

Models de priorització d'inversions utilitzant criteris de Desenvolupament Sostenible

tesi doctoral realitzada per:
Núria Roigé Montornés

dirigida per:
Antonio Aguado de Cea
Pablo Pujadas Álvarez

Barcelona, febrer 2020

Departament d'Enginyeria de la Construcció



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

TESIS DOCTORAL

“En temps de canvi, els qui estiguin oberts a l’aprenentatge s’apoderaran del futur, mentre que aquells que creuen saber-ho tot estaran ben equipats per a un món que ja no existeix”

— Enric Hoffer —

*“Live as if you were to die tomorrow.
Learn as if you were to live forever”*

— Mahatma Gandhi —

AGRAÏMENTS

En primer lloc, vull agrair als meus directors a l'Antonio Aguado i al Pau Pujadas, per totes les oportunitats brindades, l'oportunitat d'elaborar aquesta tesi és un altre exemple, per estar sempre atents, disposats a ajudar i sobretot agrair-los la seva paciència.

També vull agrair especialment al tutor de l'empresa, el Jaume Cardús, per la seva dedicació, perseverança i il·lusió en tot el que fa i sobretot per la seva generositat.

A la gent d'Aigües de Barcelona, en especial a la Carme, la Carmen, l'Aleix i el Raul. Al BSC, en especial al Fernando i la Luz, amb el que he treballat intensament durant el període de desenvolupament del Visor. També vull agrair la col·laboració de la Mar Casanovas. Per altra banda, vull dedicar un espai d'aquests agraïments a tota la gent que he conegut a la universitat.

Voldria agrair a l'empresa Aigües de Barcelona per haver confiat en mi per formar part d'aquest Doctorat Industrial. També voldria agrair la participació dels ajuntaments de l'àmbit i l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) així com dels directors de zona que han facilitat aquesta participació.

Pel seu suport i interès però sobretot per haver-me acollit a casa seva com una més, voldria tenir unes paraules d'agraïment per ells, els Torreguitart.

Als meus pares perquè gràcies a ells sóc qui sóc i he arribat fins aquí. Per haver-me ensenyat el valor de l'esforç i la perseverança. Un agraïment especial pel Quim, per demostrar-me sempre que tot és possible, no es pot tenir més sort. Als meus avis, que a la seva manera també han ajudat.

Models de prioritizació d'inversions utilitzant criteris de desenvolupament sostenible

Núria Roigé Montornés

Departament d'Enginyeria de la Construcció – ETSECCPB

Universitat Politècnica de Catalunya – Barcelona Tech

RESUM

En aquesta Tesi Doctoral s'aborden aspectes d'interès per als gestors d'infraestructures hidràuliques com són les eines d'ajuda a la decisió en matèria d'inversions amb l'objectiu de proporcionar tant eines d'ajuda a la decisió com la justificació exigida per les entitats reguladores del servei de les inversions a realitzar.

L'objectiu és desenvolupar una nova metodologia per a la prioritizació de les inversions que permeti realitzar un repartiment objectiu, transparent i participatiu utilitzant criteris de Desenvolupament Sostenible. Per materialitzar la metodologia es desenvolupen dos models: el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució (un model d'ordenació) i el Model de Priorització d'Inversions per Partides (un model de repartiment del volum total de la inversió).

En primer lloc es desenvolupa una metodologia de prioritizació de les inversions de la xarxa de distribució, el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució utilitzant criteris de desenvolupament sostenible. El model d'ordenació té per objectiu materialitzar la metodologia de prioritizació de les actuacions d'un llistat d'actius inventariats.

En segon lloc es desenvolupa una metodologia de repartiment de la inversió, el Model de Priorització d'Inversions per Partides amb criteris de desenvolupament sostenible. El model de repartiment té per objectiu repartir el volum d'inversió entre les diferents partides i subpartides que conformen el pla d'inversions de l'empresa. En aquest cas, i degut a la naturalesa heterogènia del pla d'inversions, s'ha desenvolupat una metodologia que consta de tres fases. Una primera fase on es determina el volum d'inversió degut a condicionants legals, una segona on es reparteix la inversió restant a nivell de partides i una última fase on es distribueix aquesta inversió de cadascuna de les partides entre aquelles subpartides d'inversió que conformen cadascuna de les partides.

Finalment, en ambdós casos s'ha realitzat una anàlisi de sensibilitat per comprovar la robustesa dels models desenvolupats i la sensibilitat a les diferents aportacions dels grups de relació. Pel Model de Renovació de la Xarxa de Distribució s'ha pogut verificar a la xarxa d'Aigües de Barcelona després del primer any d'execució de les inversions de renovació de la xarxa de distribució utilitzant la prioritizació del Model.

Models de prioritació d'inversions utilitzant criteris de desenvolupament sostenible

Núria Roigé Montornés

Department of Construction Engineering – ETSECCPB

Universitat Politècnica de Catalunya – Barcelona Tech

ABSTRACT

This Doctoral Thesis addresses aspects of interest for hydraulic infrastructure managers, such as investment decision support tools, in order to provide both decision support and the justification tools which are required by the entities regulating the service of future investments.

The aim is to develop a new methodology for the prioritization of investments that allows an objective, transparent and participatory distribution using the Sustainable Development criteria. To implement the methodology, two models have been nurtured: the Distribution Network Renewal Model (an ordering model) and the Investment Prioritization by Entries Model (a distribution model for the total volume of investment).

First, a methodology for prioritizing distribution network investments using sustainable development criteria is developed: the Distribution Network Renewal Model, using sustainable development criteria. The management model aims to materialize the methodology of prioritizing the actions from a list of inventoried assets.

Second, a methodology for the distribution of investment with sustainable development criteria is developed: the Prioritization Model for Matching Investments. The distribution model aims to distribute the volume of investment between the different items and sub-headings that make up the investment plan of the company. In this case, due to the heterogeneous nature of the investment plan, a methodology has been developed consisting of three phases. A first phase where the investment volume is determined by legal factors, a second one where the remaining investment is distributed between entries, and a last phase where the outlay on each entry is distributed among those sub-items of investment that make up each of the entries.

Finally, a sensitivity analysis was performed on both methodologies to check the robustness of the developed models and its sensitivity to the diverse contributions of each group. The Distribution Network Renewal Model has been verified in Aigües de Barcelona network after a first year of execution of investments in the renewal of the distribution network by implementing the prioritization of the Model.

Models de prioritació d'inversions utilitzant criteris de desenvolupament sostenible

Núria Roigé Montornés

Departament d'Enginyeria de la Construcció – ETSECCPB

Universitat Politècnica de Catalunya – Barcelona Tech

RESUMEN

En esta Tesis Doctoral se abordan aspectos de interés para los gestores de infraestructuras hidráulicas como son las herramientas de ayuda a la decisión en materia de inversiones. Con el objetivo de proporcionar herramientas de ayuda a la decisión y la justificación exigida por las administraciones reguladoras del servicio de las inversiones a realizar.

El objetivo es desarrollar una nueva metodología para la priorización de las inversiones que sea capaz de realizar un reparto objetivo, transparente y participativo usando criterios de Desarrollo Sostenible. Para materializar la metodología se desarrollan dos modelos: el Modelo de Renovación de la Red de Distribución (modelo de ordenación) y el Modelo de Priorización de Inversiones por Partidas (modelo de reparto del volumen total de la inversión).

En primer lugar se desarrolla una metodología de priorización de las inversiones de la red de distribución, el Modelo de Renovación de la Red de Distribución usando criterios de desarrollo sostenible. El modelo de ordenación tiene por objetivo materializar la metodología de priorización de las actuaciones de una lista de activos actualmente inventariados.

En segundo lugar, se desarrolla una metodología de reparto de la inversión, el Modelo de Priorización de Inversiones por Partidas usando criterios de desarrollo sostenible. El modelo de reparto tiene por objetivo repartir el volumen de inversión entre las diferentes partida y subpartidas que conforman el plan de inversiones de la empresa. En este caso, y debido a la naturaleza heterogénea del plan de inversiones se ha desarrollado una metodología que consta de tres fases. Una primera fase donde se determina el volumen de inversión para dar respuesta a los condicionantes legales, una segunda donde se reparte la inversión restante a nivel de partidas y una última fase donde se distribuye la inversión de cada partida entre las subpartidas de inversión que conforman dicha partida.

Finalmente, en ambos casos se ha realizado un análisis de sensibilidad para comprobar la robustez de los modelos desarrollados y la sensibilidad a las diferentes aportaciones de los grupos de relación. Adicionalmente, para el Modelo de Renovación de la Red de Distribución se ha podido verificar la red de Aigües de Barcelona tras el primer año de ejecución de las inversiones de renovación de la red de distribución utilizando el modelo de priorización.

ÍNDEX

CAPÍTOL 1: Introducció

1.1. Introducció	1
1.2. Raó de ser	2
1.3. Objectius	4
1.3.1 Objectiu general.....	4
1.3.2 Objectius específics	5
1.4. Metodologia i Organització de la tesi.....	6
1.5. Natura de la contribució a la innovació	8

CAPÍTOL 2: Estat de l'art

2.1. Introducció	9
2.2. Infraestructures hidràuliques.....	10
2.2.1 Evolució econòmica, social i ambiental de les infraestructures hidràuliques	10
2.2.2 Situació de la xarxa d'abastament.....	17
2.2.3 Plans de renovació	18
2.3. La gestió de les infraestructures d'abastament.....	19
2.3.1 Gestió dels actius.....	19
2.3.2 Guies en matèria de gestió d'Actius	20
2.4. Models de suport a la decisió	21
2.4.1 La decisió.....	21
2.4.2 Mètodes de deteriorament.....	22

2.4.3	Model de referència	24
2.4.4	Eines informàtiques de suport a la decisió	24
2.4.5	Discussió.....	37
2.5.	Sostenibilitat.....	38
2.6.	Mètodes d'anàlisi multicriteri (MCDM)	42
2.6.1	MCDM per a la prioritització d'infraestructures.....	42
2.6.2	Mètode MIVES.....	43
2.7.	Conclusions.....	47

CAPÍTOL 3: Model de Renovació de la Xarxa de Distribució amb criteris DS

3.1.	Introducció	49
3.2.	Àmbit d'estudi: La Xarxa de Distribució	50
3.3.	Precedent del nou model de renovació.....	57
3.4.	El repte de renovar la xarxa de distribució	60
3.5.	El model de renovació amb criteris DS	61
3.5.1	Delimitar la decisió	62
3.5.2	Definir l'arbre de decisió	62
3.5.3	Calcular els indicadors.....	65
3.5.4	Definir les funcions de valor.....	68
3.5.5	Assignar els pesos.....	70
3.6.	Visor Geogràfic del nou model de renovació.....	77

CAPÍTOL 4: Indicadors del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució

4.1.	Introducció	83
4.2.	Requeriment Social	85
4.2.1	Introducció al Requeriment Social	85
4.2.2	Afectació a Persones (Clients)	86
4.2.3	Afectació a la Ciutat.....	103
4.3.	Requeriment Ambiental	115
4.3.1	Introducció al Requeriment Ambiental	115
4.3.2	Estalvi potencial d'aigua (EPA)	115
4.3.3	Estalvi potencial d'energia (EPE).....	124
4.4.	Requeriment econòmic.....	127

4.4.1	Introducció al Requeriment Econòmic	127
4.4.2	Indicador de Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM)	128

CAPÍTOL 5: Resultats del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució

5.1.	Introducció	133
5.2.	Pla d'inversions.....	134
5.3.	Característiques principals de la xarxa de distribució	136
5.4.	Escenaris Analitzats	139
5.5.	Anàlisi de sensibilitat de cada escenari	141
5.5.1	Resultat dels impactes globals	144
5.5.2	Resultats agrupats per DZ.....	151
5.5.3	Resultats agrupats per Materials i Diàmetres.....	155
5.5.4	Distribució del pressupost.....	157
5.6.	Verificació del model proposat a la xarxa d'aigües de barcelona	160
5.6.1	Verificació de les característiques de la xarxa	160
5.6.2	Verificació de l'eficiència del model en funció de l'ús.....	162
5.7.	Conclusions.....	165

CAPÍTOL 6: Model de Priorització d'Inversions per Partides amb criteris DS

6.1.	Introducció	167
6.2.	Àmbit d'estudi: Els Actius d'Abastament	169
6.3.	Precedent del model de priorització d'inversions per partides	172
6.4.	Reptes del model de priorització d'inversions per partides.....	173
6.5.	El Model de priorització d'inversions per partides amb criteris DS.....	176
6.5.1	Fase I – Condicionants legals	178
6.5.2	Fase II – Arbre de decisió	178
6.5.3	Fase III – Matrius de subpartides.....	193

CAPÍTOL 7: Indicadors del Model de Priorització d'Inversions per Partides

7.1.	Introducció	197
7.2.	Requeriment Social	198
7.2.1	Introducció al Requeriment Social	198
7.2.2	Afectació a les Persones (Clients)	199

7.2.3	Afectació a la Ciutat.....	218
7.2.4	Afectació a les Persones Treballadores	220
7.3.	Requeriment Ambiental	224
7.3.1	Introducció al Requeriment Ambiental	224
7.3.2	Consum eficient d'Aigua.....	225
7.3.3	Consum eficient d'Energia	235
7.3.4	Petjada de CO ₂	245
7.3.5	Biodiversitat.....	249
7.4.	Requeriment Econòmic	252
7.4.1	Introducció al Requeriment Econòmic	252
7.4.2	Índex Econòmic	253

CAPÍTOL 8: Resultat del Model de Priorització d'Inversions per Partides

8.1.	Introducció	265
8.2.	Pla d'inversions anual	266
8.3.	Escenaris analitzats.....	269
8.4.	Anàlisi de sensibilitat	270
8.5.	Resultat repartiment grans partides inversió.....	272
8.5.1	Grans partides.....	272
8.5.2	Detall partides Resta d'Àmbits.....	276
8.6.	Resultat repartiment subpartides inversió	281
8.6.1	Subpartides de Producció	281
8.6.2	Subpartides de Transport	283
8.6.3	Subpartides de Distribució	284
8.7.	Repartiment segons tipologia i finalitat	285
8.7.1	Volum inversió segons tipologia d'infraestructura	285
8.7.2	Volum inversió segons finalitat.....	287
8.7.3	Volum inversió per vectors de contribució al DS	290
8.8.	Conclusions.....	291

CAPÍTOL 9: Conclusions

9.1.	Introducció	293
9.2.	Conclusions generals.....	294

9.3. Conclusions específiques	294
9.3.1 Conclusions comunes dels dos Models desenvolupats	294
9.3.2 Conclusions del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució.....	295
9.3.3 Conclusions del Model de Priorització d'Inversions per Partides.....	297
9.4. Futures línies d'investigació.....	300
Bibliografia.....	301
 ANNEXOS	
ANNEX A.....	311
ANNEX B.....	319
ANNEX C.....	327
ANNEX D.....	357
 GLOSSARI.....	 363
 NOTACIÓ I SÍMBOLS.....	 367

ÍNDEX DE FIGURES

Capítol 1: Introducció

<i>Figura 1.1. Diagrama de repartiment de la inversió</i>	3
<i>Figura 1.2. Diagrama d'organització de la tesi doctoral</i>	6
<i>Figura 1.3. Agents participants al Pla de Doctorat Industrial</i>	8

Capítol 2: Estat de l'art

<i>Figura 2.1. Inversió pública en infraestructures (total i hidràuliques) [en milers de milions d'euros] i evolució del PIB (font: adaptada SEOPAN)</i>	11
<i>Figura 2.2. Taxa de renovació d'actius de les infraestructures d'abastament, dades del 2012 al 2015 segons el país (font: Europe's water in figures, 2017)</i>	11
<i>Figura 2.3. Bathtub curve de les fases de vida d'una canonada enterrada (Singh and Adachi 2013)</i> ...	12
<i>Figura 2.4. Pèrdues reals per kilòmetre de xarxa d'abastament [m³/habitant/any] d'Espanya i Catalunya. (font: INE)</i>	13
<i>Figura 2.5. Longitud de xarxa d'abastament per habitant [metres/habitant] d'Espanya i Catalunya. (font: INE)</i>	13
<i>Figura 2.6. Mapa estrès hídric (font: World Resources Institute)</i>	14
<i>Figura 2.7. Rànquing dels països Europeus del consum domèstic per càpita [l/hab/dia] (font: European Federation of National Associations of Water Services)</i>	15
<i>Figura 2.8. Consum domèstic per càpita [l/hab/dia] de les llars espanyoles, l'àmbit d'AB i l'àmbit de l'AMB (font: INE, AB i AMB)</i>	15
<i>Figura 2.9. Evolució dels nivells dels embassaments del sistema Ter-Llobregat [hm³] (font: AMB)</i>	16
<i>Figura 2.10. Distribució per materials de la xarxa de distribució d'Espanya (font: AEAS)</i>	17
<i>Figura 2.11. Distribució per antiguitat i volum de població de la xarxa de distribució d'Espanya (font: AEAS)</i>	17
<i>Figura 2.12. Etapes de la gestió d'actius d'infraestructures (Ana i Bauwens, 2007)</i>	20
<i>Figura 2.13. Diagrama de les etapes del procés de presa de decisions</i>	21
<i>Figura 2.14. Esquema del procés de càlcul del CASSES (CASSES, 2010)</i>	29
<i>Figura 2.15. Marc KANEW per explorar estratègies de rehabilitació de xarxa (Herz, 2002)</i>	32
<i>Figura 2.16. Sistema de decisió de renovació basat en els costos</i>	33
<i>Figura 2.17. Components del desenvolupament sostenible</i>	39
<i>Figura 2.18. Etapes per ajudar a les empreses a maximitzar la seva contribució als ODS</i>	40

<i>Figura 2.19. Diagrama de l'arbre de requeriments genèric del model MIVES (Pardo-Bosch i Aguado, 2015).....</i>	<i>44</i>
---	-----------

Capítol 3: Model de Renovació de la Xarxa de Distribució amb criteris DS

<i>Figura 3.1. Distribució dels municipis de l'àmbit en Direccions de Zona.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3.2. Esquema de funcionament de la xarxa d'abastament.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3.3. Longitud de la xarxa de distribució per: a) diàmetres i b) materials</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3.4. Longitud de la xarxa de distribució a gener 2019 segons l'any d'instal·lació.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3.5. Longitud de la xarxa de distribució instal·lada segons l'any d'instal·lació.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3.6. Distribució del N^o d'avaries naturals per any i l'evolució de l'edat mitjana</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3.7. Corbes de predicció de l'Índex d'avaries Z del 2006</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.8. Diagrama de les fases necessàries per la generació del model.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.9. Grups de relació cridats a decidir.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.10. Corbes de predicció de l'Índex d'avaries Z del 2017</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.11. Funció de valor Probabilitat d'avaría</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.12. Funció de valor: a) "S", b) lineal, c) còncaua, d) convexa</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3.13. Definició dels pesos per Direccions de Zona i Total</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3.14. Reunió de recollida de pesos a les oficines de l'AMB (5/6/2019).....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 3.15. Visor geogràfic</i>	<i>79</i>
<i>Figura 3.16. Figura de zooms: a) zoom més allunyat; b) zoom més proper.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 3.17. Informació dels editors amb la informació característiques del tram.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 3.18. Informació dels editors amb les dades dels indicadors</i>	<i>82</i>

Capítol 4: Indicador del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució

<i>Figura 4.1. Metodologia iterativa de disseny dels indicadors i les funcions de valor</i>	<i>84</i>
<i>Figura 4.2. Metodologia d'assignació a tram</i>	<i>84</i>
<i>Figura 4.3. Imatge d'afectacions per avaria a la mobilitat: a) esvoranc del carrer Ganduxer (font: beteve.cat); b) inundació Ronda de Dalt (font: Pere Guiu)</i>	<i>86</i>
<i>Figura 4.4. Representació gràfica de l'entitat fictícia tancament</i>	<i>88</i>
<i>Figura 4.5. Configuració de la xarxa: trams, vàlvules de seccionament, subtrams i tancaments.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 4.6. Població de trams en funció del dany potencial d'avaría (DPA).....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 4.7. Funció de valor Indicador Risc Potencial d'Afectació.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 4.8. Combinacions factors per la puntuació de dany històric (PDH)</i>	<i>97</i>
<i>Figura 4.9. Funció de valor Indicador Risc Històric d'avaría</i>	<i>98</i>
<i>Figura 4.10. Esquema de formació del fenomen "red water"</i>	<i>100</i>
<i>Figura 4.11. Funció de valor Indicador d'Afectació a la Percepció Organolèptica (APO)</i>	<i>102</i>
<i>Figura 4.12. Diagrama de càlcul de l'indicador de dany d'afectació a la mobilitat.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 4.13. Exemples de la informació relativa a la mobilitat de vianants.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 4.14. Exemples de la informació relativa a la mobilitat rodada</i>	<i>108</i>
<i>Figura 4.15. Exemple de la definició de Zones: a) Comercials; b) Serveis Concorreguts i c) Turístiques de la ciutat de Barcelona</i>	<i>110</i>
<i>Figura 4.16. Diagrama d'herència de mobilitat segons la seva situació</i>	<i>112</i>
<i>Figura 4.17. Funció de valor Indicador Afectació potencial per avaria a la mobilitat (AMA).....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 4.18. Tipus de fuites segons el seu origen i la seva detecció (Tardelli, 2006).....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 4.19. Fuites latents xarxa distribució (Molina, 2020).....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 4.20. Relació entre el Cabal de fuga i el temps de reacció per la reparació</i>	<i>121</i>
<i>Figura 4.21. a) Funció de valor Indicador Estalvi d'Aigua en m³; b) Funció de valor Indicador Estalvi d'Aigua en m³/ml.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 4.22. Diagrama de blocs simplificat utilitzat pel software OPTINET.....</i>	<i>125</i>

Figura 4.23. a) Funció de valor Indicador Estalvi d'Energia en kWh/any; b) Funció de valor Indicador Estalvi d'Energia en kWh/ml/any	127
Figura 4.24. Lògica de fluxos de caixa utilitzada tant al COM ₁ com al COM ₂	129
Figura 4.25. Funció de valor Indicador Econòmic de Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM)	132

Capítol 5: Resultats del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució

Figura 5.1. Volum d'inversió anual mitjà per partides d'inversió (mitjana dels últims tres plans d'inversions '17, '18, '19).....	134
Figura 5.2. Diagrama del procés de generació del Pla d'Inversions	135
Figura 5.3. % de kilòmetres de xarxa per Direcció de Zona i global de l'empresa (AB):.....	137
Figura 5.4. Distribució territorial per direcció de zona de: a) els clients sensibles, b) els grans consumidors i c) el nombre de persones.....	139
Figura 5.5. Nombre de trams i kilòmetres de xarxa a ser renovats	144
Figura 5.6. Distribució beneficis indicadors del requeriment social: a) N ^o de clients sensibles (CS), N ^o grans consumidors (GC) i N ^o de persones; b) km percepció organolèptica (PO), km IMP alta, km IMD (alta).....	146
Figura 5.7. Distribució beneficis indicadors del requeriment ambiental: a) estalvi potencial d'aigua (EPA); b) estalvi potencial d'energia (EPE)	149
Figura 5.8. Distribució de l'indicador econòmic de Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM)	150
Figura 5.9. Distribució per Direcció de Zona de: a) kilòmetres de xarxa a ser renovats i b) Nombre de trams.....	151
Figura 5.10. Distribució per Direcció de Zona del nombre de clients blindats: a) clients sensibles (CS), b) grans consumidors (GC) i c) nombre persones	152
Figura 5.11. Distribució per Direcció de Zona dels kilòmetres amb: a) afectació a la percepció organolèptica (PO) i b) alta mobilitat (IMP i IMD).....	153
Figura 5.12. Distribució per Direcció de Zona d'estalvis potencials d'aigua (EPA):	154
Figura 5.13. Distribució per Direcció de Zona d'estalvis potencials d'energia (EPE):.....	155
Figura 5.14. Distribució de kilòmetres a renovar per materials: a) materials majoritaris de la xarxa i b) materials minoritaris de la xarxa	156
Figura 5.15. Percentatge de xarxa per grups de diàmetres [mm]	157
Figura 5.16. Distribució per Direcció de Zona del pressupost fictici total (52,5M€)	158
Figura 5.17. Distribució per Direcció de Zona del bloc 1 del percentatge de pressupost consumit pel model (%P), el pressupost per kilòmetres de xarxa (%PX) i el pressupost final (%PF)	158
Figura 5.18. Distribució per Direcció de Zona del bloc 2 del percentatge de pressupost consumit pel model (%P), el pressupost per kilòmetres de xarxa (%PX) i el pressupost final (%PF)	159
Figura 5.19. Distribució per Direcció de Zona del bloc 3 del percentatge de pressupost consumit pel model (%P), el pressupost per kilòmetres de xarxa (%PX) i el pressupost final (%PF)	159
Figura 5.20. Criteris de renovació utilitzats per la Zona 1 i la Zona 2.....	163
Figura 5.21. Increment entre el PI 2018 respecte el PI 2017: a) nombre de persones i b) km renovats en carrers d'alta mobilitat.....	164
Figura 5.22. Increment de kilòmetres del PI 2018 respecte el PI 2017: a) km renovats en sectors de baix rendiment i b) km renovats en sectors d'alt consum energètic	165

Capítol 6: Model de Priorització d'Inversions per Partides amb criteris DS

Figura 6.1. Diagrama del cicle d'inversions dels Plans d'Inversions anuals.....	168
Figura 6.2. Esquema del cicle integral de l'aigua (font: Aigües de Barcelona)	170
Figura 6.3. Diagrama de fases de la metodologia del model de priorització d'inversions per partides	177
Figura 6.4. Relació de l'activitat amb l'entorn (Gómez, 1999; Encinas i Gómez de Balugera, 2011)....	180

Figura 6.5. Diagrama de càlcul risc indicadors percepció i eficiència.....	185
Figura 6.6. Funció d'oportunitat segons la capacitat del sistema.....	191
Figura 6.7. Grups de relació Aigües de Barcelona (font: Memòria de Sostenibilitat 2018, Aigües de Barcelona).....	193
Figura 6.8. Decisors del model de prioritització d'inversions per partides, els grups de relació	193

Capítol 7: Indicadors del Model de Priorització d'Inversions per Partides

Figura 7.1. Diagrama de càlcul del Risc Resiliència.....	200
Figura 7.2. Funció de valor Índex Resiliència (IRes).....	201
Figura 7.3. Distribució de les Àrees d'Abastament de l'àmbit.....	204
Figura 7.4. Puntuació Satisfacció Global (font: Enquesta Estudi de Satisfacció d'usuaris domèstics d'Aigües de Barcelona, Resultats 2011-2017).....	209
Figura 7.5. Mapa d'importàncies segons resultats clients (font: Enquesta Estudi de Satisfacció d'usuaris domèstics d'Aigües de Barcelona, Resultats Juliol 2017)	210
Figura 7.6. Diagrama de càlcul de l'indicador efectes sobre la mobilitat.....	218
Figura 7.7. Funció de valor Risc potencial per avaria a la mobilitat (RPAAM)	219
Figura 7.8. Funció de valor Indicador Seguretat i Salut laboral (ISiSL).....	224
Figura 7.9. Evolució històrica del rendiment [%] de Transport.....	229
Figura 7.10. Rendiment de les xarxes de distribució de les diferents companyies de l'AMB (font: AMB)	230
Figura 7.11. Evolució històrica del rendiment [%] de Distribució	231
Figura 7.12. Funció de valor Indicador Consum Eficient d'Aigua	235
Figura 7.13. Esquema de les etapes del tractament de l'ETAP Sant Joan Despí (font: AMB)	236
Figura 7.14. Coeficient tècnic dels bombaments seleccionats en relació a la seva potència nominal mitjana.....	239
Figura 7.15. Pous de captació d'aigua subterrània aquífer del riu Llobregat.....	241
Figura 7.16. Cargols Arquímedes i cambra d'aspiració del bombament intermedi a la ETAP de Sant Joan Despí.....	241
Figura 7.17. Estalvi anual respecte els anys anteriors, i predicció d'energia estalviable pel 2018.....	243
Figura 7.18. Registres històric de temperatures mitjanes anuals a Barcelona (1780 - 2017) (font: Servei Meteorològic de Catalunya).....	244
Figura 7.19. Funció de valor Indicador Consum Eficient d'Energia	244
Figura 7.20. Classificació de les emissions de GEH amb exemples.....	246
Figura 7.21. Funció de valor Indicador Petjada de CO ₂	248
Figura 7.22. Jardí de Papallones de la ETAP Sant Joan Despí.....	250
Figura 7.23. Dipòsit d'equilibri, jardí de papallones i pou del recinte de la Central Cornellà	250
Figura 7.24. Funció de valor Indicador Biodiversitat.....	252

Capítol 8: Resultats del Model de Priorització d'Inversions per Partides

Figura 8.1. Repartiment històric partides pla d'inversió: a) percentatge PI '17, PI '18 i PI '19; b) mitjana últims anys PI '17, '18 i '19 (font: Pla d'Inversions d'AB anys '17, '18, '19).....	267
Figura 8.2. Repartiment històric partides Resta d'Àmbits pla d'inversió (PI '17, '18, '19) (font: Pla d'Inversions d'AB anys '17, '18, '19).....	267
Figura 8.3. Repartiment històric subpartides Transport, segons: finalitat i tipus d'infraestructura.....	268
Figura 8.4. Repartiment històric subpartides Distribució, segons: finalitat i tipus d'infraestructura.....	268
Figura 8.5. Pressupost assignat a cada partida.....	273
Figura 8.6. Estudi sensibilitat partides Resta d'Àmbits	277
Figura 8.7. Estudi sensibilitat subpartides Producció.....	282
Figura 8.8. Estudi sensibilitat subpartides Transport.....	283

Figura 8.9. Estudi sensibilitat subpartides Distribució	284
Figura 8.10. Repartiment per tipologia d'infraestructura de la partida de Producció	286
Figura 8.11. Repartiment per tipologia d'infraestructura de la partida de Transport	286
Figura 8.12. Repartiment per tipologia d'infraestructura de la partida de Distribució	287
Figura 8.13. Repartiment segons finalitat inversió de la partida de Producció	288
Figura 8.14. Repartiment segons finalitat inversió de la partida de Transport	289
Figura 8.15. Repartiment segons finalitat inversió de la partida de Distribució	289
Figura 8.16. Volum d'inversió de cada vector (resultats obtinguts amb l'escenari 3)	290

Annexos

Figura A.1. Diagrama de passes per a l'execució del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució	311
Figura A.2. Comprovació i neteja de dades.....	313
Figura A.3. Estructura Model de Renovació de la Xarxa de Distribució a l'eina KNIME	314
Figura A.4. Diagrama d'interacció dels diversos models	315
Figura A.5. Part inicial d'un model: entrada dades i transformació a coneixement.....	316
Figura A.6. Part final d'un model: càlcul dels indicadors, aplicació de les funcions de valor i validació dels resultats.....	316
Figura A.7. Preparació d'entregables	317
Figura A.8. Capacitat de lectura i transformació de gran volums d'informació	318
Figura C.1. Metodologia per a l'estimació de l'estat dels actius (EA)	328
Figura C.2. Comportament en funció del temps per a a) $tVUE > tVUR$ i b) $tVUE$ sense reparació $< tVUR$ (adaptat GEHO, 1993)	338
Figura C.3. Vida útil de càlcul indicativa d'acord a les Bases de càlcul dels Eurocodis (AENOR, 2003)	339

ÍNDEX DE TAULES

Capítol 1: Introducció

Taula 1.1. Objectius específics.....	5
--------------------------------------	---

Capítol 2: Estat de l'art

Taula 2.1. Reptes de les infraestructures hidràuliques	16
Taula 2.2. Guies de gestió d'actius.....	21
Taula 2.3. Mètodes de deteriorament.....	23
Taula 2.4. Eines de suport a la decisió en gestió d'actius (font: elaboració pròpia)	24
Taula 2.5. Relació de models a utilitzar segons el paràmetre a estudiar	27
Taula 2.6. Classificació de les eines de suport a la decisió en gestió d'actius (Large et al. 2015).....	37
Taula 2.7. Síntesi dels models utilitzats pels softwares	38
Taula 2.8. Del Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni (ODM) a Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS).....	40
Taula 2.9. Estratègia sostenibilitat d'Aigües de Barcelona(font: Memòria Sostenibilitat 2017, Aigües de Barcelona)	41
Taula 2.10. Classificació dels mètodes (Penadés-Pla et al, 2016).....	42
Taula 2.11. Índex Aleatori (RI – Random Index)	46

Capítol 3: Model de Renovació de la Xarxa de Distribució amb criteris DS

Taula 3.1. Xarxa, població i superfície de cada Direcció de Zona	52
Taula 3.2. Arbre de decisió.....	63
Taula 3.3. Unitats de dany per cada indicador	68
Taula 3.4. Nombre d'habitants empadronats a cada municipi (Font: AMB)	73
Taula 3.5. Resum de la participació dels Ajuntaments en el procés col·laboratiu d'assignació de pesos	76
Taula 3.6. Resum del procés col·laboratiu d'assignació de pesos de tots els grups de relació	77

Capítol 4: Indicador del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució

Taula 4.1. Estructura arbre de decisió Requeriment Social.....	85
Taula 4.2. Nivells de criticitat del dany per avaria.....	89
Taula 4.3. Elements que aïllen cada tancament.....	91
Taula 4.4. Lògica d'assignació de dany	92

Taula 4.5. Paràmetres de càlcul de dany potencial d'afectació per avaria	92
Taula 4.6. Nivells de criticitat del dany potencial d'avaría (DPA) dels tancaments i els trams	93
Taula 4.7. Nivells de criticitat del risc potencial d'afectació (RPA')	94
Taula 4.8. Límits dels factors.....	96
Taula 4.9. Nivells de criticitat de la puntuació dany històric (RDH)	97
Taula 4.10. Informació disponible PMU i EMU dels Ajuntaments de l'àmbit (consultats l'any 2017) ..	105
Taula 4.11. Informació de mobilitat i tipologia disponible per cada municipi	108
Taula 4.12. Nivells de criticitat del dany associat a la mobilitat (DanyMOB)	113
Taula 4.13. Estructura arbre de decisió Requeriment Ambiental	115
Taula 4.14. Estructura del balanç hídric	116
Taula 4.15. Mòdul d'elasticitat pels diferents materials	120
Taula 4.16. Estructura arbre de decisió Requeriment Econòmic	127

Capítol 5: Resultats del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució

Taula 5.1. Característiques de la xarxa de distribució per Direcció de Zona	136
Taula 5.2. Pesos utilitzats en els diferents escenaris de participació	139
Taula 5.3. Pesos utilitzats en els diferents escenaris de participació	141
Taula 5.4. Importància de cada indicador pels diferents escenaris de participació	143
Taula 5.5. Cost mitjà d'instal·lació [€] per diàmetre, material a instal·lar i direcció de zona	143
Taula 5.6. Longitud mitjana [m] dels trams a renovar per direccions de zona (DZ) i escenaris	151
Taula 5.7. Característiques de la xarxa de distribució per Direcció de Zona (Inventari extret a gener 2020).....	160
Taula 5.8. Antiguitat mitjana xarxa, inventari gener 2019 vs gener 2020	161
Taula 5.9. Kilòmetres de xarxa per material, inventari gener 2019 vs gener 2020	161
Taula 5.10. Nombre d'avaries naturals i índex d'avaries Z per material	162
Taula 5.11. Comparativa ZONA 1 i ZONA 2	163
Taula 5.12. Beneficis del pla d'inversions 2018 de la Zona 1 i la Zona 2	164

Capítol 6: Model de Priorització d'Inversions per Partides amb criteris DS

Taula 6.1. Kilòmetres de xarxa de producció, transport i distribució	171
Taula 6.2. Relació partides i subpartides del Pla d'Inversions d'Abastament històric	173
Taula 6.3. Evolució històrica de les subpartides de Producció	175
Taula 6.4. Relació partides i subpartides del Pla d'Inversions d'Abastament.....	175
Taula 6.5. Arbre de decisió	179
Taula 6.6. Estructura requeriment ambiental inicial.....	181
Taula 6.7. Estructura requeriment ambiental final	182
Taula 6.8. Objectius dels indicadors comptables i de rendibilitat	183
Taula 6.9. Indicadors model de priorització d'inversions per partides i la seva tipologia	184
Taula 6.10. Processos i subprocessos implicats en cadascuns dels indicadors.....	186
Taula 6.11. Agrupadors d'actius identificats	187
Taula 6.12. Magnituds representatives utilitzades per ponderar l'estat global de l'agrupador d'actius	187
Taula 6.13. Severitat de l'impacte i abast de l'afecció	188
Taula 6.14. Grau de vinculació actiu-procés (GVAP)	188
Taula 6.15. Escala de nivells de contribució de les subpartides als indicadors.....	193
Taula 6.16. Matriu de contribució de les subpartides de Transport (versió PI2020)	194
Taula 6.17. Exemple repartiment del pressupost de la fase II entre subpartides.....	195

Capítol 7: Indicadors del Model de Priorització d'Inversions per Partides

Taula 7.1. Estructura Requeriment Social	198
Taula 7.2. Resultat paràmetres Indicador Risc Resiliència	202
Taula 7.3. Relació àrees i font d'abastament	204
Taula 7.4. N ^o persones, CS, GC amb dependència directa o indirecta dels actius de Producció, Transport i Distribució	205
Taula 7.5. N ^o d'habitants equivalents (Habitantseq) i Índex de cobertura (ICob)	206
Taula 7.6. Resultat paràmetres magnitud d'impacte (MImp)	207
Taula 7.7. N ^o d'avaries (n ^o avaries) i potencial de l'impacte (PImp)	207
Taula 7.8. Resultat paràmetres Risc de continuïtat del servei	208
Taula 7.9. Processos i subprocessos implicats en l'indicador de percepció	211
Taula 7.10. Agrupadors d'actius i magnituds representatives utilitzades per ponderar l'estat global	212
Taula 7.11. Resultat paràmetres Indicador Risc Percepció	214
Taula 7.12. Processos i subprocessos implicats en l'indicador d'eficiència	215
Taula 7.13. Resultat paràmetres Indicador Risc Eficiència	217
Taula 7.14. Resultat paràmetres Indicador Efectes sobre la Mobilitat	220
Taula 7.15. Puntuació Exposició (E), Probabilitat (P) i Conseqüències (C)	222
Taula 7.16. Nivells risc segons Metodologia W. Fine	223
Taula 7.17. Resultat paràmetres Indicador Seguretat i Salut laboral	224
Taula 7.18. Estructura Requeriment Ambiental	225
Taula 7.19. Capacitat actual i futura de la xarxa de transport en la recerca de fuites	228
Taula 7.20. Nivells d'eficàcia dels sistemes de control en recerca de fuites	228
Taula 7.21. Capacitat actual i futura de la xarxa de distribució en la recerca de fuites	231
Taula 7.22. Paràmetres càlcul Potencial global (PG) i Potencial intrínsec (PI)	234
Taula 7.23. Resultat potencial global (PG), potencial intrínsec (PI) i potencial final (PF)	234
Taula 7.24. Resultat paràmetres Indicador Consum Eficient d'Aigua	235
Taula 7.25. Resultat paràmetres Indicador Consum Eficient d'Energia [kWh]	245
Taula 7.26. Capacitat de reducció de les emissions de l'abastament mitjançant inversió	247
Taula 7.27. Resultat paràmetres de l'Indicador Petjada de CO2	249
Taula 7.28. Definició dels camps per estimar el grau d'oportunitat de l'indicador de biodiversitat	251
Taula 7.29. Resultat paràmetres Indicador Biodiversitat	252
Taula 7.30. Estructura Requeriment Econòmic	253
Taula 7.31. Estructura teòric dels comptes d'explotació per partides	254
Taula 7.32. Detall despeses d'explotació i generals i ingressos del cicle de l'aigua	255
Taula 7.33. Resum dels criteris per a la construcció del compte d'explotació simplificat per partides	256
Taula 7.34. Distribució del personal per partides d'inversió	257
Taula 7.35. Distribució d'energia elèctrica per partides d'inversió	257
Taula 7.36. Distribució compra d'aigua per partides d'inversió	258
Taula 7.37. Resultat paràmetres Indicador Econòmic	263

Capítol 8: Resultats del Model de Priorització d'Inversions per Partides

Taula 8.1. Pesos en % utilitzats en els diferents escenaris de participació	269
Taula 8.2. Pesos en % utilitzats en els diferents escenaris de participació	270
Taula 8.3. Pesos en % utilitzats en els diferents escenaris de participació	271
Taula 8.4. M€ del pressupost assignats a cada partida	272
Taula 8.5. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida de Producció	274
Taula 8.6. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida de Transport	275

Taula 8.7. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida de Distribució	275
Taula 8.8. k€ provinents de cadascun dels indicadors per les partides de Resta d'Àmbits	276
Taula 8.9. M€ del pressupost assignats a cadascuna de les partides de Resta d'Àmbits.....	277
Taula 8.10. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida Gestió Edificis	278
Taula 8.11. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida Control Operatiu	279
Taula 8.12. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida Laboratori.....	279
Taula 8.13. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida Sistemes d'Informació.....	280
Taula 8.14. k€ provinents de cadascun dels indicadors per les partides de Subministrament.....	280
Taula 8.15. k€ provinents de cadascun dels indicadors per les partides de Recursos Hídrics Alternatius	281
Taula 8.16. M€ del pressupost assignats a cada subpartida de Producció.....	282
Taula 8.17. M€ del pressupost assignats a cada subpartida de Transport	283
Taula 8.18. M€ del pressupost assignats a cada subpartida de Distribució.....	284
Taula 8.19. Relació tipologia d'infraestructures i subpartides.....	285
Taula 8.20. Relació finalitat inversió i subpartides.....	288

Annexos:

Taula A.1. Sistemes d'informació d'on provenen les dades base i format.....	312
Taula B.1. Kilòmetres de xarxa de distribució per material instal•lada a cada Direcció de Zona	320
Taula B.2. Nombre de clients sensibles (CS), grans consumidors (GC) i nombre de persones que hi ha a cada Direcció de Zona.....	320
Taula B.3. Nombre de trams, kilòmetres de xarxa i paràmetres de l'indicador econòmic de Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM).....	320
Taula B.4. Paràmetres dels indicadors socials	321
Taula B.5. Paràmetres dels indicadors ambientals.....	321
Taula B.6. Kilòmetres de xarxa i N° de trams per Direcció de Zona i escenari.....	322
Taula B.7. Nombre de clients sensibles (CS), grans consumidors (GS) i nombre de persones blindades per Direcció de Zona i escenari	322
Taula B.8. Kilòmetres de xarxa amb: afectació a la percepció organolèptica (PO), kilòmetres amb IMP alta i kilòmetres amb IMD alta per Direcció de Zona i escenari	323
Taula B.9. Estalvis del requeriment ambiental per Direccions de Zona i escenaris	323
Taula B.10. Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM) per Direcció de Zona i escenari.....	324
Taula B.11. Kilòmetres de xarxa de cada material pels 8 escenaris.....	324
Taula B.12. Percentatge de kilòmetres de xarxa seleccionada per grups de diàmetres de cada escenari.....	324
Taula B.13. Distribució del pressupost per Direcció de Zona i escenari.....	325
Taula C.1. Nivells de l'estat.....	328
Taula C.2. Magnitud ponderadora utilitzades per ponderar l'estat global del agrupadors d'actius....	329
Taula C.3. Detall elements del sistema i pesos assignats: Instal•lacions de captació.....	330
Taula C.4. Detall elements del sistema i pesos assignats: ETAP Sant Joan Despí	331
Taula C.5. Detall elements del sistema i pesos assignats: ETAP Besòs.....	331
Taula C.6. Detall elements del sistema i pesos assignats: ETAP la Llagosta	332
Taula C.7. Detall elements del sistema i pesos assignats: ETAP les Estrelles (les dues de Sant Feliu de Llobregat).....	332
Taula C.8. Detall elements del sistema i pesos assignats: Central Cornellà.....	332
Taula C.9. Detall elements del sistema i pesos assignats: Laboratori Producció.....	332
Taula C.10. Exemple avaluació Estat BT del subsistema Pretractament de l'ETAP Sant Joan Despí....	333
Taula C.11. Detall elements del sistema i pesos assignats: Instal•lacions de producció	334
Taula C.12. Detall elements del sistema i pesos assignats: Centrals.....	335

Taula C.13. Nivells d'estat dels elements de les centrals	336
Taula C.14. Taula Estat de les centrals (Ecentral) a Estat normalitzat de la central (ENor).....	337
Taula C.15. Detall elements del sistema i pesos assignats: Dipòsits	337
Taula C.16. Temps de vida útil de referència (tVUR) dels dipòsits.....	339
Taula C.17. Valor numèric dels factors d'acord a la categoria i nivell del factor.....	340
Taula C.18. Dipòsits amb edat per sobre de (tVUE)	341
Taula C.19. Taula Estat del dipòsit (Edipòsit) a Estat normalitzat del dipòsit (ENor).....	343
Taula C.20. Detall elements del sistema i pesos assignats: Xarxa.....	344
Taula C.21. Vida útil de referència (font: Aguado et al., 2017)	344
Taula C.22. Taula Estat del tram (ETram) a Estat normalitzat del tram (ENor).....	344
Taula C.23. Detall elements del sistema i pesos assignats: Edificis.....	345
Taula C.24. Nivells d'estat dels elements dels edificis.....	346
Taula C.25. Resposta pregunta 1 softwares	347
Taula C.26. Resposta pregunta 2 softwares	347
Taula C.27. Resposta pregunta 3 softwares	347
Taula C.28. Resposta pregunta 4 softwares	348
Taula C.29. Resposta pregunta 5 softwares	348
Taula C.30. Resposta pregunta 6 softwares	348
Taula C.31. Resposta pregunta 7 softwares	348
Taula C.32. Resposta pregunta 8 softwares	348
Taula C.33. Resposta pregunta 9 softwares	349
Taula C.34. Resposta pregunta 10 softwares.....	349
Taula C.35. Resposta pregunta 4 softwares	349
Taula C.36. Resposta pregunta 1 hardwares.....	349
Taula C.37. Resposta pregunta 2 hardwares.....	350
Taula C.38. Resposta pregunta 3 hardwares.....	350
Taula C.39. Resposta pregunta 4 hardwares.....	350
Taula C.40. Resposta pregunta 5 hardwares.....	350
Taula C.41. Resposta pregunta 6 hardwares.....	350
Taula C.42. Resposta pregunta 7 hardwares.....	351
Taula C.43. Resposta pregunta 8 hardwares.....	351
Taula C.44. Resposta pregunta 9 hardwares.....	351
Taula C.45. Resposta pregunta 10 hardwares	351
Taula C.46. Resposta pregunta 11 hardwares	351
Taula C.47. Resposta pregunta 12 hardwares	352
Taula C.48. Resposta pregunta 13 hardwares	352
Taula C.49. Resposta pregunta 1 comunicacions.....	352
Taula C.50. Resposta pregunta 2 comunicacions.....	352
Taula C.51. Resposta pregunta 3 comunicacions.....	353
Taula C.52. Resposta pregunta 4 comunicacions.....	353
Taula C.53. Resposta pregunta 5 comunicacions.....	353
Taula C.54. Resposta pregunta 6 comunicacions.....	353
Taula C.55. Nivells de criticitat (C)	354
Taula C.56. Taula Estat de les centrals (Ecentral) a Estat normalitzat de la central (ENor).....	354
Taula D.1. Matriu de contribució de les subpartides de Producció (versió PI2020)	358
Taula D.2. Matriu de contribució de les subpartides de Transport (versió PI2020).....	359
Taula D.3. Matriu de contribució de les subpartides de Distribució (versió PI2020)	360
Taula D.4. Proposta repartiment de la inversió (40M€) per partides i subpartides dels diferents escenaris.....	361

CAPÍTOL 1

INTRODUCCIÓ

1.1. INTRODUCCIÓ

La passada crisi econòmica, entre altres inconvenients, va consolidar un dèficit d'inversió que, en l'àmbit de l'abastament, altament depenent d'importantes infraestructures hidràuliques, ha estat especialment perjudicial. A aquesta situació, s'hi ha afegit la urgent necessitat de canvi del paradigma de desenvolupament humà. És necessari un model de creixement més sostenible, cal contribuir a un desenvolupament capaç d'adaptar-se als reptes de la societat actual sense comprometre els recursos naturals i les possibilitats de desenvolupament de les generacions futures. En aquest sentit i pel que fa a Aigües de Barcelona, a la tendència de concentració de la població a les ciutats i a l'evidenciada escassetat del recurs disponible, s'afegeix a un major nivell d'obsolescència d'alguns actius, atesa la limitació pressupostària, i una major pressió i exigència, tant de l'administració com de la ciutadania.

