https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/2190

Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., & Olaniyan, O. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources Forum*, *44*(1), 40–51. https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187

Randall, D. G., Krähenbühl, M., Köpping, I., Larsen, T. A., & Udert, K. M. (2016). A novel approach for stabilizing fresh urine by calcium hydroxide addition. *Water Research*, *95*. https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.007

Remy, C. (2010). Life cycle assessment of conventional and source separation systems for urban wastewater management. *Technischen Universität Berlin*.

Restrepo Duque, A. M., Rodríguez Sandoval, E., & Manjarrés Pinzón, K. (2011). Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroidustriales. *Rev. P+L*, *6*(2).

Roefs, I., Meulman, B., Vreeburg, J. H. G., & Spiller, M. (2017). Centralised, decentralised or hybrid sanitation systems? Economic evaluation under urban development uncertainty and phased expansion. *Water Research*, *109*. https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.051

Rossi, L., Lienert, J., & Larsen, T. A. (2009). Real-life efficiency of urine source separation. *Journal of Environmental Management*, *90*(5), 1909–1917. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.006

Santasmasas, C., Rovira, M., Clarens, F., & Valderrama, C. (2013). Grey water reclamation by decentralized MBR prototype. *Resources, Conservation and Recycling*, *72*. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.004

Servei Meteorològic de Catalunya. (2020). *ESCENARIS CLIMÀTICS REGIONALITZATS A CATALUNYA (ESCAT-2020)*.

Servei Meteorològic de Catalunya. (2021). *Precipitació acumulada mensual (mm)*. https://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2022/01/07085519/Barcelona_PPT_m_1786_2021.txt

Silvestre, G., Bonmatí, A., & Fernández, B. (2015). Optimisation of sewage sludge anaerobic digestion through co-digestion with OFMSW: Effect of collection system and particle size. *Waste Management*, *43*, 137–143. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.029

Sun, H., Mohammed, A. N., & Liu, Y. (2020). Phosphorus recovery from source-diverted blackwater through struvite precipitation. *Science of the Total Environment*, *743*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140747

Tang, C. Y., Yang, Z., Guo, H., Wen, J. J., Nghiem, L. D., & Cornelissen, E. (2018). Potable Water Reuse through Advanced Membrane Technology. *Environmental Science and Technology*, *52*(18). https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00562

Tarragó Avella, E. (2014). *Assessment of the operational conditions for struvite recovery from synthetic swine wastewater*.

Tarragó, E., Puig, S., Ruscalleda, M., Balaguer, M. D., & Colprim, J. (2016). Controlling struvite particles' size using the up-flow velocity. *Chemical Engineering Journal*, *302*, 819–827. https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.036

Udert, K. M., Fux, C., Münster, M., Larsen, T. A., Siegrist, H., & Gujer, W. (2003). Nitrification and autotrophic denitrification of source-separated urine. *Water Science and Technology*, *48*(1). https://doi.org/10.2166/wst.2003.0031

Udert, K. M., Larsen, T. A., & Gujer, W. (2003). Biologically induced precipitation in urine-collecting systems. *Water Science and Technology: Water Supply*, *3*(3). https://doi.org/10.2166/ws.2003.0010

Udert, K. M., Larsen, T. A., & Gujer, W. (2006). Fate of major compounds in source-separated urine. *Water Science and Technology*, *54*(11–12). https://doi.org/10.2166/wst.2006.921

Verdaguer, M., Clara, N., Gutiérrez, O., & Poch, M. (2014). Application of Ant-Colony-Optimization algorithm for improved management of first flush effects in urban wastewater systems. *Science of The Total Environment*, *485–486*, 143–152. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.140

Vlaeminck, S. E., de Clippeleir, H., & Verstraete, W. (2012). Microbial resource management of one-stage partial nitritation/anammox. *Microbial Biotechnology*, *5*(3). https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2012.00341.x

Vlaeminck, S. E., Terada, A., Smets, B. F., van der Linden, D., Boon, N., Verstraete, W., & Carballa, M. (2009). Nitrogen removal from digested black water by one-stage partial nitritation and anammox. *Environmental Science and Technology*, *43*(13). https://doi.org/10.1021/es803284y

Weiland, P. (2010). Biogas production: Current state and perspectives. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 85, Issue 4). https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7

Wen, X. hua, Xing, C. hong, & Qian, Y. (1999). A kinetic model for the prediction of sludge formation in a membrane bioreactor. *Process Biochemistry*, *35*(3–4). https://doi.org/10.1016/S0032-9592(99)00058-8

Xing, C. H., Wen, X. H., Qian, Y., & Tardieu, E. (2001). Microfiltration-membrane-coupled bioreactor for urban wastewater reclamation. *Desalination*, *141*(1). https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00389-7