És en aquest context tan exigent que s'entén la importància estratègica del present estudi. La nova metodologia de prioritització d'inversions parteix del coneixement dels actuals gestors del servei i incorpora les diferents sensibilitats dels grups de relació d'Aigües de Barcelona en les dimensions social, mediambiental i econòmic del servei, per realitzar una distribució del volum d'inversió disponible, que no només és transparent i objectiva, sinó que, a més a més, maximitza la contribució al desenvolupament sostenible de cada euro invertit. Aquesta nova metodologia i les eines associades han estat especialment dissenyades per dur a terme la justificació de les inversions exigida per les entitats reguladores del servei.

El servei d'abastament i tractament d'aigua és un servei singular no només per la importància que té el recurs en si, sinó per les seves possibles formes de gestió. Segons la Constitució Espanyola, el règim d'explotació dels serveis d'aigua es poden configurar de les següents formes:

- La titularitat de l'activitat es pot reservar a l'Estat, Comunitats Autònomes o entitats locals.
- L'Estat pot limitar la seva intervenció a la regulació i control de l'activitat, en aquest cas l'explotació està a càrrec d'una entitat privada.
- Les Administracions Públiques poden dur a terme l'activitat però sense tenir l'exclusivitat de l'explotació.

Concretament, Aigües de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestió del Cicle Integral de l'Aigua, SA (en endavant, Aigües de Barcelona o AB) és una empresa públicoprivada que gestiona el cicle integral de l'aigua, participada en un 70% per la Societat General d'Aigües de Barcelona, en un 15% per l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) i en un 15% per CriteriaCaixa SAU.

1.2. RAÓ DE SER

La necessitat de l'estudi realitzat en aquesta Tesi Doctoral neix després d'una reflexió interna de l'empresa Aigües de Barcelona on es defineix el Desenvolupament Sostenible com la base de l'estratègia. Una prova és la incorporació dels Objectius de Desenvolupament Sostenible a la seva missió així com els diversos compromisos adquirits.

Dos dels compromisos per al Desenvolupament Sostenible del servei a l'horitzó 2020 són: *Avaluar l'impacte social, econòmic i ambiental en totes les decisions rellevants i Incorporar plans i objectius per satisfer les expectatives dels grups de relació.*

Per donar resposta a l'exigent context descrit a l'apartat 1.1 i alhora contribuir a assolir els dos compromisos esmentats anteriorment, es va definir el projecte estratègic Aigües 2020 (A2020) "*Model de prioritització de les inversions amb criteris de Desenvolupament Sostenible*", un projecte que a la pràctica comportava la implantació d'una nova metodologia de prioritització de les inversions en la que fos clarament identificable la sensibilitat d'Aigües de Barcelona pel Desenvolupament Sostenible del servei.

La confecció d'un Pla d'inversions consta de dues fases, la primera és el dimensionament de les partides d'inversió partint d'un volum anual d'inversió donat i la segona fase passa per decidir les actuacions que cal escometre amb els diners que s'han destinat a cada partida. Ambdues fases, presentades a la Figura 1.1, s'haurien de fer tenint present un mateix objectiu, garantir el màxim retorn del Pla d'Inversions resultant.

Abans d'aquest estudi es buscava que el retorn del Pla d'Inversions anual fos palpable tant econòmicament com en l'assoliment dels acords de qualitat de servei, majoritàriament socials i mediambiental, que estaven establerts en l'Acord Marc vigent entre Aigües de Barcelona i l'Àrea Metropolitana.

La naturalesa tan heterogènia del Pla d'Inversions, pel que fa a tipologia de partides d'inversió, tipologies d'actius i tipologia de línies d'actuació, feia molt difícil optimitzar tant el repartiment del pressupost entre partides, com la selecció d'actuacions planificades i finalment també l'estimació del grau de contribució del Pla a l'assoliment de l'objectiu estratègic del servei. De fet, la metodologia anterior superava algunes d'aquestes dificultats per mitjà de decisions de consens entre experts i gestors que es basaven en algunes dades objectives, però no pretenia ser ni totalment transparent ni completament objectiva.

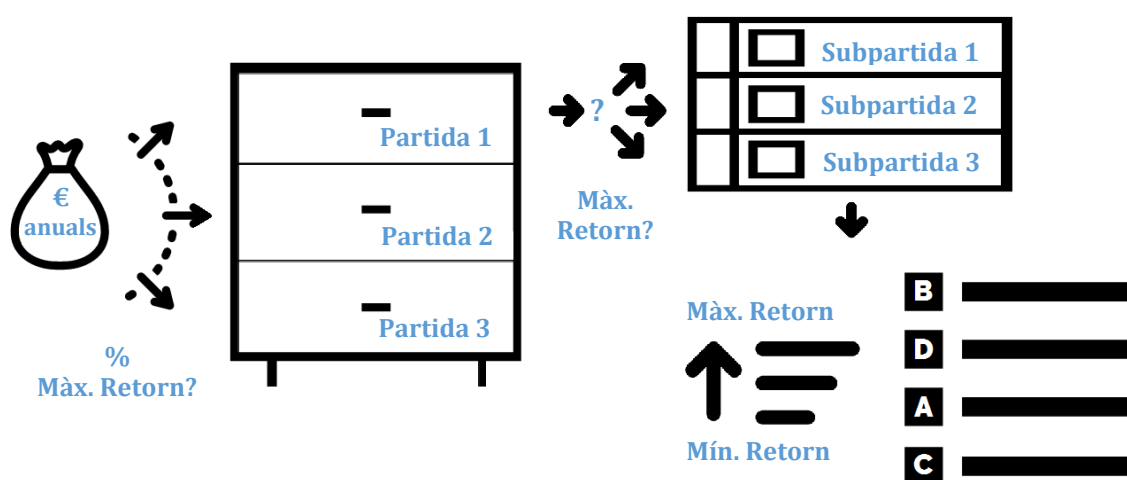


Figura 1.1. Diagrama de repartiment de la inversió

Per tant, el nou “*Model de priorització de les inversions amb criteris de Desenvolupament Sostenible*”, no només havia de maximitzar la contribució al Desenvolupament Sostenible del servei, sinó que havia de superar les dificultats històriques associades tant a la manca de transparència i objectivitat del repartiment i priorització com a l'estimació del grau de contribució del Pla a aquest nou objectiu estratègic.

Més concretament, el Pla d'Inversions està compartimentat en partides d'inversió i aquestes estan dividides en subpartides. Justament el que ha de garantir el nou mètode és que les subpartides estiguin correctament dimensionades i que el pressupost que tenen assignat es destini a realitzar les actuacions de major contribució al Desenvolupament Sostenible.

Malgrat el que tenia sentit dissenyar en primer lloc era el nou model de repartiment de la inversió per partides i subpartides, la Direcció d'Aigües de Barcelona, una vegada conegudes les línies mestres del plantejament general per ambdues fases de la nova metodologia de priorització, demana iniciar el desenvolupament de l'estudi per la segona

fase de la metodologia de prioritització: l'ordenació de les actuacions potencials de major a menor contribució prevista al Desenvolupament Sostenible.

Aquesta segona fase, a instàncies de la Direcció d'Aigües de Barcelona, s'hauria de dissenyar per la subpartida de "Renovació de la Xarxa de Distribució". Per posar en context aquesta elecció cal dir primer que els trams de xarxa en servei, en alguns abastaments, poden representar el 80% del valor dels actius dels sistemes d'abastament (Renaud *et al.*, 2012) i que en el cas Aigües de Barcelona superen el 65% del valor total dels seus actius. A més a més, el fet de tractar-se d'un actiu tan disseminat geogràficament i en definitiva tan integrat al territori, amb una evident afectació potencial al dia a dia de les ciutats, fa que la tasca de prioritització de la seva renovació constitueixi un exercici de decisió en el que tant administracions com ciutadans volen participar, quelcom imprescindible per l'èxit de l'estudi. Així doncs aquest model de prioritització constitueix el primer dels objectius principals de la Tesi que es va desenvolupar i integrar completament al funcionament d'Aigües de Barcelona.

Una vegada els grups de relació i l'empresa van comprovar la viabilitat, traçabilitat i robustesa de la metodologia desenvolupada, es va seguir amb el desenvolupament del model de repartiment. El desenvolupament d'aquest model tenia com a principal dificultat la restricció d'accés al detall de la informació econòmic-financera que necessàriament havia de formar part de la base de càlcul de l'indicador econòmic.

En l'àmbit d'aquesta Tesi s'han desenvolupat els dos models de prioritització necessaris per consolidar la nova estratègia de prioritització de les inversions: Un Model per al repartiment de les inversions entre partides i subpartides amb criteris de desenvolupament sostenible i un altre Model per garantir que el pressupost d'una d'aquestes subpartides es destina a les propostes d'actuacions de més contribució al desenvolupament sostenible. Amb aquests dos referents Aigües de Barcelona ha de continuar utilitzant el mateix esquema metodològic utilitzat en el desenvolupament d'un Model de prioritització de les diferents possibles propostes per cada subpartida del Pla d'Inversions.

1.3. OBJECTIUS

1.3.1 Objectiu general

L'objectiu general de la tesi és desenvolupar una metodologia per a la prioritització de les inversions que permeti realitzar un repartiment objectiu, transparent i participatiu utilitzant criteris de Desenvolupament Sostenible.

Per materialitzar la metodologia a desenvolupar aquesta Tesi Doctoral té com a objectius principals:

- Desenvolupar el Model de Priorització d'Inversió per Partides d'inversió utilitzant criteris de Desenvolupament Sostenible, el *model de repartiment* del volum total d'inversió.
- Desenvolupar el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució utilitzant criteris de Desenvolupament Sostenible, un dels *models d'ordenació* que porta per objectiu la prioritització d'inversions per tipologies d'inversió

1.3.2 Objectius específics

Els **objectius específics** definits per tal de donar resposta a aquests objectius generals es presenten a la Taula 1.1.

Taula 1.1. Objectius específics

Models	Objectius específic
Metodologia per a la prioritització de les inversions	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar que implica el desenvolupament sostenible del servei des d'una òptica que incorpori la sensibilitat dels grups de relació d'Aigües de Barcelona. • Dissenyar i implementar una metodologia per capturar i objectivar el coneixement dels experts d'Aigües de Barcelona. • Estudiar i implementar una metodologia per condensar en un sol indicador de contribució al desenvolupament sostenible els beneficis Socials, Ambientals i Econòmics estimats. • Dissenyar eines que permetin comprovar fàcilment els resultats del nou Model.
Desenvolupar el model de repartiment: Model de Priorització d'Inversions per Partides amb criteris DS	<ul style="list-style-type: none"> • Dissenyar i implementar una metodologia que faci comparables en termes de contribució al desenvolupament sostenible partides i subpartides d'inversió que són molt heterogènies. • Dissenyar i implementar una metodologia per quantificar totes les tipologies de beneficis Socials, Ambientals i Econòmics de cada partida d'inversió. • Desenvolupar una eina que permeti executar el Model de quantificació de la contribució al desenvolupament sostenible de cada partida i subpartida del Pla d'Inversions. • Fer una anàlisi de sensibilitat per comprovar la robustesa del Model.
Desenvolupar el model d'ordenació: Model de Renovació de la Xarxa de Distribució amb criteris DS	<ul style="list-style-type: none"> • Dissenyar una metodologia per quantificar totes les tipologies de beneficis Socials, Ambientals i Econòmics de cadascun dels trams de distribució en cas de renovació. • Desenvolupar una eina que permeti executar el Model de quantificació de la contribució al desenvolupament sostenible de cadascun dels trams de distribució en cas de renovació fàcilment actualitzable. • Fer una anàlisi de sensibilitat per comprovar la robustesa del Model. • Utilitzar el nou Model de renovació per dissenyar i implementar una eina que contribueix a tangibilitzar el canvi de forma de gestió en matèria d'inversions davant dels principals grups de relació d'Aigües de Barcelona.

1.4. METODOLOGIA I ORGANITZACIÓ DE LA TESI

A fi de donar una resposta adequada als objectius plantejats a l'anterior apartat, la tesi es divideix en nou capítols i quatre annexos. Aquests al seu torn s'agrupen en quatre blocs tal com es presenta a la Figura 1.2. Val a dir però que, contràriament a la seqüència de fases del Pla d'inversions descrita a l'apartat 1.2, aquesta Tesi s'ha organitzat fidel a la cronologia de desenvolupament dels Models. En el moment de la redacció, malgrat tota la metodologia està dissenyada i a disposició de l'empresa, aquesta encara no ha fet participar els seus grups de relació en el Model de Priorització d'Inversions per Partides amb criteris DS. El Model de Renovació de la Xarxa de Distribució amb criteris de Desenvolupament Sostenible, en canvi des de 2018 està completament integrat en el funcionament de l'empresa i per això permet aprofundir millor en les qüestions relatives a la sistemàtica de participació dels grups de relació d'Aigües de Barcelona.

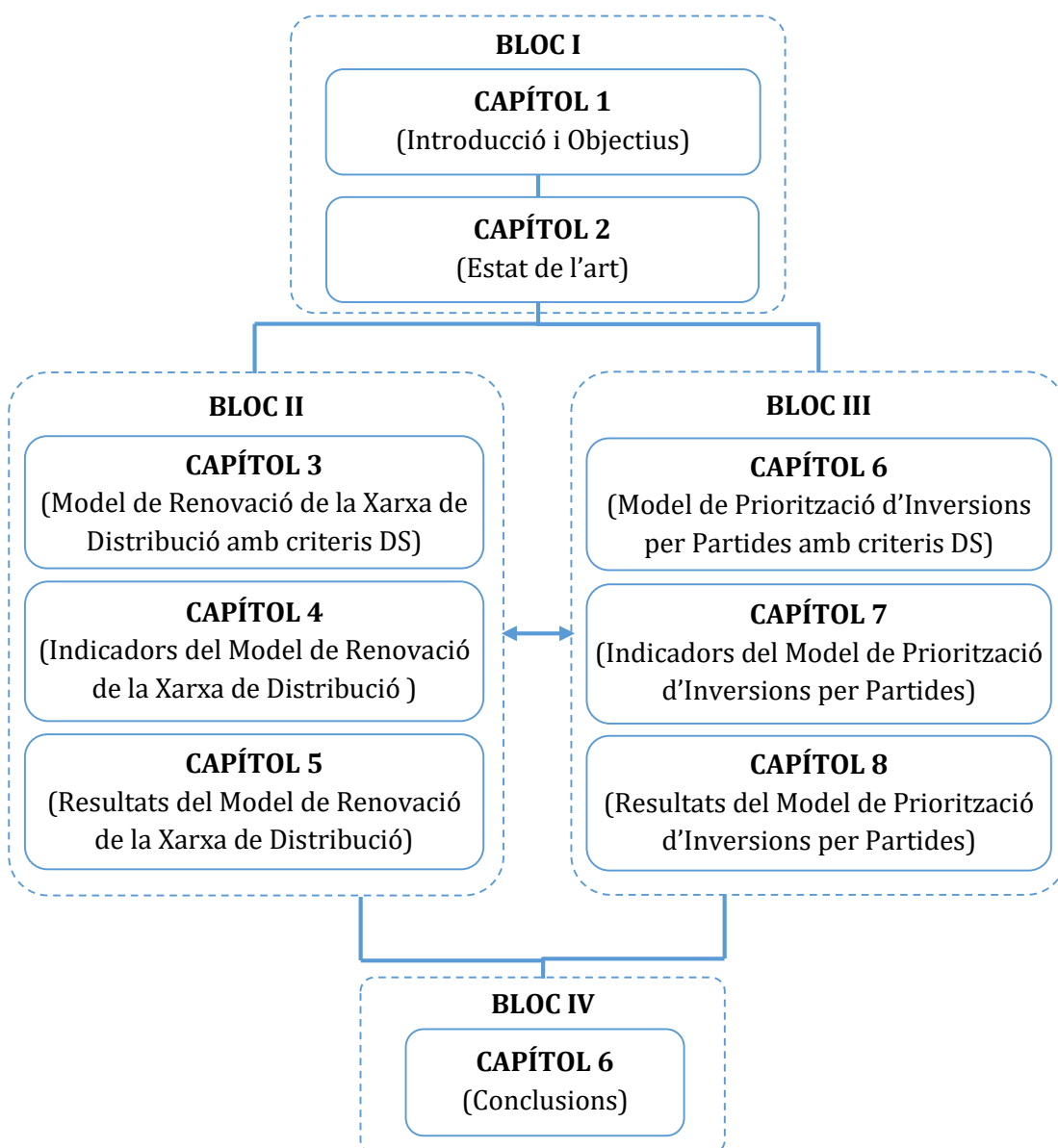


Figura 1.2. Diagrama d'organització de la tesi doctoral

El **BLOC I** d'aquesta tesi correspon al capítol 1 i 2, on es pretén presentar i contextualitzar la tesi doctoral. Amb aquest objectiu, al **capítol 1** es presenta la raó de ser d'aquesta investigació. Al **capítol 2** es presenta l'estat de l'art, on es detalla la situació actual relativa als reptes econòmics, socials i ambientals als quals s'enfronten les infraestructures hidràuliques, així com les eines d'ajuda a la decisió existents en temes de gestió d'actius, i més concretament en la renovació de la xarxa de distribució.

El **BLOC II** compren els capítols 3, 4 i 5 on es presenta el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució amb criteris de Desenvolupament Sostenible corresponent a un *model d'ordenació*. Concretament, el **capítol 3** recull la introducció al model, l'àmbit on es centra l'estudi, el precedent del model així com els reptes a superar. Seguidament, s'introdueix la metodologia utilitzada per al desenvolupament del nou model de prioritització que permet realitzar una ordenació de tots els trams d'inventari de la xarxa de distribució segons la seva contribució al desenvolupament sostenible. Es presenta la metodologia participativa desenvolupada per copsar les sensibilitats dels grups de relació i les eines dissenyades a fi de mostrar els resultats obtinguts.

El **capítol 4** recull tot el detall dels indicadors que componen l'arbre de decisió, ordenant els diferents indicadors sota els tres vectors de desenvolupament sostenible (social, ambiental i econòmic). Finalment, dins d'aquest bloc al **capítol 5**, es presenta una anàlisi de sensibilitat utilitzant diversos escenaris ficticis de participació i els resultats obtinguts amb aquests escenaris. Per altra banda, també es presenta la verificació dels resultats a la xarxa de distribució d'Aigües de Barcelona després de l'aplicació d'aquest model.

El **BLOC III** correspon al *model de repartiment* (composat pels capítols 6, 7 i 8), on es presenta el Model de Priorització d'Inversions per Partides amb criteris de Desenvolupament Sostenible. Seguint la mateixa estructura que el bloc II, el **capítol 7** introdueix la metodologia desenvolupada per al model de repartiment. Dins d'aquest capítol s'exposen les principals característiques de l'àmbit d'estudi, els precedents del model així com els reptes del Model de Priorització d'Inversions per Partides. Seguidament, es detallen les fases de la metodologia desenvolupada i les principals característiques d'aquesta.

El repartiment per partides d'inversió es realitza a partir del resultat dels indicadors de l'arbre de decisió desenvolupat per aquest model. El detall d'aquests indicadors es presenta al **capítol 7**, on addicionalment al detall de la metodologia de càlcul es presenta el resultat d'aquests indicadors. El darrer capítol d'aquest bloc, el **capítol 8**, presenta novament uns escenaris de participació ficticis a fi d'obtenir diversos repartiments i poder realitzar una anàlisi de sensibilitat dels resultats obtinguts amb el model, comparant aquests resultats amb valors històrics del repartiment realitzat per Aigües de Barcelona.

Composat pel **capítol 9** el darrer bloc de la tesi, el **BLOC IV**, exposa les conclusions més rellevants de la feina realitzada als dos blocs centrals (BLOC II i BLOC III) així com les futures línies d'investigació identificades a fi de completar la prioritització de totes les tipologies d'inversions.

Per finalitzar, cal remarcar que la present Tesi Doctoral s'emmarca dins d'un programa de Doctorat Industrial promogut per la Generalitat de Catalunya a través de l'AGAUR, entre l'empresa Aigües de Barcelona i la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). La temàtica de la qual té una aplicació directa en una de les línies estratègiques de l'empresa.



Figura 1.3. Agents participants al Pla de Doctorat Industrial

1.5. NATURA DE LA CONTRIBUCIÓ A LA INNOVACIÓ

Aquest estudi és un exemple d'innovació aplicada a la gestió d'una empresa en un dels àmbits de gestió més estratègic, la prioritització de les inversions.

La gestió d'una empresa que presta un servei públic ha de tenir en compte molta informació que no només canvia amb el temps, sinó que també és diferent en funció de l'àmbit geogràfic de la prestació. Alguns exemples són les normatives, els reglaments i la legislació que siguin d'aplicació en cada moment, tant a la pròpia empresa com als seus proveïdors, però no es pot obviar la iniciativa, la capacitat i la voluntat de participació i incidència dels clients del servei.

Factors tan subjectius com la percepció dels clients, per exemple són claus per poder fer una gestió òptima del servei i, malgrat és estratègica, aquesta interpretació no és "saber" o "ciència". Existeixen d'altres criteris també que es basen en les millors estimacions d'Aigües de Barcelona sobre magnituds que són completament impossibles de determinar, com són les pèrdues físiques d'aigua. Així, els criteris de gestió són un coneixement pràctic comprovable i adaptable a la pràctica i la millora continuada del servei que presten empreses com Aigües de Barcelona, n'és el millor exemple.

Per dur a terme aquesta Tesi cal afrontar el repte de cristal·litzar dins la metodologia de prioritització els criteris de gestió vigents, que al seu torn es basen en una informació objectiva igualment disponible. A més a més, cal fer-ho consultant justament el departament on es genera aquest coneixement i utilitzant metodologies i eines que permetin reflectir fàcilment els canvis que amb el temps es puguin produir.

En definitiva, tot i que l'estudi ha produït aportacions específiques, l'objectiu de l'estudi en termes d'innovació no ha estat generar un nou coneixement però si desenvolupar mètodes òptims de captura i objectivació del coneixement dels experts d'Aigües de Barcelona i de la sensibilitat dels grups de Relació d'Aigües de Barcelona, per finalment desenvolupar Models de mesura les contribucions al desenvolupament sostenible en matèria d'inversions, fàcilment actualitzables.

CAPÍTOL 2

ESTAT DE L'ART

2.1. INTRODUCCIÓ

El desenvolupament d'una metodologia per a la prioritització de les inversions que permeti realitzar un repartiment objectiu, transparent i participatiu és una tasca complexa. Per poder desenvolupar la metodologia cal adquirir coneixements tant de les infraestructures hidràuliques, com de les eines d'ajuda a la decisió disponibles.

És per aquest motiu que aquest capítol centra l'atenció en la revisió de l'estat de l'art pel que fa a les infraestructures hidràuliques del país així com dels diferents mètodes disponibles per a la prioritització d'inversions. Posant especial èmfasi en aquelles metodologies utilitzades per a la renovació i rehabilitació de canonades d'aigua potable.

Per altra banda, també es realitza una visió general de com està condicionant el moment d'emergència climàtica en el que es troba la societat aquests aspectes més tècnics com pot ser la prioritització d'inversions d'una empresa d'aigua i com totes aquestes decisions donen resposta a aquestes condicions de contorn.

Per poder identificar la metodologia més idònia per al desenvolupament dels objectius presentats a l'apartat (1.2), aquest capítol s'organitza amb els següents cinc apartats:

- Infraestructures hidràuliques (apartat 2.2), on es presenta l'evolució econòmica, social i ambiental de les infraestructures relacionades amb l'aigua els últims anys.

- La gestió de les infraestructures d'abastament, l'apartat 2.3 recull la normativa existent en aquesta matèria així com les guies de les que disposen alguns països per a la seva implementació.
- Models de suport a la decisió, aquest apartat recull la revisió de la literatura existent dels diferents models de suport a la decisió organitzats des dels models més simples fins a les eines informàtiques existents en aquest sentit (apartats 2.4).
- Sostenibilitat, en aquest apartat es realitza una visió global de l'evolució dels diferents objectius definits per l'ONU així com el paper de les empreses en la consecució dels ODS (apartat 2.5).
- Mètodes d'anàlisi multicriteri (apartat 2.6), aquest apartat es presenta diferents mètodes i les característiques principals de la metodologia utilitzada així com la seva idoneïtat.
- Finalment, es presenten les conclusions del capítol (apartat 2.7).

2.2. INFRAESTRUCTURES HIDRÀULIQUES

2.2.1 Evolució econòmica, social i ambiental de les infraestructures hidràuliques

Pel que fa a la inversió en infraestructures d'aigua, Espanya ha invertit un 56% menys que països de referència com Alemanya, Itàlia, el Regne Unit o França segons l'estudi realitzat per A.T. Kearney (2015) i encarregat per SEOPAN, associació d'empreses constructores de l'Àmbit Nacional d'Espanya. Aquest mateix informe apunta que Espanya té un dèficit en dotació d'infraestructures especialment en el sector de l'aigua juntament amb altres sectors com el medi ambient, la sanitat o l'educació.

La inversió pública en infraestructures s'ha vist molt condicionada per la crisi econòmica del 2008 i l'evolució d'aquesta. La Figura 2.1 mostra la inversió pública en infraestructures totals i infraestructures hidràuliques així com l'evolució del PIB des del 2005 al 2016.

Tal com es pot observar a la Figura 2.1 durant els anys d'expansió el volum d'inversió en infraestructures rondava els 30.000 milions d'€, amb una inversió en infraestructures hidràuliques de l'ordre de 5.000 milions d'€. Degut a la primera recessió (2009 - 2010) el volum d'inversió queda reduït, i és a la segona recessió (2011 - 2013) quan aquest disminueix més significativament, quedant un volum d'inversió en infraestructures hidràuliques de 1.000 milions d'€ anuals. La Figura 2.1 també mostra la correlació entre les recessions i l'evolució del PIB.

La reducció de la inversió en infraestructures hidràuliques no només té un efecte sobre la construcció de noves infraestructures, sinó que també impacta sobre el nivell de renovació de les infraestructures existents.

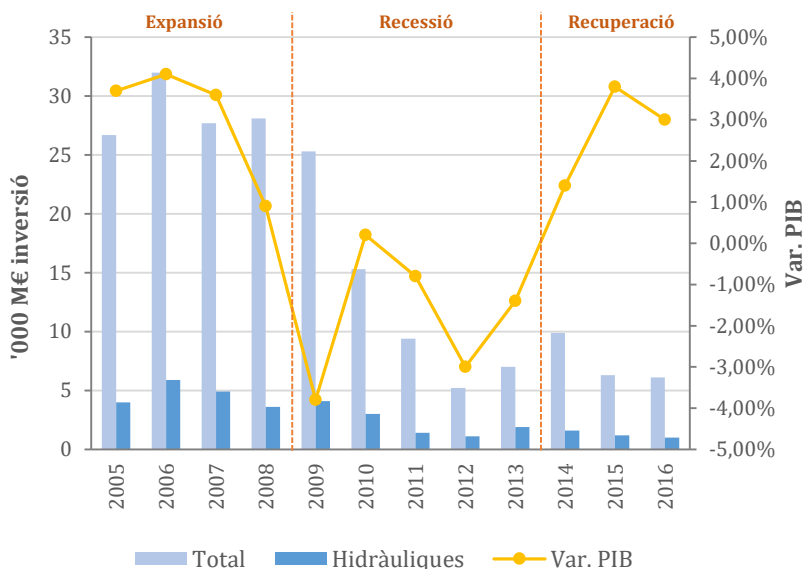


Figura 2.1. Inversió pública en infraestructures (total i hidràuliques) [en milers de milions d'euros] i evolució del PIB (font: adaptada SEOPAN)

La Figura 2.2 mostra la taxa de renovació dels actius corresponents a les infraestructures d'abastament. Tot i que les dades obtingudes per països no corresponen al mateix any (dades entre 2012 i 2015) i tampoc es disposa de la informació per tots els països, s'observa una taxa de renovació inferior al 2% a l'any a tots els països dels que es disposa d'informació a excepció d'Eslovàquia (SK) que presenta una taxa de renovació del 10% a l'any.

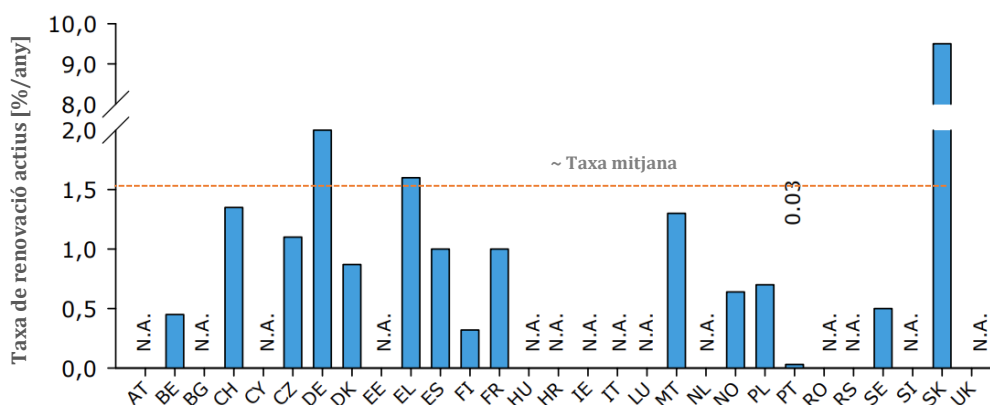


Figura 2.2. Taxa de renovació d'actius de les infraestructures d'abastament, dades del 2012 al 2015 segons el país (font: Europe's water in figures, 2017)

Si es compara la taxa de renovació d'actius amb la mitjana dels 15 països que tenen dades, només Eslovàquia (SK), Alemanya (DE) i Grècia (EL) superen aquesta taxa mitjana.

Tot i que no és una mitjana molt representativa ja que Eslovàquia presenta una taxa de renovació molt més elevada que la resta i 14 països, gairebé la meitat, no disposen de dades. En el cas concret d'Espanya (ES), la taxa de renovació és aproximadament de 1% a l'any, aquest fet constata novament que la inversió en actius de les infraestructures d'abastament és molt limitat.

Així doncs, la reduïda taxa de renovació dels actius fa que l'edat de les infraestructures vagi augmentat any rere any, conseqüentment les infraestructures cada vegada es troben en un estat més obsolet. Aquest fet produeix un increment de la probabilitat de tenir un mal funcionament i per tant, de que el nivell de servei no sigui l'òptim (veure Figura 2.3).

A la Figura 2.3 s'observa les fases de vida d'una infraestructura, que es pot definir mitjançant la "corba de banyera" també anomenada "bathtub curve". L'evolució presentada a la Figura 2.1 i utilitzada en aquest cas per explicar la funció de probabilitat d'avaría d'una canonada, pot ser utilitzada per il·lustrar diversos problemes al llarg del temps inclús els que es troben els éssers humans. Tal com s'observa, la funció de probabilitat d'avaría consta de tres fases:

- Una primera fase anomenada early life, és on la taxa d'avaries és decreixen. Trobant en aquesta fase aquelles avaries que corresponen a algun error de muntatge, del material, entre d'altres. En el cas dels éssers humans la infància.
- Una segona fase anomenada useful life, on la taxa d'avaries és constant, en aquesta fase les avaries són aleatòries. En el cas dels éssers humans l'edat adulta.
- Finalment, una tercera fase anomenada wear out life, on la taxa d'avaries és creixent i aquestes avaries són degudes al deteriorament. En el cas dels éssers humans la tercera edat.

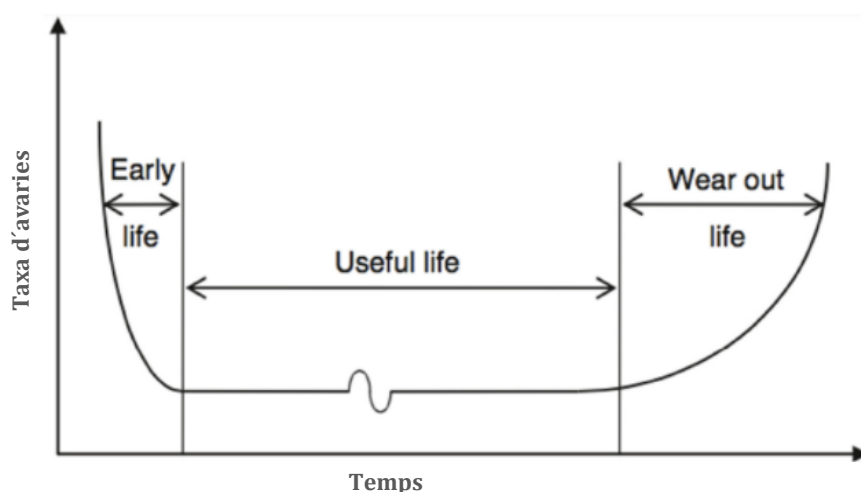


Figura 2.3. Bathtub curve de les fases de vida d'una canonada enterrada (Singh and Adachi 2013)

El dèficit d'inversió en noves infraestructures d'abastament d'aigua potable i en el manteniment de les existents provoca un deteriorament d'aquestes, fent que siguin menys fiables, menys eficients i provocant pèrdues d'aigua majors. La Figura 2.4 presenta les pèrdues reals per kilòmetre de xarxa d'abastament a Espanya i a Catalunya, tal com s'observa aquestes presenten un increment.

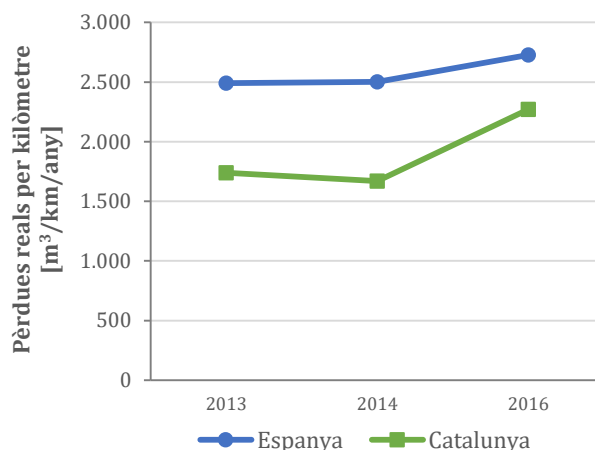


Figura 2.4. Pèrdues reals per kilòmetre de xarxa d'abastament [m³/habitant/any] d'Espanya i Catalunya. (font: INE)

Es pot dir que el dèficit en inversió (CAPEX) genera un augment dels costos d'operació (OPEX) que molts cops són inassolibles i afecten directament a l'estat d'aquestes infraestructures i al servei.

Aquest fet lligat als canvis demogràfics, on la tendència actual és el moviment de la població cap a les grans ciutats, fa que unes infraestructures obsoletes puguin produir problemes sobre la capacitat d'abastament. Aquest fet s'observa a la Figura 2.5, on es mostra que la longitud de xarxa per habitant cada vegada és més reduïda.

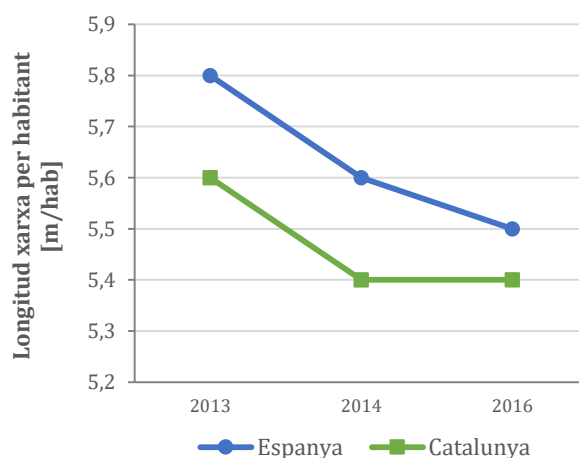


Figura 2.5. Longitud de xarxa d'abastament per habitant [metres/habitant] d'Espanya i Catalunya. (font: INE)

Per altra banda, el dèficit en noves infraestructures pot tenir conseqüències a l'hora de combatre els nous reptes als que s'afronta la societat com és el canvi climàtic, i concretament l'escassetat hídrica. La Figura 2.6 il·lustra el mapa d'estrès hídric dels països europeus. Segon World Resources Institute, Espanya és un dels països més estrès hídric d'europa essent els països amb clima mediterrani els més vulnerables.

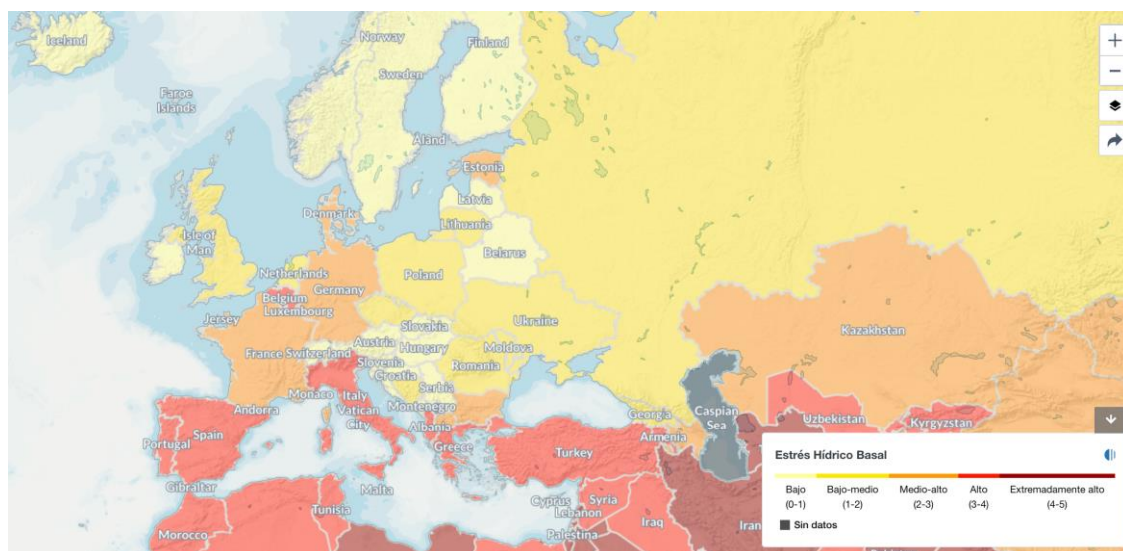


Figura 2.6. Mapa estrès hídric (font: World Resources Institute)

L'escassetat d'aigua fa referència a la falta de recursos hídrics per satisfer les demandes de consum d'aigua en una regió. L'escassetat d'aigua implica estrès hídric, dèficit hídric i crisi hídrica.

L'**estrès hídric**, segons el Programa de Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA), es produeix quan la demanda d'aigua és més gran que la quantitat d'aigua disponible durant un període determinat de temps o quan l'ús és restringit degut a la baixa qualitat d'aquesta.

El **dèficit hídric** és la manca de recurs per satisfer les necessitats existents d'una regió, aquesta situació perllongada en el temps provoca estrès hídric sobretot afectant la flora i la fauna del territori. El dèficit hídric pot ser causat per canvis climàtics així com patrons climàtics alterats, sequeres o inundacions, l'augment de contaminació i l'augment de la demanda humana d'aigua o l'ús excessiu d'aquesta.

La **crisi hídrica** és una situació que es produeix quan la disponibilitat d'aigua no contaminada dins d'una regió és inferior a la demanda d'aigua en aquesta regió.

Es poden definir com zones amb estrès hídric aquelles on la disponibilitat d'aigua no és suficient per satisfer l'exigència dels usuaris a nivell industrial, agrícola i domèstic. La Figura 2.6 mostra l'estrès hídric dels països europeus, així com els països de l'oest d'Àsia i

nord d'Àfrica. Espanya presenta un estrès hídric extremadament elevat (Figura 2.6) a causa de l'elevada demanda del país versus els seus recursos disponibles.

Comparant el consum per càpita i dia dels països europeus (Figura 2.7), Espanya ocupa la 11a posició, amb una mitjana de 135 litres habitant i dia.



Figura 2.7. Rànquing dels països Europeus del consum domèstic per càpita [l/hab/dia] (font: European Federation of National Associations of Water Services)

Si es compara la mitjana per càpita del consum domèstic d'Espanya amb el detall de l'àmbit que ens ocupa (AMB i concretament els municipis de l'àmbit d'Aigües de Barcelona) presentada a la Figura 2.8, tot i no tenir la mateixa sèrie històrica per tots els àmbits mostrats, s'observa que la tendència de consum domèstic per càpita es manté força controlada a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), i més concretament als municipis de l'àmbit d'Aigües de Barcelona (AB), essent aquest valor inferior a la mitjana de la resta de l'estat Espanyol.

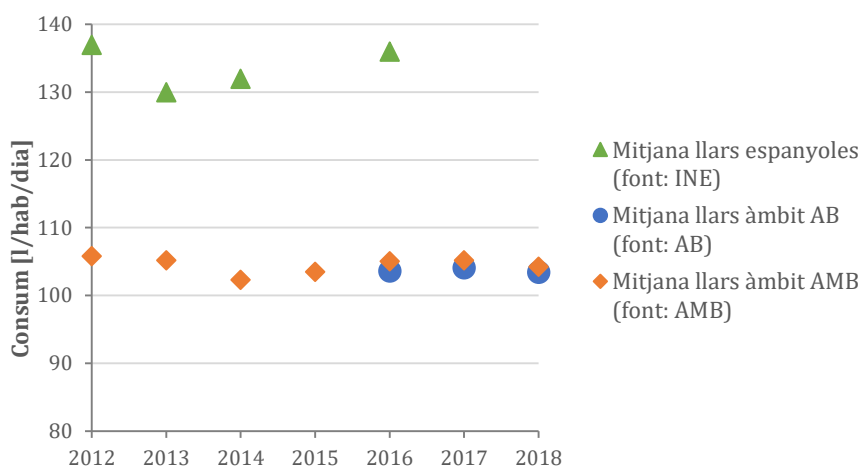


Figura 2.8. Consum domèstic per càpita [l/hab/dia] de les llars espanyoles, l'àmbit d'AB i l'àmbit de l'AMB (font: INE, AB i AMB)

Per altra banda, la disponibilitat de recurs també és variant al llarg del temps. El canvi climàtic podria estar potenciant l'aparició de llargs períodes sense pluja que provoquen episodis de sequera cíclics. A la Figura 2.9 es mostra l'evolució dels nivells dels embassaments del sistema Ter-Llobregat, sistema que abasteix l'àmbit d'estudi.

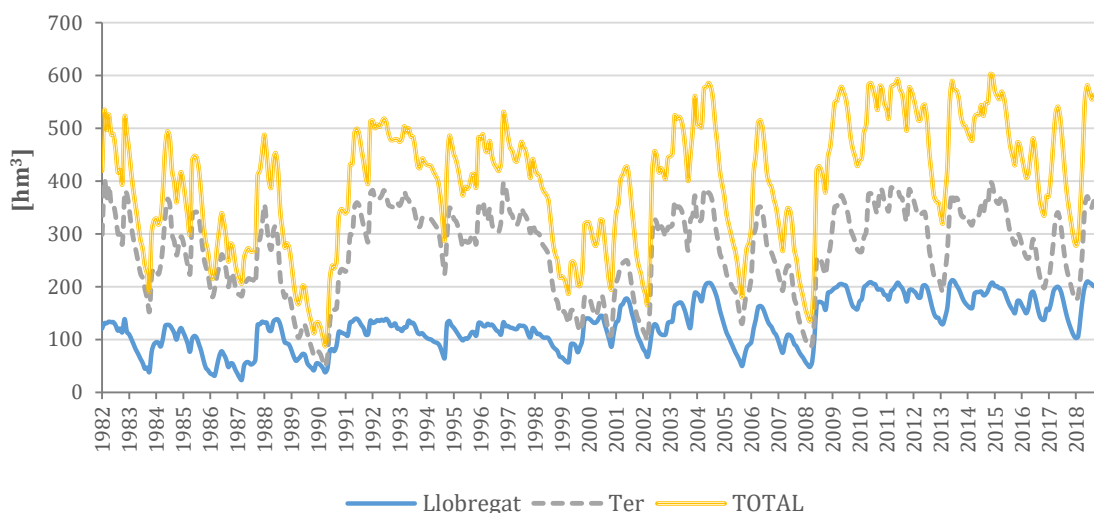


Figura 2.9. Evolució dels nivells dels embassaments del sistema Ter-Llobregat [hm³] (font: AMB)

El darrer semestre de l'any 2008 va estar marcat per la pitjor sequera ocorreguda a Catalunya en els darrers setanta anys. Les escasses precipitacions a les capçaleres dels rius van fer que els nivells dels embassaments es trobessin a mínims, tal com s'observa a la Figura 2.9. Els episodis de sequera són cíclics i es produeixen aproximadament cada 4 anys, la Figura 2.9 mostra aquests cicles, si s'analitza des del 2000, el 2002, el 2005, el 2008, el 2013 i el 2018 presenten una davallada del nivell dels embassaments.

Tots els reptes econòmics, socials i ambientals enunciats en aquest apartat, fan que la gestió de les infraestructures hidràuliques cada cop sigui més complexa i per tant, tenir eines que ajudin a utilitzar els recursos limitats de la forma més òptima és una de les principals preocupacions de les gestores del servei. La Taula 2.1 presenta un resum dels reptes descrit anteriorment a l'apartat.

Taula 2.1. Reptes de les infraestructures hidràuliques

Vectors	Reptes
Econòmic	<ul style="list-style-type: none"> - Dèficit d'inversió sostingut - Edat creixent de les canonades - Increment del OPEX per dèficit del CAPEX
Social	<ul style="list-style-type: none"> - Concentració de la població en àrees urbanes - Falta de confiança - Model complex de gestió (complexitat administrativa)
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Estrès hídric - Augment de les fuites (xarxa en mal estat)

2.2.2 Situació de la xarxa d'abastament

La xarxa d'abastament d'aigua potable d'Espanya està formada per 224.000 kilòmetres de xarxa. La Figura 2.10 mostra la distribució per materials d'aquesta xarxa de distribució i la Figura 2.11 presenta la distribució d'antiguitat de la xarxa i volum de població.

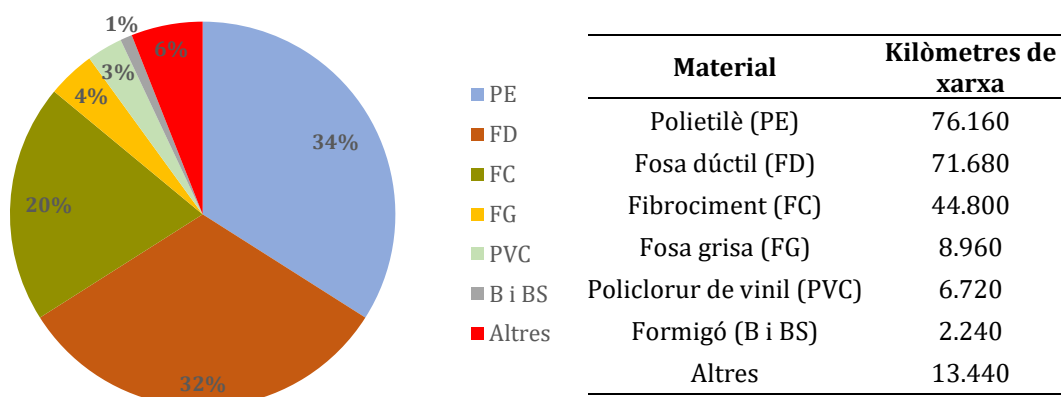


Figura 2.10. Distribució per materials de la xarxa de distribució d'Espanya (font: AEAS)

Els materials instal·lats a la xarxa de distribució (Figura 2.10) són: en primer lloc, amb més d'un 30%, canonades de polietilè (PE) i la fosa dúctil (FD); seguidament, amb un 20% hi ha les canonades de fibrociment (FC) i amb una proporció menor al 10% hi ha canonades de fosa grisa (FG), policlorur de vinil (PVC) i formigó (B i BS). També hi ha un 6% de canonades de materials diversos (Altres).

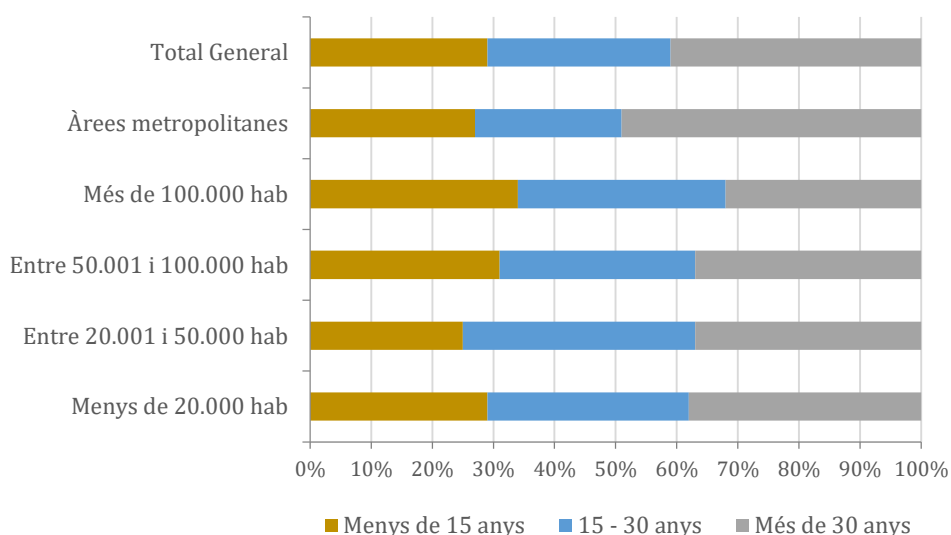


Figura 2.11. Distribució per antiguitat i volum de població de la xarxa de distribució d'Espanya (font: AEAS)

Pel que fa a l'antiguitat de la xarxa de distribució (Figura 2.11) s'observa un clar envelliment de la xarxa. Més d'un 40% del total de la xarxa té més de 30 anys, i només un 29% té una antiguitat inferior als 15 anys. Aquest fet s'accentua en el cas de les àrees metropolitanes on gairebé el 50% de la xarxa té més de 30 anys.

2.2.3 Plans de renovació

A l'apartat 2.2.1 s'apunta la reduïda taxa de renovació en actius d'abastament a Espanya, on s'apuntava que aquest valor és aproximadament 1%. Més concretament, si només s'estudia la renovació d'actius de la xarxa de distribució a Espanya, aquest valor és del 0,9%, segons l'*Informe del sector del cicle de l'aigua* (AICCP-IC, 2019).

Cal doncs, establir plans de manteniment, rehabilitació i renovació per tal de mantenir l'estat de les infraestructures dins d'uns límits acceptables amb l'objectiu d'evitar un deteriorament del sistema que comprometi el nivell de servei a l'hora d'afrontar tots els reptes esmentats a la Taula 2.1. És necessari diferenciar entre els conceptes de rehabilitació i de renovació. En el cas de la rehabilitació el que es pretén és tornar l'element al seu estat original, permeten així realitzar la mateixa funció sense substituir aquest element per un de nou. Mentre que, en el cas de la renovació, l'element és substituït per un de nou.

En el cas de la xarxa, és pràcticament impossible realitzar plans de manteniment, al ser un actiu que habitualment transcorre enterrat sota terra, només en alguns casos quan les canonades es troben dins de galeries es pot observar en quin estat es troba la xarxa. En la resta de casos, només es pot reparar aquelles canonades que han tingut un mal funcionament o mitjançant els plans de renovació escollir aquelles canonades amb més probabilitat de mal funcionament a fi d'evitar les conseqüències que aquest tindria i planificadament renovar-les.

Degut als volums d'inversió reduïts i a l'envelliment de les infraestructures, una de les necessitats que tenen els gestors de serveis públics és donat un pressupost limitat prioritzar aquelles infraestructures més crítiques pel servei. Per altra banda, aquests també tenen la necessitat de justificar i argumentar la decisió de totes aquelles inversions que han prioritzat davant els diferents agents reguladors. Aquest fet obliga a les empreses gestores de serveis públics a buscar dades que permetin justificar i argumentar les seves decisions. La solució a aquests requeriments és disposar d'eines que ajudin a realitzar aquests plans tant de renovació com de manteniment, proporcionant aquella justificació necessària per poder defensar la decisió.

Per poder desenvolupar aquestes eines de priorització es necessita, en primer lloc identificar aquells aspectes a tenir en compte en aquesta decisió i en segon lloc, disposar d'un gran volum de dades de gestió.

2.3. LA GESTIÓ DE LES INFRASTRUCTURES D'ABASTAMENT

2.3.1 Gestió dels actius

La gestió d'actius, *Asset Management* en anglès, consisteix a obtenir el màxim rendiment dels béns o recursos, és a dir, de tot allò que té un valor per una organització, els seus actius. Aquesta gestió d'actius pot ser integrada als sistemes de gestió de les organitzacions i ser certificada sota la norma ISO 55001, igual que existeixen altres normatives dins l'àmbit de l'eficiència energètica (ISO 50001), a l'àmbit de la Qualitat (ISO 9001), entre d'altres.

A diferència de l'assessorament financer, la gestió d'actius no només és una forma de tenir assessorament en matèria d'inversions, sinó que també és una activitat pertinent per part de les institucions administradores dels actius, que ha de prendre decisions sobre la gestió de les inversions.

La gestió d'actius en infraestructures ha experimentat un avenç significatiu des dels anys 1990, amb llibres de referència com és el *International Infrastructure Management Manual, 2015* i amb la norma *ISO 55000*. Pel que fa a la gestió d'actius d'aigua (Water Asset Management – WAM) ha experimentat aquest avenç més tard, no ha estat fins a principis dels anys 2000.

La gestió d'actius en infraestructures segons Hoskins *et al.*, (1998) pretén assegurar el bon funcionament d'aquestes i planificar les diverses accions necessàries sobre elles com són el manteniment, la reparació, la rehabilitació o la renovació. L'EPA (2003), defineix la gestió de les infraestructures com un procés de planificació que permet mantenir el valor d'una infraestructura al seu nivell més alt i la posta a disposició dels recursos financers necessaris per a la rehabilitació o la renovació d'aquestes infraestructures quan sigui necessari. Aquesta gestió també implementa accions que permetin reduir els costos i augmentar la fiabilitat de les infraestructures.

La Figura 2.12 presenta les etapes de gestió d'actius d'infraestructures, es tracta d'un procés iteratiu que consta de les següents fases:

- Recollida i anàlisi de dades
- Modelatge del rendiment
- Alternatives de gestió i generació d'escenaris
- Anàlisi de decisions
- Informes i informació de gestió

Aquestes etapes permeten prendre decisions i accions de gestió, que es tradueixen en prioritats, polítiques de manteniment, renovació o gestió i finalment, es tornen a recollir dades del comportament de les infraestructures.

2.3.2 Guies en matèria de gestió d'Actius

Alguns països disposen de normativa o guies per a la implementació de la gestió dels actius. A la Taula 2.2 es presenta un resum de les guies de gestió d'actius per diferents països així com l'organisme editor.

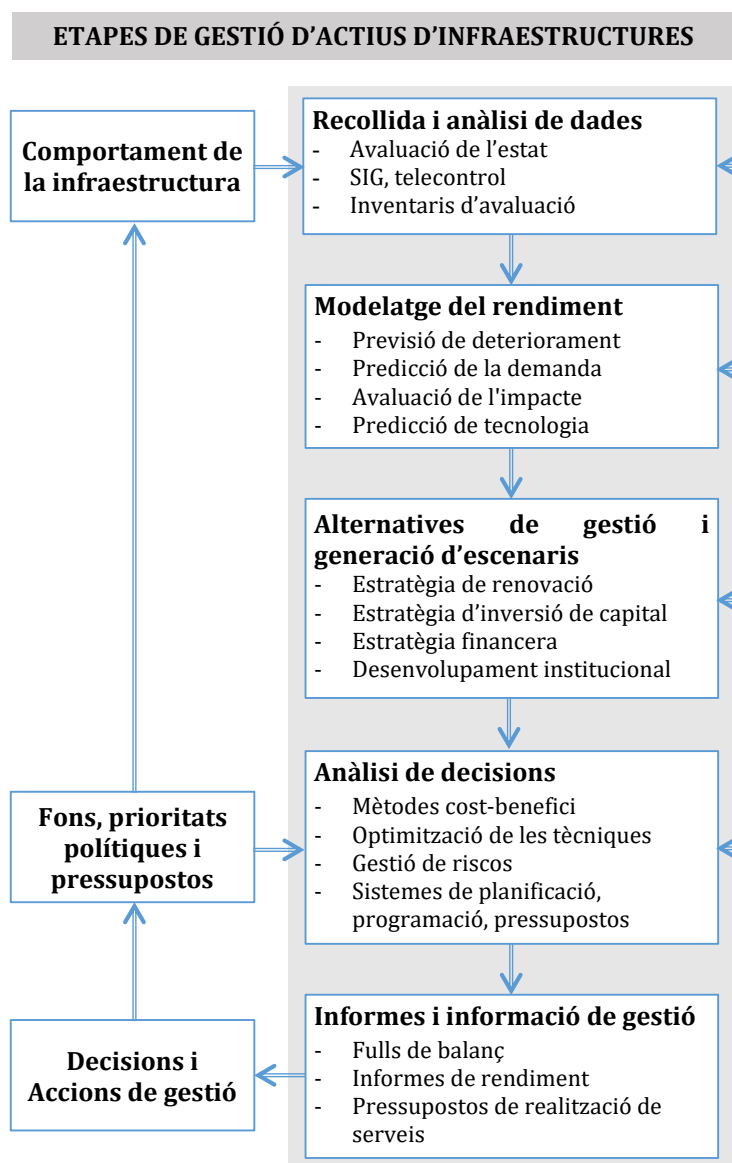


Figura 2.12. Etapes de la gestió d'actius d'infraestructures (Ana i Bauwens, 2007)

A Espanya encara no hi ha normativa específica que recolzi als gestors del servei durant el procés de presa de decisions en matèria de renovació o rehabilitació de les infraestructures existents.

Degut a la necessitat de gestió de grans volums de dades per poder realitzar una correcta gestió dels actius, a banda de les guies de les quals disposen els diferents països, també hi ha disponibles diversos models de suport a la decisió que faciliten la gestió de les

infraestructures hidràuliques. A continuació a l'apartat 2.4 es presenten alguns d'aquests models de suport a la decisió.

Taula 2.2. Guies de gestió d'actius

País	Guia utilitzada	Organisme
Alemanya i Àustria	Guia "Wasserverteilungen - Betrieb und Instandhaltung"	DVGW i ÖVGW
França	Guia "Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable"	Office national de l'eau et des milieux aquatiques, ONEMA
Anglaterra	Guia "Asset Management Planning"	United Kingdom Water Industry Research, UKWIR.
Portugal	Guia "Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água - Uma abordagem centrada na reabilitação"	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, ERSAR i el Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC
Estat Units	Guia "Asset Management - An Anatomy"	Institute of Asset Management, IAM
	guia "Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems"	Environmental Protection Agency, EPA
Austràlia	Guia "NSW Guidelines for Drinking Water Management Systems"	Estado de Nueva Gales del Sur
Espanya	No hi ha normativa específica que reguli aquest tema	

2.4. MODELS DE SUPORT A LA DECISIÓ

2.4.1 La decisió

A l'hora de prioritzar cal decidir entre un nombre finit d'alternatives. Existeixen decisions que tenen poca importància i es poden realitzar de forma quasi automàtica, en canvi, hi ha altres decisions amb gran transcendència per una persona o empresa. La majoria d'aquestes decisions poden valorar-se en termes monetaris, i per tant la decisió dependrà d'aquests criteris econòmics seguits.

La presa de decisions és un procés complex, i no un simple acte de triar entre diverses alternatives. La Figura 2.13 mostra les diverses etapes del procés de presa de decisions.

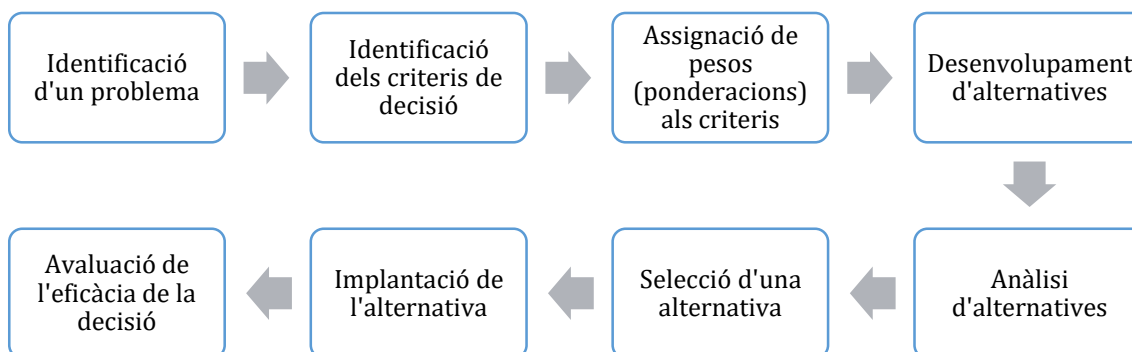


Figura 2.13. Diagrama de les etapes del procés de presa de decisions

El principal objectiu dels models és permetre una millor comprensió i descripció de la part de la realitat que representen, i és aquesta millor comprensió de la realitat, la que permet una millor presa de decisions. Els models es poden classificar segons diversos criteris, segons si són models: objectius i subjectius; físics i abstractes; analítics i de simulació; estàtics i dinàmics; directes i iteratius; deterministes i probabilístics.

Per altra banda, no totes les decisions són iguals ni produeixen les mateixes conseqüències, tampoc l'impacte que generen és el mateix, per aquest motiu hi ha diversos tipus de decisions. Segons el nivell d'impacte, podem tenir: decisions estratègiques (o de planificació), decisions tàctiques (o de pilotatge) i decisions operatives. I, segons el mètode, podem tenir: decisions programades i decisions no programades.

Els gestors de les empreses de serveis sovint s'enfronten a decisions en matèria d'inversions. Aquestes inversions poden ser: inversions reglamentàries (d'obligat compliment) o inversions productives (orientades a diversificació, modernització, expansió o innovació).

La gestió de la xarxa de distribució és un dels problemes més importants als que han de donar resposta els gestors de les infraestructures d'aigua, ja que té un valor molt elevat sobre el total dels actius. Arribant a representar un 80% del valor dels actius dels sistemes de distribució d'aigua (Renaud *et al.*, 2012). És per aquest motiu que els models de suport a la presa de decisions són un element necessari per poder prioritzar la xarxa de distribució, ja que tenen com a objectiu ajudar als gestors a l'hora de realitzar la planificació de la renovació o rehabilitació. Existeixen mètodes de deteriorament que estimen les ràtios d'avaries que tindran els actius i mètodes més complexos implementats en eines informàtiques de suport a la decisió.

2.4.2 Mètodes de deteriorament

Dawood *et al.* (2019) fa un recull dels mètodes de deteriorament utilitzat entre 2009 – 2019. Els mètodes del deteriorament dels actius permeten determinar l'estimació de la probabilitat d'avaría que tindran els actius en un futur. Per predir aquestes ràtios d'avaries existeixen:

- **Mètodes deterministes.**

Els mètodes deterministes es basen en les condicions inicials i en com aquestes es modifiquen degut a canvis en les condicions de contorn o pel pas del temps. Els mètodes deterministes estan condicionats per l'estat inicial, per contra els mètodes probabilístics o estadístics no.

Alguns dels factors necessaris per a determinar la ràtio d'avaries són: l'edat de la canonada, el material, el tipus de sòl, la pressió de l'aigua, la longitud del tub i el nombre d'avaries prèvies.

- **Mètodes probabilístics o estadístics.**

Els mètodes probabilístics o estadístics es basen en l'estudi de l'històric de grups de dades que sota la consideració d'aleatorietat i incertesa es prediu el comportament futur.

Alguns dels factors utilitzats per determinar la ràtio d'avaries són: les característiques de la canonada (edat, diàmetre, nombre de juntes...), les característiques de l'entorn (condicions del tràfic, tipus de sòl, temperatura...) i les avaries associades a cada canonada.

A la Taula 2.3 es presenten alguns dels mètodes probabilístics o estadístics més aplicats per predir avaries de canonades de xarxa d'abastament.

Taula 2.3. Mètodes de deteriorament

Mètode de deteriorament	Aplicació
Weibull	(Eisenbeis, 1994)
Poisson	(Malandain, 1999)
Non Homogeneous Poisson Process (NHPP)	(Rostum, 2000)
Model de risc proporcional (PMH)	(Andreou, 1986; Eisenbeis, 1994; Wery, 2000)
Linear Extended Yule Process (LEYP)	(Le Gat, 2009)
Model de Markov	(Malandain, 1999)

Aquests mètodes entre ells tenen diversos avantatges i inconvenients. Els mètodes que proporcionen una bona predicció de la ràtio d'avaries són el Poisson, NHPP i el LEYP, en canvi, els mètodes que proporcionen un bon rànquing de canonades segons la seva ràtio d'avaries són el Weibull i el LEYP. Així doncs, només el LEYP té les dos avantatges.

- Mètodes heurístics.

Els mètodes heurístics tenen en compte l'experiència dels experts i mitjançant l'assignació de pesos als diferents criteris emprats són capaços de predir un escenari futur.

L'ús de la intel·ligència artificial en la predicció d'avaries ha pres rellevància en els últims anys, mitjançant la utilització d'algoritmes genètics, xarxes neuronals, entre d'altres. Sattar (2019) desenvolupa un *Extreme Learning Machine* (ELM) per a la predicció de taxa d'avaries a fi de proporcionar una informació clau per al manteniment i la rehabilitació de la xarxa d'aigua. Winkler (2018) utilitza *boosted decision trees* per predir la probabilitat d'avaria de les canonades de distribució.

Les eines informàtiques de suport a la decisió utilitzades per les empreses gestores del cicle integral de l'aigua es presenten al proper apartat 2.4.4. Aquestes eines o softwares al seu torn utilitzen mètodes de deteriorament per predir el comportament futur de les canonades.

2.4.3 Model de referència

El model determinista considerat com a model de referència va ser proposat per Shamir y Howard el 1979. Aquest és un dels primers models que va aparèixer per a la renovació de la xarxa i es basa en la regressió exponencial que descriu el creixement de l'índex d'avaries nombre d'avaries per km i any. El fenomen de l'avaría segueix un procés de Poisson. L'anàlisi de costos segueix un model exponencial tant pel que fa als costos de reparació com pel que fa a la inversió per renovar la canonada.

Tot i les seves limitacions, aquest model és vàlid quan no es disposa de variables de contorn, presenta limitacions ja que suposa que només influeix al deteriorament de la canonada l'edat.

2.4.4 Eines informàtiques de suport a la decisió

A la Taula 2.4 es presenten una revisió de les eines de suport a la decisió en gestió dels actius de xarxa utilitzades tant de l'abastament com del sanejament. S'identifica el país on s'utilitzen i si són adequades per avaluar els sistemes d'abastament, de sanejament o ambdós.

Taula 2.4. Eines de suport a la decisió en gestió d'actius (font: elaboració pròpia)

Eina	País d'ús	Abastament	Sanejament	Font
APOGEE	França		•	Rommel <i>et al.</i> , 1989
AQUA-WertMin	Alemanya	•	•	Baur and Herz, 2001
AssetMap	França	•		Malandain <i>et al.</i> , 1999
AWARE-P	Portugal	•		AWARE-P, 2012
CARE-S	Portugal		•	Saegrov, 2006
CARE-W	Europa (Portugal)	•		Torterotot <i>et al.</i> , 2005
CASSES	França	•		Cemagref, 2008
EPAREL i EPANET	Noruega i EUA	•		Rostum and Schilling, 1999
Failnet	França	•		Cemagref
Germin VA	Noruega	•		-
HYDROPLAN	Bèlgica	•	•	Van Herzeele <i>et al.</i> , 2006
InfoMaster		•	•	-
KANEW	Alemanya i EUA	•		Hadzilacos <i>et al.</i> , 2000
KureCAD	Finlàndia	•	•	Stone <i>et al.</i> , 2002
METRAWA	Espanya	•		Aqualogy
Model Baik	EUA		•	Baik <i>et al.</i> , 2006
Model Bengassem and Bennis	Canadà		•	Bengassem and Bennis, 2000
Model Edmonton	Canadà		•	Ruwanpura <i>et al.</i> , 2004
Model Hasegawa <i>et al</i>	Japó		•	Hasegawa <i>et al.</i> , 1999
PARMS	Austràlia i Nova Zelanda	•		Burn <i>et al.</i> , 2003
PARMS-PRIORITY	Zelanda	•		Mogolia <i>et al.</i> , 2006
PREVOIR	França	•		Aqualogy
PRISM	Canadà		•	Ariaratman and McLeod, 2002
SIROCO	França	•		Renaud <i>et al.</i> , 2007
UtilNets	Europa	•		Hadzilacos <i>et al.</i> , 2000
WiLCO	UK	•	•	Skipworth <i>et al.</i> , 2002

A la Taula 2.4 es pot observar que no existeix cap eina àmpliament estesa, sinó que cada país utilitza diverses eines, així doncs, cada entitat gestora utilitza aquella eina que s'adapta més a les seves necessitats. A continuació, es presenta el detall d'algunes de les eines utilitzades per a l'ajuda a la presa de decisions pel que fa a la xarxa d'abastament, objectiu d'aquesta tesi.

AQUA-WertMin

AQUA-WertMin es va desenvolupar a Alemanya per ajudar a planejar les inspeccions de les canonades amb càmera, la renovació i les estratègies per a noves conduccions. Servei tant per xarxa d'aigua potable com per xarxa de sanejament. A partir de les condicions observades durant les inspeccions el programa s'assigna una classificació a cadascun dels trams de canonada de la xarxa. La classificació que s'assigna és la següent:

- *Classe 6.* Condició excel·lent. Sense defectes.
- *Classe 5.* Condició bona. Pocs defectes però és necessari reparar.
- *Classe 4.* Condició suficient. Defectes menors, és necessari renovar a llarg termini.
- *Classe 3.* Condició pobre. Els defectes observats requereixen reparacions més grans però no una renovació a mitjà termini.
- *Classe 2.* Condició molt pobre. Els defectes observats requereixen renovacions majors però no una substitució a curt termini.
- *Classe 1.* Canonada danyada. Necessita una substitució immediata.

El programa calcula la probabilitat que un tram de canonada, o grup de trams de canonada, passin d'una classe a una altra pitjor basant-se en una distribució de Herz (Baur and Herz, 2001; Davis *et al.*, 2008). Per determinar la funció de transició d'una classe a l'altra, el programa aplica un model de supervivència (Stone *et al.*, 2002) per grups de trams similars, i una distribució de probabilitat de Weibull desenvolupada al Karlsruhe Institute of Technology (KIT).

El model de càlcul dona com a resposta la transició de cada classe, el temps de vida útil dels sistemes i la necessitat de futures renovacions o rehabilitacions d'acord amb l'anàlisi econòmica de costos i temps de reparació (Stone *et al.*, 2002; Davis *et al.*, 2008).

AssetMap

AssetMap (Asset Maintenance Procedure) no és una aplicació software sinó un model experimental que inclou l'ús d'anàlisi de probabilitat i anàlisi d'entorn (mitjançant sistemes cartogràfics) per determinar la ràtio d'avaries de la comunitat urbana de Lyon, França. La recerca és juntament amb una tesi doctoral finançada per Générale des Eaux-Service Lyon Agglomération i la Association Nationale de la Recherche Technique.

El model utilitza un sistema GIS comercial i un programa d'anàlisi estadística. Es basa en 5 passos:

- *Pas 1.* Previsió de la ràtio d'avaries de la xarxa de canonades assumint que no hi haurà rehabilitació.
- *Pas 2.* Anàlisi estadística del comportament de la ràtio d'avaries per categoria fent servir una Regressió de Poisson per a cada grup de canonades.
- *Pas 3.* Anàlisi d'entorn de les ràtios d'avaries via GIS fent servir els resultats estadístics del *Pas 2*, amb l'objectiu de determinar altres factors de localització a tenir en compte.
- *Pas 4.* Ús d'una anàlisi multiatribut per classificar les canonades més crítiques i avaluar diferents ràtios i criteris de rehabilitació.
- *Pas 5.* Previsió de la ràtio d'avaries segons diferents polítiques de rehabilitació (despeses de rehabilitació i impacte sobre els preus).

AWARE-P

AWARE-P (Advanced Water Asset Rehabilitation in Portugal) és un projecte de I+D (2008 – 2011) desenvolupat a Portugal i dissenyat amb l'objectiu de ser implementat a les entitats de serveis d'aigua, un procediment estructurat pel GPI (Gestió Patrimonial d'Infraestructures) (AWARE-P, 2012).

AWARE-P és un successor directe dels projectes CARE-W i CARE-S, a fi de proporcionar un marc organitzat per avaluar i comparar alternatives de planificació de la renovació de les infraestructures hídriques urbanes, mitjançant mètriques seleccionades d'acompliment, risc i cost. Aquesta eina incorpora mapes, bases de dades geolocalitzades, registres d'inventaris, ordres de treball, manteniment, inspeccions CCTV (circuit tancat de televisió), models matemàtics de la xarxa, KPIs (*Key Performance Indicators*) i registres de valoració dels actius.

Segons Alegre (2009) els objectius d'AWARE-P són:

- Proporcionar a la indústria d'aigua portuguesa un suport estructurat amb formes de planificació i implementació d'accions de rehabilitació en l'abastament d'aigua, aigües residuals i sistemes d'aigües pluvials.
- Difondre els conceptes entre els responsables tècnics i polítics sobre la necessitat d'enfocaments estructurats en la presa de decisions sobre la rehabilitació del subministrament d'aigua, les aigües residuals i sistemes de drenatge així com formació adequada del personal tècnic en aquest camp.

CARE-W

CARE-W (Computer Aided Rehabilitation of Water Networks) és el resultat d'un projecte europeu que estudia els diferents models matemàtics. Aquest estudi compta amb la participació de 13 companyies de diferents països de la comunitat europea: Portugal, Gran Bretanya, Alemanya, Suïssa, Itàlia, Suècia, França i la República Txeca.

CARE-W porta per objectiu ser un instrument d'ajuda a la decisió per rehabilitar xarxes d'aigua potable de manera eficaç mitjançant les següents accions:

- *Construir i avaluar una estratègia a llarg termini.*
- *Establir programes anuals.*
- *Executar i controlar la seva realització.*

L'estudi es divideix amb els models de predicció d'avaries i models de comportament hidràulic de la canonada. Si es posa l'atenció als models de predicció d'avaries, aquests tenen com a objectiu:

- Definir les variables influents relacionades amb la canonada i l'entorn, així com definir el grau d'influència d'aquestes.
- Definir les funcions de risc d'avaría: basades en els outputs de l'anterior punt i en el model escollit (Weibull o Poisson). Aquestes funcions són calculades canonada a canonada o categoria a categoria.
- Predir el nombre d'avaries o la ràtio d'avaries: calculat mitjançant el procés no homogeni de Poisson (NHPP) o utilitzant funcions de risc d'avaries.
- Definir les funcions de supervivència: a partir de funcions de risc d'avaría es construeixen les funcions de supervivència de la categoria de la canonada.

Així doncs, els models de predicció d'avaries es poden dividir en quatre tipus de models (Taula 2.5):

- Defineixen les variables d'influència.
- Calculen les funcions de risc.
- Preveuen el nombre d'avaries.
- Calculen les funcions de supervivència.

Taula 2.5. Relació de models a utilitzar segons el paràmetre a estudiar

	Variable influència	Funció de risc	Nombre d'avaries	Funcions de supervivència
Poisson	•	•	•	
PMH	•	•	•	
NHPP	•		•	
Model de Markov				•

CASSES

CASSES es va desenvolupar pel CEMAGREF a fi de proporcionar a les empreses de serveis d'aigua una eina gratuïta per utilitzar el model LEYP per a la predicció d'avaries a les canonades d'aigua potable (Cemagref, 2008). L'eina es va desenvolupar tenint en compte l'existència diversa de dades de les que disposen les empreses així com tenint en compte que els usuaris de l'eina no necessàriament havien de ser experts en estadística.

Les dades que cal entrar al sistema són: dades de les canonades (identificador de la canonada, data d'instal·lació, longitud i material), dades de les avaries (identificador de la canonada avariada i data de l'avaria). Addicionalment, el sistema permet incorporar dades relatives al sòl, trànsit, profunditat, pressió, entre d'altres.

L'eina permet realitzar grups de canonades per estudiar la taxa d'avaries i el seu comportament, a més a més disposa d'una sèrie de mòduls predefinits per crear aquests grups de canonades seguint diferents criteris (agrupar per materials plàstics o metalls; diàmetres grans, mitjans o petits; entre d'altres).

CASSES consta dels següents passos:

- *Pas 1.* Introducció de les dades. Es llegeixen els fitxers amb les diferents dades d'entrada.
- *Pas 2.* Creació del model. Es defineixen els paràmetres
- *Pas 3.* Validació del model (Le Gat, 2002). En aquest pas es defineixen dos períodes dels registres d'avaries un període de calibratge i un posterior període de validació.

El fitxer de sortida amb la predicció d'avaries de CASSES es pot utilitzar per executar SIROCO (detallat més endavant en aquest mateix apartat), així s'obté una anàlisi i classificació de les canonades candidates a rehabilitar.

EPAREL i EPANET

EPAREL s'ha desenvolupat per l'institut noruec de recerca SINTEF amb la finalitat de modelar la qualitat de l'aigua. Aquesta eina està basada en el model EPANET¹ que calcula el risc que es produeixi una avaria al sistema que interrompi el subministrament. EPANET és un software que simula el comportament hidràulic i de qualitat de l'aigua i representa el flux d'aigua de cada canonada, la pressió a cada node i l'altura d'aigua a cada dipòsit, així com la concentració dels agents químics que flueixen a través de la xarxa.

EPAREL aplica els models estadístics basats en un procés modificat no homogeni de Poisson (NHPP) i una funció de Weibull per calcular la probabilitat d'avaria per cada tram

¹ **EPANET** és un software lliure desenvolupat per l'Agència de Protecció Ambiental dels Estats Units. Permet realitzar anàlisis hidràuliques de sistemes de distribució d'aigua potable. EPANET funciona només amb Microsoft Windows.

de canonada de la xarxa. Aquesta probabilitat d'avaría es modela per grups de canonades caracteritzats pel material, l'any d'instal·lació, la qualitat de l'aigua, el terreny que l'envolta i el diàmetre. Per aquells grups de canonades amb poca representació dins del sistema i per tant, amb poques avaries, la probabilitat d'avaría s'estima amb l'experiència dels professionals.

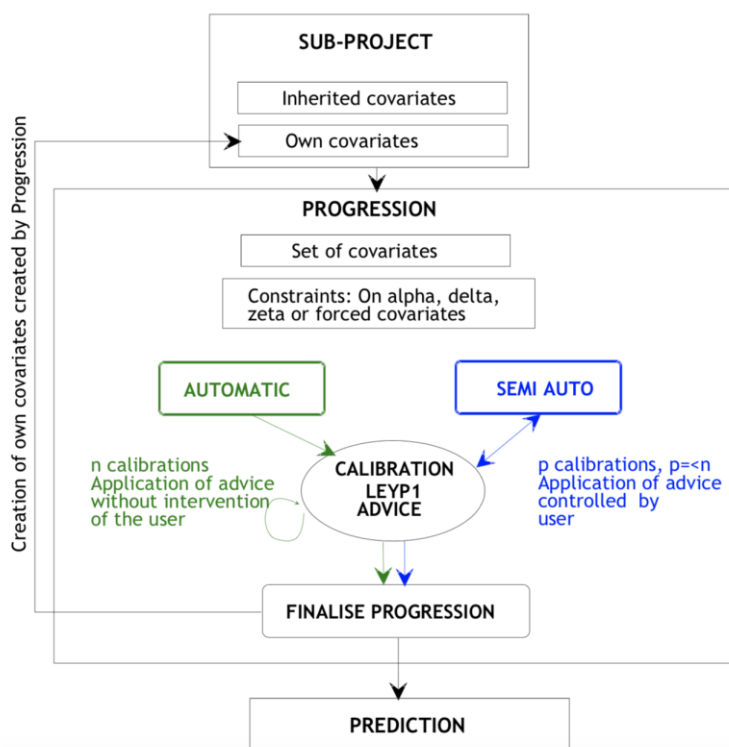


Figura 2.14. Esquema del procés de càlcul del CASSES (CASSES, 2010)

Failnet

Failnet (Analysis and Forecasting of Water Network Failures) és una metodologia aplicada a diversos serveis urbans i rurals de França. Consisteix en tres passos:

- *Pas 1.* Anàlisi de l'històric de les dades d'avaries fent servir un model de risc. El sistema avalua l'històric d'avaries, valora que influeix en les avaries i identifica els factors que maximitzen la probabilitat d'avaría.
- *Pas 2.* Definició de funcions de supervivència basades en un model Weibull. El sistema integra les relacions entre les dades del pas anterior, les condicions actuals de les canonades i calcula la probabilitat que cada grup de canonades (agrupades per material i condició actual) sobrevisqui a un nivell de condició donat durant un període de temps donat.
- *Pas 3.* Previsió del nombre d'avaries durant un període donat fent servir un mètode Monte-Carlo. Aleshores el sistema preveu el nombre d'avaries des de les funcions de

supervivència de cada grup de canonades. Aquesta previsió pot utilitzar-se amb un model hidràulic, amb un model econòmic, o només com a criteri de rehabilitació.

Germin VA

El sistema Germin VA permet integrar la informació de les avaries a un sistema GIS. El sistema pot emmagatzemar la xarxa, les avaries, les reparacions i les dades de manteniment. Així les taules de propietats emmagatzemen la posició, la profunditat dels nodes, el diàmetre, el material, el tipus de junta i l'any d'instal·lació.

També permet guardar l'històric de les operacions fetes a la xarxa com: els incidents (avaries, fuites...), els treballs a les canonades (reparacions, inspeccions...), avaries d'altres accessoris, condicions de la xarxa i raons d'avaries i consideracions de qualitat.

Amb tota aquesta informació el sistema permet generar informes per realitzar anàlisis estadístiques, així com la representació de gràfiques.

HYDROPLAN

HYDROPLAN (*Hydroplan Asset Management Procedure*) desenvolupat a Bèlgica dins del marc d'un projecte d'investigació anomenat HYDROPLAN UE i finançat per la Unió Europea dins del V Programa Marc que contribueix a la implementació d'Accions clau "Gestió sostenible i qualitat de l'aigua" del programa d'Energia, Medi Ambient i Desenvolupament Sostenible.

HYDROPLAN es centra en la gestió de la xarxa d'aigua potable i sanejament basant-se en característiques estructurals, hidràuliques i ambientals. Els objectius són el desenvolupament d'una plataforma en línia per la col·laboració i intercanvi de coneixement, així com l'establiment d'una metodologia per a l'avaluació, comparació i millora dels actius hídrics.

Les entrades del sistema són:

- *Indicadors d'estat dels trams de canonada.*
- *Característiques dels trams de canonada (material, diàmetre, longitud, edat, tipus de canonada).*
- *Característiques de l'entorn (tipus de sòl i cost de les tècniques de rehabilitació).*

Les sortides del sistema són:

- *Funció de transició per cada classe de canonada.*
- *Temps de vida útil dels sistemes de la xarxa.*

- *Necessitats futures de rehabilitació basades en l'anàlisi econòmica i el temps de reparació.*

InfoMaster

InfoMaster és un software ideat per gestionar l'estat dels actius urbans de qualsevol classe i planificar les inversions de rehabilitació i neteja. Construït sobre una base de dades geogràfica, crea un pla específic que proporciona un sistema de suport tant a llarg termini com immediat per a la rehabilitació de xarxes d'abastament i sanejament.

Gestiona 8 categories o objectes i ajuda als gestors a revisar, organitzar i analitzar tota la informació de dades de la qual disposa mitjançant eines predefinides. S'integra a l'ArcGIS² i pot emmagatzemar dins del mateix entorn tota la informació de la xarxa susceptible d'afectar el comportament, importància o reparació de les canonades.

Mitjançant aquestes dades, regles predefinides i coeficients personalitzables pels usuaris, InfoMaster permet realitzar una anàlisi de risc agrupant probabilitats i conseqüències de fallada de tots els actius de la xarxa. En tot moment, es pot revisar la cadena de puntuacions i decisions, modificant els criteris individuals. Així, permet obtenir un llistat optimitzat d'accions a realitzar per cada element, tant si s'ha de revisar, netejar, reparar o substituir.

KANEW

KANEW (*Exploring Rehabilitation Strategies*) utilitza un model de supervivència Cohort per infraestructures. Aquest model ha estat desenvolupat al Karlsruhe Institute of Technology (KIT) per programar la renovació o rehabilitació. Basat en aquest model, el Dresden University of Technology recolzat per l'American Water Work Association Research Foundation (AWWARF) va desenvolupar un software, que s'utilitza amb Microsoft Access.

KANEW prediu el final de la vida d'una canonada a partir de la data d'instal·lació i el tipus de canonada. El sistema assumeix la vida de servei com una variable aleatòria, caracteritzada per l'edat mitjana i una desviació estàndard, o l'edat a la que arribaria un cert percentatge de la majoria dels trams. Es poden escollir els paràmetres de distribució de Herz. Les prediccions estan basades en suposicions optimistes de la vida de servei que són derivades des de les estadístiques d'avaries i rehabilitació per diferents tipus de canonades. El model de supervivència Cohort del KANEW és una eina per explorar les estratègies de rehabilitació de la xarxa. KANEW conté un mòdul de l'inventari de la xarxa, un mòdul de

² **ArcGIS** és el nom d'un conjunt de productes de software dins del camp del GIS (*Geographic Information System*). Produït i comercialitzat per ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), ArcGIS agrupa aplicacions per capturar, editar, analitzar, tractar, dissenyar, publicar i imprimir informació geogràfica.

predicció d'avaries, un mòdul de dades econòmiques i un mòdul de comparació d'estratègies (veure Figura 2.15). El KANEW-Z utilitza el model de Markov.

KureCAD

KureCAD es va desenvolupar pel Viatek Group de Finlàndia, l'eina utilitza el GIS. El sistema prioritza la rehabilitació de canonades i proveeix els documents necessaris per implementar la rehabilitació.

Les dades es recopilen durant inspeccions de camp i manteniment. Per cada tipus de tram de canonada, el sistema guarda tres tipus bàsics de dades:

- *Condicció estructural*: resistència a fatiga i forma estructural.
- *Condicció funcional*: capacitat per transportar aigua.
- *Ràtios de fuites*: estimació de les fuites.

Per cada tipus de dades es resumeix una puntuació d'1 (bona, no cal reparar) a 4 (molt dolenta, necessita ser reparada immediatament). El KureCAD combina les tres puntuacions obtingudes a cada tipus de dades i dibuixa aquest resultat al GIS.

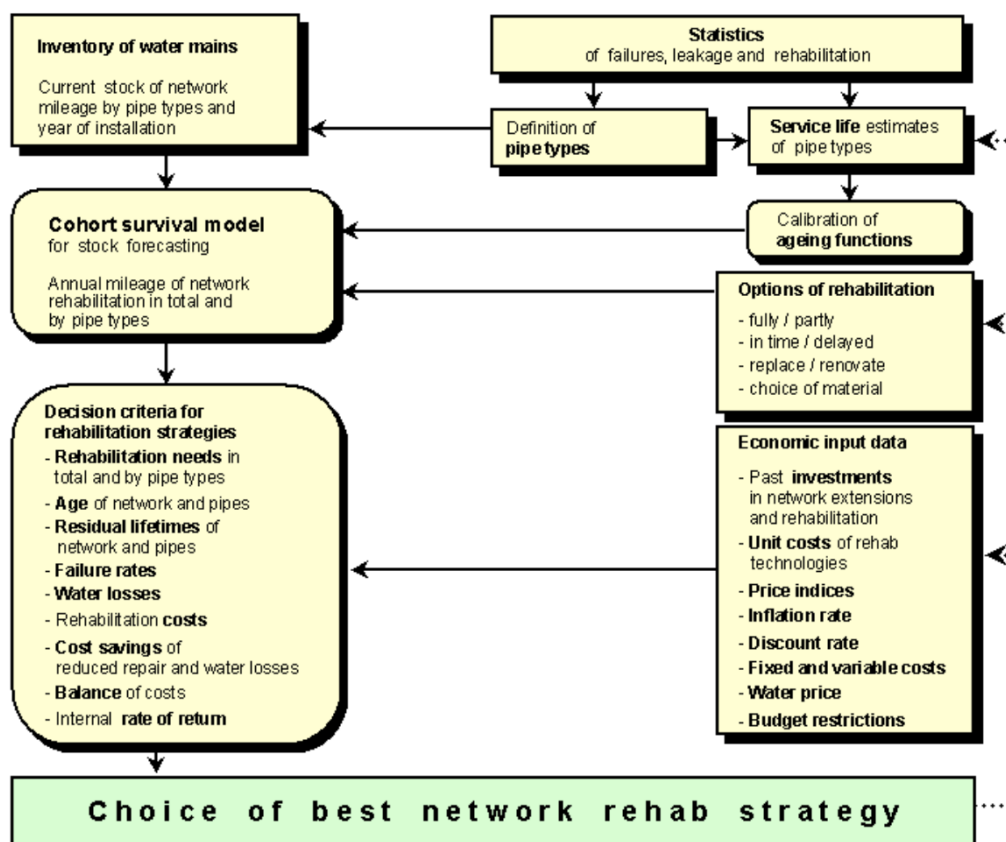


Figura 2.15. Marc KANEW per explorar estratègies de rehabilitació de xarxa (Herz, 2002)

METRAWA

METRAWA és un sistema d'ajuda a la presa de decisions desenvolupat per Aqualogy, on s'avalua l'estat actual i futur de la xarxa i s'analitza els costos d'inversió necessaris. Els principals objectius del METRAWA és prioritzar a curt i mitjà termini les canonades a renovar.

METRAWA utilitza criteris: *estructurals* (edat, fuites, sectorització, entre d'altres), *hidràulics* (pressió màxima, pressió mínima, entre d'altres), *d'optimització* (edat òptima de renovació), *econòmics* (balanç econòmic) i de *risc* (afegeix aquells riscos que poden afavorir o perjudicar la priorització com poden ser alguns aspectes contractuals).

La decisió es pren traduint tots aquests paràmetres a valors econòmics, així s'obté l'edat òptima de renovació, tal com es mostra a la Figura 2.16, corresponent al valor mínim de la corba de costos totals.

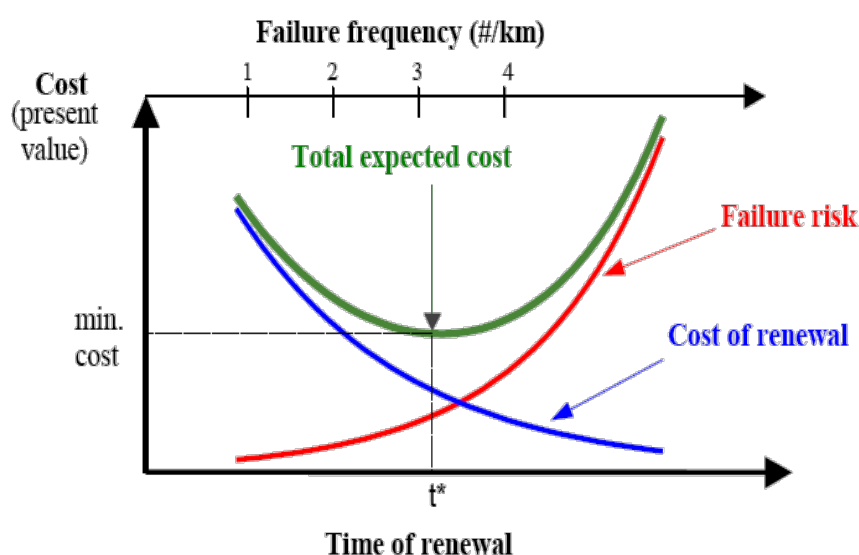


Figura 2.16. Sistema de decisió de renovació basat en els costos

PARMS

PARMS (Pipeline Asset And Risk Management System) es va desenvolupar a la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) per Burn *et al.* (2003).

El CSIRO va complementar el seu sistema de presa de decisions PARMS-PLANNING amb el sistema PARMS-PRIORITY (Mogolia *et al.*, 2006) desenvolupat per prioritzar les canonades a renovar així com assegurar una programació pressupostaria al llarg del temps.

PARMS és un sistema de planificació a llarg termini i d'estudi de diferents escenaris pressupostaris. Les previsions estan basades en un model no homogeni de Poisson (NHPP) així com en una estimació dels costos sobre la vida útil de la canonada, aquests són els costos associats a la fallada, les externalitats vinculades a la interrupció del subministrament i les molèsties causades tant en cas de fallada com en el cas de la renovació.

PARMS-PRIORITY ajuda a decidir quina canonada cal renovar, si el que és necessari és reduir la pressió o tancar alguna vàlvula. PARMS-PRIORITY inclou un GIS i es divideix en 5 mòduls:

- *Càlcul de risc.* Es calcula el risc que es produeixi una avaria per les seves conseqüències.
- *Predicció d'avaries.* El model de NHPP s'utilitza per modelar acuradament el nombre mitjà d'avaries per una població de canonades i el model físic/probabilístic Best Linear Unbiased Predictor (BLUP) s'utilitza per predir les avaries d'una canonada en particular.
- *Model de costos.* Es calculen els costos tant de maquinària com salaris, materials, transports, entre d'altres, dels següents escenaris: renovar una canonada, instal·lació de vàlvules, reparació de la canonada, interrupcions de subministrament i conseqüències de les avaries.
- *Avaluació dels diferents escenaris.* S'avaluen els quatre escenaris següents: renovació de la canonada, reducció de pressió, reducció del nombre de clients connectats tallant el subministrament i reparació de la canonada.
- *Exploració de les dades.* Mitjançant el sistema informàtic.

PREVOIR

PREVOIR (Plan de Renouvellement à Valorisation Optimisée des Réseaux) és una eina desenvolupada per la CMT Bordeaux i entregada pel PIM (CIRSEE). Es tracta d'un model basat en 3 experiències del 2005/2006 a: Bordeus, Créteil i Gennevilliers. Les característiques principals del qual són:

- Càlcul del pressupost anual necessari per a mantenir una ràtio d'avaries acordada amb l'Ajuntament del municipi.
- Desenvolupament del corresponent pla de renovació al detall.
- Avaluació de l'evolució de les canonades de la xarxa (ràtio d'avaries) o dels serveis durant el període simulat.
- Comparació entre les diferents polítiques d'inversió.
- Actualització cada 3 anys amb la introducció dels nous esdeveniments (avaries, despeses i renovacions) i actualització de les simulacions.

El procés seguit per PREVOIR és el següent:

- *Dades.* Anàlisi basada en una mostra de canonada; anàlisi de la consistència de les dades del GIS (edat, material, diàmetre...); històric d'avaries de 5 anys; i, focalització en aquells paràmetres més significatius identificats pels operaris i disponibles al GIS.
- *Modelització.* Desenvolupament d'un model explicatiu de les avaries basat en dades històriques; model de previsió de la probabilitat d'avaries basat en models de supervivència (Weibull, NHPP...); model logístic (regressió amb variables qualitatives) basat en una mostra representativa de la xarxa.
- *Simulació.* Priorització de la renovació basada en la probabilitat d'avaría i la criticitat de cada canonada; comparació de les diferents estratègies de renovació depenent dels pressupostos, la ràtio d'avaries, el nombre d'interrupcions del servei...; simulació gràfica dels resultats al GIS.

SIROCO

El programa de recerca i desenvolupament SIROCO (Système Intégré d'aide au Renouvellement Optimisé des CONduites) és va finançar durant l'any 2005 pel RITEAU (programa nacional de recerca del Ministeri de Recerca francès) i dur a terme conjuntament per G2C Environmental i el CEMAGREF.

L'objectiu d'aquest projecte és abastir d'una eina integral d'ajuda a la decisió de renovació de canonades d'aigua potable. Aquesta eina està basada en el GIS Cart@jour i integra dues eines tècniques (previsió d'avaries i càlcul de fiabilitat hidràulica) del CEMAGREF i una metodologia d'ajuda a les decisions de renovació.

El mòdul SIROCO està basat en 4 passos:

- *Pas 1.* Recol·lecció de dades: fitxa d'informació per cada objecte, informació de les dades per zones, identificació i localització dels objectes no informats, assignació dels valors per efecte i intervencions de gestió a la xarxa.
- *Pas 2.* Comunicació amb la base de dades: exportació de les dades brutes al CEMAGREF i càrrega dels fitxers de resultats.
- *Pas 3.* Paràmetres de l'anàlisi multicriteri: definició de les hipòtesis d'actuació i ponderació dels criteris de renovació.
- *Pas 4.* Visualització ergonòmica i personalitzada dels resultats: classificació de les zones en funció de la puntuació calculada en l'anàlisi, representació cartogràfica de les zones on la renovació és prioritària i estimació del cost global de renovació de les zones crítiques.

L'eina utilitzada pel CEMAGREF per a fer la previsió d'avaries i el càlcul de fiabilitat hidràulica és el PREDIKASS. L'anàlisi predictiva estima la probabilitat d'avaría de la

canonada basant-se en els paràmetres com el nombre d'avaries passat, dimensions de la canonada i any d'instal·lació, així com altres paràmetres del terreny, el material de la canonada i dades de trànsit. Aquest model està basat en una anàlisi estadística de supervivència de les dades, desenvolupat utilitzant dades de dos sistemes urbans (Bordeus i els suburbis de París) i de dos sistemes rurals de l'Alsàcia.

Amb aquest model és possible estudiar diferents polítiques de renovació i classificar les canonades segons la seva probabilitat d'avaría.

UtilNets

El model UtilNets (Hadzilacos *et al.*, 2000) és un model d'ajuda a la decisió per a la renovació de la xarxa d'aigua potable. Desenvolupat inicialment per a les canonades de fosa grisa, el model es recolza en dades d'avaries i de l'entorn que envolta la canonada. Suposa que la probabilitat de fallada és més important al principi de la posada en funcionament de la canonada, llavors aquest risc disminueix i augment de nou després d'un període donat de temps.

El model considera models físics que mesuren l'impacte de la càrrega i la corrosió de la canonada. Aquest model d'ajuda a la decisió es basa en 8 mòduls que al seu torn s'organitzen en tres grans grups: tenen en compte el següent:

Mòduls d'anàlisi:

- Mòdul d'estat estructural
- Mòdul d'estat hidràulic
- Mòdul de qualitat de l'aigua
- Mòdul de servei

Mòduls d'optimització:

- Capital i opcions de costos per rehabilitacions
- Conseqüències no quantificables d'una avaría
- Priorització en les rehabilitacions

Mòdul d'informació:

- Estat de la xarxa

Cal destacar que el model UtilNets necessita un gran nombre de variables relacionades amb l'entorn de la canonada.

WiLCO

WiLCO és un software estadístic que prediu les actuacions i les despeses de la xarxa de canonades i que troba les solucions que representen un cost mínim amb un enfocament basat en el cost de tota la vida de la canonada.

El model estadístic del WiLCO està basat en el material, el diàmetre i la data d'instal·lació; així com la zona geogràfica i la densitat urbana de l'emplaçament de la canonada. Totes aquestes dades són guardades en l'inventari. Amb aquestes dades, WiLCO calcula la degradació de la xarxa, possibles accions i el risc d'interrompre el servei durant el període d'anàlisi. Per optimitzar els costos s'utilitza un algoritme Genètic que funciona amb les dades de l'inventari i les dades dels costos. WiLCO és una eina flexible que inclou una optimització multicriteri dels costos de tota la vida útil de la canonada (fuites, avaries, reclamacions, interrupcions i clients).

WiLCO prediu el nombre d'avaries segons una correlació per cada grup de canonades (diàmetre, material i interval d'edat).

Large *et al.* 2015 presenten una classificació d'alguns dels models anteriorment presentats segons les categories a les quals donen resposta (Taula 2.6). **M1** els models que avaluen el deteriorament de les canonades, **M2** els models que avaluen els riscos, **M3** els models que realitzen una anàlisi econòmica i financera, i, **M4** els models que realitzen l'anàlisi multicriteri.

Taula 2.6. Classificació de les eines de suport a la decisió en gestió d'actius (Large *et al.* 2015)

Eina	M1	M2	M3	M4
AWARE-P	•	•	•	•
CARE-W-PHM	•			
CARE-W-Poisson	•			
CARE-W-NHPP	•			
CARE-W-RelNet		•		
CARE-W-FailNet		•		
CARE-W-ARP		•	•	•
CASSES	•			
KANEW	•		•	•
PARMS priority		•	•	•
PREVOIR	•	•	•	•
SIROCO		•	•	•
WiLCO		•	•	•

De les eines que utilitzen avaluen el deteriorament de les canonades, a la Taula 2.7 es presenta una síntesi dels models que utilitzen en cada cas.

2.4.5 Discussió

Existeix un gran nombre d'eines i models d'ajuda a la decisió pel que fa a la renovació de la xarxa dels sistemes d'abastament, tot i que com ja s'apunta no s'observa un ús estès d'alguna de les eines o models. Si no que és cada entitat gestora o cada zona la que decideix que s'adapta millor a les seves necessitats.

Tampoc hi ha un ús ampli d'un model de predicció d'avaries, últimament però els mètodes que prenen més importància darrerament són els que utilitzen la intel·ligència artificial.

Per altra banda, els criteris de decisió que utilitzen la majoria de mètodes són criteris econòmics. Pel que fa als models que tenen en compte criteris socials i ambientals aquests són traduïts a costos per tal d'optimitzar l'edat de renovació en funció dels costos que deriven de cada canonada.

Taula 2.7. Síntesi dels models utilitzats pels softwares

Eina	Model del software
AQUA-WertMin	Supervivència
AssetMap	Poisson
AWARE-P	NHPP / LEYP
CARE-W	Weibull / Poisson / NHPP
CASSES	LEYP
EPAREL i EPANET	Weibull / NHPP
Failnet	Supervivència / Monte-Carlo
KANEW	Supervivència Cohort (Herz, 1996)
KANEW-Z	Markov
METRAWA	No s'especifica (Frequència d'avaries)
PARMS	NHPP
PREVOIR	Weibull, NHPP..
SIROCO	LEYP

2.5. SOSTENIBILITAT

El 1987, es va començar a parlar del terme sostenibilitat i surt per primera vegada a l'anomenat informe Bruntlandt publicat per les Nacions Unides, on el desenvolupament sostenible (DS) es defineix com:

“El DS és el desenvolupament que satisfà les necessitats del present sense comprometre la capacitat de les generacions futures per satisfer les seves pròpies necessitats”

El DS té tres dimensions **econòmica, social i ambiental**, i només serà sostenible si s'aconsegueix l'equilibri entre els tres factors que influeixen a la qualitat de vida. Així molts dels reptes globals als quals s'enfronta la societat actual (com el canvi climàtic, l'escassetat hídrica, la fam, entre d'altres), només es poden resoldre promovent el desenvolupament sostenible, cal que hi hagi (Figura 2.17):

- Desenvolupament social,
- Conservació dels recursos naturals i del medi ambient

- Creixement econòmic

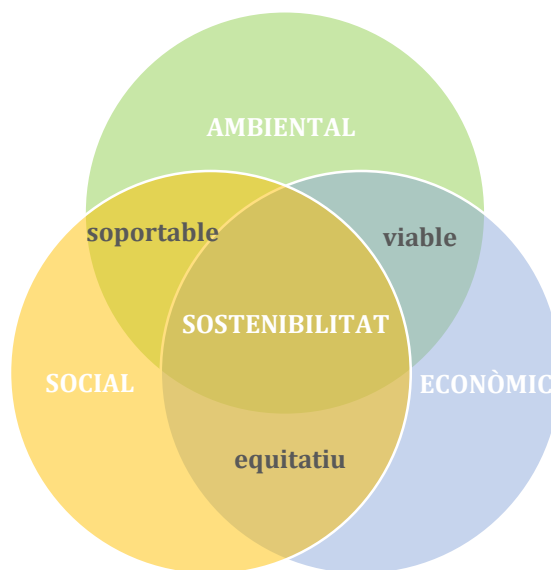


Figura 2.17. Components del desenvolupament sostenible

Es podria dir que, un sistema d'abastament és sostenible si aconsegueix el benestar social, ambiental i econòmic, sense comprometre la qualitat de l'ecosistema i complint amb els requeriments que exigeixen els usuaris.























Per poder assolir aquest desenvolupament sostenible, el setembre de 2015 l'Assemblea General de Nacions Unides va adoptar formalment l'Agenda 2030 per al Desenvolupament Sostenible, recollida en el document *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, que conté 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) i 169 fites a assolir de cara al 2030.

Els 17 ODS tenen com a precedent els 8 Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni (ODM) i les seves 18 metes, aquests van ser proposats per un grup de tècnics de la ONU per al període 2000 – 2015. La Taula 2.8 presenta l'evolució dels ODM als ODS.

Les Nacions Unides considera les empreses entre els agents clau que han de fer possible la consecució dels 17 ODS. Però no només a les empreses tenen la responsabilitat d'assolir aquests objectius, sinó que les administracions i tota la societat civil en general ha d'involucrar-se.

Els ODS no són d'aplicació obligatòria però segons l'informe de 2018 *Contribución de las empresas Españolas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible*, 193 estats s'han compromès firmant la resolució de l'ONU. Les diverses administracions, empreses i entitats dels països adapten aquests ODS a la seva gestió i integren a la seva estratègia l'Agenda 2030.

Taula 2.8. Del Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni (ODM) a Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS)

	ODM (2000 – 2015)	ODS (2015 – 2030)
Persones	  	    
Planeta		    
Prosperitat		    
Pau		
Associacions		

El Brúixola dels ODS (SDG Compass)³: The guide for bussines action on the SDGs, recomana a les empreses seguir un procés d'actuació que consta de cinc etapes presentades a la Figura 2.18. En primer lloc, (1) entendre els ODS, seguidament (2) analitzar les possibilitats que té l'empres i definir aquelles que són prioritàries. En tercer lloc, (3) establir un programa d'acció i indicadors, i anunciar-los públicament com compromisos adquirits amb els ODS. Posteriorment, (4) integrar el programa a l'empresa per finalment, (5) reportar i comunicar els èxits assolits.

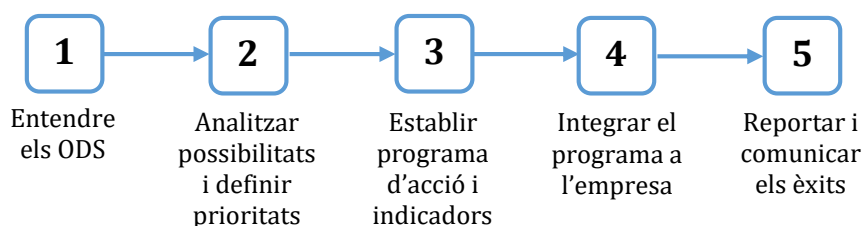


Figura 2.18. Etapes per ajudar a les empreses a maximitzar la seva contribució als ODS

³ Brúixola dels ODS (SDG Compass), és la guia per l'acció empresarial en matèria d'Objectius per al Desenvolupament Sostenible (ODS) que van elaborar conjuntament el Global Compact, Global Reporting Initiative (GRI) i World Business Council For Sustainable Development (WBCSD).

De les 143 empreses analitzades per l'informe de contribució als ODS anteriorment mencionat, menys d'un terç (41 empreses) mencionen de manera explícita els ODS, val a dir que l'informe examina memòries del 2016 quan només feia un any que s'havien aprovat els ODS (ONU, 2015). Els objectius més anomenats a les memòries són: l'**ODS 8** (treball decent i creixement econòmic), l'**ODS 13** (acció climàtica) i l'**ODS 9** (indústria, innovació i infraestructura).

Els reptes que plantegen els ODS pel que fa al sector de l'aigua no només es concentren actuant sobre l'ODS 6 (aigua neta i sanejament) que porta per objectiu garantir la disponibilitat d'aigua i la seva gestió sostenible i el sanejament per tothom. Si no que degut a la naturalesa transversal de l'aigua i el seu paper fonamental i transversal dins la societat afecta la consecució de pràcticament tots els ODS.

Aigües de Barcelona com empresa compromesa amb la sostenibilitat dins del sector de l'aigua, l'any 2016 incorpora a la seva estratègia de sostenibilitat: 10 compromisos i 24 objectius organitzats sota tres eixos: persones, aigua i ciutat (presentats a la Taula 2.9). A fi de contribuir a la consecució d'aquests ODS.

Dins d'aquesta reflexió per tal de contribuir a l'assoliment dels ODS, prioritzar les inversions utilitzant criteris de DS i fer partícips als grups de relació d'aquesta decisió era un dels objectius (*compromís 2 i compromís 7* de la Taula 2.9).

Taula 2.9. Estratègia sostenibilitat d'Aigües de Barcelona (font: Memòria Sostenibilitat 2017, Aigües de Barcelona)

EIXOS	PERSONES	AIGUA	CIUTAT
10 COMPROMISOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensibilitzar i actuar sobre la dificultat d'accés a l'aigua dels col·lectius vulnerables. 2. Incorporar plans i objectius per satisfer les expectatives dels grups de relació. 3. Difondre els valors a través de la selecció dels proveïdors i el diàleg amb aquests. 4. Promoure un entorn de treball equilibrat i saludable. 5. Afavorir el desenvolupament professional de tots els col·laboradors. 6. Fomentar l'intercanvi d'experiències i coneixements entre els treballadors per garantir la millora contínua. 	<ol style="list-style-type: none"> 9. Dur a terme una gestió de recursos hídrics adequada a la demanda i a l'ús. 10. Innovar en el disseny i la gestió d'instal·lacions i processos basats en el desenvolupament de l'economia circular. 	<ol style="list-style-type: none"> 7. Avaluar l'impacte social, econòmic i ambiental en totes les decisions rellevants. 8. Identificar i gestionar els riscos per anticipar-nos als seus efectes.
24 OBJECTIUS	<p>OBJECTIUS 1-13</p> <p>L'accés a l'aigua, la satisfacció dels clients, la relació amb els proveïdors i les compres responsables, el compromís amb els treballadors (desenvolupament professional i empenedoria, igualtat de gènere, i salut i seguretat) i l'establiment d'aliances</p>	<p>OBJECTIUS 14-18</p> <p>La reducció del consum d'aigua, la reducció de les fuites i el desenvolupament d'una economia circular (reutilització d'aigua, energia verda i reciclatge de sorres generades a les obres).</p>	<p>OBJECTIUS 19-24</p> <p>La biodiversitat, la reducció d'emissions de CO₂ i de la petjada hídrica, la minimització de l'impacte en la ciutadania, la gestió en episodis de sequera i la reducció del risc</p>

2.6. MÈTODES D'ANÀLISI MULTICRITERI (MCDM)

2.6.1 MCDM per a la prioritització d'infraestructures

Zavadskas *et al.* (2014) fan una revisió a la literatura dels diferents problemes que s'han abordat amb els mètodes d'anàlisi multicriteri (MCDM). Més concretament, pel que fa a l'aplicació dels MCDM en temes d'infraestructures, Kabir *et al.* (2014) mostra una revisió des del 1980 fins al 2012 de les diferents aplicacions per les diferents infraestructures que integren cada àrea (edificis, carreteres, paviments, ponts, aigua residual, aigua potable, entre d'altres).

Pel que fa a l'aplicació en temes de recursos hídrics, com que la decisió en infraestructures hídriques tenen impacte sobre un gran nombre d'agents, els MCDM són molt adequats per gestionar aquesta diversitat (Kabir *et al.*, 2014). Ja que permeten incrementar el nivell de transparència, rigor analític i auditabilitat de les decisions (Dunning *et al.*, 2000).

A la Taula 2.7 es presenten alguns mètodes classificats segons si són:

- Mètodes de puntuació directa (*scoring methods*).
- Mètodes basats en la distància (*distance-based methods*).
- Mètodes de comparació per parells (*pairwise comparison methods*).
- Mètodes basats en funcions de valor o d'unitat (*value/utility methods*).
- Mètodes de superació (*outranking methods*).

Taula 2.10. Classificació dels mètodes (Penadés-Pla *et al.*, 2016)

Classificació	Mètodes
Scoring methods	SAW, CORPAS
Distance-based methods	GP, CP, TOPSIS, VIKOR
Pairwise comparison methods	AHP, ANP, MACBERTH
Value/utility methods	MAUT, MAVT, MIVES
Outranking methods	PROMETHEE, ELECTREE

Pel que fa a canonades tant d'aigua potable com d'aigua residual el mètode més utilitzat és el AHP (Kabir *et al.*, 2014). Encara que la seva difícil i lenta implementació suposi una gran desavantatge quan hi ha moltes alternatives. La combinació de mètodes resulta molt interessant i també és àmpliament utilitzat per temes hidràulics.

Sovint la complexitat dels mètodes en dificulten l'entesa per part dels decisors que no són experts amb aquestes tècniques. La principal avantatge dels mètodes com el AHP o també el WSM al ser mètodes simples el decisor pot entendre ràpidament el funcionament del mètode i com s'utilitza la seva participació (Tscheikne-Gratl *et al.* 2017).

2.6.2 Mètode MIVES

A continuació, es presenta la metodologia escollida per al desenvolupament dels models objecte d'aquesta tesi així com la justificació d'aquesta elecció. El mètode MIVES (*Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles*) té per objectiu poder valorar de forma conjunta tots els aspectes que intervenen al desenvolupament sostenible. Aquest mètode combina les decisions multicriteri (MCDM) i la teoria d'utilitat multiatribut (MAUT), a l'hora d'estandarditzar les diverses magnituds utilitzades, mitjançant la funció de valor (Alarcón *et al.*, 2011). La seva principal contribució és que combina la presa de decisions de diversos criteris (MCDM) i la teoria de l'ús múltiples d'atributs (MAUT), incorporant el concepte de funció de valor (Alarcón *et al.*, 2011) i assignant pesos utilitzant el Procés de jerarquia Analítica (AHP) (Saaty, 1980).

La metodologia MIVES és una metodologia de múltiple criteri desenvolupada originalment per a l'avaluació de la sostenibilitat en la construcció (San-José i Cuadrado 2010; Aguado *et al.*, 2012; Pons *et al.*, 2012), tot i que ha estat utilitzada en diferents àmbits: estructures (de la Fuente *et al.*, 2017; de la Fuente *et al.*, 2019), energia i gas (Casanovas-Rubio i Armengou, 2018; de la Fuente *et al.*, 2016; Casanovas-rubio *et al.*, 2019), localització de projectes (Hosseini *et al.*, 2016), prioritització d'inversions públiques (Pujadas *et al.*, 2017) i en infraestructures hidràuliques (Pardo-Bosch i Aguado, 2015).

La generació del model utilitzant la metodologia MIVES passa per: delimitar la decisió, definir l'arbre de decisió, crear les funcions de valor i assignar els pesos. L'arbre de decisió organitza i estructura de forma ramificada tots aquells conceptes a avaluar. En aquest cas, s'ha utilitzat models de fins a tres nivells: requeriments, criteris i indicadors; seguint l'esquema de la Figura 2.19.

Cal destacar, que els indicadors són els únics conceptes que s'avaluen durant el procés de prioritització. Aquesta avaluació es pot realitzar mitjançant variables quantitatives i variables qualitatives i també poden tenir diverses unitats i escales depenen de l'indicador. A fi d'estandarditzar tots aquests indicadors s'utilitza la funció de valor (Alarcón *et al.*, 2011), és una funció matemàtica que transforma les variables quantitatives i qualitatives, i les diverses unitats i escales, en una única escala del 0 a 1. Aquests valors entre 0 i 1, representen el mínim i el màxim grau de satisfacció dels agents responsables de la presa de decisions. El mètode MIVES s'utilitza una funció de valor (Eq. 2.1) que depèn de 5 paràmetres i segons la decisió del valor d'aquests paràmetres pot presentar diverses formes: còncava, convexa, lineal o en forma de "S".

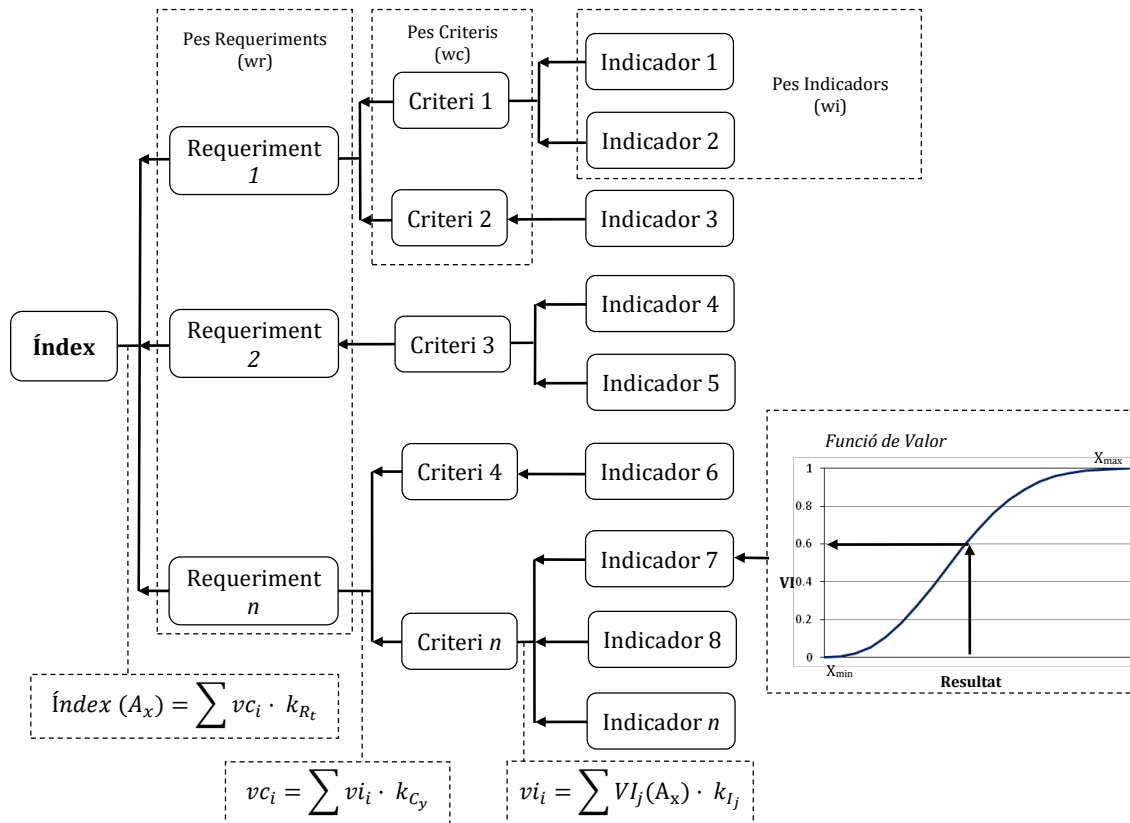


Figura 2.19. Diagrama de l'arbre de requeriments genèric del model MIVES (Pardo-Bosch i Aguado, 2015)

$$IV_i = B_i * \left[1 - e^{-K_i * \left(\frac{|X - X_{\min i}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right] \quad (\text{Eq. 2.1})$$

on:

$X_{\min i}$ és l'abscissa mínima de l'interval en què es mou l'actuació per l'indicador avaluat.

X és la quantificació de l'indicador avaluat (diferent o no, per cada actuació)

P_i és el factor de forma que defineix si la corba és còncava, convexa, lineal o en forma de "S". S'obté una corba còncava per a valors de $P_i < 1$, convexa o en forma de "S" per valors $P_i > 1$ i lineals per a valors $P_i = 1$. Addicionalment, determina de forma aproximada el pendent de la corba al punt d'inflexió.

C_i aproxima l'abscissa al punt

K_i aproxima l'ordenada al punt

B_i és el factor que permet que la funció de valor es mantingui entre el rang de valors 0 i 1. Aquest factor B_i ve determinat per l'Eq. 2.2.

$$B_i = \left[1 - e^{-K_i \left(\frac{|X_{max_i} - X_{min_i}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]^{-1} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Per poder fer l'avaluació d'aquests indicadors, s'utilitza un gran volum de dades de les quals disposa l'empresa. Cal doncs, definir uns processos de transformació que permetin transformar les dades a coneixement. Aquesta informació molts cops associada a elements de xarxa molt diversos, ha de ser transformada per poder-la associar a aquells elements que permeten una anàlisi posterior de la informació i definició correcta de l'indicador.

Els agents encarregats de la presa de decisions, en el nostre cas els diversos grups de relació, són els encarregats d'assignar les ponderacions, que utilitzant el Procés Analític de Jerarquia (AHP) es reflecteix la importància relativa de cada requeriment, criteri i indicador. L'AHP, desenvolupat per Saaty (1980), és un model additiu lineal que transforma avaluacions subjectives d'importància relativa en un conjunt de puntuacions o ponderacions globals que es basen respectivament en la comparativa per parells entre els criteris i entre les opcions. Així doncs, per avaluar els pesos i per tant la matriu de comparació, a cada agent involucrat en la presa de decisions se li fan una sèrie de preguntes, per tal de veure la importància d'un criteri en particular amb relació a un altre.

Elaborada la matriu de comparació, caldrà comprovar la consistència d'aquest. Sovint, poden donar-se algunes inconsistències durant el procés de comparació de cada alternativa. L'AHP disposa d'una tècnica efectiva per a la verificació de la consistència de les avaluacions fetes pel decisor al construir cada una de les matrius de comparació per parelles involucrades en el procés. Saaty va introduir la Proporció de consistència (CR – Consistency Ratio) per a les matrius de consistència per parells. Si el CR > 10%, es recomana que el decisor revisi les preferències obtingudes. El CR es pot calcular utilitzant l'Índex de Consistència (CI – Consistency Index) i l'Índex Aleatori (RI – Random Index), d'acord amb l'Eq. 2.3.

$$CR = \frac{\text{Consistency Index}}{\text{Random Index}} = \frac{CI}{RI} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Saaty va proposar calcular l'índex de consistència (CI) mitjançant el valor propi més gran (λ_{max}) i la dimensió de la matriu de comparació per parells mitjançant l'Eq. 2.4.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

A la Taula 2.11 es presenten els valors de l'Índex Aleatori o Random Index (RI) per problemes petits ($n \leq 10$).

Taula 2.11. Índex Aleatori (RI – Random Index)

Dimensions matriu n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

El càlcul dels pesos de les diverses variables, es pot dur a terme mitjançant diversos mètodes per a l'estimació del conjunt de les ponderacions que són més consistents amb les relativitats expressades a la matriu de comparació per parells. El mètode bàsic de Saaty per la identificació del valor dels pesos depèn d'idees avançades de l'àlgebra matricial, calcula els pesos com l'element del vector propi associat amb el valor propi màxim de la matriu.

El mètode MIVES, concretament per al desenvolupament del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució, a més de resumir en un sol indicador la contribució al Desenvolupament Sostenible de cada tram que permet realitzar l'ordenació de tots els trams d'inventari, ha suposat els següents avantatges respecte d'altres mètodes analitzats:

- El procés de disseny de l'arbre de decisió requereix la identificació dels impactes relatius a la renovació de la xarxa. L'arbre de decisió al nivell de requeriments encaixa perfectament amb els tres vectors del Desenvolupament Sostenible, econòmic, social i ambiental. A nivell d'impactes s'han definit els indicadors amb independència de si es disposa de la informació o no, i és després que es fa l'esforç per poder obtenir la informació, tant informació interna com de tercers.
- La reflexió prèvia dels impactes, ha permès posar en valor el servei d'aigua davant els grups de relació de l'empresa i separar la interpretació que fan sobre el que aquests consideren que és “*un servei de subministrament d'aigua sostenible*”, sempre subjectiva, de la lògica de càlcul dels indicadors associats, basada sempre en mètodes numèrics.
- El mètode MIVES permet conciliar les opinions dels diferents decisors en cada nivell de la decisió, utilitzant en algun cas la matemàtica jeràrquica (AHP) per tal de facilitar l'entesa entre els diferents decisors quan aquest pertanyen a un mateix grup de relació.
- L'ús de les funcions de valor (Alarcón *et al.*, 2011) del mètode MIVES permet homogeneïtzar els indicadors calculats, malgrat la seva diversitat de fons d'escala i el fet que hi hagi indicadors que són dimensionals (m³, kWh,...) i d'altres adimensionals (com per exemple, índex de valoració que són resultat de la composició raonada de magnituds dimensionals).
- La metodologia utilitzada té avantatges en termes d'objectivitat, doncs els tècnics responsables proporcionen dades base i criteris vàlids i són aquestes dades i criteris els que s'utilitzen per calcular els indicadors, sense donar capacitat als tècnics per influir en el resultat final.

2.7. CONCLUSIONS

Tot i el gran nombre d'eines d'ajuda a la decisió disponibles, no hi ha una metodologia estesa al llarg del territori, sinó que cada entitat gestora utilitza aquella eina que s'ajusta més a les seves necessitats. S'observa un ús de les eines a les zones properes on s'han desenvolupat, posant en relleu que cada zona adapta les eines a les seves necessitats o dades de base. Sovint el format, la quantitat i la qualitat d'aquestes dades base és una de les dificultats que han de superar les empreses per poder utilitzar aquestes eines. Per altra banda, les eines disponibles són caixes negres de les quals els tècnics només coneixen les dades d'entrada i les de sortida.

Després de realitzar la revisió de l'estat de l'art actual, es pot concloure que hi ha al mercat eines per a la prioritització de la renovació de la xarxa un dels actius més importants dels sistemes d'abastament, però no existeixen eines per al repartiment del volum total de la inversió.

Degut a la manca d'una eina prou versàtil que permeti la participació dels grups de relació i la prioritització de totes les tipologies d'inversions així com del repartiment del volum total d'inversió neix la necessitat de desenvolupar una metodologia per a la prioritització de les inversions que permeti realitzar un repartiment objectiu, transparent i participatiu, objectiu principal d'aquesta Tesi Doctoral (apartat 1.3.1).

CAPÍTOL 3

MODEL DE RENOVACIÓ DE LA XARXA DE DISTRIBUCIÓ AMB CRITERIS DS

3.1. INTRODUCCIÓ

Gran part de les inversions en infraestructures hidràuliques del país es van realitzar durant el passat s.XX, actualment aquestes infraestructures es troben en diferents punts de la seva vida útil i és necessari anar renovant-les per evitar que arribin a un estat de mal funcionament. Tot això suposa un gran repte pels gestors de les infraestructures, ja que durant els pròxims anys serà necessari seguir donant un servei eficient, ininterromput, rendible i de qualitat, amb unes infraestructures probablement més envellides i unes condicions econòmiques complexes que fan necessària una justificació extensa de les propostes de renovació davant les administracions.

Per aquest motiu és necessari disposar de models que ajudin a prioritzar la renovació d'aquells actius que compleixen uns criteris predefinitos, donat un pressupost limitat i obtenint al mateix temps indicadors que justifiquin i donin suport a la decisió.

Al Capítol 2, s'ha presentat un estudi sobre les diferents metodologies de gestió d'actius més utilitzades en la renovació de la xarxa d'abastament i quins són els criteris que més s'utilitzen a l'hora de prioritzar la renovació d'actius.

L'objectiu principal d'aquest capítol és presentar el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució, el qual mitjançant una metodologia d'anàlisi multicriteri prioritza la

renovació tenint en compte els interessos dels grups de relació (o *stakeholders*) i té com a eix central de la decisió el Desenvolupament Sostenible.

Com a resultat del model s'obté una llista de tots els trams de l'inventari de la xarxa de distribució ordenats amb un valor únic de contribució al desenvolupament sostenible en cas de renovació. Aquest índex és el que s'utilitza, conjuntament amb l'experiència i el coneixement del territori, per prioritzar la renovació d'aquelles canonades que cal renovar.

Més concretament, el plantejament que es proposa és desenvolupar un arbre de decisió basat en la metodologia MIVES – *Modelo Integrado de Valor para una Evaluación Sostenible* – (San Jose i Cuadrado 2010; Alarcón *et al.*, 2011; Aguado *et al.*, 2012; Pons *et al.*, 2012). Aquesta metodologia de suport a la presa de decisions facilita la decisió ja que el problema s'estructura mitjançant un arbre de decisió del més general al més particular (requeriments, criteris i indicadors), definint els indicadors i les importàncies relatives abans d'analitzar les alternatives fent que el mètode sigui objectiu i transparent.

Per poder donar resposta a l'objectiu presentat, el capítol es divideix en els següents apartats:

- Àmbit de l'estudi (apartat 3.2), on es presenten les característiques de la xarxa de distribució.
- Precedents del model de renovació (apartat 3.3), en primer lloc, es contextualitza quina era la metodologia utilitzada fins al moment per prioritzar quines canonades de la xarxa de distribució havien de ser renovades.
- El Repte de renovar la xarxa de distribució (apartat 3.3).
- Posteriorment, s'introdueix la nova metodologia del model de renovació de la xarxa de distribució (apartats 3.5).
- Es presenta el Visor Geogràfic del nou model de renovació i els objectius pels quals s'ha desenvolupat (apartat 3.6).

3.2. ÀMBIT D'ESTUDI: LA XARXA DE DISTRIBUCIÓ

L'àmbit d'abastament d'Aigües de Barcelona és ampli, a finals del 2018 donava servei a 23 municipis i un total de 2.873.932 habitants. Organitzativament l'àmbit es divideix en cinc Direccions de Zona que s'encarreguen de gestionar tant les actuacions a la xarxa com les relacions i les gestions amb els ajuntaments corresponents. A la Figura 3.1 es pot observar quins municipis es troben dins de cada direcció de zona. Cal destacar el cas de Barcelona ja que degut a la seva magnitud, tant en superfície com en kilòmetres de xarxa, està dividida en dues direccions de zona.

Com es mostra a la Figura 3.1, els municipis i en el cas de Barcelona els districtes estan agrupats per proximitat, d'esquerra a dreta trobem les següents direccions de zona:

- **Llobregat Sud** format pels municipis de: Begues, Castelldefels, El Papiol, Gavà, Pallejà, Sant Boi de Llobregat, Sant Climent de Llobregat, Santa Coloma de Cervelló, Torrelles de Llobregat, Viladecans
- **Llobregat Nord** format pels municipis de: Cornellà de Llobregat, Esplugues de Llobregat, l'Hospitalet de Llobregat, Sant Feliu de Llobregat, Sant Joan Despí i Sant Just Desvern
- **Barcelona Sud** format pels districtes de: Les Corts, Sants Montjuïc, Sarrià – Sant Gervasi, l'Eixample i Ciutat Vella
- **Barcelona Nord** format pels districtes de: Gràcia, Sant Martí, Sant Andreu, Nou Barris i Horta – Guinardó
- **Besòs** format pels municipis de: Badalona, Cerdanyola del Vallès, Montcada i Reixac, Montgat, Sant Adrià de Besòs i Santa Coloma de Gramenet

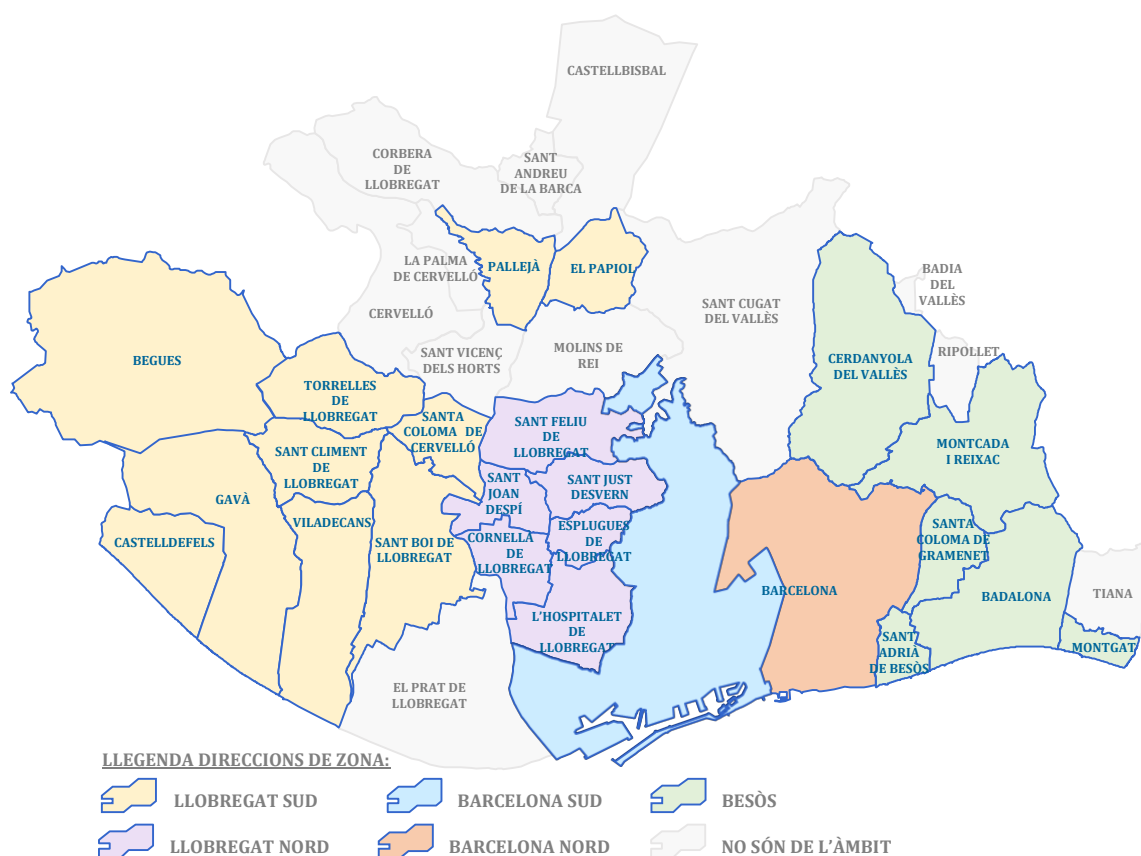


Figura 3.1. Distribució dels municipis de l'àmbit en Direccions de Zona

Tot i que territorialment algunes direccions de zona sembla que hagin de ser més extenses que la resta, a la Taula 3.1 es mostra que totes les direccions de zona gestionen al voltant d'uns 800 km de xarxa de distribució, excepte Llobregat Nord que la seva longitud de xarxa no arriba a 700 km.

Taula 3.1. Xarxa, població i superfície de cada Direcció de Zona

Direcció de Zona	Xarxa [km]	Població [hab]	Superfície [km ²]
Barcelona Nord (GD1)	878,9	781.025	60,9
Barcelona Sud (GD2)	912,0	839.784	41,3
Llobregat Nord (GD3)	644,0	481.124	49,2
Llobregat Sud (GD4)	901,5	299.750	182,0
Besòs (GD5)	797,2	472.249	88,9

Pel que fa a població subministrada, a la Taula 3.1 s'observa que la població es concentra sobretot al municipi de Barcelona. En canvi, la direcció de Llobregat Sud gestiona la xarxa distribuïda per una superfície territorial més gran tot i que la població servida és la menor de totes les direccions.

La xarxa està integrada dins una orografia irregular i distribueix aigua des del nivell del mar fins a la cota 541 metres sobre el nivell del mar (msnm). Per tal de garantir unes condicions homogènies de pressió, el sistema d'abastament s'estructura en xarxes principals, regulades per dipòsits o vàlvules que fixen el nivell piezomètric de l'aigua.

En conjunt, el sistema d'abastament està dividit en 143 subsistemes, anomenats també **pisos de pressió** (veure Figura 3.2) que ajuden a garantir que tots els edificis de l'àmbit tenen pressió directa fins a un setè pis, tal com recull l'article 16 del Reglament General del Servei Metropolità d'Abastament Domiciliari d'aigua en l'Àmbit Metropolità (2010). Aquesta condició de pressió directa no és comú a altres municipis, com per exemple Madrid, on són les comunitats de veïns les encarregades de sufragar el bombament en altura des del peu de la finca fins als seus domicilis.

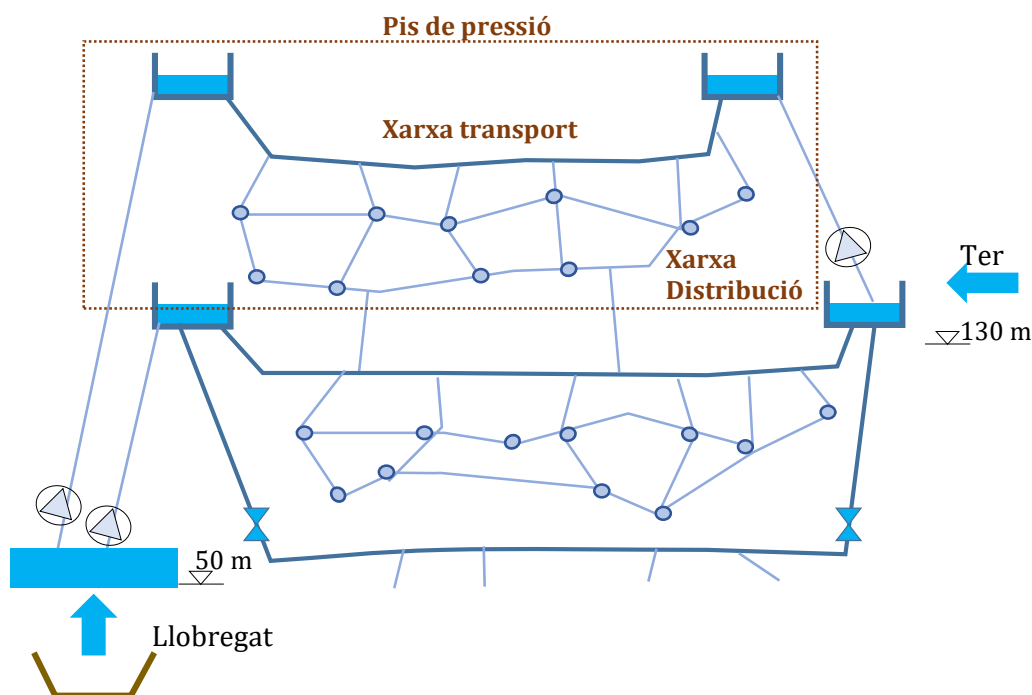


Figura 3.2. Esquema de funcionament de la xarxa d'abastament

En total la xarxa d'abastament està composta per 4.678 kilòmetres de canonades de diàmetres diversos. Funcionalment la xarxa es divideix en xarxa de transport i xarxa de distribució (veure Figura 3.2), entenent per *xarxa de transport* aquella que permet enllaçar uns municipis amb els altres i està formada per canonades de més gran diàmetre anomenades artèries; la *xarxa de distribució* connecta la xarxa principal amb la instal·lació privada de cada client, en aquest cas les canonades són de diàmetres menors.

La xarxa de distribució, que és la que ens ocupa en aquest capítol, és una estructura mallada amb una longitud, el gener del 2019, de 4.134 kilòmetres de canonades inventariats en 120.761 *trams*. La seva supervisió enfocada a la gestió activa de recerca de fuites, es realitza mitjançant unitats que s'anomenen *sectors*, a través del control continu de pressions i cabals en determinats punts de la malla. En total actualment hi ha 301 sectors, tot i que aquest valor és variable, igual que la resta de paràmetres de la xarxa ja que segons les circumstàncies d'exploació i de manteniment que calgui atendre en cada moment van canviant.

La xarxa de distribució està formada majoritàriament per trams de diàmetres compresos entre 100 i 300 mm, aquests representen el 89,7% de la longitud total de la xarxa, tal com es mostra a la Figura 3.3.a. Tot i que representen un percentatge menor, existeixen trams de diàmetres menors i majors, que han estat necessaris per resoldre l'elevada complexitat de la xarxa. Els principals materials que formen aquesta xarxa, com es pot observar a la Figura 3.3.a són: fosa dúctil, polietilè d'alta densitat (PEA), fibrociment (FC), fosa grisa (FG) i polietilè de baixa densitat (PEB), aquests materials representen el 97,5% del total de la longitud de xarxa.

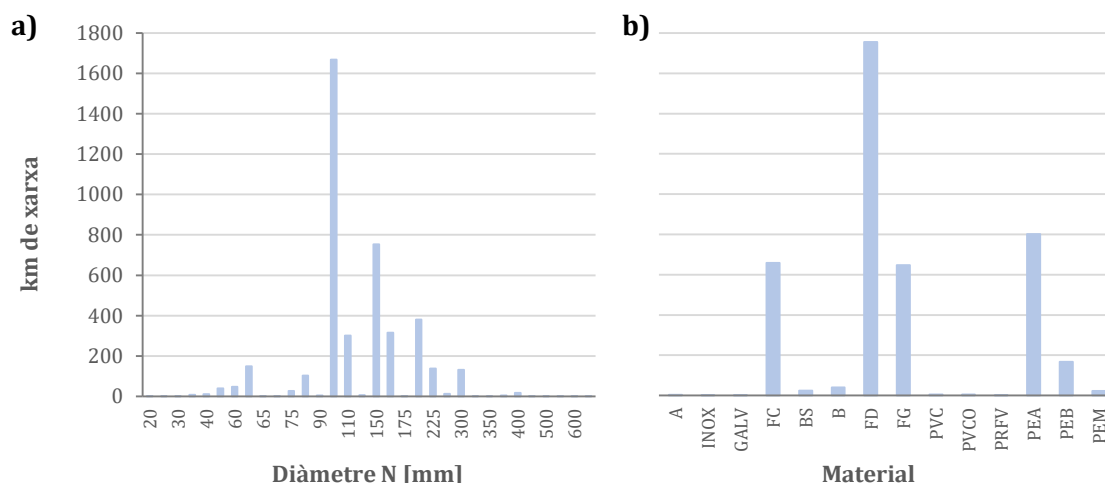


Figura 3.3. Longitud de la xarxa de distribució per: a) diàmetres i b) materials

La major part de la xarxa va ser instal·lada a partir dels anys 1950, aquesta representa un 91,6% de la longitud total que resta instal·lada a gener de 2019. Els kilòmetres de xarxa que queden instal·lats segons la data d'instal·lació es presenten a la Figura 3.4.

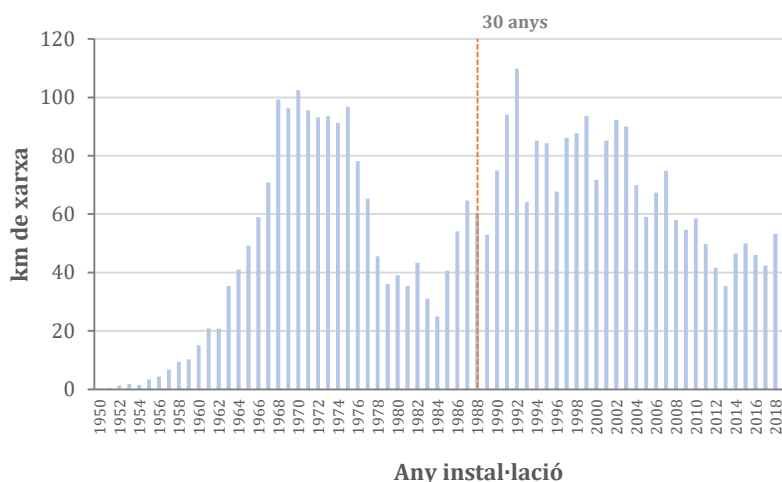


Figura 3.4. Longitud de la xarxa de distribució a gener 2019 segons l'any d'instal·lació

De la Figura 3.4 s'observa que la xarxa de distribució té una antiguitat mitjana d'aproximadament 30 anys, aquesta antiguitat s'obté fent una mitja de les edats d'instal·lació sense tenir en compte el 8,0% de la xarxa que té informada la data d'instal·lació com 01.01.1901. Aquesta data d'instal·lació genèrica (01.01.1901) s'utilitzava quan es desconeixia la data d'instal·lació perquè la xarxa havia estat comparada a una altra empresa o no s'havia registrat adequadament als sistemes d'informació.

La Figura 3.5 mostra l'estimació de la longitud de la xarxa de distribució instal·lada cada any. Aquests valors presentats han estat obtinguts tenint en compte que només s'han pogut consultar els inventaris històrics des del 2002. Per poder determinar amb certesa aquests valors, caldria tenir els inventaris a gener de cada any des del 1950. Com que els sistemes d'informació que permeten tenir aquesta informació de forma digital van arribar més tard, no ha estat possible obtenir els inventaris d'abans del 2002. Tot i no ser una estimació exacta, s'ha considerat prou acurada i ha permès comprovar l'impacte de fets que han condicionat l'evolució de la xarxa.

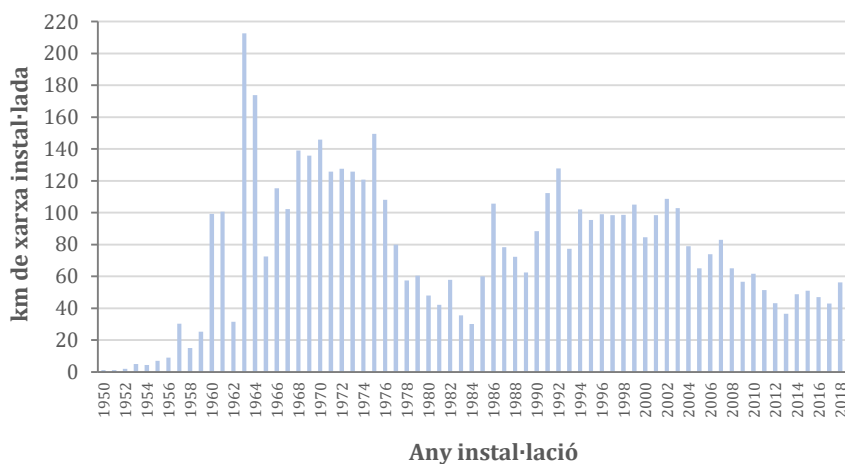


Figura 3.5. Longitud de la xarxa de distribució instal·lada segons l'any d'instal·lació

El creixement accentuat que s'observa a la Figura 3.5 a partir dels anys 60 cal atribuir-lo a l'entrada en funcionament de l'ETAP de Sant Joan Despí. Tot i entrar en funcionament l'any 1955, no va ser fins més tard, el 1957 i 1960, que la Societat General d'Aigües de Barcelona va aconseguir noves concessions de cabals per captar del riu Llobregat fins a arribar als actuals 5,3 m³. A fi de poder tractar aquest cabal de 5,3 m³ es va ampliar la capacitat de tractament construint una nova central, el 1962. La necessitat d'ampliar la xarxa per poder arribar a totes les demandes explica el fort creixement dels anys 60.

Posteriorment, s'observa un decreixement sobtat de la inversió a partir de l'any 1976, aquest decreixement podria ser degut a la crisi energètica del 1973. Aquesta crisi va tenir el moment més crític el 1977 i va perdurar en el temps fins a principis dels anys 80, a partir de la inversió mínima del 1984 s'observa un nou creixement possible símptoma de recuperació.

Entre meitats dels anys 80 fins a meitat dels 90 s'observen creixements anuals sobtats, degut a l'adquisició de noves concessions de municipis que ara formen part de l'àmbit. El creixement produït per la celebració dels Jocs Olímpics '92 de Barcelona i la posterior crisi de la construcció el 1993 poden explicar el comportament en la instal·lació de xarxa d'aquells dos anys. Finalment, també va tenir impacte sobre els kilòmetres de xarxa instal·lats la darrera crisi financer global dels últims anys (2008-2013). Actualment, la instal·lació de xarxa segueix una tendència força estable al voltant dels 50 km anuals.

Tota aquesta xarxa instal·lada que actualment presenta edats diverses, en algun moment pot tenir un mal funcionament que es tradueixen principalment en trencades de la canonada o fuites a les juntes i/o accessoris. Addicionalment, a aquestes avaries també es poden produir obstruccions de les canonades que incidiran principalment en la pressió del servei i tot i que són mal funcionaments no es classifiquen com avaries.

Les avaries de les canonades provoquen interrupcions del subministrament que poden ser durant l'avaria o derivades de la reparació de la mateixa afectant la qualitat i la percepció del servei. Aquestes es classifiquen segons el seu origen en **avaries naturals** o **avaries provocades**.

- Les *avaries naturals* estan estretament lligades a un deteriorament del material, ja sigui per envelliment o per l'efecte d'altres agents externs que provoquen una reducció de les propietats i per tant, una disminució de la resistència que s'acaba convertint amb una avaria.
- Les *avaries provocades*, en canvi, són causades per tercers que actuen amb maquinària pesant a l'àmbit de les instal·lacions, en aquest cas, tot i que l'estat del material influirà no n'és el causant principal.

La Figura 3.6 mostra l'evolució de les avaries naturals a la xarxa de distribució des del 2008 fins al 2018.

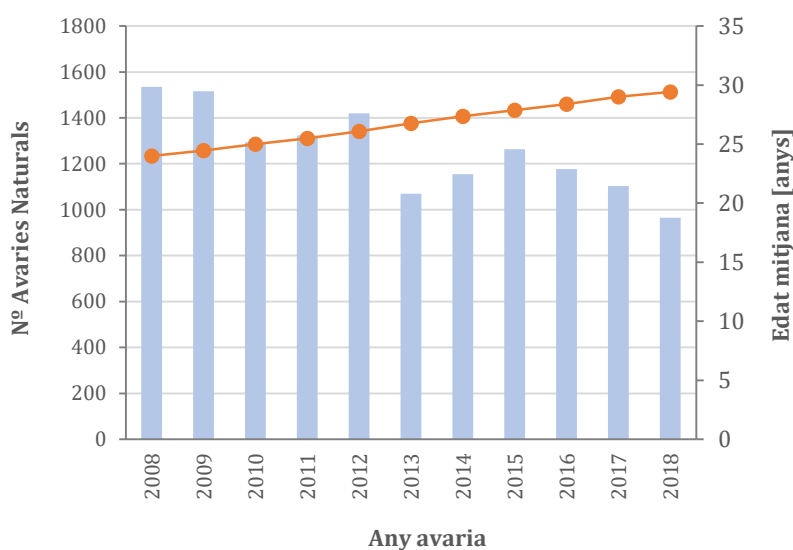


Figura 3.6. Distribució del Nº d'avaries naturals per any i l'evolució de l'edat mitjana

La distribució del nombre d'avaries naturals per anys mostra que la tendència dels últims anys ha estat generalment decreixent, s'observa algun repunt puntual en algun any però cal destacar que amb 10 anys de dades s'ha reduït el nombre d'avaries amb més de cinc-cents. Aquest fet és meritori ja que degut a la falta de volum d'inversió s'observa un creixement de l'edat mitjana de la xarxa de distribució d'aproximadament 5 anys.

Cal destacar que les avaries no només depenen de l'edat que tenen les canonades, sinó que afegit al fet que els materials envelleixen de forma diferent, el potencial d'avaria està estretament lligat a d'altres factors com són: la pressió i la temperatura i els seus transitoris, el nombre de connexions que té la canonada, per altra banda, també afecten les condicions relatives a l'entorn com són la intensitat de mobilitat de trànsit, compactació del terreny, gradients de pressió i temperatura entre d'altres.

Per tant, el Model de Renovació és més encertat a mesura que s'identifiquin aquells trams amb major potencial d'avaria, en la mesura que la seva renovació anticipada es traduiria en una reducció del nombre d'avaries. Però com s'explicarà més endavant, quan l'objectiu és contribuir al desenvolupament sostenible, i per tant aconseguir una major qualitat del servei en termes socials i mediambientals sense afectar la continuïtat de negoci, el Model de Renovació desenvolupat persegueix la renovació anticipada d'aquells trams que tindrien un major impacte social, ambiental i financer en cas d'avaria.

Perseguir la qualitat de servei no té per què seguir reduint el nombre d'avaries, sinó contribuir a reduir el risc social, ambiental i financer lligat al potencial d'avarar-se que té la xarxa. En aquesta línia, des del 2017 (PI 2018) s'escullen els trams a renovar amb el Model de Renovació amb criteris DS (presentat a l'apartat 3.5).

3.3. PRECEDENT DEL NOU MODEL DE RENOVACIÓ

Aigües de Barcelona des de finals dels anys noranta disposa d'un Sistema d'Informació Geogràfica de la xarxa d'abastament, on a banda d'incloure la informació associada a les canonades també s'inclouïa la informació de les escomeses. A principis dels anys 2000 aquesta informació geogràfica es va integrar als sistemes de gestió de l'empresa, concretament al software de gestió de recursos empresarials SAP de l'anglès "*Systems, Applications, Products in Data Processing*", això va permetre consolidar el procés de gestió d'actius de totes les instal·lacions, mitjançant la generació d'informació tècnica i econòmica rellevant per l'anàlisi de l'estat de les infraestructures. Addicionalment, també es va consolidar la connexió dels sistemes geogràfics amb els sistemes d'informació comercial de clients.

No va ser fins al 2006 quan l'històric de dades estructurades va ser suficient per poder desenvolupar un primer model de renovació de la xarxa de distribució que utilitzava aquesta informació, econòmica i tècnica, i calculava per cadascun dels trams de la xarxa de distribució un indicador econòmic-tècnic de **Cost d'Oportunitat del Manteniment**, en endavant COM, que estava influenciat pel potencial d'avaría resultat d'un estudi estadístic específic. En aquest apartat només es descriu la filosofia de l'indicador econòmic i la lògica de càlcul de l'indicador es detalla a l'apartat 4.4 del Capítol 4.

El COM valorava per cadascun dels trams de la xarxa de distribució la comparació entre renovar o mantenir un tram en cas d'avaría.

- Renovar una canonada representa una inversió del cost de reemplaçament d'aquesta i qualsevol cost futur associat a la nova canonada.
- Mantenir una canonada existent, en aquest cas s'evita realitzar la inversió de reemplaçament, però per contra cal assumir els costos creixents associats al manteniment: reparacions reiterades, problemes de servei, danys a tercers i pèrdues d'aigua entre d'altres.

La dada principal per realitzar el càlcul del COM és l'estimació del nombre d'avaries que tindria el tram durant els següents cinquanta anys. Per realitzar aquesta estimació del nombre d'avaries s'utilitza un model estadístic anteriorment que té en compte la informació històrica disponible als sistemes d'informació i és una correlació entre el nombre d'avaries naturals per any cada 100 kilòmetres i l'edat de la canonada. Aquest nombre d'avaries naturals per any cada 100 kilòmetres és anomenat Índex d'Avaries Z, calculat segons l'Eq. 3.1, i s'utilitza en lloc del nombre d'avaries absolut per poder relativitzar el nombre d'avaries segons els kilòmetres de xarxa instal·lada, ja que de no ser així, els grups de canonades amb més kilòmetres a la xarxa presentarien un nombre d'avaries més alt, però sense que aquest fet significués obligatòriament un pitjor comportament.

$$Z = \frac{N^{\circ} \text{ avaries Naturals}}{\text{Longitud [km]}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3.1})$$

El model utilitzat per predir el nombre d'avaries pels anys següents es va desenvolupar (Jordan, 2006) tenint en compte els següents paràmetres: material de la canonada, edat de la canonada, longitud de la canonada, diàmetre de la canonada i tipus d'aigua. Per realitzar l'anàlisi es varen sumar el nombre d'avaries i la longitud en metres de les agrupacions que es presenten a continuació:

- Els materials de les canonades es varen agrupar amb 5 tipus: fibrociment, fosa grisa, fosa dúctil, polietilè d'alta densitat i polietilè de baixa densitat; corresponents als materials amb més longitud de xarxa i per tant amb més dades. Actualment, aquests materials continuen sent els més representatius de la xarxa tal com s'observa a la Figura 3.4.b.
- Els diàmetres de les canonades es varen agrupar de la següent manera: inferiors a 100 mm, entre 100 i 125 mm, entre 150 i 175 mm, entre 200 i 250 mm i majors o iguals a 300 mm.
- El tipus d'aigua, depenia de l'origen de l'aigua que podia ser origen Llobregat i origen Ter.

El model estadístic escollit per realitzar aquesta lògica estadística va ser el *Model Log-Linear de Poisson*. Aquest mètode de Poisson utilitzat per Goulter and Coals (1986) i per Su *et al.*, (1987) per predir la probabilitat de fallada per cada canonada individual és utilitzat per predir quants successos poden haver-hi cada any i identificar quins són els grups de població més vulnerables a patir aquests successos. El software estadístic escollit per realitzar l'anàlisi *log-linear de Poisson* va ser el R ja que permetia programar les anàlisis i realitzar-les d'una manera senzilla i pràctica. Després d'analitzar les dades varen concloure que els diàmetres majoritaris compresos entre 100 i 250 mm no tenien diferències entre comportament i per tant s'unirien en un únic tipus. També es va observar que el tipus d'aigua no tenia influència i per tant, es va eliminar de l'anàlisi. La Figura 3.7, presenta les corbes de l'índex d'avaries Z obtingudes de l'estudi realitzat el 2006 per cadascun dels 5 tipus de materials.

Amb els resultats obtinguts es fa una analogia amb els altres materials que formen part de l'inventari però que no varen estar tractats:

- La corba del fibrociment (FC) s'utilitzarà també per les canonades de formigó tant per les que són amb junta soldada (BS) com les de junta retacada (B).
- La corba de la fosa grisa (FG) s'utilitza per canonades de ferro galvanitzat (GALV) i acer (A) ja que es consideren canonades de materials metàl·liques de menys qualitat.
- La corba de fosa dúctil (FD) s'utilitza per canonades d'acer inoxidable (INOX) ja que es considera una canonada metàl·lica de bona qualitat.

- La corba del polietilè d'alta densitat (PEA) s'utilitza també per canonades plàstiques considerades de bona qualitat, aquestes canonades són dels següents materials: polietilè de mitja densitat (PEM), polivinil orientat (PVCO) i polièster reforçat amb fibra de vidre (PRFV).
- La corba del polietilè de baixa densitat (PEB) s'utilitza per canonades plàstiques considerades de menys qualitat, com és el polivinil (PVC).

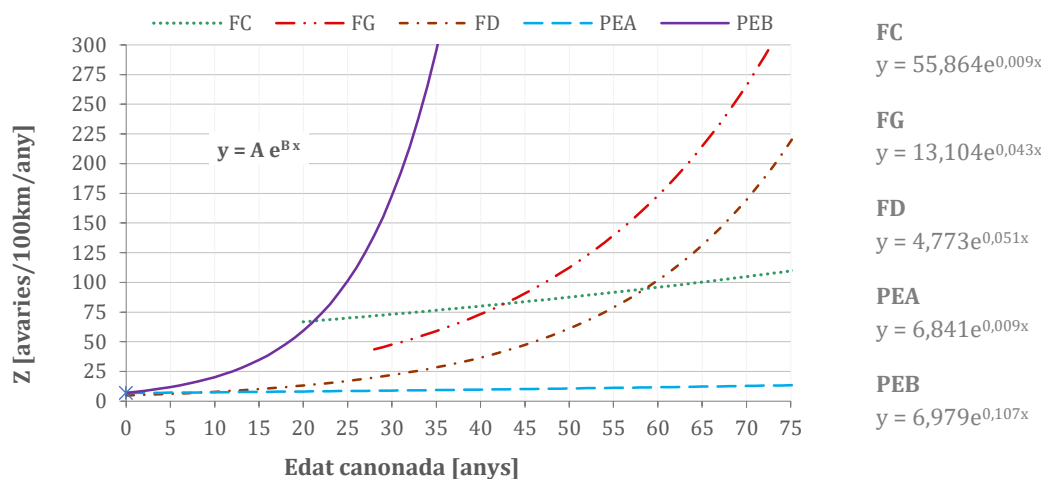


Figura 3.7. Corbes de predicció de l'Índex d'avaries Z del 2006

Cal destacar que a diferència de la resta de materials presentats a la Figura 3.7, el FC i el FG la seva regressió no comença a l'edat 0 anys. Això és degut a fet que des de l'any 1974 pel cas de la FG i des del 1980 pel cas de la FC ja no s'instal·len aquests materials a la xarxa. La base de dades que s'ha anat creant any rere any amb les característiques d'antiguitat de la xarxa del moment fan que no hi hagi dades en aquesta part temporal per aquests dos materials en concret.

Amb aquest primer model, es va començar a tenir un criteri de prioritització de la renovació de la xarxa de distribució que s'aplicava en funció del volum d'inversió destinat a la xarxa de distribució del total de la inversió previst als plans anuals de l'empresa. Aquesta informació de partida s'actualitzava anualment i es feia un seguiment de l'efectivitat de les renovacions observant el nombre d'avaries anuals per cada 100 kilòmetres de xarxa.

Posteriorment, el 2014 es va implementar un model que afegia altres criteris als utilitzats fins al moment, bàsicament econòmics. L'eina que es va utilitzar des del 2014 al 2016 s'anomena METRAWA i és un sistema d'ajuda a la presa de decisions de la renovació de la xarxa de distribució que analitza alguns dels aspectes rellevants per a la substitució de les canonades d'aigua potable.

Aprofitant l'existència del METRAWA al tractar-se d'un mètode molt flexible, es va mantenir com a principal factor, l'econòmic que s'havia utilitzat fins al moment i es va incorporar altres factors d'influència en la decisió.

Els factors que el METRAWA afegia al Cost d'Oportunitat del Manteniment són:

- Estructurals (edat, fuites, sectorització, ...)
- Hidràulics (pressió màxima i mínima, velocitat, ...)
- Optimització (edat òptima de renovació)
- Riscos (altres riscos detectats com poden ser aspectes tècnics o contractuals)

3.4. EL REPTA DE RENOVAR LA XARXA DE DISTRIBUCIÓ

La xarxa de distribució està composta principalment per canonades enterrades, fet que impedeix tenir una evidència directa de l'estat en què aquests es troben. Això contrasta amb el fet que amb els actius no enterrats és possible fer un seguiment de l'estat gràcies tant a la monitorització de paràmetres de l'operació com a l'execució de manteniments preventius planificats, evitant així anticipadament que es produeixin aquestes fallades de l'actiu. Per contra, la xarxa només pot ser objecte d'una actuació de manteniment correctiu en cas d'avaría o de la seva renovació anticipada per prevenir futures avaries.

Si afegim a aquesta manca d'evidències directes sobre l'estat de conservació de la xarxa el fet que a qualsevol abastament la xarxa pot arribar a representar el 80% del valor dels seus actius (Renaud *et al.*, 2012) es pot concloure que disposar d'un bon model de renovació de la xarxa és estratègic.

Les dimensions de la xarxa fan especialment difícil realitzar una priorització acurada, ja que l'històric disponible, la memòria dels experts i la informació d'avaries registrada als sistemes, només implica una part del conjunt dels paràmetres d'influència, essent doncs impossible anticipar amb certesa les avaries dels trams de la xarxa.

És per això que una priorització objectiva dels trams de l'inventari sempre ha estat al punt de mira de qualsevol servei d'abastament. En el cas d'Aigües de Barcelona, fins al 2016, com s'ha introduït anteriorment, la priorització de la renovació ha seguit criteris tecnicoeconòmics (descrits a l'apartat 3.4), que principalment han perseguit reduir la freqüència i el cost del conjunt d'avaries de la xarxa.

El 2016 Aigües de Barcelona va situar el desenvolupament sostenible com a eix d'estratègia empresarial. Calia doncs estudiar com els processos del servei d'abastament d'aigua podien comprometre o contribuir, directa o indirectament, el medi ambient o el teixit social que l'envolta i amb el que està estretament relacionat.

En aquesta línia, Aigües de Barcelona va iniciar un projecte de replantejament estratègic que afectava a tota l'empresa. Un dels fruits d'aquest replantejament va ser el projecte A2020: "priorització de les inversions en criteris de Desenvolupament Sostenible". Aquest projecte està encaminat a contribuir a assolir els dos compromisos següents (Memòria de Sostenibilitat 2017, Aigües de Barcelona):

- *Compromís 2. Incorporar plans i objectius per satisfer les expectatives dels grups de relació.*
- *Compromís 7. Avaluar l'impacte social, econòmic i ambiental en totes les decisions rellevants.*

Així neix la necessitat d'actualitzar els models precedents ja que no feien participar de la decisió els grups de relació d'AB i no incorporaven al procés de decisió criteris socials i ambientals.

Si ja resultava difícil realitzar aquesta prioritització amb la finalitat de reduir la freqüència d'averies, és encara més complicat incorporar aspectes socials i ambientals a la prioritització. Cal que aquestes contribucions siguin clarament explicables ja que l'objectiu final és que els grups de relació puguin entendre el procés i participar. Per resoldre aquest repte s'utilitza una metodologia multicriteri per al desenvolupament del model, que es descriu en detall al següent apartat 3.5.

3.5. EL MODEL DE RENOVACIÓ AMB CRITERIS DS

Com s'apunta a l'apartat 3.4, el nou Model de Renovació de la Xarxa de Distribució es desenvolupa responent a dos dels compromisos adoptats per l'empresa, el compromís 2 i 4, anteriorment citats.

Per poder complir amb aquests dos compromisos, és necessari fer una reflexió profunda sobre com es realitzen les inversions ja que aquestes són les encarregades de garantir un servei responsable i de qualitat. En aquesta línia, una de les partides anuals d'inversió més rellevants per l'empresa és la de renovació de la xarxa de distribució on es dedica aproximadament cada any un quart del volum total de la inversió.

Aconseguir un model alineat amb els dos compromisos anteriorment anunciats és un dels reptes del nou model de renovació de la xarxa de distribució. En aquest sentit, els mètodes d'anàlisi multicriteri (MCDM), concretament el mètode MIVES, juga un paper clau ja que per una banda és possible incorporar el desenvolupament sostenible com a eix principal de la decisió i per l'altra, permet copsar els interessos dels grups de relació.

El mètode MIVES té per objectiu poder valorar de forma conjunta tots els aspectes que intervenen al desenvolupament sostenible. Aquest mètode combina les decisions multicriteri (MCDM) i la teoria d'utilitat multiatribut (MAUT), finalment, mitjançant la funció de valor (Alarcón *et al.*, 2011) s'estandarditzen les diverses magnituds utilitzades. La generació del model utilitzant aquesta metodologia consta de diverses fases presentades a la Figura 3.8.

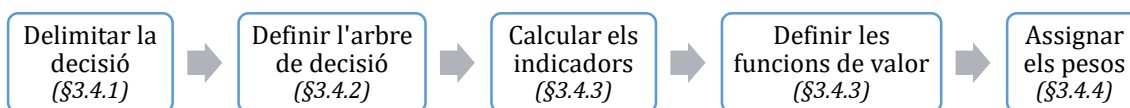


Figura 3.8. Diagrama de les fases necessàries per la generació del model

3.5.1 Delimitar la decisió

En aquest primer pas cal realitzar una reflexió i decidir sobre diversos aspectes del model. Cal establir qui pren la decisió, quins són els límits del sistema i quines són les condicions de contorn. És en aquest moment quan es realitza una reflexió més completa de tot el sistema.

La sostenibilitat és l'eix central de la presa de decisions, per tant, l'arbre de decisió s'utilitza per avaluar la contribució social, econòmica i ambiental de renovar cadascun dels trams de l'inventari. Així, el primer nivell de decisió de l'arbre correspon als tres vectors del desenvolupament sostenible.

Els agents encarregats de prendre la decisió seran els grups de relació de l'empresa, aquests determinaran les importàncies relatives entre els diferents nivells de decisió. Els grups de relació de l'empresa cridats a prendre la decisió són els que apareixen a la Figura 3.9.

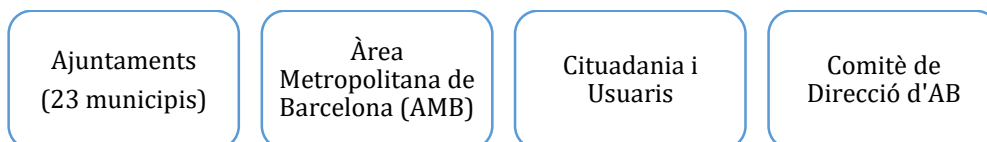


Figura 3.9. Grups de relació cridats a decidir

Per altra banda, el disseny de la lògica de càlcul dels indicadors correspon als tècnics de l'empresa doncs són aquests els que tenen el coneixement específic de cada àrea i saben quines són les dades disponibles i com tractar-les. Serà mitjançant la definició de les lògiques de transformació de les dades de base extretes dels sistemes d'informació, que s'obtenen els indicadors, aquesta transformació es realitza utilitzant un software de mineria de dades el KNIME, la utilització del qual es detalla a l'Annex A. A diferència dels pesos que es revisen anualment, aquestes lògiques han de ser estables al llarg del temps i només veient-se afectades si es detecta una possible millora pel que fa a la disponibilitat de noves o millor dades.

3.5.2 Definir l'arbre de decisió

Aquest punt serveix per organitzar i estructurar de forma ramificada tots aquells conceptes a avaluar. L'arbre de decisió s'estructura a tres nivells: requeriments, criteris i indicadors. La definició de l'arbre es realitza amb anterioritat a l'estudi de la informació

disponible ja que cal identificar tots els indicadors rellevants amb independència de la informació. És en el moment de la definició dels indicadors quan es posen en relleu les dificultats d'obtenir informació, on caldrà analitzar totes les dades disponibles, realitzar una anàlisi de consistència per detectar possibles errors i transformar aquesta informació a coneixement.

Tot i que la filosofia general del càlcul dels indicadors està descrita a l'apartat 3.5.3, degut a la complexitat del càlcul de cadascun dels indicadors s'ha dedicat el Capítol 4 a definir els indicadors en detall. Aquest capítol agrupa els indicadors a nivell de requeriment, dedicant un apartat a cadascun dels vectors del desenvolupament sostenible. Per cada indicador es descriu quin és el seu objectiu, perquè s'ha calculat, com s'ha calculat i la funció de valor associada.

Per poder identificar els indicadors que conformarien l'arbre de decisió cal preguntar-se: quines són les contribucions econòmiques, socials i ambientals que s'obtenen renovant una canonada?, o per contra, quins són els riscos econòmics, socials i ambientals que s'estan assumint quan es decideix no renovar una canonada? Responent a aquestes preguntes s'aconsegueix també fer una reflexió àmplia sobre què és el servei d'abastament posant en valor tot allò que l'empresa està realitzant per aconseguir arribar a l'excel·lència.

La Taula 3.2 mostra l'arbre de decisió utilitzat per avaluar aquests impactes. En la definició de l'arbre va ser necessari triar aquelles variables més significatives però que a la vegada eren discriminatòries.

Taula 3.2. Arbre de decisió

Requeriments	Criteris	Indicadors
Social	Afectació a les Persones	Afectació al Servei per Avaria Afectació a la Percepció Organolèptica
	Afectació a la Ciutat	Afectació a la Mobilitat per avaria Afectació Infraestructures Subterrànies per Avaria Coordinació de Plans
Ambiental	Estalvi Aigua	Estalvi d'Aigua en m ³ Estalvi d'Aigua en m ³ /ml
	Estalvi Energia	Estalvi d'Energia en kWh Estalvi d'Energia en kWh/ml
Econòmic	Cost d'Oportunitat del Manteniment	Cost d'Oportunitat del Manteniment

L'arbre de decisió queda estructurat en tres requeriments (corresponents als vectors del Desenvolupament Sostenible), cinc criteris i deu indicadors. La determinació de quins havien de ser els requeriments estava definida des de l'inici ja que l'eix central de la decisió havia de ser la sostenibilitat. En segon nivell, els criteris pretenen d'alguna manera incorporar la missió de l'empresa: persones, ciutat i aigua, sense deixar de banda l'energia, que després de l'aigua, és un dels recursos més utilitzats. Finalment, s'identifiquen els

indicadors associats a cada criteri, identificant quins impactes associats tenia cadascun dels criteris definits.

El **requeriment social** s'ha separat amb el criteri persones i ciutat, que a la vegada és divideixen en un total de cinc indicadors. Aquests indicadors que a continuació es descriuen avaluen els efectes sobre les persones i sobre la ciutat que tindria una possible avaria o un mal funcionament de cadascun dels trams de la xarxa.

El criteri persones fa referència als clients i usuaris del servei. Les afectacions que s'han detectat que poden sofrir són: per avaria o a la percepció organolèptica. Mentre l'*afectació per avaria* implica manques temporals del servei als clients, l'*afectació a la percepció organolèptica* fa referència a aquells canvis de color, olor o sabor de l'aigua que, tot i que no afecten la continuïtat del servei, impliquen disconformitats per part dels usuaris que es volen evitar.

Per altra banda, trobem el criteri ciutat, la xarxa està integrada al territori i, com a conseqüència, qualsevol avaria afecta altres infraestructures que l'envolten. Es distingeix entre: *afectació a la mobilitat*, indicador que fa referència a les afectacions als carrers adjacents al tram avariats; *afectació a les infraestructures subterrànies*, indicador que intenta reflectir l'existència d'infraestructures crítiques pròximes a les canonades avariades, com poden ser les estacions transformadores d'energia o alguna part del metro; i finalment, *la coordinació de plans*, indicador que contempla la possibilitat de realitzar les intervencions a un mateix carrer per part de les diferents empreses de serveis a la vegada, per evitar molèsties veïnals reiterades. Cal destacar, que l'indicador d'afectació a les infraestructures subterrànies i el de coordinació de plans no han pogut ser desenvolupats ja que en el primer cas no es disposa de les dades base i en el segon cas, el desfasament en la planificació no ho ha fet possible.

El **requeriment ambiental** s'estructura en dos criteris, aquests pretenen potenciar els estalvis d'aigua i els estalvis en energia, els dos recursos més utilitzats per l'empresa. Aquests criteris s'utilitzen per identificar aquells trams on l'estalvi d'aigua i/o energia és major. L'energia que es considera és la relativa a l'elevació d'aigua que es perd en una fuga, ja que com s'ha mencionat anteriorment l'orografia irregular de l'àmbit fa que siguin necessàries moltes elevacions i per tant, hi ha un gran consum d'energia per poder proporcionar el servei amb una pressió adequada.

El **requeriment econòmic** s'estructura amb un únic criteri i indicador. La filosofia del model de renovació utilitzat fins al moment, el COM, s'utilitzava per prioritzar la renovació de la xarxa era un criteri bàsicament econòmic, és a dir, la prioritització avaluava l'ús dels recursos econòmics en funció de si era millor mantenir o invertir en la renovació dels trams.

Altres indicadors monetaris, com l'anàlisi cost benefici (ACB), van ser estudiats tot i no encaixar en l'objectiu del model. Ja que utilitzant aquest tipus d'indicadors monetaris els impactes socials i ambientals s'internalitzen com a impactes econòmics. Com que l'arbre de

decisió separa aquests impactes a la branca social i ambiental aquests serien comptabilitzats doblement.

Finalment, el disseny de l'indicador econòmic, el COM, segueix la filosofia del model de renovació utilitzat fins al moment, introduïda a l'anterior l'apartat 3.3, s'ha reproduït una lògica similar millorant alguns aspectes com són l'estimació de costos del manteniment i la predicció d'avaries. Aquests es detallen a l'apartat 4.4 del Capítol 4.

3.5.3 Calcular els indicadors

Els indicadors de risc es basen en la lògica de càlcul àmpliament utilitzada del risc. Segons Fine (1971) el risc és el resultat del producte de les conseqüències (C) (anomenat també dany) que tindria aquesta situació per la freqüència (E) en què es presenta i per la probabilitat (P) que aquesta situació es produeixi Eq. 3.2.

$$R = C \cdot E \cdot P \quad (\text{Eq. 3.2})$$

on: R: és el risc
C: són les conseqüències o el dany associat a una situació
E: és la freqüència d'exposició a la situació
P: és la probabilitat que es produeixi aquesta situació

La finalitat dels indicadors és calcular el risc que tindria un mal funcionament de la xarxa sobre la societat, el medi ambient i l'economia. S'ha considerat que l'exposició és un paràmetre igual per tota la xarxa, és per aquest motiu que l'Eq. 3.2 ha quedat simplificada a l'Eq. 3.3, així el risc és el resultat del producte de l'estimació de les conseqüències o el dany que provocaria un mal funcionament per l'estimació de la probabilitat que aquest mal funcionament es produeixi. El que es pretén és donar importància a aquells trams que en cas de tenir un mal funcionament tenen un gran impacte. Sovint aquest mal funcionament resulta en una avaria. Per aquest motiu a l'Eq. 3.3 apareix com probabilitat d'avaría.

$$R = C \cdot PA \quad (\text{Eq. 3.3})$$

on: R: és el risc
C: són les conseqüències o el dany associat a cada mal funcionament
PA: és la probabilitat d'avaría

3.5.3.1 Probabilitat d'avaría (PA)

La probabilitat d'avaría és un paràmetre que no depèn de l'indicador que estem calculant sinó de les característiques intrínseques del tram, com són: l'antiguitat, el material i l'historial d'avaries que ha tingut en el passat el tram.

La probabilitat d'avaría utilitzada és funció de les corbes obtingudes amb l'índex d'avaría que estimen una freqüència d'avaries per a l'any vinent, explicat a l'apartat 3.3, i també de l'índex real d'avaries calculat amb l'històric. Els dos paràmetres indiquen freqüències estimades, no probabilitats.

Per predir l'Índex d'avaries estimat (IAE) per l'any següent de cada tram cal aplicar l'Eq. 3.4, substituint el valor t per l'edat i dividir per 100 perquè els coeficients obtinguts de l'Índex d'avaries són per cada 100 km, així s'obté l'índex d'avaries de cada tram. Els coeficients de les corbes exponencials que apareixen a l'Eq. 3.4, com s'explica a l'apartat 3.3, són pròpies de cada material. Els valors corresponents al 2017 es poden observar a la Figura 3.10, aquests valors s'obtenen mitjançant una anàlisi estadística que s'actualitza cada any amb les noves dades registrades d'avaries naturals que han tingut lloc.

$$IAE = \frac{A \cdot e^{B \cdot (t+1)}}{100} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

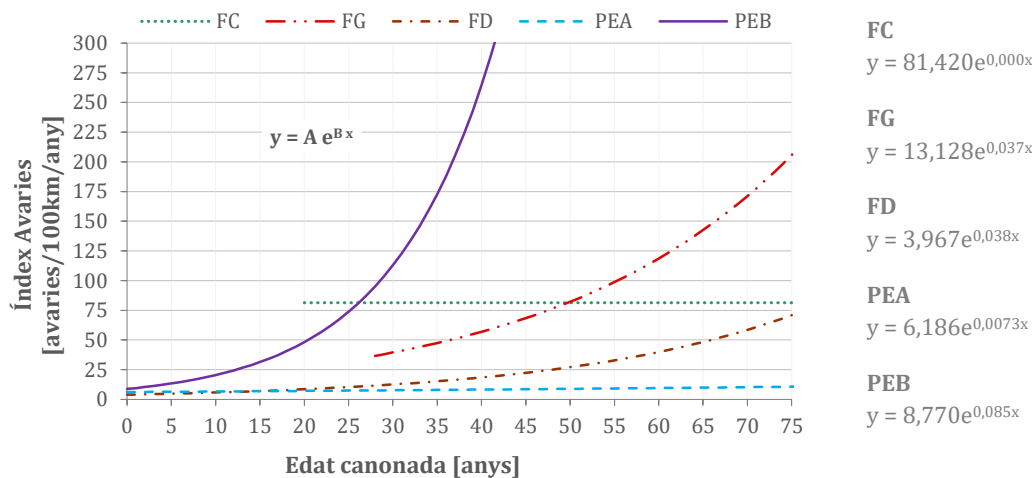


Figura 3.10. Corbes de predicció de l'Índex d'avaries Z del 2017

Per altra banda, amb l'històric d'avaries naturals registrades des del 2002 al SAP, es calcula un Índex d'avaries real (IAR), segons l'Eq. 3.5. Aquest càlcul es realitza per cada tram ja que a l'històric d'avaries s'anota quin ha estat el tram que s'ha avariats.

$$IAR = \frac{n^{\circ} \text{ d'avaries}}{(\text{any actual} - 2002) \cdot \text{Longitud}_{\text{retirada}}} \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Per cada tram ens quedarem amb el màxim entre l'índex d'avaries estimat i l'índex d'avaries real (Eq. 3.6). El motiu d'aquesta correcció és que si l'índex d'avaries estimat dona un valor menor a l'índex d'avaries real, ens està indicant que aquell tram per les seves característiques intrínseques hauria de tenir un comportament millor. La realitat indica però el contrari. Té un comportament pitjor i per tant, s'assumeix que té una probabilitat major de seguir donant problemes ja que en el millor dels casos el comportament serà similar al que ha tingut en el passat recent. En cap cas sembla que sense realitzar cap actuació aquest comportament hagi de millorar.

$$IA = \max(IAE; IAR) \quad (\text{Eq. 3.6})$$

Finalment, l'índex d'avaries (IA) és el que cal passar de freqüència a probabilitat. La freqüència pot ser un valor major que 1, però la probabilitat ha de ser un valor comprès entre 0 i 1, on 1 indica que la probabilitat que aquell succés es produeixi és màxima i 0 mínima, aquest reescalat es realitza mitjançant la funció de valor presentada a la Figura 3.11.

La funció de valor que es proposa per fer el reescalat té una forma creixent ja que a més índex d'avaries l'experiència diu que el valor estimat de la probabilitat hauria de ser més elevat i d'acord amb l'experiència també s'observa que els valors molt baixos de freqüència es tradueixen en probabilitat molt baixa. S'ha utilitzat una funció en forma "S" tal com es mostra a la Figura 3.11, amb un mínim situat al punt (0;0) i el màxim al punt (1,38;1). La finalitat de la funció és donar importància a aquells índexs d'avaries amb valors a partir de 0,9.

$$PA = 1,00 * \left[1 - e^{-0,4 * \left(\frac{|IA|}{0,9} \right)^7} \right] \tag{Eq. 3.7}$$

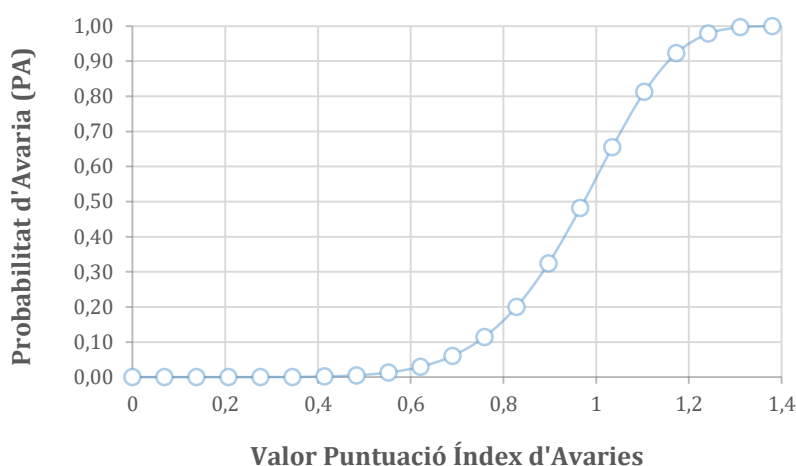


Figura 3.11. Funció de valor Probabilitat d'avaría

Les funcions "S" creixents tenen una part cònca a l'inici delimitat per un punt d'inflexió situat al punt 0,9. Aquesta part inicial pretén restar importància a aquests índexs d'avarías i per tant, posar en manifest la importància dels valors entre 0,9 i 1,4 valors per sobre d'aquest punt d'inflexió. Aquesta última part convexa dona valors de l'indicador entre 0,3 i 1,0.

3.5.3.2 El dany

El **dany** és un paràmetre que està associat a cada tram i el valor d'aquest és funció de l'indicador que s'està calculant. Per aquest motiu podem tenir el dany amb diferents unitats, com es descriu a la Taula 3.3: nombre de persones a les quals afecta l'avaría, nivell

de mobilitat, volum d'aigua perduda o kWh d'energia perduts. Al Capítol 4 es detalla el càlcul d'aquest dany per cada indicador presentat a l'arbre de decisió de la Taula 3.3.

Taula 3.3. Unitats de dany per cada indicador

Indicadors	Dany
Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM)	Balanç econòmic [adimensional]
Afectació per Avaria	Índex dany històric i potencial [persones]
Afectació a la Percepció Organolèptica	Índex de percepció [adimensional]
Afectació a la Mobilitat	Índex de mobilitat [adimensional]
Afectació Infraestructures Subterrànies	-
Coordinació de Plans	-
Estalvi d'Aigua en m ³	m ³ d'estalvi a l'any [m ³ /any]
Estalvi d'Aigua en m ³ /ml	m ³ d'estalvi per metre i any [m ³ /ml/any]
Estalvi d'Energia en kWh	kWh d'estalvi a l'any [kWh/any]
Estalvi d'Energia en kWh/ml	kWh d'estalvi per metre i any [kWh/ml/any]

3.5.4 Definir les funcions de valor

Les funcions de valor tenen com a objectiu principal transformar el coneixement dels responsables experts de cada àrea en una equació que permet tangibilitzar la seva experiència i coneixement per tots els elements a avaluar. Així s'aconsegueix que, a partir d'uns paràmetres subjectius que poden variar segons les característiques de la xarxa que s'estudia, obtenir uns valors objectius de cadascun dels indicadors, doncs els resultats de cada indicador són analitzats amb la mateixa funció de valor per tots els trams de l'inventari.

Per altra banda, permeten comprar indicadors amb unitats diverses. Com s'apuntava a l'apartat 3.5.3.2, el dany depèn de l'indicador i s'obté amb les unitats que tenen sentit per aquell indicador, en alguns casos són variables quantitatives i en d'altres són variables qualitatives, cal estandarditzar tots aquests indicadors. Per realitzar aquesta tasca d'estandardització s'utilitza la funció de valor (Alarcón *et al.*, 2011), és una funció matemàtica única que transforma les variables quantitatives i qualitatives, i les diverses unitats i escales, en una única escala del 0 a 1. Aquests valors 0 i 1, representen el mínim i el màxim grau de satisfacció dels agents responsables de la presa de decisions, en aquest cas els tècnics responsables de cada àrea.

El mètode MIVES utilitza una funció de valor (Eq. 3.8) que depèn de 5 paràmetres i segons la decisió del valor d'aquests paràmetres pot presentar diverses formes: còncava, convexa, lineal o en forma de "S" (veure Figura 3.12). A la Figura 3.12 totes les funcions de valor són creixents però segons quin sigui el valor màxim i mínim de la funció poden ser també decreixents, si les necessitats de l'indicador ho precisen.

$$FV_i = B_i * \left[1 - e^{-K_i * \left(\frac{|X - X_{mini}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right] \tag{Eq. 3.8}$$

on:

X_{mini} és l'abscissa mínima de l'interval en el qual es mou l'actuació per l'indicador avaluat.

X és la quantificació de l'indicador avaluat (diferent o no, per cada actuació)

P_i és el factor de forma que defineix si la corba és còncava, convexa, lineal o en forma de "S". S'obté una corba còncava per a valors de $P_i < 1$, convexa o en forma de "S" per valors $P_i > 1$ i lineals per a valors $P_i = 1$. Addicionalment, determina de forma aproximada el pendent de la corba al punt d'inflexió.

C_i aproxima l'abscissa al punt

K_i aproxima l'ordenada al punt

B_i és el factor que permet que la funció de valor es mantingui entre el rang de valors 0 i 1. Aquest factor B_i ve determinat per l'Eq. 3.9.

$$B_i = \left[1 - e^{-K_i * \left(\frac{|X_{max_i} - X_{mini}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]^{-1} \tag{Eq. 3.9}$$

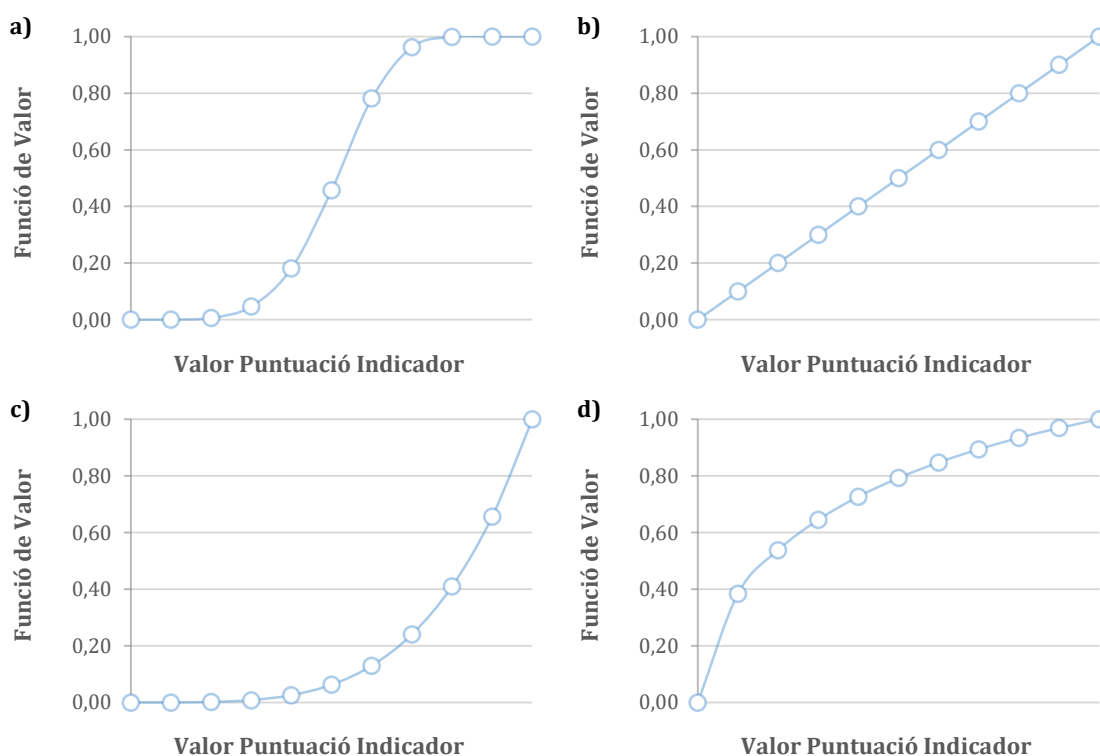


Figura 3.12. Funció de valor: a) "S", b) lineal, c) còncava, d) convexa

Per poder definir les funcions de valor s'analitzen els resultats dels indicadors i es defineixen els límits a partir dels quals el valor que s'obté és inacceptable o resulta menyspreable. Són aquestes funcions les que permeten finalment fer una composició de tots els indicadors i obtenir un únic índex de prioritització. Als apartats 4.2, 4.3 i 4.4, juntament amb el detall del càlcul de l'indicador es detallen les funcions de valor associades a cadascun.

3.5.5 Assignar els pesos

En la línia de copsar els interessos dels grups de relació (*compromís 2*) l'assignació de pesos és la fase on els grups de relació passen a ser els decisors. La seva decisió serà l'encarregada de maximitzar aquells impactes que creguin que són més importants.

Fins al moment, s'ha definit quins són els impactes relatius al desenvolupament sostenible mitjançant la definició de l'arbre de decisió. El procés d'assignació de pesos és l'encarregat de definir què representa el desenvolupament sostenible per cadascun dels grups de relació, doncs a partir d'una reflexió de què és més important s'aconsegueix definir l'equilibri de servei que cadascun d'ells considera necessari per assolir el desenvolupament sostenible.

Els pesos utilitzats al model són el resultat d'un procés col·laboratiu, que es revisa anualment i pot ser modificat. En aquest procés es determina a quins nivells de la decisió participa cada grup de relació (a nivell de requeriments, de criteris o d'indicadors) i després es concilia els pesos aportats per cadascun d'aquests grups.

L'existència de diferents mètodes d'assignació de pesos fa possible adaptar aquest procés segons el nombre de persones que hi participen o segons la tipologia de col·lectiu involucrat.

Els mètodes d'assignació de pesos existents tenen diferents graus de complexitat i precisió:

- **Comparació per parelles:** la tècnica consisteix a comparar els requeriments, criteris i indicadors de dos en dos, a fi d'establir quins criteris tenen una importància superior, igual o inferior. És la base del Procés analític jeràrquic o AHP (Saaty, 1980). Aquest mètode d'assignació de pesos en el cas del model presentat no hauria de ser necessari ja que el decisor només ha de decidir les importàncies relatives comparant tres objectes com a màxim a cada nivell. Tot i que, si en algun moment no és capaç de discriminar entre els tres objectes a decidir, pot resultar amb una tècnica d'ajuda.
- **Rànquing complet:** és una tècnica senzilla per definir prioritats. S'estableix un rànquing de tots els objectes a comparar d'un mateix nivell segons la seva importància i s'assigna un número d'ordre cardinal. Finalment, mitjançant l'Eq. 3.10 es determina el pes relatiu (β_j) que els hi correspon a partir del número d'ordre assignat segons el Rànquing (r) de tots els objectes (j). Algunes limitacions d'aquesta

tècnica són la dificultat que presenta ordenar tots els objectes en el cas que hi hagi una llarga llista i per altra banda, s'assigna una intensitat de preferència constant.

$$\beta_j = \frac{\frac{1}{r_j}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{r_j}} \quad (\text{Eq. 3.10})$$

- **Rànquing parcial:** aquesta tècnica divideix la mostra a avaluar en dos o més grups i realitza rànquings parcials (Voodg, 1983). Així, es soluciona el problema d'assignació amb intensitat constant de preferència que presenta el Rànquing complet.
- **Puntuació o Rating:** tècnica més adient per realitzar determinació de pesos relatius. Es demana que els decisors donin una puntuació a cadascun dels objectes a avaluar. El sistema més habitual consisteix a fer que el decisor distribueixi els cent punts entre els diferents objectes, així s'assegura una suma constant de punts.
- **Rànquing per escala de set punts:** tècnica on es demana al decisor que doni un valor de l'1 al 7 a cadascun dels objectes a avaluar. Aquesta tècnica presenta problemes d'intensitat de les preferències igual que la tècnica de rànquing complet. Segons Osgood, Suci i Tannenbaum (1957), la utilització d'una escala de 7 punts, permet als decisors expressar les seves preferències.

En el cas que participin diferents persones en l'assignació de pesos dins d'un mateix grup de relació, es poden utilitzar diferents mètodes per a l'obtenció dels pesos representatius del grup de relació, entre els que s'ha seleccionat:

- **Seminaris:** aquesta tècnica cerca el debat fins a arribar al consens. És la tècnica més col·laborativa ja que mitjançant el debat cal que els decisors arribin a un consens apropant els diferents punts de vista que es puguin generar.
- **Mètode Delphi:** aquesta tècnica cerca l'opinió d'un grup d'experts sobre quins són els pesos relatius que ells consideren apropiats a través d'un procés iteratiu. Es tracta de donar a conèixer els resultats obtinguts després de cada ronda de consultes, de manera que es pugui debatre el resultat obtingut. L'objectiu final és arribar a un valor de consens entre els experts. Aquesta tècnica és idònia si es vol evitar que un decisor amb nivell jeràrquic superior condicioni directament sobre l'opinió d'un decisor amb menor nivell jeràrquic.
- **Mitjana del grup:** aquesta tècnica cerca l'opinió d'igualtat dins d'un mateix grup d'experts ja que es realitza una mitjana aritmètica dels resultats obtinguts.

La participació dels grups de relació identificats com a decisors (Figura 3.9) i el seu pes és un punt clau per poder implementar el model. Per aquest darrer aspecte, es considera que tots els grups de relació tenen un mateix pes dins del nivell de decisió. El resultat final, doncs, serà la mitjana dels pesos que hagin donat els grups de relació a cada nivell. Els grups

de relació que participarien en la decisió són els que apareixen a la Figura 3.9, a continuació es defineix per cada grup de relació la metodologia utilitzada per conciliar els pesos dins del mateix grup i a quin nivell són decisors.

3.5.5.1 Grup de relació Ajuntaments

El procés participatiu del “Grup de relació Ajuntament” consisteix en un conjunt de reunions amb l’objectiu de determinar col·laborativament:

En primer lloc, els nivells de l’arbre de decisió on creu que l’Ajuntament ha de participar. On els tres nivells de l’arbre corresponen a: indicadors, criteris i requeriments.

- El grup de relació serà decisor per un nivell si, i només si, més del 50% de les Direccions de Zona (DZ) així ho proposa, com que actualment hi ha 5 DZ, com a mínim tres han de considerar-se decisores a aquell nivell. Barcelona és gestionada per dues DZ (BCN Nord i BCN Sud) i per tant, tindrà pes doble.
- Per poder considerar que una DZ es proposa com a decisora a un nivell concret, caldrà que més d’un 50% dels municipis que hi participen d’aquella mateixa DZ hi coincideixin.

En segon lloc, caldrà definir la importància relativa de cadascun dels aspectes pels quals es consideren decisors (definició dels pesos), tal com es mostra a la Figura 3.13 i es descriu a continuació.

- Per cada DZ, l’aportació a cadascun dels nivells en forma de % de l’arbre de decisió resultarà d’una mitjana ponderada per habitants empadronats a cada municipi (presentats a la Taula 3.4), segons la llei d’Hondt.

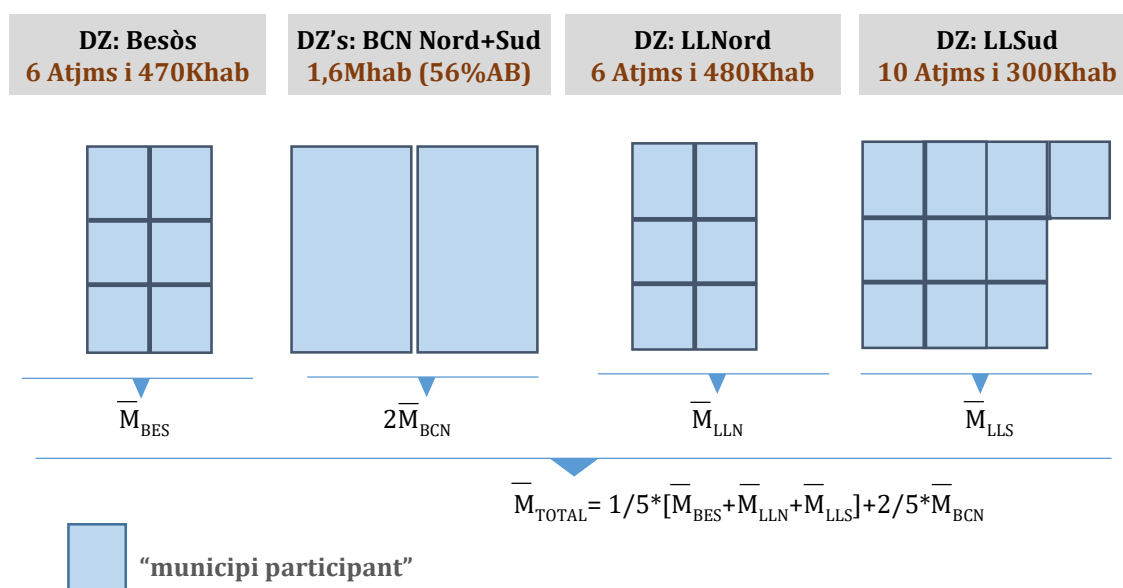


Figura 3.13. Definició dels pesos per Direccions de Zona i Total

Taula 3.4. Nombre d'habitants empadronats a cada municipi (Font: AMB)

Municipi	Habitants	Municipi	Habitants
Badalona	215.634	Pallejà	11.348
Barcelona	1.620.809	Sant Adrià de Besòs	36.496
Begues	6.736	Sant Boi de Llobregat	82.402
Castelldefels	64.892	Sant Climent de Llobregat	4.024
Cerdanyola del Vallès	57.543	Sant Feliu de Llobregat	44.086
Cornellà de Llobregat	86.072	Sant Joan Despí	33.502
El Papiol	4.075	Sant Just Desvern	16.927
Esplugues de Llobregat	45.733	Santa Coloma de Cervelló	8.073
Gavà	46.488	Santa Coloma de Gramenet	117.153
L'Hospitalet de Llobregat	254.804	Torrelles de Llobregat	5.933
Montcada i Reixac	34.802	Viladecans	65.779
Montgat	10.621		

- Els pesos finalment assignats a cada nivell per part del grup de relació Ajuntaments resultarà de la mitjana aritmètica simple de les 5 DZ (BCN Nord, BCN Sud, Llobregat Nord, Llobregat Sud i Besòs).

Es contempla que la participació pugui venir dels tècnics dels consistoris municipals o dels polítics. Per aquest motiu, es realitza una explicació de l'arbre de decisió i quins són els criteris utilitzats per definir cada indicador, així els decisors poden realitzar una assignació de pesos coneixent què hi ha darrere de cada indicador.

3.5.5.2 [Grup de relació Àrea Metropolitana](#)

Pel que fa al grup de relació Àrea Metropolitana concilia els pesos a tots els nivells (requeriments, criteris i indicadors), ja que com a regulador del servei es troba involucrat a tots els nivells de la decisió.

Igual que en el cas del grup de relació Ajuntaments, poden participar en la decisió i assignació de pesos tant tècnics de l'Àrea Metropolitana com polítics. Es realitza una sessió explicativa on es presenta l'arbre de decisió i quins són els criteris utilitzats per definir cada indicador. Addicionalment, al final de la reunió cal mitjançant un debat assignar els pesos relatius de cada nivell.

En aquestes reunions de conciliació de pesos (veure Figura 3.14), els tècnics de l'AMB com a reguladors del servei són els encarregats de reflexionar sobre què entenen ells per un sistema d'abastament sostenible i plasmar aquestes sensibilitats amb les importàncies relatives de cadascun dels indicadors, criteris i requeriments.

Una de les reflexions dels tècnics de l'AMB aportant la seva sensibilitat com a reguladors, és la de potenciar aquells impactes que tenen efectes a més llarg termini, com són els ambientals i els econòmics. Des del seu punt de vista, els impactes socials són més localitzats en el temps. A banda, les administracions locals, els ajuntaments i la ciutadania

segurament ja expressaran més sensibilitat per aquests impactes. Aquest és un exemple de les diverses sensibilitats que tenen els actors de les trobades de recollida de pesos.



Figura 3.14. Reunió de recollida de pesos a les oficines de l'AMB (5/6/2019)

3.5.5.3 Grup de relació Ciutadania i Usuaris

Per mesurar la visió que té el grup de relació Ciutadania i Usuaris es realitza un primer estudi de les enquestes que es realitzen periòdicament per part de l'empresa a aquest col·lectiu. S'observa que hi ha una pregunta sobre els atributs específics del producte que encaixa per interpretar la importància relativa entre els indicadors d'afectació al servei per avaria i d'afectació a la percepció organolèptica. En canvi, hi ha una manca d'informació relativa a què preocupa més a aquest grup de relació pel que fa a les inversions relatives a persones o ciutat, en aquest darrer cas, s'inclou una nova pregunta a l'enquesta.

Donada la importància de mesurar la satisfacció dels grups d'interès com la ciutadania i els usuaris (anomenats també clients), tal com s'ha mencionat, Aigües de Barcelona incorpora a l'enquesta de Satisfacció del Servei Bàsic, enquesta que es realitza periòdicament una vegada a l'any, una pregunta extra amb l'objectiu d'interpretar el seu punt de vista. La pregunta multiresposta incorporada a l'enquesta és la següent:

“Aigües de Barcelona realitza inversions en el manteniment de la xarxa. Li llegiré a continuació una llista de situacions sobre les quals caldria focalitzar els esforços d'inversió. Indiqui quines són les 3 més importants per a vostè. Les situacions són:

- *Avaries que deixen sense aigua a clients crítics*
- *Avaries que deixen sense aigua a un nombre elevat de persones*
- *Fuites que provoquen filtracions a edificis*
- *Avaries que afecten la mobilitat dels ciutadans*
- *Problemes de pressió*

- Actuacions freqüents en un mateix carrer

”

S’han considerat per definir el pes del criteri **Persones** les següents situacions: avaries que deixen sense aigua a clients crítics, avaries que deixen sense aigua a un nombre elevat de persones i problemes de pressió. Per definir el pes del criteri **Ciutat** les situacions considerades són: avaries que afecten la mobilitat dels ciutadans i actuacions freqüents en un mateix carrer.

Dins del criteri persones per determinar el pes dels dos indicadors d’**afectació al servei per avaria** i d’**afectació a la percepció organolèptica** s’utilitza la part dels atributs específics del producte de l’enquesta, aquesta part de l’enquesta el client puntuava del 0 al 10 els atributs. En aquest cas els atributs avaluats són:

- Continuitat del subministrament
- Pressió amb que arriba l’aigua
- Color de l’aigua
- Olor de l’aigua
- Sabor de l’aigua

Pel pes de l’indicador d’afectació al servei per avaria s’utilitza la mitjana entre la puntuació que té l’atribut *continuitat del subministrament* i l’atribut *pressió amb que arriba l’aigua*. Pel pes de l’indicador d’afectació a la percepció organolèptica degut a la incidència que pot tenir la renovació en aquest aspecte s’utilitza la puntuació que té l’atribut *color de l’aigua*. A l’apartat 4.2.2.2, es descriu l’afectació de l’indicador que permet acabar d’entendre el motiu pel qual s’utilitza només el color de l’aigua.

3.5.5.4 [Grup de relació intern d’Aigües de Barcelona \(Comitè de Direcció\)](#)

Com en el cas del grup de relació AMB (Àrea Metropolitana de Barcelona), el grup de relació intern d’Aigües de Barcelona és un únic grup i per tant, només cal veure a quins nivells es considera decisor. En aquest cas, el grup s’ha considerat decisor a tots els nivells de l’arbre de decisió, ja que com a gestor del servei té una visió global.

3.5.5.5 [Resultat del procés col·laboratiu](#)

Un cop preguntats tots els grups de relació i conciliats els pesos d’aquells nivells on els decisors han estimat oportú participar s’ha realitzat una mitjana aritmètica simple dels 4 grups de relació per cada nivell.

Tal com s’ha descrit a l’apartat 3.5.5.1, per obtenir el resultat a nivell de Direcció de Zona s’ha hagut de realitzar una mitjana ponderada segons el nombre d’habitants empadronats de cada municipi obtenint així el resultat d’aquella gerència. Tots els percentatges recollits als ajuntaments que han participat es mostren a la Taula 3.5. Com

s'observa a la Taula 3.5, només han participat 3 ajuntaments: Barcelona, Esplugues de Llobregat i Sant Feliu de Llobregat. Aquesta participació correspon a les dues Direccions de Zona de Barcelona (DZ BCNN i DZ BCNS) i la direcció de zona de Llobregat Nord (DZ LLN).

Taula 3.5. Resum de la participació dels Ajuntaments en el procés col·laboratiu d'assignació de pesos

		Direccions de Zones:			Municipis Llobregat Nord					
		BCN Sud	BCN Nord	Llob. Nord	Cornellà de Llobregat	Esplugues de Llobregat	L'Hospitalet de Llobregat	Sant Feliu de Llobregat	Sant Joan Despí	Sant Just Desvern
		RESULTAT	BCN	BCN	Mitjana municipis Llobregat Nord					
Requeriments	ECONÒMIC	20,1%	14%	14%	32%		20%		45%	
	SOCIAL	41,5%	47%	47%	31%		30%		31%	
	AMBIENTAL	38,4%	39%	39%	37%		50%		24%	
	Decisor	100%				0%	100%	0%	100%	0%
Criteris Socials	PERSONES	45,2%	40%	40%	56%		60%		51%	
	CIUTAT	54,8%	60%	60%	44%		40%		49%	
	Decisor	100%				0%	100%	0%	100%	0%
Criteris Ambientals	ESTALVI AIGUA				57%		50%		64%	
	ESTALVI ENERGIA				43%		50%		36%	
	Decisor	0%				0%	100%	0%	100%	0%
Indicadors criteri Persones	AVARIES	75,3%	80%	80%	66%		60%		72%	
	PERCEPCIÓ	24,7%	20%	20%	34%		40%		28%	
	Decisor	100%				0%	100%	0%	100%	0%
Indicadors criteri Ciutat	MOBILITAT	44,3%	43%	43%	47%		40%		54%	
	INFRAESTRUCTURES SUBTERRÀNIES	33,7%	35%	35%	31%		35%		27%	
	COORDINACIÓ DE PLANS	22,0%	22%	22%	22%		25%		19%	
	Decisor	100%				0%	100%	0%	100%	0%

El resultat utilitzat per l'execució del model per poder realitzar el Pla d'Inversions del 2019 es presenta a la Taula 3.6, aquest model es va executar a desembre del 2017. El fet que explica que no apareguin els pesos del grup de relació AMB a la Taula 3.6 és que la participació d'aquest grup es va realitzar el 5 de juny del 2019.

Taula 3.6. Resum del procés col·laboratiu d'assignació de pesos de tots els grups de relació

GRUPS DE RELACIÓ:		COMITÈ DE DIRECCIÓ	AMB	CLIENTS	AJUNTAMENTS				Resultat
					BCN Sud	BCN Nord	Llob. Nord	Resultat	
Requeriment Desenvolupament Sostenible	ECONÒMIC	50%			14%	14%	32%	20%	35,0%
	SOCIAL	30%			47%	47%	31%	42%	35,8%
	AMBIENTAL	20%			39%	39%	37%	38%	29,2%
Criteris Socials	PERSONES	60%		74,5%	40%	40%	56%	45%	59,9%
	CIUTAT	40%		25,5%	60%	60%	44%	55%	40,1%
Criteris Ambientals	ESTALVI AIGUA	60%					57%		60,0%
	ESTALVI ENERGIA	40%					43%		40,0%
Indicadors criteri Persones	AFFECTACIÓ PER AVARIES	60%		39%	80%	80%	66%	75%	58,1%
	AFFECTACIÓ A LA PERCEPCIÓ	40%		61%	20%	20%	34%	25%	41,9%
Indicadors criteri Ciutat	MOBILITAT	54%			43%	43%	47%	44%	49,1%
	INFRAESTRUCTURES SUBTERRÀNIES	35%			35%	35%	31%	34%	34,4%
	COORDINACIÓ DE PLANS	11%			22%	22%	22%	22%	16,5%

3.6. VISOR GEOGRÀFIC DEL NOU MODEL DE RENOVACIÓ

La implementació del nou model de renovació de la xarxa de distribució al procés productiu d'Aigües de Barcelona requereix d'una eina de visualització geogràfica, en endavant Visor, amb la capacitat de plasmar tant les dades utilitzades com el nou coneixement generat. Els objectius principals d'aquest Visor s'enumeren a continuació:

- Per prioritzar tots els trams de l'inventari és necessari un únic valor, l'índex de contribució al DS, aquest permet ordenar els 120.761 trams. Tot i que la informació que ha portat a obtenir aquest resultat és el que realment resulta interessant. Així doncs, un dels objectius principals pel qual es va crear el Visor és poder visualitzar tant la informació de base com els paràmetres utilitzats durant el càlcul.
- La transparència és una funció fonamental d'aquest Visor, a partir del qual es poden explicar els beneficis del nou model als grups de relació que han participat en la

priorització, il·lustrant els impactes socials, ambientals i econòmics de la seva contribució.

- Un altre dels objectius que persegueix el Visor, és poder explicar als ajuntaments implicats les obres seleccionades i poder debatre sobre els impactes que han prioritzat aquella actuació, tot podent justificar amb dades la decisió i amb la possibilitat de comparar l'elecció amb altres actuacions.
- La visualització de la informació de forma ràpida i sobre un mapa, permet localitzar zones amb característiques similars i permet realitzar una comprovació ràpida dels resultats obtinguts, un altre dels objectius amb el que es dissenya el Visor, tot i ser una funció més dirigida a la planificació.
- Finalment, l'eina es posa a disposició dels responsables i operadors de la xarxa contribuint també a altres millores en la gestió de l'explotació de la xarxa.

A conseqüència d'aquesta necessitat i del gran volum d'informació a gestionar, neix una col·laboració amb el Barcelona Supercomputing Center (BSC), experts amb mineria de dades (*datamining*) i representació gràfica d'aquestes dades. Juntament amb l'experiència del BSC gestionant dades, el coneixement generat amb el model i les necessitats a satisfer identificades s'ha desenvolupat el Visor.

El Visor que es presenta a continuació és el resultat de diferents workshops amb un equip de treball intern de l'empresa on han participat actors dels principals departaments de l'empresa. Durant aquestes reunions s'ha concretat la informació que cal mostrar. Finalment, l'eina s'ha testat pels diferents usuaris per detectar punts febles i assegurar la màxima comprensió i accessibilitat. A continuació, s'explica com s'organitza el Visor desenvolupat en suport web i com la seva configuració ha estat dissenyada per assolir els objectius que fan necessaris el Visor.

El visor geogràfic consta de dues pantalles:

- Una primera pàgina, *landing page*, on de manera senzilla i gràfica es presenta la informació necessària per poder captar l'atenció dels usuaris. Amb aquest objectiu es presenta l'arbre de decisió, hi ha una breu descripció dels indicadors i la metodologia col·laborativa de determinació de pesos. Aquesta pantalla té com a objectiu situar als usuaris que igual coneixen el Model però no en fan un ús continuat.
- Una segona pantalla, on es recull tota la navegació del visor geogràfic. A continuació, es descriu i s'il·lustra com es presenta i es pot accedir a la informació que conté el visor geogràfic.

Tal com es mostra a la Figura 3.15, hi ha dos editors on és possible modificar aquella informació que apareix al mapa. Un primer, editor de capes i filtres específics, on es pot configurar la visualització de la informació de detall, i el segon, capes i filtres generals, on es

poden escollir diferents opcions de visualització del conjunt adaptades a diferents rols d'usuaris.

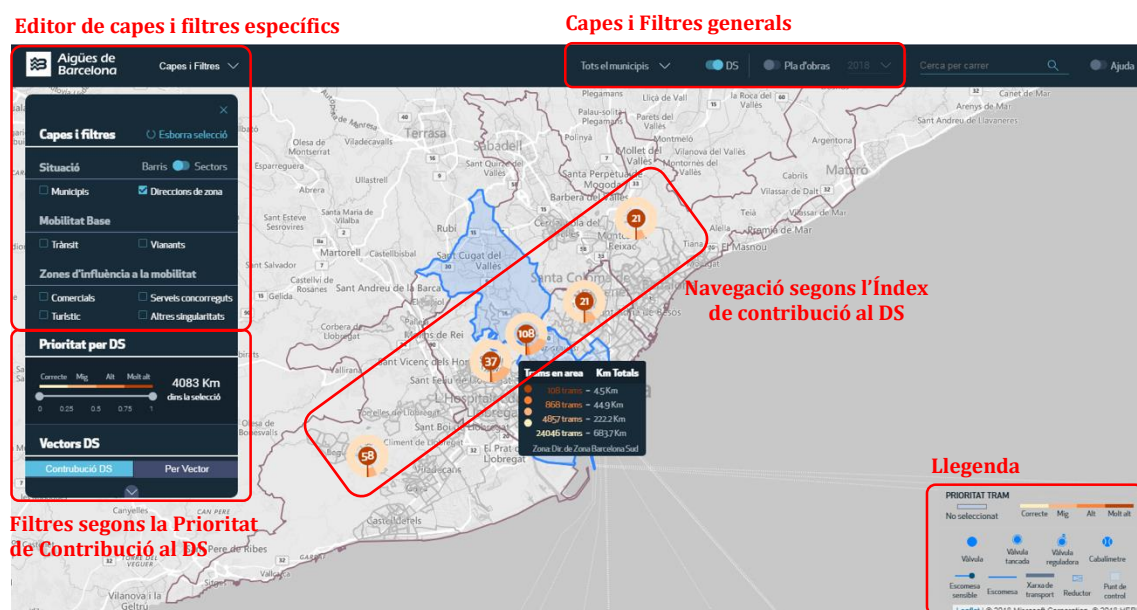


Figura 3.15. Visor geogràfic

L'editor de capes i filtres específics té com a finalitat complir amb l'objectiu de transparència, ja que a través dels editors es pot visualitzar la informació de base proporcionada per tercers, els ajuntaments, relativa a la mobilitat. Aquest editor de capes i filtres conté els següents apartats que permeten configurar la visualització de la informació que es mostra:

- **Situació.** Aquest apartat de l'editor permet modificar els límits geogràfics que divideixen el territori: límits municipals i límits per direccions de zona. També és possible veure els límits de barris o els límits dels sectors, en aquest darrer cas, és un filtre exclusiu i per tant, cal decidir en cada moment què es vol veure: els barris o els sectors.
- **Mobilitat base.** La informació de mobilitat proporcionada per tercers (els ajuntaments), conté informació relativa a la mobilitat de trànsit rodat i mobilitat de vianants. Permet activar i desactivar la informació relativa a la mobilitat base, la informació de trànsit i de vianants simultàniament. Aquesta informació rep el nom de mobilitat base, ja que posteriorment, es completa amb la informació de zones d'influència a la mobilitat, aquestes zones estan recollides al següent apartat.
- **Zones d'influència a la mobilitat.** Aquest apartat de filtres permet activar els polígons que conformen les zones d'influència: comercials, turístiques, serveis concorreguts i altres singularitats. En aquest cas, també es poden activar de forma simultània totes les àrees.

Seguidament, apareix una zona de **filtres segons la prioritat de contribució al DS**, aquesta part respon a varis dels objectius anteriorment enunciats, en primer lloc, permet als usuaris experts comprovar els resultats i detectar zones amb característiques similars. Per altra banda, permet filtrar tota la informació de base que s'ha utilitzat per poder calcular els indicadors, resultant així en una eina de gran utilitat pels operadors de la xarxa. Aquesta part dels filtres s'organitza en els següents apartats:

- *Prioritat segons l'índex de contribució al DS*. El filtratge segons la puntuació de contribució al desenvolupament sostenible que té cada tram permet ressaltar al mapa aquells trams que compleixen la condició definida al filtre. Cal destacar la graduació en quatre colors que ja apareix per defecte sense necessitat de filtrar.
- *Vectors DS*. Aquests filtres permeten poder realitzar filtratges segons els diferents indicadors els colors que tenen els trams de l'inventari.

L'editor de **capes i filtres generals** permet modificar la informació bàsica del mapa. Aquest editor sorgeix de la necessitat de poder explicar a cadascun dels ajuntaments implicats les obres seleccionades que s'estan realitzant o es realitzaran pròximament al seu municipi. És per aquest motiu que permet filtrar per municipi, segons si es vol mostrar la informació relativa a tots els municipis de l'àmbit o només un municipi en concret. Aquesta utilitat, permet centrar l'atenció al municipi en qüestió si el que es pretén és mostrar la informació a un ajuntament en concret, evitant així generar soroll per excés d'informació. Addicionalment, aquest editor permet veure la informació relativa a l'índex de contribució al desenvolupament sostenible calculat o desactivar-la. Finalment, entre tots els trams que conformen la xarxa de distribució, és possible remarcar aquells que han estat escollits per ser renovats en alguns dels dos **plans d'inversions** (PI) propers: el de l'any en curs o el de l'any següent.

Finalment, hi ha el mapa on apareixen uns cercles amb informació relativa a l'índex de contribució al DS, anomenada a la Figura 3.15 com **Navegació segons l'Índex de contribució al DS**. Aquesta zona on es mostra la informació geogràfica presenta els resultats segons els filtres realitzats als editors presentats. Permet una navegació àgil pel mapa que mitjançant la rodeta de desplaçament del ratolí, s'apropa o s'allunya el mapa, i es pot observar tant la totalitat de la informació de l'àmbit (el zoom més allunyat) Figura 3.16.a, fins al detall de cada tram (zoom més proper) Figura 3.16.b.

Un cop s'arriba al zoom on apareix el detall dels trams de l'inventari (Figura 3.16), aquests poden ser clicats i s'obté la informació relativa als indicadors calculats. Aquesta informació està organitzada per requeriments, i permet realitzar una justificació de com s'ha arribat a obtenir l'índex de contribució al desenvolupament sostenible d'aquell tram en concret.



Figura 3.16. Figura de zooms: a) zoom més allunyat; b) zoom més proper

Adicionalment, es pot consultar la informació pròpia del tram amb les seves característiques, aquesta informació és relativa al tram i no ha estat calculada pel model sinó que és informació de base que es troba als sistemes d'informació de l'empresa. La Figura 3.17 mostra l'editor amb aquesta informació que és: els dos codis que permeten identificar cada tram, el tipus de xarxa, el material, el diàmetre, la longitud, la data d'instal·lació, nombre d'avaries que ha tingut l'últim any, nombre d'avaries acumulat dels últims 5 anys.

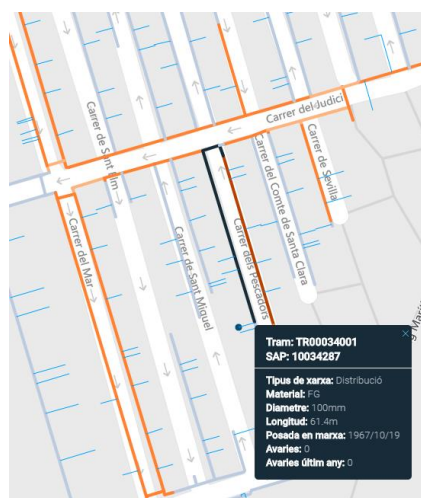


Figura 3.17. Informació dels editors amb la informació característiques del tram

Per altra banda, a fi de poder justificar com s'ha arribat a la puntuació de contribució al DS, a la Figura 3.18, apareixen tots els paràmetres utilitzats per al càlcul dels indicadors agrupats sota els vectors de DS corresponents. Aquest editor permet realitzar una justificació fàcil i entenedora als ajuntaments, així contribuir a l'objectiu de transparència i potenciant la traçabilitat del model.

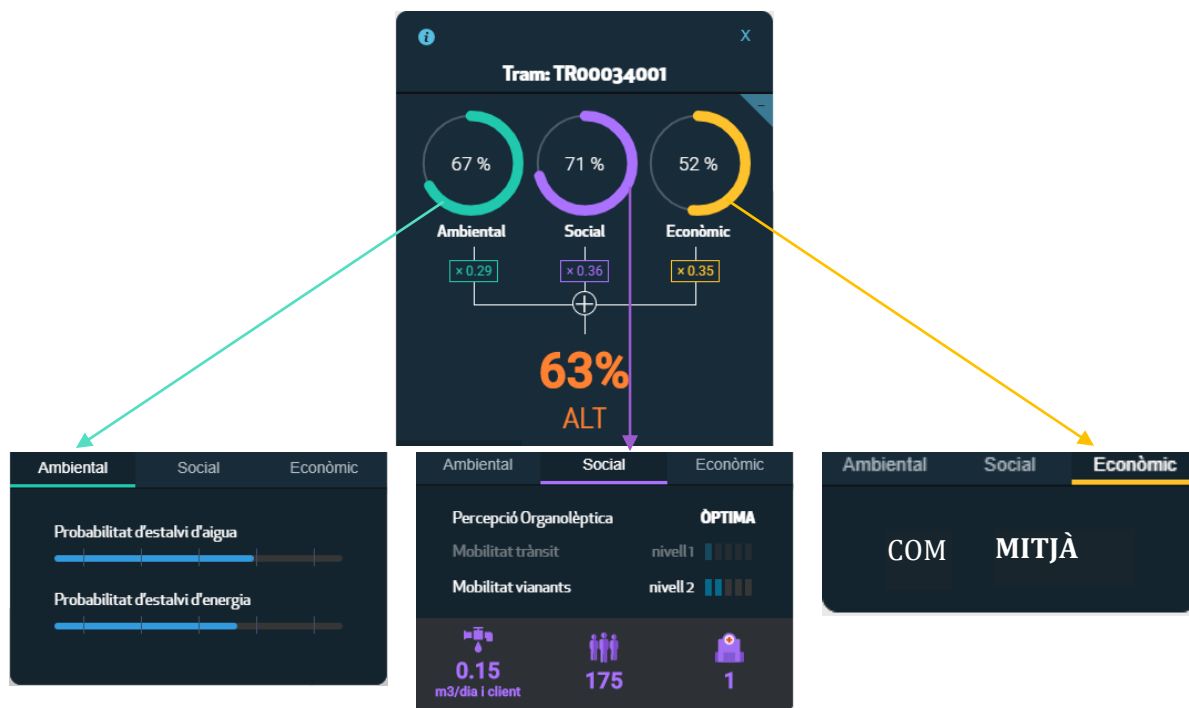


Figura 3.18. Informació dels editors amb les dades dels indicadors

Tal com s'observa a la part superior de la Figura 3.18, es mostra el valor obtingut per cadascun dels requeriments i el pes que tenen aquestes i que permet obtenir el valor final de contribució al desenvolupament sostenible (en aquest cas 63%). També apareix una pestanya per cada requeriment que recull la informació que permet justificar el nivell de contribució d'aquests.

CAPÍTOL 4

INDICADORS DEL MODEL DE RENOVACIÓ DE LA XARXA DE DISTRIBUCIÓ

4.1. INTRODUCCIÓ

Definida la metodologia utilitzada per desenvolupar el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució al capítol anterior, és el moment de dissenyar els indicadors i determinar les funcions de valor necessàries per cadascun dels indicadors.

La inexistència d'indicadors predefinitos que permetin comparar entre abastaments els riscos socials i ambientals que aquests poden presentar degut al mal funcionament de la xarxa ha fet necessari desenvolupar indicadors específics per Aigües de Barcelona. Cal destacar que aquests es calculen igual per tots els trams de l'inventari proporcionant un valor relatiu de l'indicador que permet prioritzar aquells trams on les conseqüències i la probabilitat de mal funcionament siguin més elevades.

Tant els indicadors com les funcions de valor desenvolupades tenen com a finalitat objectivar tot el coneixement recollit dels experts de l'empresa que han estat involucrats en la definició del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució.

Es supera la dificultat implícita en aconseguir objectivar l'experiència dels experts utilitzant una metodologia iterativa que s'ha desenvolupat per al model. Aquesta nova metodologia iterativa consta de 6 etapes presentades a la Figura 4.1.

Tal com es mostra a la Figura 4.1, en primer lloc hi ha una recollida de coneixement i experiència, on participen els diferents responsables d'aquelles àrees involucrades en cada cas, són aquests els que posen de manifest quines són les sensibilitats que hauran de recollir els indicadors o funcions de valor. Seguidament, hi ha una interpretació d'aquesta informació i una proposta de formulació. Un cop definida la formulació cal identificar conjuntament amb els experts aquelles dades que són necessàries per poder realitzar el càlcul. En aquest procés d'obtenció de dades els responsables dels sistemes d'informació són els encarregats d'aflorar tant les oportunitats com les dificultats que tenen els sistemes d'informació per obtenir la informació necessària. Posteriorment, es defineix la formulació definitiva tenint en compte totes les consideracions recollides i les dades disponibles per, finalment, comprovar que es reflexa la sensibilitat que els experts han posat de manifest.

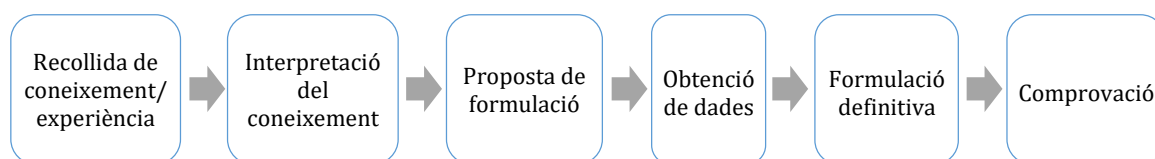


Figura 4.1. Metodologia iterativa de disseny dels indicadors i les funcions de valor

Val a dir també, que per al disseny d'alguns dels indicadors, aquest procés és incomplet. Cal tenir en compte que l'experiència permet identificar uns valors "d'impacte" sobre el desenvolupament sostenible que sovint no són directament atribuïbles a cada tram, sinó a conjunts de trams que representen una entitat determinada, com poden ser els sectors de rendiment o els tancaments per avaria, entre d'altres. Per completar el disseny d'aquests tipus d'indicadors, és necessari introduir a continuació de la metodologia anterior (Figura 4.1) una segona metodologia, també específica, per assignar a cada tram el seu grau de contribució a l'impacte calculat a nivell de cada entitat agrupadora, ja que les característiques de cada tram que conformen cada entitat són diferents i així ho són també les seves contribucions a l'impacte. Aquesta segona metodologia es resumeix en endavant com "Assignació a tram" i es presenta a la Figura 4.2.

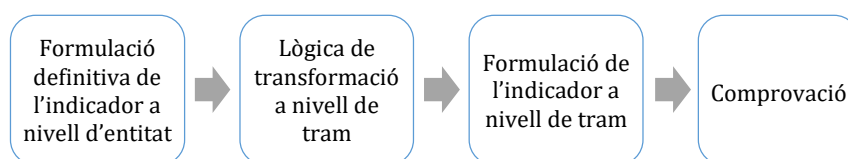


Figura 4.2. Metodologia d'assignació a tram

Una de les grans avantatges d'ambdues metodologies és que faciliten la millora continuada del Model. Així en aquest document es recull la versió dels indicadors que s'han utilitzat per a la confecció del Pla d'Inversions 2019, executat al 2018, i que difereix de les versions originals per tots els indicadors tret del de la percepció organolèptica.

L'objectiu d'aquest capítol és presentar el detall del disseny dels indicadors del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució, en cadascun dels àmbits analitzats: social, ambiental i econòmic. Per fer-ho de forma més entenedora, per cada indicador i per cada

funció de valor, es descriu el procés de disseny especificant el paper de cada actor intern o extern en el disseny, per tal de justificar la formulació emprada. A fi d'aportar una perspectiva cronològica del procés de disseny es segueix l'esquema de fases de la Figura 4.1.

El capítol s'organitza dedicant un apartat a cadascun dels requeriments on s'introdueix l'estructura del requeriment i es detallen els indicadors.

- Requeriment social (apartat 4.2).
- Requeriment ambiental (apartat 4.3).
- Requeriment econòmic (apartat 4.4).

4.2. REQUERIMENT SOCIAL

4.2.1 Introducció al Requeriment Social

Tal com s'ha mostrat anteriorment a la Taula 3.2, l'estructura del requeriment social, està formada per dos criteris i cinc indicadors (veure Taula 4.1). El *criteri persones* agrupa els indicadors d'afectació al servei per avaria i afectació a la percepció organolèptica, indicadors de risc que mesuren les conseqüències sobre els clients degudes a un mal funcionament. Mentre que, el *criteri ciutat* recull l'indicador que quantifica el risc d'impacte sobre la ciutat degut a un mal funcionament de la xarxa.

Taula 4.1. Estructura arbre de decisió Requeriment Social

Requeriments	Criteris	Indicadors
Social	Afectació a les Persones (Clients)	Afectació al Servei per Avaria (ASA) (4.2.2.1)
		Afectació a la Percepció Organolèptica (APO) (4.2.2.1)
	Afectació a la Ciutat	Afectació a la Mobilitat per Avaria (AMA) (4.2.3.1)
		Afectació a les infraestructures subterrànies per avaria (AISA)*
		Coordinació de plans (CP)*

(*)degut a manca d'informació de base aquests indicadors no es desenvolupen

L'estructura del requeriment social queda definida després de la reflexió amb els responsables de Clients sobre la forma en que una xarxa en mal estat de conservació pot perjudicar als clients. El departament de Clients realitza diverses enquestes de satisfacció i és l'encarregat de gestionar les reclamacions. Amb aquesta informació es conclou que les conseqüències del mal funcionament són les relatives a afectar als clients i a la ciutadania i al seu dia a dia.

Pel que fa a l'afectació a les persones, s'identifiquen dos aspectes que es posen en relleu a l'enquesta de satisfacció de clients. La continuïtat de servei, que tot i estar molt ben valorada, és un aspecte que els clients valoren com molt important. I per altra banda, la percepció organolèptica, en aquest cas val a dir que, de les tres magnituds que fan referència

a aquest aspecte: color, sabor i olor, l'única que és resoluble via renovació de la xarxa, és el color, tot i ser l'atribut que els clients consideren menys important. No obstant, els responsables de Clients van considerar que el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució havia de tenir en compte aquesta variable, a fi d'evitar que en un futur els problemes per color es poguessin incrementar degut justament a que el model de renovació centrés l'atenció en altres trams que no són origen d'aquest problema.

Per definir els riscos d'afectació a la ciutat, s'ha observat l'impacte que tenen les avaries sobre la ciutat i els ciutadans. A la Figura 4.3 es presenten com a exemple les possibles conseqüències de les avaries sobre la mobilitat, per una banda s'observa l'esvoranc causat per una avaria al carrer Ganduxer el 8 de juliol del 2016 (Figura 4.3.a) i per l'altra, s'observen les dificultats de mobilitat degut a una avaria a la Ronda de Dalt el 24 de novembre de 2016 (Figura 4.3.b).

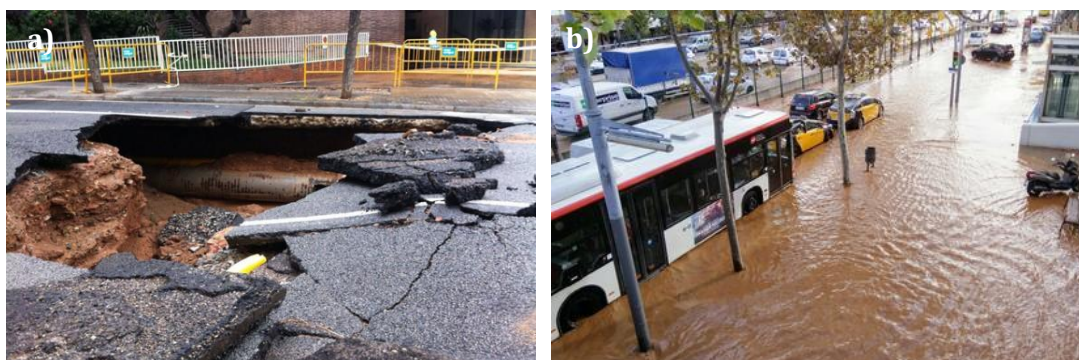


Figura 4.3. Imatge d'afectacions per avaria a la mobilitat: a) esvoranc del carrer Ganduxer (font: *beteve.cat*); b) inundació Ronda de Dalt (font: *Pere Guiu*)

4.2.2 Afectació a Persones (Clients)

4.2.2.1. Indicador d'afectació al servei per avaria (ASA)

Per reparar les avaries que es produeixen a la xarxa cal realitzar interrupcions del servei, aquestes deixen sense aigua les escomeses pròximes a l'avaría. Aquestes escomeses tenen associades diversos subministraments, concretament un per cada habitatge, tot i que el més probable és que no tots estiguin fent ús del servei en el moment de l'avaría.

Els usuaris del servei que en el moment de l'avaría estan fent ús del servei, i per tant, sofreixen les conseqüències, poden realitzar reclamacions a través dels diversos canals de comunicació que la companyia posa a la seva disposició. Arribat aquest punt seran informats del motiu d'aquell tall del subministrament i la reclamació quedarà registrada als sistemes d'informació.

Els responsables de Clients transmeten la seva visió de les conseqüències associades a les averies, per una banda, els preocupa l'afectació que tindria una avería sobre els clients o el volum d'aigua atrapat, per l'altra, els preocupa que aquesta es produeixi en una zona on hi ha hagut problemes recentment. Així, el model prioritza aquelles canonades que en cas

d'avaría tindrien unes conseqüències més perjudicials pel client, però també aquelles avaries que es produeixen en trams que una vegada avariats deixaran sense servei a clients que ja han patit talls de subministrament importants en el passat. Doncs aquests clients probablement manifestaran el seu malestar pel mal servei prestat. És per aquest motiu que es dissenyen dos indicadors de risc independents, el **risc potencial** i el **risc històric**, de manera que l'indicador d'afectació al servei per avaría (ASA) és el màxim d'ambdós valors de risc segons l'Eq. 4.1.

$$ASA = \max \begin{cases} RPA \text{ (Eq. 4.3)} \\ RHA \text{ (Eq. 4.2)} \end{cases} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Per dissenyar correctament l'**indicador risc potencial** (RPA), cal entendre què és el fenomen de l'avaría i què implica. Per una banda, és necessari definir com determinar l'abast d'una avaría de qualsevol dels trams de l'inventari, i per l'altra, graduar el nivell de dany d'aquestes conseqüències que l'avaría ocasiona. Per entendre el fenomen de l'avaría es compta amb l'experiència dels responsables d'Operacions Territorials i per les conseqüències amb els responsables de Clients.

Pel que fa a l'**indicador de risc històric** (RHA), és necessari determinar per tots i cadascun dels trams de l'inventari el nombre i la importància dels talls de subministrament soferts en els que han estat involucrats, així com les reclamacions que aquests talls han generat. La interpretació d'aquesta informació requereix del coneixement i l'experiència dels responsables de Clients.

Risc potencial d'afectació per avaría (RPA)

El **risc potencial d'avaría** (RPA'), segons l'Eq. 4.2 és el producte del dany potencial d'afectació (DPA) associat a les conseqüències de l'avaría per la probabilitat de que aquesta avaría es produeixi (PA , descrita a l'apartat 3.5.3.1 del capítol anterior).

$$RPA' = DPA \cdot PA \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Per poder determinar el dany potencial d'afectació (DPA) i per tant, les conseqüències d'una avaría per qualsevol tram de l'inventari, cal conèixer el procés a seguir quan es detecta una avaría. En primer lloc, és necessari prelocalitzar l'avaría i realitzar el tancament de les vàlvules necessàries per aïllar el tram que està perdent aigua, deixant així el tram aïllat sense aigua. Si aquesta prelocalització ha fallat, serà necessari realitzar un nou tancament o ampliar el mateix fins a poder localitzar la fuga. En tot aquest procés el més important és poder continuar garantint el servei i que l'afectació impliqui al mínim nombre de persones i el mínim temps possible.

L'existència de vàlvules en qualsevol punt dels trams de l'inventari, no necessàriament als extrems, fa que un mateix tram pugui estar involucrat en diferents escenaris d'avaría. Així doncs, les conseqüències d'aquella avaría dependran del punt del

tram en que s'ha produït l'avaria, ja que el que fixa les conseqüències no és el tram avariats sinó la zona que queda aïllada quan s'avaria el tram. Aquesta zona que queda aïllada quan s'avaria un tram és el que s'anomena **tancament**, i és aquesta entitat la que determina el dany potencial d'afectació que té cada avaria.

A la Figura 4.4 es presenta un esquema en planta de la part d'una via urbana, on apareixen cinc vàlvules de seccionament ($V1$, $V2$, $V3$, $V4$, $V5$) i es mostra una representació gràfica de l'entitat tancament. En el cas concret de l'esquema presentat, s'observen 4 tancaments: el **tancament 1** i el **tancament 3** es troben delimitats per dues vàlvules ($V2$ i $V3$ en el primer cas; $V1$ i $V4$ en el segon), el **tancament 4** el delimiten tres vàlvules ($V3$, $V4$ i $V5$) i el **tancament 2** es troba delimitat per una vàlvula i un cap extrem ($V5$ i **cap extrem**).

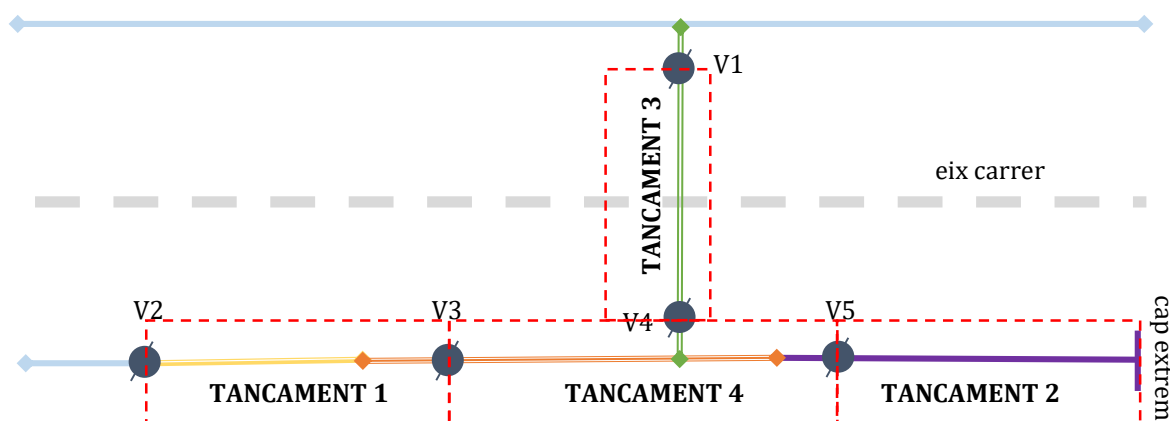


Figura 4.4. Representació gràfica de l'entitat fictícia tancament

Quan es realitza un tancament, les escomeses que estan contingudes dins d'aquell tancament queden afectades, i en conseqüència, tots els subministraments associats a aquelles escomeses també queden afectats. Sovint d'una mateixa escomesa depenen varis subministraments. En el cas d'un edifici aquest fet s'observa fàcilment, ja que existeix un subministrament per cadascun dels habitatges de l'edifici, tot i que l'escomesa és comuna.

Per poder determinar quines són les conseqüències que té cadascun dels tancaments, cal saber el nombre i la tipologia de clients que quedaran afectats dins d'aquesta entitat tancament. De tots els clients afectats s'identifiquen aquells que són clients sensibles (centres sanitaris) i addicionalment, per tots els clients incloent els sensibles, s'avalua si aquests tenen un consum elevat i, en el cas que sigui així, es consideren grans consumidors.

Així, es poden identificar aquells tancaments definits pels responsables de Clients com els més crítics, els que deixarien sense servei a un gran nombre de persones i un consum elevat. El nivell de criticitat d'aquests possibles tancaments és funció del nombre de clients afectats pel tancament i el consum que té el tancament i es presenta a la Taula 4.2.

Taula 4.2. Nivells de criticitat del dany per avaria

Criticitat	m ³ per dia i client	nº clients
Molt crític	>= 400	>= 750
Crític	< 400 i >= 200	< 750 i >= 375
Moderadament crític	< 200 i >= 100	< 375 i >= 175
Moderadament preocupant	< 100 i >= 50	< 175 i >= 75
No preocupant	< 50	< 75

Un dels motius de la graduació de la Taula 4.2 és que les conseqüències seran més elevades si s'està afectant un centre sanitari o un gran consumidor com pot ser una indústria, ja que la seva activitat diària està estretament relacionada amb la utilització de l'aigua per poder oferir un servei normal. Per exemple, els centres de diàlisi requereixen grans quantitats d'aigua ja que és el principal component del líquid de diàlisi (Pérez-García, *et al.*, 2016), un pacient sotmès a tres sessions d'hemodiàlisi de 4 hores cada setmana pot estar exposat a més de 360 litres d'aigua. Un altre exemple, és la dependència al subministrament que tenen les indústries per poder fabricar els seus productes, les empreses automobilístiques per la producció de cotxes o les empreses tèxtils per produir la seva matèria primera. Gonzalez Herrero (2015) apuntava que per produir un Volkswagen Polo al 2010 eren necessaris 1.465 m³ d'aigua i per obtenir un quilò de cotó es requereixen 5.000 litres d'aigua. Degut al seu gran consum i l'impacte que això genera en un recurs tant limitat com és l'aigua, l'indústria està fent grans esforços per reduir aquests volums cada cop més.

Per poder determinar quina és l'afectació real de cada potencial avaria s'han d'identificar quines vàlvules cal tancar i, per tant, determinar quin tancament s'ha de realitzar. Addicionalment, cal analitzar quines són les alternatives perquè les canonades que estan properes a aquest tancament puguin continuar tenint subministrament per un camí alternatiu.

Per poder fer aquesta estimació del dany potencial, s'analitzen els 186.853 escenaris possibles d'avaría que s'obtenen realitzant un càlcul massiu a través del software SIGAB⁴. La utilització d'aquest software en el cas d'una avaría real consisteix en que el coordinador de l'equip de reparació està al telecomandament i té accés al SIGAB, en aquest software emplaça un punt d'avaría al tram que d'acord amb la informació que li envien és el punt més probable d'avaría. Llavors, l'aplicació és capaç de fer una cerca de possibles vàlvules a tancar, aforant diverses opcions de conjunts de vàlvules que minimitzin el nombre d'escomeses que queden sense aigua i que permeten seguir subministrant a aquells clients que es troben fora de la xarxa afectada. Aquesta identificació de vàlvules i escomeses afectats es fa en base a un procés iteratiu que té limitades el nombre d'iteracions per tal d'optimitzar el temps de càlcul a la urgència de l'avaría.

⁴ **SIGAB** (Sistema d'Informació Geogràfic d'Aigües de Barcelona), software utilitzat habitualment per Aigües de Barcelona

Per obtenir els resultats utilitzats al model s'ha hagut de limitar encara més aquest nombre d'iteracions, ja que és necessari passar el procés per tots els trams de la xarxa. Cal tenir en compte que el cost computacional de l'algorisme emprat augmenta de forma exponencial en funció del nombre d'iteracions. Actualment són necessàries dues setmanes de càlcul per obtenir les vàlvules i els subministrament afectats per cadascun dels trams de l'inventari. Comprovant els escenaris d'avaria obtinguts amb aquest nombre d'iteracions, s'observa que la major part dels escenaris són propers a la realitat, només alguns escenaris on la xarxa és molt complexa es pot obtenir un impacte inferior al real.

A continuació, a la Figura 4.5 es torna a presentar l'esquema anteriorment mostrat a la Figura 4.4, en aquest cas però apareix tot el detall de la xarxa que permet definir l'assignació del dany potencial de l'entitat tancament a l'entitat tram d'inventari.

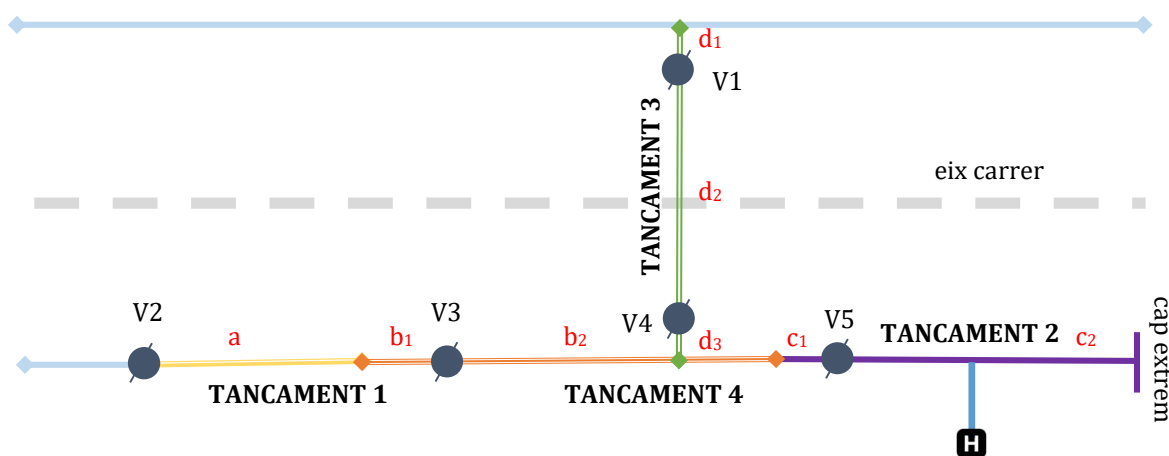


Figura 4.5. Configuració de la xarxa: trams, vàlvules de seccionament, subtrams i tancaments

A la Figura 4.5 es poden observar diversos trams d'inventari de xarxa de distribució (a , b , c , d), cinc vàlvules de seccionament ($V1$, $V2$, $V3$, $V4$, $V5$), els subtrams amb els que queda dividit el tram d'inventari degut a l'existència d'una vàlvula (b_1 , b_2 , d_1 , d_2 , d_3 , c_1 , c_2) i els 4 possibles tancaments (1, 2, 3, 4). També es mostra una escomesa que dona servei a un client sensible (H) situada al segment c_2 . Cal posar èmfasi en que el tram que té el client sensible només li arriba aigua per un dels seus extrems, l'altre està tancat doncs és un cap extrem.

Dels elements mostrats a la Figura 4.5 només els trams i les vàlvules són elements d'inventari, els subtrams i els tancaments són elements ficticis que no estan inventariats, però que ha estat necessari utilitzar-los. Les vàlvules divideixen els trams en segments que se'ls ha anomenat **subtrams**. Els tancaments com s'ha introduït anteriorment són necessaris per limitar el conjunt d'elements (trams o subtrams) que queden sense aigua quan es tanquen aquelles vàlvules necessàries per reparar una potencial avaria.

Els 186.853 escenaris possibles d'avaria resulten de la combinació entre els 120.761 trams i les 77.469 vàlvules de seccionament. Si s'observa el tram b de la Figura 4.5, aquest està dividit en dos subtrams (b_1 i b_2) per la vàlvula $V3$. L'avaria es podria produir al subtram b_1 o al subtram b_2 , com es pot observar el tancament que caldria realitzar seria

diferent. Si s'avia el subtram b_1 caldria tancar les vàlvules $V2$ i $V3$, que correspondrien a realitzar el *tancament 1*. En canvi, si s'avia el subtram b_2 seria necessari tancar les vàlvules $V3$, $V4$ i $V5$, realitzant el *tancament 4*.

Cal tenir en compte que diferents escenaris poden tenir com a resultat les mateixes vàlvules a tancar i per tant, deixen sense aigua al mateix nombre d'escomeses. A la xarxa hi ha 46.591 tancaments possibles, i és aquesta entitat fictícia tancament la que té un dany potencial unívoc associat. Com s'ha comentat, és la que ens indica quines escomeses es quedaran sense subministrament.

La Taula 4.3 mostra per cada tancament que apareix a l'exemple de la Figura 4.5, quins són els subtrams (o segments de tram) que queden sense aigua i quines vàlvules cal tancar per aïllar cada tancament.

Taula 4.3. Elements que aïllen cada tancament

Tancament	Segments de tram	Vàlvules que separen
1	a, b_1	$V2 - V3$
2	c_2	$V5 - \text{Final (cap extrem)}$
3	d_2	$V1 - V4$
4	b_2, d_3, c_1	$V3 - V4 - V5$

Tal com s'ha indicat, no només es té en compte el nombre de clients afectats per aquesta possible avaria, és a dir, el nombre de persones, sinó que també es fa un estudi del tipus de subministrament (si hi ha clients sensibles o grans consumidors). Aquest estudi es realitza a partir de les dades comercials associades als més de 1,4 milions de pòlisses de subministrament. Aquestes pòlisses poden subministrar aigua a clients sensibles (CS) si al darrera d'aquest subministrament hi ha un hospital o bé un centre de diàlisi, o a clients considerats grans consumidors (GC) si el consum d'aquest és superior a 10 m^3 per dia i client.

Tal com s'ha introduït, el dany està lligat a l'entitat tancament i , per tant, com que l'element a prioritzar és la totalitat de cadascun dels trams de l'inventari, és necessària una assignació del dany a nivell de tancament a cadascun dels trams. A continuació, es presenta la metodologia seguida per realitzar aquesta assignació.

El dany a nivell de tram no és el resultat d'una assignació directa, sinó que s'ha de realitzar una anàlisi més detallada dels efectes que tenen els diferents tancaments sobre el tram en qüestió. A la Taula 4.4 es presenta un exemple de la lògica d'assignació utilitzada, on s'analitza com afectaria al client sensible (H) de la Figura 4.5 una possible avaria d'algun dels trams adjacents. El client sensible (H), tal com es mostra a la Figura 4.5, està situat al tram c .

Taula 4.4. Lògica d'assignació de dany

Assignació directa a Tram	Assignació a nivell de Tancament (1er pas)	Assignació als Trams del Tancament (2n pas)
a - 0	Tancament 1 - 0	a - 0
b - 0	Tancament 2 - H	b - H
c - H	Tancament 3 - 0	c - H
d - 0	Tancament 4 - H	d - H

Si ens guiéssim per l'assignació directa a tram, primera columna de la Taula 4.4, deduiríem erròniament que només s'afectaria al client sensible (H) en cas de patir una avaria al tram *c*, quan, si s'estudien els tancaments, en realitat qualsevol dels trams que es troben dins dels *tancament 2 i 4* tenen subtrams que afectarien igualment el subministrament al client sensible al llarg del temps de reparació, en cas d'avaría.

Per tant a la pràctica es fa una primera assignació a nivell de tancament, la segona columna de la Taula 4.4. i una segona assignació a nivell de tram, la tercera columna de la Taula 4.4. En resum, a cada tram li correspon el valor màxim dels danys dels seus subtrams.

Per calcular el **dany potencial d'afectació** per avaria (*DPA*), com s'apuntava anteriorment, cal determinar el nombre de persones, clients sensibles i grans consumidors que afectaria cada tram en cas d'avaría, és per aquest motiu que anteriorment s'ha detallat com realitzar aquest procés d'assignació a cada tram. Una vegada determinats aquests paràmetres a nivell de tancament s'aplica l'Eq. 4.3 per obtenir el dany potencial d'afectació per avaria (*DPA*) de cada tancament.

$$DPA_i = 10^{\frac{\log\left(2,3 + \left(\frac{H_i}{0,45} + A_i + B_i\right) \cdot 10^7 + \left(\frac{C_i}{600} + \frac{D_i}{200}\right) \cdot 10^4\right) - \log(2,3)}{6}} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

- On:
- H_i : és el nombre de clients sensibles afectats
 - A_i : depèn del consum per client afectat (Taula 4.5)
 - B_i : depèn del nombre de clients afectats (Taula 4.5)
 - C_i : és el nombre de persones afectades
 - D_i : és el volum consumit per client ($D = m^3 \text{ consumits}/C$)

Taula 4.5. Paràmetres de càlcul de dany potencial d'afectació per avaria

Límits m^3 per dia i client	A	Límits nº clients	B
m^3 per dia i client ≥ 400	1,000	Nº Clients ≥ 750	1,000
m^3 per dia i client ≥ 200	0,001	Nº Clients ≥ 375	0,001
m^3 per dia i client < 200	0,000	Nº Clients < 375	0,000

L'equació del *DPA* s'ha dissenyat per obtenir una graduació estratificada del dany en ordres de magnitud recollint les sensibilitats expressades pels responsables de Clients i plasmades a la Taula 4.2. L'Eq. 4.3 utilitza els logaritmes per aconseguir una major separació dels valors resultats entre nivells de sensibilitat expressats.

El primer estrat, l'Eq. 4.3 dona màxima prioritat a la renovació dels trams que es troben dins de tancaments on hi ha algun client sensible, consums iguals o superiors a 400 m³/dia/client i més de 750 clients. Els 750 clients corresponen al nombre de clients afectats límit a partir del qual es realitza comunicació automàtica de la incidència als ajuntaments que correspongui.

A un segon estrat, tal i com està dissenyada la fórmula de càlcul (Eq. 4.3), es destaquen els tancaments que tenen un nombre de clients entre 375 i 749 i/o un consum per dia i client entre 200 i 399 m³/dia/client.

En un tercer estrat es troben aquells tancaments amb menys de 375 clients i un consum per dia i client inferior a 200 m³ ordenats proporcionalment al valor de les magnituds que els defineixen.

El resultat de l'Eq. 4.3 és un valor que per l'inventari de la xarxa d'Aigües de Barcelona es troba entre els rangs 0 i 19. Repartint aquest interval de valors de dany potencial en subintervalos obtenim la Taula 4.6. i amb aquest exercici es pot comprovar com queda distribuït l'inventari de trams en relació al dany potencial Figura 4.6.

Taula 4.6. Nivells de criticitat del dany potencial d'avaría (DPA) dels tancaments i els trams

Criticitat	DPA (tram)
Molt crític	$\geq 5,00$
Crític	$\geq 4,30$ i $< 5,00$
Moderadament crític	$\geq 3,0$ i $< 4,30$
Moderadament preocupant	$> 1,00$ i $< 3,00$
No preocupant	$\leq 1,00$

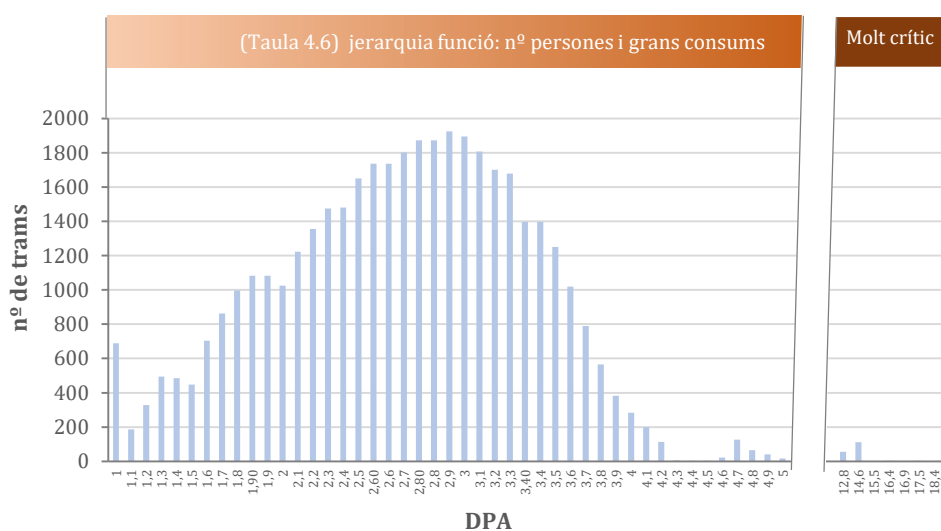


Figura 4.6. Població de trams en funció del dany potencial d'avaría (DPA)

L'últim pas per calcular el risc potencial d'avaria (*RPA'*) tal com s'indica a l'(Eq. 4.2) és multiplicar el DPA de cada tram per la seva PA. Així, el *RPA'* serà màxim per aquells trams que tenen una alta probabilitat d'avaria i un dany potencial elevat, i mínim per aquells trams que tenen una probabilitat d'avaria baixa i el dany potencial associat també baix.

A la Taula 4.7 es presenten els nivells de criticitat del risc potencial d'afectació (*RPA'*), aquests valors que han servit per a la confecció de la funció de valor de la Figura 4.7, una vegada més recollint la sensibilitat expressada pels responsables de Clients.

Taula 4.7. Nivells de criticitat del risc potencial d'afectació (*RPA'*)

Criticitat	RPA
Molt crític	$\geq 4,0$
Crític	$\geq 3,00$ i $< 4,00$
Moderadament crític	$\geq 2,00$ i $< 3,00$
Moderadament preocupant	$> 1,00$ i $< 2,00$
No preocupant	$\leq 1,00$

El risc potencial d'afectació (*RPA'*) per avaria s'avalua amb la funció de valor presentada a l'Eq. 4.4 i la Figura 4.7. La funció de valor que es proposa té una forma creixent ja que com més gran sigui el risc potencial d'afectació per avaria més elevat ha de sortir l'indicador perquè el tram surti més prioritzat. S'ha utilitzat una funció en forma "S" tal com es mostra a la figura 3.8, amb un mínim situat al punt (0;0) i el màxim al punt (4,7;1).

$$RPA = 1,00 * \left[1 - e^{-0,6 * \left(\frac{|RPA'|}{2,5} \right)^6} \right] \quad (\text{Eq. 4.4})$$

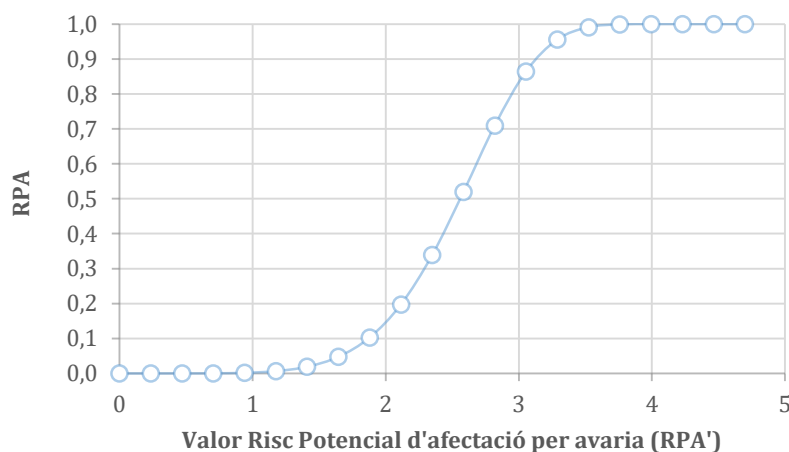


Figura 4.7. Funció de valor Indicador Risc Potencial d'afectació

La part còncava fins al punt 2,5 on es situa el punt d'inflexió té una pendent suau, donant menys importància a aquelles puntuacions inferiors 3, i és a partir d'aquest punt

d'inflexió, quan la funció és convexa que l'indicador dona resultats més elevats. A partir del índex 4 de RPA' la funció de valor proporciona resultats propers a 1. S'ha considerat aquesta funció de valor òptima per discriminar tots aquells trams que tenen un RPA' baix (inferior a 2 punts) deixant amb puntuacions intermèdies aquells que tenen entre 2 i 3 punts i finalment, dona més prioritats a aquells trams que tenen un RPA' major que 3. Aquests darrers que tenen més de 3 punts de risc són els trams que seran prioritzats per aquest indicador.

Risc històric d'afectació per avaria (RHA)

Les afectacions reiterades del servei generen més sensibilitat a un futur esdeveniment, és per aquest motiu que complementàriament al risc potencial d'afectació per avaries es calcula el risc històric d'afectació per avaria.

Els responsables de Clients, encarregats d'administrar i donar resposta a les reclamacions derivades de les avaries expressen la sensibilitat que aquests usuaris manifesten i a partir de quins límits s'incrementen les reclamacions.

Les reclamacions posen de manifest una incidència però aquesta no sempre té com a origen una avaria d'Aigües de Barcelona. Cal doncs, contrastar les queixes amb la informació disponible sobre les avaries ocorregudes. Així només es tenen en compte aquelles reclamacions amb antecedents d'avaría i tal com demana el departament de Clients s'avalua la criticitat de cada cas utilitzant també la durada i el número d'interrupcions que el subministrament ha sofert per avaría. Així, per cada subministrament s'utilitzen els valors de les tres variables de forma que la magnitud de la incidència serà només si almenys dues de les tres variables així ho indiquen.

El **risc històric d'afectació per avaria (RHA)**, segons l'Eq. 4.5 és el producte de la puntuació de dany històric (*PDH*) per la probabilitat de que aquesta avaría es produeixi (*PA*, descrita a l'apartat 3.5.3.1 del capítol anterior). La *PDH* està lligada al valor de dany històric que ha tingut cadascun dels trams de l'inventari.

$$RHA' = PDH \cdot PA \quad (\text{Eq. 4.5})$$

Com ja s'ha avançat, per estimar el valor de dany històric (*VDH*) és necessari recórrer a l'històric d'avaries, la seva durada per cadascuna de les 210.303 escomeses en servei així com l'històric de les reclamacions a nivell de subministrament i amb el detall del motiu de reclamació.

Pel que fa a l'històric d'avaries, s'utilitza la informació dels últims 5 anys, que detalla les escomeses afectades i la durada de cadascun dels tancaments realitzats. A partir d'aquests històric es calcula per cada escomesa la durada acumulada (*temps total sense servei*) i la reiteració (*número d'interrupcions*). Aquests valors a nivell d'escomesa s'assignen a nivell de tancament, doncs les escomeses que formen part d'un mateix tancament han de

tenir la mateixa durada acumulada i reiteració, ja que les avaries que han ocasionat aquests tancaments afecten a totes les escomeses del tancament per igual.

La informació de les reclamacions com també l'històric d'avaries s'obté a nivell d'escomesa i es calcula quantes reclamacions hi ha per escomesa (*nombre de reclamacions*). Seguidament aquesta informació s'escala a nivell de tancament.

Per aquells trams que pertanyen a més d'un tancament, s'escull el valor dany històric (VDH) màxim dels tancaments als quals pertany. També s'assigna a cada tram el màxim dels paràmetres utilitzats pel càlcul del VDH, *temps total sense servei*, *nombre d'interrupcions* i *nombre de reclamacions*.

La lògica de càlcul del VDH és el resultat de la suma de valors dels tres factors que componen el dany (Eq. 4.6), *temps total sense servei*, *nombre d'interrupcions* i *nombre de reclamacions*.

$$VDH = \sum_{i=1}^3 \text{Valor factor}_i \quad (\text{Eq. 4.6})$$

Els límits dels factors es presenta a la Taula 4.8 on també s'indiquen els valors que els correspon segons aquests límits definits. Hi ha tres nivells de valor d'impacte: 0, 1 i 4, que corresponen a impactes baixos, mitjos i alts respectivament.

Taula 4.8. Límits dels factors

Factor	Classificació	Valor
Temps total sense servei	TSS ≤ 5	0
	12 > TSS > 5	1
	TSS ≥ 12	4
Nº d'interrupcions	INT < 2	0
	3 > INT ≥ 2	1
	INT ≥ 3	4
Nº de reclamacions	REC < 2	0
	3 > REC ≥ 2	1
	REC ≥ 3	4

S'ha escollit aquesta escala (0, 1, 4) per poder diferenciar les diverses combinacions dels tres factors i copsar els requeriments que els responsables de Clients van transmetre del que realment preocupa a l'empresa. Només és possible tenir una suma de valors igual a 3 si els tres factors tenen un valor mitjà igual a 1. Ja que no s'ha considerat tan rellevant quin factor és el que ens dona aquest valor sinó quina simultaneïtat de factors es dona en cada escenari. Amb aquesta lògica s'evita donar molta importància a efectes puntuals que poden no haver estat percebuts pels clients o errors dels sistemes d'informació al moment d'enregistrar els paràmetres.

Aquestes combinacions es presenten a la Figura 4.8 i a la Taula 4.9 pels diferents valors dels factors, on s'ha anomenat als factors de forma genèrica per reduir el nombre de combinacions, així doncs, es consideren només 10 combinacions tot i que si es tractessin els factors amb nom propi en sortirien 27.

A la Taula 4.9 també es presenten els nivells de criticitat de la puntuació de dany històric, recollint la sensibilitat expressada pels responsables de Clients.

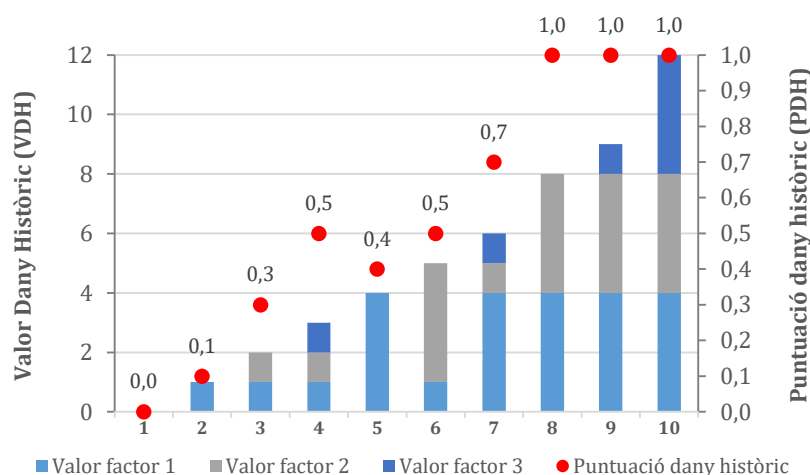


Figura 4.8. Combinacions factors per la puntuació de dany històric (PDH)

Taula 4.9. Nivells de criticitat de la puntuació dany històric (RDH)

Criticitat	Valor factor 1	Valor factor 2	Valor factor 3	PDH
Molt crític	4	4	4	1,0
	1	4	4	1,0
	0	4	4	1,0
Crític	1	1	4	0,7
	0	0	4	0,4
Moderadament crític	0	1	4	0,5
	1	1	1	0,5
Moderadament preocupant	0	1	1	0,3
No preocupant	0	0	1	0,1
	0	0	0	0,0

S'observa a la Figura 4.8 que la puntuació de dany històric (PDH) no només és més elevada quan els valors dels factors són més elevats, sinó que té en compte la concomitància amb la resta de factors. És per aquest motiu que el 4rt i el 6è escenari plantejat a la Figura 4.8 tenen la mateixa puntuació de dany històric 0,5 punts, una puntuació major que l'escenari 5è on la suma dels factors és major que l'escenari 4rt, però té puntuació menor. El motiu d'aquesta puntuació més baixa és que en aquest cas només hi ha un factor amb

valor alt, per contra, els altres dos escenaris, 4rt i 6è, tenen més d'un factor amb valor mitjos o alts.

La lògica de càlcul de la puntuació dany històric (*PDH*) dona un puntuació final compresa entre 0 i 1 com s'observa a la Figura 4.8, que multiplicat per la probabilitat d'avaría (*PA*), un valor entre 0 i 1, resulta en un valor entre 0 i 1 (Eq. 4.7), per aquests motiu que la funció de valor presentada a la Figura 4.9 és una funció lineal obtenint així el mateix valor.

$$RHA = RHA' \quad (\text{Eq. 4.7})$$

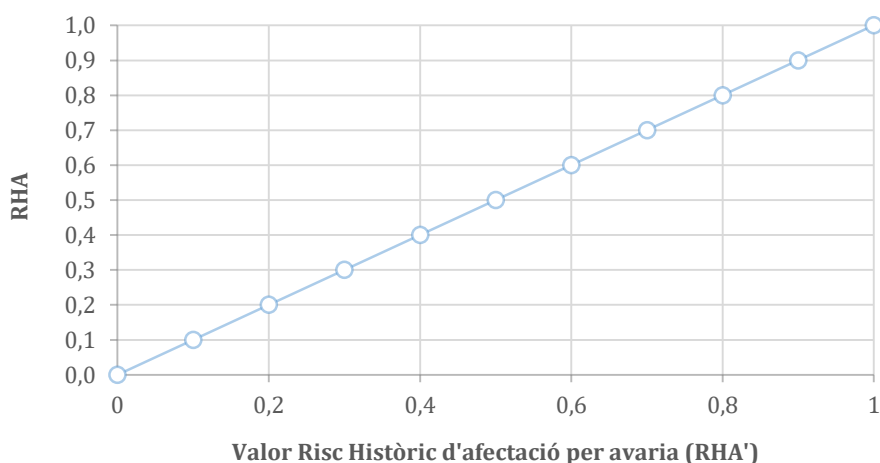


Figura 4.9. Funció de valor Indicador Risc Històric d'avaría

Com que la sensibilitat expressada pels responsables de Clients està incorporada dins de la puntuació de dany històric (Taula 4.9), la funció de valor lineal satisfà aquesta sensibilitat. Així, si els tres factors tenen puntuació, es pot assegurar que hi ha hagut dany històric. Si a més, la probabilitat d'avaría (*PA*) es troba a la franja alta, el valor de l'indicador de RHA és tan elevat com la probabilitat. En la resta d'escenaris on no hi ha certesa màxima (almenys dos factors tenen valor), però existeix la sospita, aquests trams obtenen un valor de l'indicador de RHA proporcional a la probabilitat d'avaría que tingui el tram.

4.2.2.2. [Indicador d'afectació a la percepció organolèptica \(APO\)](#)

Tal com s'ha mencionat a l'apartat 4.2.1, tot i que la percepció organolèptica fa referència a tres aspectes (color, sabor i olor), l'indicador d'afectació a la percepció organolèptica (*APO*) pretén tenir en compte l'afectació per color, ja que és l'únic aspecte segons els responsables de Laboratori identificat com a millorable a través de la renovació de la xarxa. Les alteracions del color poden ser resultat d'un procés de corrosió de les canonades que es pot donar en canonades de materials fèrrics.

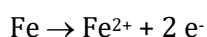
Els responsables del Laboratori són els que indiquen que la millora de la qualitat de l'aigua pot venir associada a la renovació, ja que per un determinat material, la fosa grisa, hi ha un efecte que es produeix quan el material es troba en mal estat de conservació. Aquest

efecte, la corrosió, produeix coloració de l'aigua. Són els responsables del Laboratori els que indiquen que les determinacions de ferro juntament amb altres dades del Pla d'Autocontrol, es recullen a través dels analitzadors en continu que hi ha repartits a tota la xarxa i les mostres que es prenen al Pla de Mostreig. Com que aquestes determinacions de ferro es prenen repartides per la xarxa, responsables del Laboratori indiquen que l'entitat on estan indexades és a nivell de sector (entitat on es produeix el dany). Així en aquest cas, és necessari desenvolupar una lògica d'assignació a nivell de tram d'inventari que s'explica més endavant.

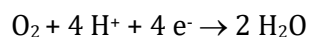
La corrosió de canonades de ferro a la xarxa pot causar tres problemes rellevants diferents (McNeill and Edwards 2001). En primer lloc, la pèrdua d'espessor de la canonada degut a l'oxidació del ferro soluble. En segon lloc, la corrosió pot produir acumulacions, anomenats tubercles, reduint la capacitat de transport d'aigua per obstrucció de la canonada. Finalment, l'alliberació a l'aigua que circula per aquestes canonades de subproductes de corrosió de ferro soluble o de partícules pot produir reclamacions per episodis a l'aixeta del fenomen anomenat "*red water*".

El fenomen "*red water*", tal com s'indica a l'esquema de la Figura 4.10, pot tenir un origen químic o físic. Quan les partícules alliberades són originades per un procés químic aquestes partícules procedeixen d'un procés electroquímic d'oxidació i nucleació, és en aquest procés de nucleació durant el canvi d'estat quan s'alliberen aquestes partícules. En canvi, quan les partícules alliberades són originades per un procés físic, aquestes provenen de l'abració o erosió de partícules de la canonada.

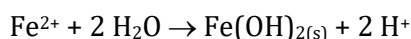
El procés electroquímic d'oxidació del ferro és degut a la presència d'oxigen. A l'ànode és on es produeix la corrosió i el ferro passa d'estat metàl·lic a iònic i després a solució. La reacció aniònica es pot escriure de la següent forma:



Els dos electrons alliberats durant el procés aniònic es desplacen a través de la massa metàl·lica al càtode o zona catòdica. La reacció catòdica es pot escriure de la següent forma:



Mentre, el Fe^{2+} reacciona amb l'aigua i produeix òxid i ions d'hidrogen, tal com es mostra a la reacció següent:



Aquest òxid es diposita sobre la superfície de l'ànode. El hidròxid ferros ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) pot seguir reaccionant amb l'aigua produint un altra forma d'òxid, anomenat hidròxid fèrric ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Aquestes capes d'òxid que es van acumulant a l'ànode són les que formen els tubercles.

Aquest fenomen de canvi de color degut a l'alliberament dels subproductes de la corrosió es veu afavorit per canvis en factors com la velocitat, el sentit de circulació de l'aigua, la disponibilitat d'oxigen, el pH de l'aigua o el temps de residència de l'aigua dins de la canonada.

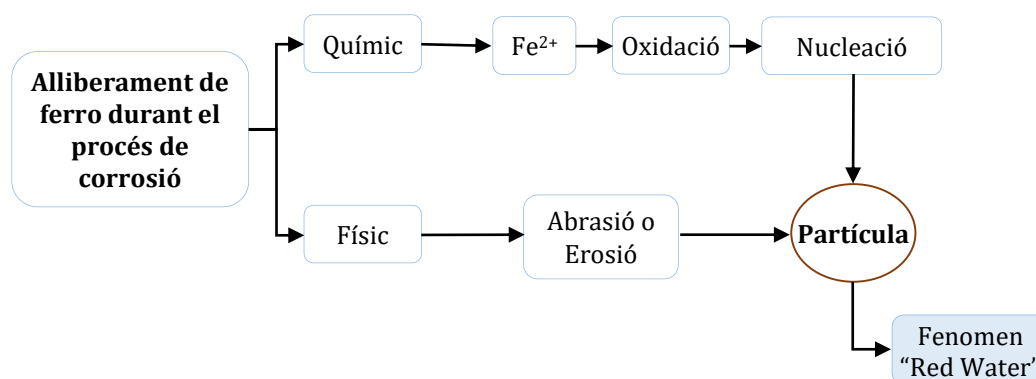


Figura 4.10. Esquema de formació del fenomen "red water"

Dels materials instal·lats a la xarxa d'abastament d'Aigües de Barcelona, només la fosa grisa pot sofrir aquest fenomen de corrosió. En canvi, la fosa dúctil compta amb un recobriment interior de morter de ciment que impedeix que es produeixi el fenomen de corrosió.

Així doncs, l'indicador de risc d'**afectació a la percepció organolèptica** té com a objectiu identificar aquelles canonades que degut al seu material i al seu estat de conservació podrien tenir una major predisposició a originar fenòmens temporals de coloració de l'aigua.

Cal tenir en compte que tal com estableix la OMS i queda recollit en el RD 140, el *Fe* és un paràmetre "indicador" i per tant sense límit superior d'incompliment sanitari. Això és deu a que el *Fe* no només és innocu sinó que té un paper clau en el nostre metabolisme. Així, l'estudi de les concentracions de *Fe* a la xarxa s'utilitza només per prelocalitzar zones (en aquest cas *sectors*) on hi ha més probabilitat que les canonades de fosa grisa estiguin més properes al final de la seva vida útil, i per tant, puguin en un futur derivar en un problema de percepció organolèptica.

Val a dir, però, que de l'estudi de l'històric de queixes per percepció organolèptica de l'aigua, s'han identificat uns pocs casos aïllats pels quals, feta la determinació corresponent, contenen una concentració elevada de *Fe*. En aquests casos s'opta per substituir les canonades de fosa grisa properes i la problemàtica es soluciona. En definitiva, el model, a través de les moltes determinacions de *Fe* detecta les zones on hi ha canonades de fosa grisa amb símptomes d'estar al final de la seva vida útil i fixa per cada canonada una primera valoració del potencial de ser origen de problemes de percepció organolèptica. Aquesta valoració al seu torn es veuria substancialment incrementada en el cas que s'haguessin registrat queixes de clients en la mateixa línia, a fi que el propi model suggereixi la seva renovació.

El càlcul de l'indicador d'afectació a la percepció organolèptica utilitza com a dades base principals les determinacions de laboratori, les dades de reclamacions degudes a color de l'aigua realitzades pels clients i la seva posició relativa dins del sector. Considerant també les premisses de que l'assignació a tram ha de tenir en compte la seva posició relativa dins del sector, doncs cal identificar els escenaris més preocupants aquells que tenen un dany absolut major (entrada del sector) i aquells que tenen un dany relatiu major (cap extrem). Amb aquestes dades base i les premisses de major dany absolut i major dany relatiu, s'estableix la següent lògica d'assignació a tram:

- En primer lloc, s'identifiquen els sectors que en relació al conjunt total tenen valors de presència de ferro més significatius i/o han registrat alguna reclamació per color de l'aigua que posteriorment s'ha confirmat.
- En una segona fase, s'identifiquen totes les canonades de fosa grisa del sector i es destaquen aquelles canonades de fosa grisa que estan a l'entrada del sector i les més allunyades als punts d'entrada. El motiu és que les canonades de l'entrada del sector, per la seva situació, tenen un major impacte absolut en cas de deteriorament ja que a l'estar a l'entrada el problema pot afectar a tot el tancament. Per altra banda, les canonades més allunyades de l'entrada són les que tindrien més impacte localitzat ja que la circulació d'aigua és limitada, tal com s'apuntava anteriorment a més temps de residència més intens és el fenomen.

Per poder classificar els trams segons la seva posició dins de la configuració del sector, pròxims a l'entrada o situats en la posició més allunyada, cal realitzar un treball previ d'assignació de cotes piezomètriques mínimes i màximes a cada tram. La informació de pressions es troba a nivell d'escomesa i es aquesta informació a nivell d'escomesa la que es traspasa a nivell de tram, com la mitjana de les pressions màximes i mínimes de les escomeses de cada tram. Si el tram no té escomeses associades, s'utilitzen les cotes altimètriques. Així doncs, en aquesta assignació s'utilitzen:

- les cotes altimètriques de cada escomesa
- l'estimació de la pressió mínima de servei a les escomeses (s'obté amb la simulació a hora punta de tota la xarxa)
- l'estimació de pressions màximes a les escomeses en funció de la cota piezomètrica del sector al que pertanyen

L'estimació d'aquestes dues magnituds (pressió mínima i pressió màxima) a nivell de tram a partir de dades d'escomeses i l'associació tram-tancaments potencials. Aquesta última part és necessària per poder assimilar la localització relativa respecte dels punts de control d'entrada als sectors d'aquells trams de fosa grisa sense escomesa utilitzant la localització relativa d'altres trams que si que tenen escomeses. I és que els trams molt propers a les entrades tenen les diferències de cotes piezomètriques entre hora punta i hora vall mínimes dins del sector i pels trams més allunyats a l'entrada és a l'invers. Així doncs, s'aproxima la localització dels trams de fosa grisa dins del sector segons la diferència entre pressió màxima i pressió mínima, a aquesta diferència se l'ha anomenat salt. Els trams

d'entrada d'un sector s'aproximen a aquells on el salt és menor al percentil 5% del salts de pressió d'aquell sector. Per contra, es consideren cap extrem aquells trams que tenen salts de pressió superiors al percentil 95% dels salts de pressió del sector corresponent.

Finalment, el valor de l'indicador d'afectació a la percepció organolèptica (*APO*) és el resultat de passar la puntuació de percepció organolèptica (*PPO*), un valor entre 0 i 6, per la funció de valor presentada a l'Eq. 4.8 i la Figura 4.11.

$$APO = 1,00 * \left[1 - e^{-0,3 * \left(\frac{|PPO|}{1,7} \right)^5} \right] \quad (\text{Eq. 4.8})$$

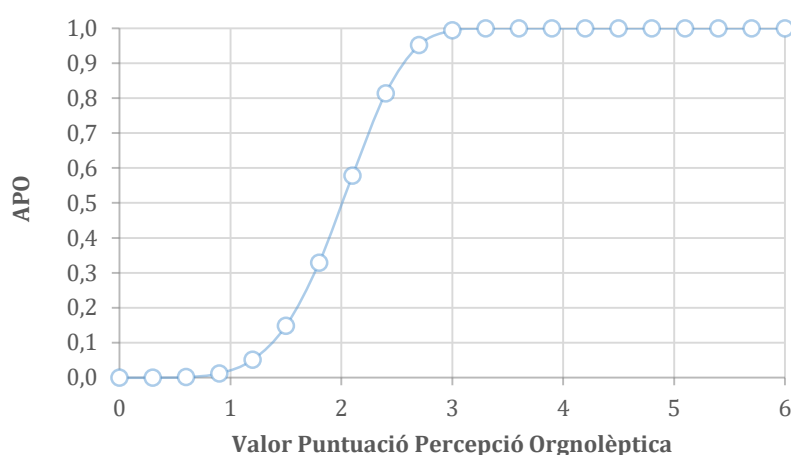


Figura 4.11. Funció de valor Indicador d'Afectació a la Percepció Organolèptica (*APO*)

La funció de valor que es proposa per aquest indicador té una forma creixent ja que com a la resta de casos a més puntuació de percepció organolèptica més prioritzat ha de sortir el tram. S'ha utilitzat una funció en forma "S" tal com es mostra a la Figura 4.11, amb un mínim situat al punt (0;0) i el màxim al punt (4,2;1). La finalitat de la funció és donar importància a aquelles puntuacions superiors a aproximadament 2 i posar en relleu aquelles puntuacions més intolerables limitades inferiorment per 3 punts.

El valor màxim de puntuació de percepció organolèptica (*PPO*) són 6 punts: 3 punts són procedents de les determinacions, quan aquestes són superiors a 100 µg i els 3 restants són de les reclamacions, si hi ha hagut una reclamació que després s'ha confirmat amb la determinació se li donen els punts extra. Per aquest motiu, a partir dels 3 punts s'obté un valor de l'indicador APO igual a 1 ja que es considera que amb puntuació màxima a un dels dos paràmetres, determinació o reclamació, o amb una combinació del dos paràmetres igual a 3, el tram ja ha de ser prioritzat al màxim.

4.2.3 Afectació a la Ciutat

4.2.3.1. Indicador d'afectació a la mobilitat per avaria (AMA)

Les avaries de la xarxa tenen un component aleatori, tot i que és més probable tenir avaries en trams en pitjor estat que en trams nous, és per aquest motiu que l'indicador d'afectació a la mobilitat per avaria (AMA) té per objectiu la reducció del risc d'afectació a la mobilitat per mitjà d'identificar aquells trams amb pitjor estat i que tindrien major impacte sobre la mobilitat en cas d'avaría.

Es tracta d'un indicador de risc que segons l'Eq. 4.9 resulta del producte del dany sobre la mobilitat ($Dany_{MOB}$) i la probabilitat d'avaría (PA , descrita a l'apartat 3.5.3.1 del capítol anterior).

$$RISC_{MOB} = Dany_{MOB} \cdot PA \quad (\text{Eq. 4.9})$$

Aquest dany sobre la mobilitat s'ha pogut determinar amb l'ajuda per una banda dels responsables Territorials que reparen aquestes avaries i, per tant, tenen l'experiència en la gestió d'aquestes afectacions. Per altra banda els Ajuntaments, com a màxim responsables de la ciutat, són els que pateixen aquesta situació i tenen una visió més amplia de què és la mobilitat. Dels Ajuntaments es recull la sensibilitat dels diferents tipus de mobilitat (rodada i de vianants), i també la preocupació per determinades zones de la ciutat amb més concurrència de persones.

Així doncs, l'entitat on es genera el dany sobre la mobilitat, és una entitat que té sentit per la ciutat (els barris, els eixos de carrers, zones específiques on per algun motiu hi ha concentració de persones). En aquest cas, l'entitat que concentra el dany no és una entitat pròpia del sistema d'abastament. Per aquest motiu cal desenvolupar una lògica d'assignació del dany associat a aquestes entitats de ciutat a dany del tram d'inventari.

Per recollir la sensibilitat pel que fa a la mobilitat, l'ajuntament de Barcelona va ser l'ajuntament seleccionat per iniciar aquest procés de recopilació d'informació. Al tractar-se d'una ciutat molt densa on conviuen diferents tipus de modes de transport, va ser l'encarregat de proporcionar les diferents sensibilitat de mobilitat que conviuen a la ciutat i la informació vectorial d'aquells modes de transport dels que tenia informació.

Seguidament, s'analitzen els Plans de Mobilitat Urbana Sostenible (PMU o PMUS), dels diferents ajuntaments de l'àmbit. Els PMU són l'instrument de planificació on es defineixen els línies estratègiques d'actuació per governar la mobilitat urbana sostenible. No tots els municipis de l'àmbit disposen de PMU, alguns tenen Estudis de Mobilitat Urbana (EMU), la diferència principal entre ambdós documents és que el PMU està aprovat segons la Llei de mobilitat i l'EMU no ho està.

La *Llei de mobilitat* aprovada al setembre del 2003, obliga a tots els municipis de més de 50.000 habitants i els que són capital de comarca a realitzar un PMU. Actualment, a part de la *Llei de la mobilitat*, existeixen d'altres documents normatius que encara afegixen més requeriments als municipis en matèria de mobilitat:

- *Pla director de mobilitat de la Regió Metropolitana de Barcelona (PDM)*.
El PDM determina que tots els municipis de la Regió Metropolitana de Barcelona amb més de 20.000 habitants hauran de realitzar un Pla de mobilitat urbana.
- *Decret 152/2007 del pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire als municipis de protecció de l'ambient atmosfèric*.
El Decret 152/2007 determina que tots els municipis inclosos dins de l'àmbit de protecció especial de l'ambient atmosfèric hauran de realitzar un Pla de mobilitat urbana.
- *Decret 344/2006 de regulació dels estudis d'avaluació de la mobilitat generada*.
El Decret 344/2006 determina que tots els documents de planejament general o derivat i implantacions singulars que superin els 5000 viatges/dia hauran d'incorporar un document d'avaluació de la mobilitat generada. Aquest document estudiarà la mobilitat en aquestes noves planificacions urbanístiques i en proposarà els canvis necessaris per a garantir l'accessibilitat amb tots els mitjans de transport.

S'estudia la informació de la que disposa cadascun dels ajuntaments de l'àmbit, segons el PMU o l'EMU i amb la relació d'aquesta informació es realitzen un seguit de trobades amb aquests ajuntaments per tal de presentar la proposta d'ús de la informació de mobilitat, corroborar la sensibilitat pel que fa la mobilitat de la seva ciutat i obtenir la informació en format vectorial.

A la Taula 4.10, es presenta aquesta informació consultada l'any 2017, on apareix si existeix obligatorietat de tenir PMU per cadascun dels ajuntaments de l'àmbit, l'estat del PMU o l'EMU i seguidament la informació disponible.

Paral·lelament es dissenya una alternativa per aquells municipis que no disposin d'informació de base, aquesta alternativa consisteix en estimar un nivell de mobilitat per cadascun dels barris del municipi a partir del comptatge de punts concentradors de persones de cada barri. Aquests punts captadors que defineixen el nivell de mobilitat són: comerços, activitats de restauració i estacions, entre d'altres. Aquesta proposta de nivells de mobilitat per barris ha de ser validada o modificada segons la sensibilitat de cada ajuntament.

Tal com s'observa a la Taula 4.10, la informació disponible als PMU és variada: IMD, jerarquies, nº de carrils, entre d'altres. És per aquest motiu que s'ha definit una jerarquia de preferències per definir quina informació és la més adequada a l'hora d'avaluar quin impacte es generaria.

Taula 4.10. Informació disponible PMU i EMU dels Ajuntaments de l'àmbit (consultats l'any 2017)

Municipi	DZS	Obligació PMU	Estat PMU	Estat EMU	Estat segons inventari	Memòria	Síntesi/Diagnosi	Annexes	EMU	IMD	IMP	Zones estratègiques	Plànols guia del municipi	Jerarquia del viari	Acústic	Nº Carrils	Mapa trajectes Bus	Xarxa o IMD de Vehicles pesants	Jerarquia de vianants	Amplada voreres	Barris	Jerarquia del viari de bicicletes	IMD de bicicletes	
Badalona	BES	SI	Aprovació inicial	-	Aprovació inicial		x	x		x	x	x		x			x		x	x	x	x		
Barcelona	BCNS I BCNN	SI	Acabat		Acabat	x																		
Begues	LLS	NO	En redacció	Acabat	Acabat				x															
Castelldefels	LLS	SI	Acabat	-	Acabat	x	x	x		x	x		x				x			x	x	x		
Cerdanyola del Vallès	BES	SI	En redacció	-	En redacció		x			x	x	x					x	x					x	
Cornellà de Llobregat	LLN	SI	Acabat	-	Acabat		x	x						x			x		x	x				
Esplugues de Llobregat	LLN	SI	En redacció	-	En redacció		x					x	x	x			x	x	x				x	
Gavà	LLS	SI	En redacció	-	En redacció		x					x		x			x		x		x	x		
L'Hospitalet de Llobregat	LLN	SI	Aprovació definitiva	-	Aprovació definitiva	x								x								x		
Montcada i Reixac	BES	SI	En redacció	-	En redacció	x					x	x	x	x			x		x		x		x	
Montgat	BES	NO	Acabat	Acabat	Acabat		x		x	x		x		x	x		x			x	x			
Pallejà	LLS	SI	Aprovació inicial	-	Aprovació inicial	x				x	x													
Papiol	LLS	SI	En redacció	-	En redacció																			
Sant Adrià de Besòs	BES	SI	En redacció	-	En redacció		x							x			x	x	x				x	
Sant Boi de Llobregat	LLS	SI	En redacció	Acabat	Acabat																			
Sant Climent de Llobregat	LLS	NO	En redacció	Acabat	Acabat																			
Sant Feliu de Llobregat	LLN	SI	Aprovació inicial	-	Aprovació inicial	x		x		x	x			x	x	x	x				x	x		
Sant Joan Despí	LLN	SI	Aprovació inicial	-	Aprovació inicial		x						x	x					x	x	x	x		
Sant Just Desvern	LLN	SI	Aprovació definitiva	-	Aprovació definitiva		x	x		x	x	x	x	x						x	x			
Santa Coloma de Cervelló	LLS	NO	En redacció	Acabat	Acabat		x			x		x		x					x	x				
Santa Coloma de Gramenet	BES	SI	En redacció	-	En redacció		x	x			x	x	x	x			x	x	x	x	x		x	
Torrelles de Llobregat	LLS	NO	En redacció	-	En redacció		x																	
Viladecans	LLS	SI	Aprovació inicial	-	Aprovació inicial		x				x	x		x			x						x	x

Pel que fa a la **mobilitat rodada**, la jerarquia de preferència és la següent:

1. Si es disposa de l'aranya de trànsit en vectorial (IMD) es fa servir directament aquesta informació.
2. Si només es disposa de la jerarquia de trànsit en vectorial (amb o sense el suport d'altra informació complementària) es fa servir directament aquesta informació.
3. Si només es disposa de l'aranya de trànsit en format paper però a més a més es disposa d'altres fonts d'informació inductores de mobilitat rodada (acústic, bus, carrils, vehicles pesants) en format en vectorial, es completa l'aranya de trànsit en format paper reflectint els vectors esmentats.

4. Si només es disposa de l'aranya de trànsit en format paper (IMD), sense cap altra tipus d'informació addicional en format vectorial, es fa servir directament l'aranya de trànsit en format paper.
5. Si només es disposa d'informació en format vectorial d'inductors que caracteritzen la mobilitat indirectament (acústic, bus, carrils, vehicles pesants) i no de l'aranya de trànsit, s'utilitza aquesta informació inductora de mobilitat.
6. En cas de no disposar de cap informació, no s'utilitza la mobilitat rodada.

Pel que fa a la **mobilitat de vianants**, la jerarquia de preferència és la següent:

1. Si es disposa de l'aranya de vianants en vectorial (IMP) es fa servir directament aquesta informació.
2. Si només es disposa de la jerarquia de vianants en vectorial (amb o sense el suport d'altra informació complementària), es fa servir directament aquesta informació.
3. Si només es disposa de l'aranya de vianants en format paper però a més a més es disposa d'altres fonts d'informació inductores de mobilitat a peu (amplada de carrers i altres) en format en vectorial, es completa l'aranya de vianants en format paper reflectint els vectors esmentats.
4. Si només es disposa de l'aranya de vianants en format paper (IMP), sense cap altre tipus d'informació addicional en format vectorial, es fa servir directament l'aranya de vianants en format paper.
5. Si només es disposa dels barris en vectorial es fa servir els pols d'atracció de persones (restaurants, escoles, densitat de població, ...) per deduir la IMP de base.
6. Si només es disposa dels barris en format paper, aquests es passen a vectorial i s'utilitzen els pols d'atracció de persones per deduir la IMP de BASE (restaurants, escoles, ...)

Amb tota aquesta informació de mobilitat associada a les diferents entitats de la ciutat (barris, eixos de carrer, zones especialment concentradores de persones) és possible calcular el dany d'afectació a la mobilitat ($Dany_{MOB}$), aquest càlcul segueix les fases descrites al diagrama de la Figura 4.12.

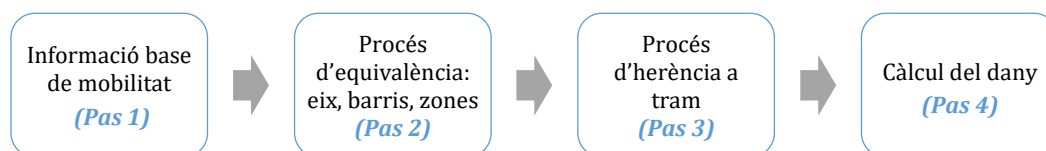


Figura 4.12. Diagrama de càlcul de l'indicador de dany d'afectació a la mobilitat

Pas 1. Informació base de mobilitat

A continuació, es presenta un resum de la informació de base finalment utilitzada per al càlcul. Aquesta informació tal com s'ha mencionat anteriorment ha estat treballada conjuntament amb els diferents ajuntaments de l'àmbit. La informació base de mobilitat utilitzada per al càlcul de l'indicador AMA, fa referència a la mobilitat de vianants, mobilitat rodada o a les zones especialment concentradores de persones.

- a) **La mobilitat de vianants** es representa mitjançant la intensitat mitjana de vianants, (en endavant IMP):

Cal destacar que tots els municipis tenen aquest paràmetre, ja sigui en format graf o a nivell de barri, tot i que no sempre té la mateixa fiabilitat. Per aquells ajuntaments que no varen poder facilitar la informació associada a l'eix de carrer (mitjançant un graf) es va acordar amb l'ajuntament un nivell de IMP (també del 0 – 5) per cadascun dels barris, com s'ha esmentat anteriorment a partir del comptatge de punts captadors. Aquestes dues modalitats de dades s'observen a la Figura 4.13.

És en aquest darrer cas, quan la informació es troba a nivell de barri no és tan precisa i es considera que la fiabilitat d'aquestes dades és del 50%, la raó de ser d'aquesta correcció és degut al fet que dins d'un mateix barri hi ha eixos amb una mobilitat alta, com poden ser les vies principals o plataformes úniques que atreuen més mobilitat de vianants i d'altres que corresponen a carrers secundaris on hi ha una afluència de vianants molt baixa. Tal com s'observa a la Taula 4.11, va ser possible obtenir informació a nivell d'eix (graf) només a 7 dels 23 municipis.

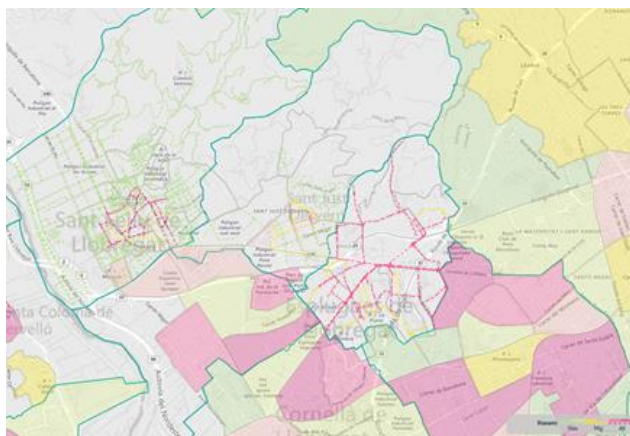


Figura 4.13. Exemples de la informació relativa a la mobilitat de vianants

- b) **La mobilitat rodada** es representa mitjançant la intensitat mitjana diària de vehicles, (en endavant IMD):

La mobilitat rodada només es disposa per alguns municipis, són només 10 de 23 els que han proporcionat aquesta informació tal com es pot observar a la Taula 4.11, aquests que han donat informació ha estat en format graf (Figura 4.14). Cal destacar

que idealment aquesta informació hauria de ser el nombre de vehicles, la intensitat mitjana diària (IMD), tot i que tots els municipis no disposaven d'aquesta informació. En defecte d'aquesta, s'ha utilitzat la jerarquia viària amb una relació de nivells entre 0 – 5 o el graf acústic associant els decibels (dB) enregistrats a una jerarquia de nivells entre 0 – 5.

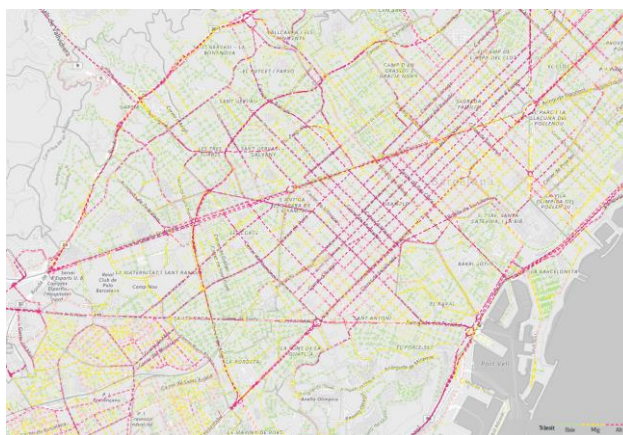


Figura 4.14. Exemples de la informació relativa a la mobilitat rodada

Taula 4.11. Informació de mobilitat i tipologia disponible per cada municipi

Municipis	Vianants	Trànsit	Zones especialment concentradores de persones			
			Comercials	Serveis concorreguts	Turístiques	Altres singularitats
Barcelona	Barris	Graf	■	■	■	
Badalona	Graf	Graf	■	■		
Cerdanyola del Vallès	Barris					
Montcada i Reixac	Graf	Graf	■	■		
Montgat	Barris					
Sant Adrià de Besòs	Barris	Graf	■	■		
Santa Coloma de Gramenet	Barris					
Cornellà de Llobregat	Barris	Graf	■	■		
Esplugues de Llobregat	Graf	Graf	■	■		
L'Hospitalet de Llobregat	Barris	Graf	■	■		
Sant Feliu de Llobregat	Graf	Graf	■	■		■
Sant Joan Despí	Barris					
Sant Just Desvern	Graf	Graf	■	■		
Begues	Barris					
Castelldefels	Barris					
El Papiol	Graf	Graf	■	■		■
Gavà	Barris					
Pallejà	Barris					
Sant Boi de Llobregat	Barris					
Sant Climent de Llobregat	Graf	Graf		■		
Santa Coloma de Cervelló	Barris					
Torrelles de Llobregat	Barris					
Viladecans	Barris					

- c) **Les zones especialment concentradores de persones:** es representa mitjançant àrees amb intensitats segons la capacitat de concentració de persones.

Sempre que ha estat possible s'han definit aquestes zones especialment concentradores de persones amb el suport dels ajuntaments. La necessitat de generar aquestes zones es confirma quan els ajuntaments consultats coincideixen en el fet que cal considerar un efecte amplificador de qualsevol incident en aquestes zones. L'objectiu és poder quantificar aquest efecte multiplicatiu de congestió que provocaria una incidència en un carrer d'alta mobilitat quan la resta de carrers que l'envolten també són d'alta mobilitat. Així, en aquestes zones, en cas d'incidència hi ha menys alternatives de transport possibles al carrer afectat, ja sigui per vianants o per trànsit, aquest fet pot provocar un efecte de congestió derivada en altres carrers adjacents. Tal com s'observa a la Taula 4.11, va ser possible definir algunes d'aquestes zones pels següents municipis:

- ◆ **Les zones comercials** tenen en compte majoritàriament eixos de carrers o centres comercials així com els voltants més directes, són definides a: Barcelona, Badalona, Montcada i Reixac, Sant Adrià de Besòs, Cornellà de Llobregat, Esplugues de Llobregat, l'Hospitalet de Llobregat, Sant Feliu de Llobregat, Sant Just Desvern i el Papiol.
- ◆ **Les zones amb serveis concorreguts** contenen aquelles àrees que degut a l'activitat que s'hi genera tenen una gran concentració de persones com són els intercanviadors modals, les universitats, els estadis esportius, entre d'altres; i són definides a: Barcelona, Badalona, Montcada i Reixac, Sant Adrià de Besòs, Cornellà de Llobregat, Esplugues de Llobregat, l'Hospitalet de Llobregat, Sant Feliu de Llobregat, Sant Just Desvern, el Papiol i Sant Climent de Llobregat.
- ◆ **Les zones turístiques** només definides al municipi de Barcelona, contenen àrees que reuneixen les condicions favorables per atreure visitants, els turistes o ciutadans es desplacen intencionadament a aquestes zones per poder gaudir de l'espai.
- ◆ **Les zones amb altres singularitats** són definides per respondre a diverses casuístiques poc comuns entre els municipis de l'àmbit. Un exemple són les zones definides com a àrees sísmiques al municipi del Papiol. En el cas de Sant Feliu també es va generar la necessitat de definir aquestes zones per recollir dues singularitats que l'ajuntament exposava, àrees d'urbanització potencial i zones sensibles, aquestes darreres eren àrees que havien sofert reiteració d'incidències d'altres serveis recentment i es volia evitar el risc d'impactar aquesta zona.

La Figura 4.15 presenta les zones comercials (Figura 4.15.a), de serveis concorreguts (Figura 4.15.b) i turístiques (Figura 4.15.c) per la ciutat de Barcelona l'única ciutat que s'ha considerat important definir-li zones turístiques. Cal destacar que una mateixa àrea pot pertànyer a zones diverses. Un exemple que s'observa a la Figura 4.15 és

el cas de plaça Catalunya, aquesta apareix a les tres figures, es considera zona comercial amb serveis concorreguts i una zona turística.

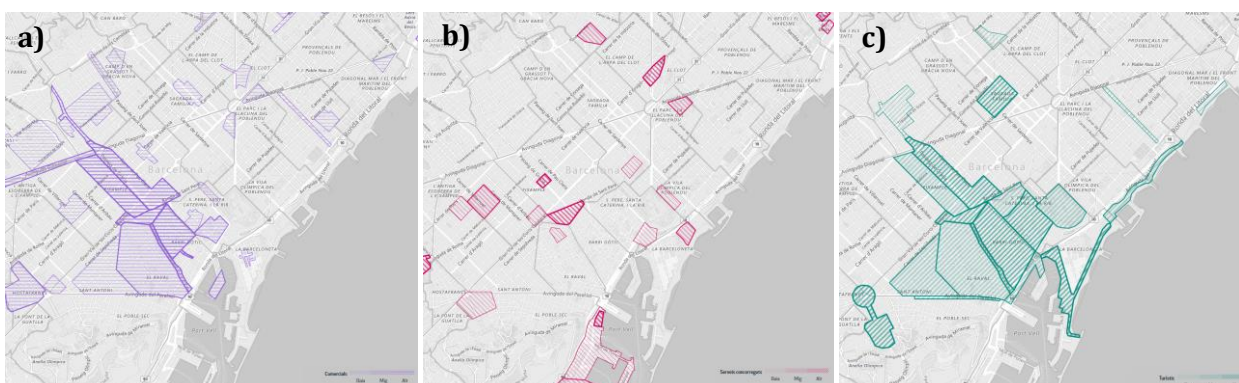


Figura 4.15. Exemple de la definició de Zones: a) Comercials; b) Serveis Concorreguts i c) Turístiques de la ciutat de Barcelona

Pas 2. Procés d'equivalència: eix, barris, zones

La informació base proporcionada pels ajuntaments no sempre té les mateixes unitats, és per aquest motiu que el nivell de mobilitat és l'únic paràmetre que s'estima en relatiu, valors entre 0 – 5, dins de cada municipi. Per tant, tots els municipis de l'àmbit tindran les seves vies d'alta mobilitat amb un valor igual a 5 i les vies amb una mobilitat molt baixa o pràcticament inexistent igual a 0.

La decisió d'utilitzar una escala de 6 valors en aquest cas és deguda a la necessitat de tenir en compte els diferents nivells de vials que existeixen (eixos metropolitans – 5, vies principals – 4, vies secundàries – 3, carrers alta intensitat – 2, carrers baixa intensitat – 1, sense intensitat – 0) i per altra banda poder donar suficient rang a les intensitats mitjanes diàries de vehicles i vianants proporcionades pels ajuntaments.

El procés d'equivalència d'eix, barri o zona, consisteix a assignar un valor entre 0 – 5 a cada element de l'entitat. Les taules d'equivalències es realitzen conjuntament amb l'ajuntament corresponent i a partir de les dades de les quals disposa.

Així, es realitza una taula d'equivalències de mobilitat rodada a partir de:

- IMD real: cada municipi té els seus límits per assignar a la intensitat mitjana diària de vehicles valors entre 0 – 5.
- Jerarquia rodada: igualment, la jerarquia rodada que pot venir definida per un literal qualificatiu de la via o un número també se li assigna un valor entre 0 – 5.
- Els decibels [dB] del mapa acústic se'ls assigna un valor entre 0 – 5 tenint en compte que aquesta intensitat sonora representa major intensitat de mobilitat rodada.

Pel que fa a la taula d'equivalències de la mobilitat de vianants, aquestes es realitzen a partir de:

- IMP real: igual que en el cas de l'IMD real cada municipi té els seus límits depenent de la intensitat mitjana de vianants que tingui, assignant valors entre 0 – 5.
- Jerarquia de vianants: s'assignen valors entre 0 – 5 a les diferents jerarquies de vianants, tant si es disposa d'un literal com si es disposa d'un valor.
- Barris: aquesta entitat rep un valor entre 0 – 5 segons el nombre de punts captadors de persones, en relatiu per cada municipi.

Finalment, també s'ha definit el nivell de concurrència de les zones concentradores de persones amb valors entre 0 – 5.

Un cop aplicat el procés d'equivalència per cadascuna de les entitats de mobilitat, eixos, barris o zones, és el moment de realitzar l'herència d'aquestes als trams de l'inventari.

Pas 3. Procés d'herència a tram

Es disposa de la informació relativa a mobilitat a un nivell organitzatiu que té sentit per les ciutats com són els barris o els carrers. Per poder associar aquest nivell d'impacte de mobilitat rodada, vianants o zones estratègiques a cadascun dels trams de l'inventari (entitat a prioritzar) és necessari definir el procés d'herència de la informació que permet, mitjançant un procés vectorial, poder traslladar aquesta informació base de mobilitat a tots els trams de l'inventari. Sense disposar d'aquesta informació a nivell de tram no es pot calcular el dany que té associat cada tram en cas d'avaria.

L'herència de la informació de mobilitat es trasllada a nivell de tram mitjançant un procés d'herència vectorial. Per poder realitzar l'herència, a continuació, es detallen les condicions a seguir durant aquest procés. En primer lloc, s'ha d'identificar el tipus d'interacció de cada tram amb els polígons vorera (línies que defineixen els límits de les voreres), després amb els eixos dels carrers (línia imaginària que passa per l'eix central del carrer) i finalment, fer l'herència a tram des d'eixos de carrer i/o des de barri seguint els 4 criteris descrits a continuació i il·lustrats a la Figura 4.16. La Figura 4.16 mostra els polígons de les voreres, la situació dels trams i amb línia discontinua s'ha marcat l'eix del carrer, tenint així il·lustrats tots els elements necessaris per definir aquesta herència.

- **Opció 1.** Tram situat 100% dins de vorera. (veure Figura 4.16.a)

Si el tram es troba 100% dins la vorera, aquest heretarà la IMP, ja que en cas d'una possible avaria l'afectació només serà als vianants.

- **Opció 2.** Tram situat 100% dins de calçada. (veure Figura 4.16.b)

Si el tram es troba 100% dins de calçada, aquest heretarà la IMD, menys en el cas que no es disposi de IMD que s'heretarà IMP. En cas d'una possible avaria els vianants podran continuar caminant per la vorera, però s'ha considerat que en el cas de no disposar d'informació de mobilitat rodada, és conservador utilitzar l'IMP per assignar-li un dany a aquell tram.

- **Opció 3.** Tram situat parcialment en vorera i calçada, i, l'eix del carrer està a menys de 9 metres. (veure Figura 4.16.c)

Si el tram està situat parcialment en vorera i calçada, i a més a més, es dona la condició que l'eix del carrer està a menys de 9 metres, el tram heretarà el màxim entre la mobilitat rodada i la de vianants si existeixen els dos, en cas que només existeixi la IMP s'heretarà aquesta.

- **Opció 4.** Tram parcialment en vorera i calçada, i, l'eix del carrer està a més de 9 metres. (veure Figura 4.16.d)

Si el tram està situat parcialment en vorera i calçada, i a més a més, es dona la condició que l'eix del carrer està a menys de 9 metres, el tram heretarà la IMP.

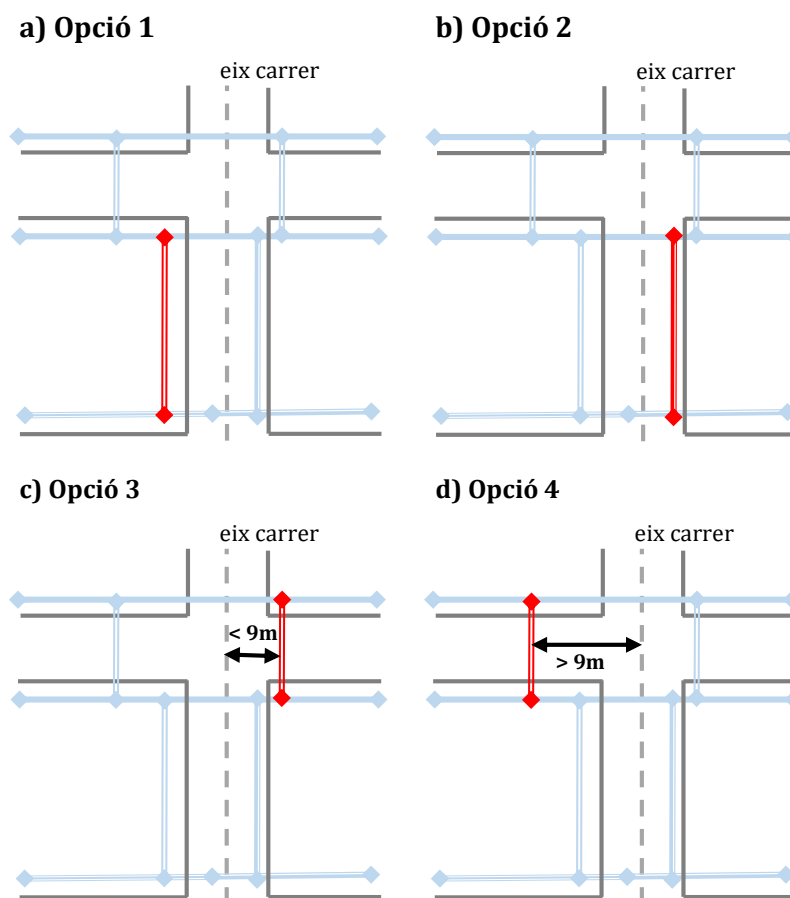


Figura 4.16. Diagrama d'herència de mobilitat segons la seva situació

Feta l'herència de la IMD i la IMP, caldrà heretar la informació relativa a les zones especialment concentradores de persones per aquells trams que transcorren per aquests polígons.

Pas 4. Càlcul del dany

Finalment, es pot obtenir el dany associat a la mobilitat ($Dany_{MOB}$) utilitzant l'Eq. 4.10. On l'índex de mobilitat (IM) és funció de les condicions descrites al procés d'herència a tram on es defineix segons la localització del tram (en vorera, en calçada o mixt) si s'hereta la mobilitat relativa a vehicles rodats o a vianants. Per altra banda, com ja s'apuntava hi ha àrees que poden formar part de diverses zones estratègiques, els trams que es troben compresos dins d'aquestes àrees també hereten per cada zona estratègica a la que pertanyen un valor, així doncs el valor de l'índex estratègic (IE) és el màxim dels valors heretats pel tram degut a les zones a les quals aquest tram pertany (Eq. 4.11).

$$Dany_{MOB} = \frac{10}{7,5} \cdot \left(IM + \frac{IE}{2} \right) \quad (\text{Eq. 4.10})$$

$$IE = \max(I_{comercials}; I_{turistic}; I_{serveis}; I_{singulars}) \quad (\text{Eq. 4.11})$$

A la Taula 4.12 es presenten els nivells de criticitat del dany associat a la mobilitat recollits de les sensibilitats dels diferents ajuntaments.

Taula 4.12. Nivells de criticitat del dany associat a la mobilitat ($Dany_{MOB}$)

Criticitat	Dany _{MOB}
Molt crític	$\geq 10,0$
Crític	$\geq 8,67$ i $< 10,00$
Moderadament crític	$\geq 6,67$ i $< 8,67$
Moderadament preocupant	$> 2,00$ i $< 6,67$
No preocupant	$\leq 2,00$

Tal com s'ha presentat, el Risc de mobilitat ($RISC_{MOB}$) és el producte del dany associat a la mobilitat ($Dany_{MOB}$) per la probabilitat d'avaría (PA) (Eq. 4.9).

La funció de valor de la Figura 4.17 proposada per aquest indicador és una funció creixent ja que com més gran sigui l'impacte que es genera a la mobilitat en cas d'avaría més puntuació ha d'obtenir el tram.

$$AMA = 1,00 * \left[1 - e^{-1,0 * \left(\frac{|RISC_{MOB}|}{0,2} \right)^{0,5}} \right] \quad (\text{Eq. 4.12})$$

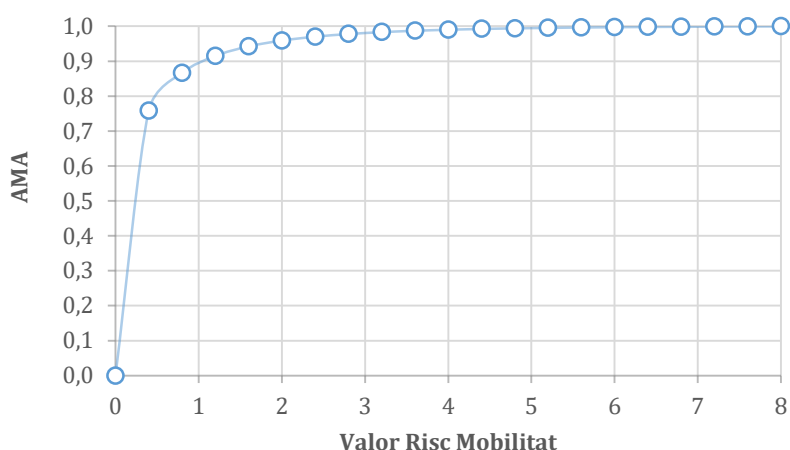


Figura 4.17. Funció de valor Indicador Afectació potencial per avaria a la mobilitat (AMA)

Per entendre la forma d'aquesta funció cal tenir en compte que la determinació del Dany duta a terme a partir d'unes dades de mobilitat proporcionades per tercers (Ajuntaments) parteix d'una simplificació dels índexs reals de mobilitat adaptada a la sensibilitat d'aquests: classificació de la mobilitat en només 5 rangs i classificació de la importància de les zones estratègiques en només 3 rangs. És a dir, cadascun dels Ajuntaments ja dona el nivell a partir del qual consideren perjudicial tenir un incident a la xarxa d'aigua. La funció pretén donar valors alts de risc per canonades amb probabilitats d'avaría molt properes a 1 a partir de nivells de mobilitat moderats o per canonades amb nivells de mobilitat alt i probabilitats moderades. Aquesta funció distribueix la població de l'inventari de forma que el percentatge de canonades amb riscos alts encaixen amb la sensibilitat manifestada per Ajuntaments i els responsables de l'operació de la xarxa (Direccions Territorials).

4.2.3.2. [Indicador d'afectació a les infraestructures subterrànies per avaria \(AISA\)](#)

Com s'ha esmentat al Capítol 3 aquest indicador no ha estat calculat degut a la manca d'informació de base per a poder realitzar el càlcul. Al tractar-se d'informació que pot arribar a ser sensible, es pot entendre que si no hi ha algun organisme independent que pugui garantir quin serà l'ús final de la informació, les empreses no vulguin facilitar a altres empreses informació dels seus actius.

4.2.3.3. [Indicador coordinació de plans \(CP\)](#)

Aquest indicador tampoc ha pogut ser incorporat, igual que en el cas de l'indicador d'afectació a les infraestructures subterrànies per avaria (AISA), com també s'esmenta al Capítol 3. En aquest cas però, no ha estat tant la manca d'informació la que no ha permès realitzar el càlcul, sinó el desfasament a l'hora de planificar les actuacions entre les diferents empreses de serveis el que no ha fet possible incorporar aquest indicador. Ja que la resta

d'empreses planifiquen amb menys temps les seves actuacions i per tant, quan s'executa el model aquestes encara no tenen la seva planificació tancada.

4.3. REQUERIMENT AMBIENTAL

4.3.1 Introducció al Requeriment Ambiental

Els impactes ambientals que es poden reduir mitjançant la renovació de la xarxa de distribució són relatius a l'aigua i l'energia que s'estalviaria si totes les canonades es trobessin amb un estat òptim. És a dir, mitjançant la renovació de les canonades adequades es podria estalviar una part de les pèrdues que té la xarxa i l'energia associada a aquestes pèrdues. És per aquest motiu que el requeriment ambiental s'organitza a un primer nivell, amb el criteri aigua i el criteri energia com es presenta a la Taula 4.13.

Taula 4.13. Estructura arbre de decisió Requeriment Ambiental

Requeriments	Criteris	Indicadors
Ambiental	Estalvi Aigua	Estalvi d'Aigua en m ³ Estalvi d'Aigua en m ³ /ml (4.3.2)
	Estalvi Energia	Estalvi d'Energia en kWh Estalvi d'Energia en kWh/ml (4.3.3)

El criteri aigua agrupa l'indicador d'estalvi potencial d'aigua, la lògica de càlcul d'aquest indicador es divideix en l'estimació de volum total estalviable a l'any i el volum estalviable per metre lineal, aquesta diferenciació és necessària degut a la diferència de longituds dels trams de l'inventari. Per evitar donar una importància més elevada als trams de l'inventari més llargs cal tenir en compte aquesta part per metre lineal, ja que en cas contrari els trams llargs sempre sortirien perjudicats. El criteri energia segueix la mateixa lògica, es divideix en l'estimació de kWh totals estalviables a l'any i kWh estalviables per metre lineal, ja que l'estalvi d'energia va associat a l'indicador d'estalvi potencial d'aigua.

4.3.2 Estalvi potencial d'aigua (EPA)

L'indicador d'estalvi potencial d'aigua (EPA) té com a objectiu dirigir la renovació de la xarxa de distribució a aquells trams que després de ser renovats aparentment reduiran les fuites, anomenades al balanç hídric estàndard del IWA (Lambert and Hirner, 2000; Alegre *et al.*, 2000) pèrdues reals o físiques. L'estructura del balanç hídric presentat a la Taula 4.14 és la que s'utilitza a AB, tot i que amb la seva totalitat no és igual al balanç hídric estàndard del IWA, la part que ens interessa que són les pèrdues sí que coincideix. El balanç mostra que les pèrdues del volum lliurat són el resultat de la suma de les pèrdues aparents relatives a fraus, subcomptatges i pèrdues comercials, més les pèrdues reals o físiques.

Els responsables de la Direcció de Suport Operatiu (DSO), encarregats de l'eficiència hidràulica i energètica, expressen que la capacitat de reducció de pèrdues mitjançant la

renovació de la xarxa es centra amb les pèrdues reals o físiques, aquestes són les que estan estretament lligades a l'estat de la xarxa i, per tant, aquest indicador es centra a detectar aquells trams amb una estimació de pèrdues més elevades i en prioritza la renovació d'aquests.

Els tècnics de la DSO utilitzen els sectors per realitzar una recerca de fuites més acotada i eficient. Aquests realitzen balanços hídrics que els permeten conèixer el rendiment dels sectors i detectar fuites.

Taula 4.14. Estructura del balanç hídric

Volum Lliurat	Consum Autoritzat	Consum Autoritzat Facturat	Consum Autoritzat Facturat Mesurat	- Aigua en Alta - Peatges - Aigua en Baixa	Aigua Consumida	Aigua Facturada	
			Consum Autoritzat Facturat No Mesurat	- Aforaments - Convenis - Fraus Recuperats			
		Consum Autoritzat No Facturat	Consum Autoritzat No Facturat Mesurat	- Autoconsum - Fraus Identificats en Gestió		Aigua No Registrada (ANR)	Aigua No Facturada
			Consum Autoritzat No Facturat No Mesurat	- Neteja dipòsits - Analitzadors en continu - Drenatges - Neteja/desinfecció canonades (avaries) - Neteja/desinfecció canonades (renovació/ampliació xarxa) - Presa de mostres - Descàrregues obertes (voluntàriament)			
	Pèrdues	Pèrdues Aparentes	Consums No Autoritzats	- Fraus			
			Subcomptatge	- Subcomptatge			
			Pèrdues Comercials	- Pèrdues Comercials			
		Pèrdues reals o físiques	Fuites	- Fuites a la xarxa			

Les fuites de la xarxa es poden classificar segons el seu origen i com són detectades en: fuites latents, visibles i superficials (veure Figura 4.18). Per aquest motiu pel càlcul dels estalvis d'aigua es diferencia entre estalvis relatius a: l'estimació de fuites latents, l'estimació de fuites visibles i l'estimació de fuites en superfície. Aquestes es poden estimar a diferents entitats del sistema d'abastament, mentre que les latents s'estimen a nivell de sector, la resta (les visibles i les superficials) es produeixen a tot l'abastament i l'entitat on es poden estimar és tot l'abastament. Les fuites visibles i superficials es troben estretament

lligades a l'estat de la canonada, a pitjor estat més probabilitat de fuites visibles o superficials.

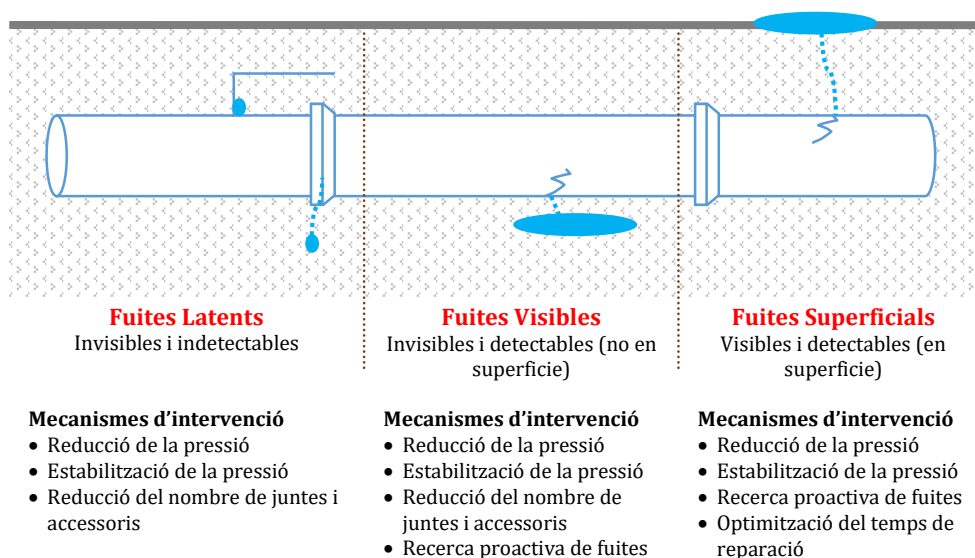


Figura 4.18. Tipus de fuites segons el seu origen i la seva detecció (Tardelli, 2006)

A continuació, es defineix l'origen i la forma de detectar els tres tipus de fuites que s'estimen per tots i cadascun dels trams de l'inventari.

- Les **fuites latents** són aquelles que pel seu ordre de magnitud i/o les característiques del sector on es produeixen, ja sigui perquè el sector no està controlat, és a dir, no disposa de punts de control o altres elements que ajuden a fer un balanç del rendiment del sector, són indetectables pels sistemes de control centralitzat. En aquest cas, per poder localitzar i resoldre aquest tipus de fuites cal realitzar recerques preventives planificades, així es detectaran: petites fuites en estopades de vàlvules, connexions, boques d'aire, entre d'altres. Les fuites latents són menors en cabal per unitat però totes aquestes fuites que no es poden detectar i reparar, en el seu conjunt, suposen un volum de pèrdua anual molt més important que les fuites visibles.
- Les **fuites visibles** són aquelles que pel seu ordre de magnitud de cabal i les característiques de control del sector de rendiment on tenen origen, en aquest cas són sectors controlats per elements que permeten realitzar un balanç acurat i, per tant, poden ser detectades pel centre de control centralitzat, prelocalitzades, localitzades i reparades en un temps que va d'hores a alguns dies.
- Les **fuites en superfície** són aquelles degudes a avaries sobtades i per tant, de reparació no planificable sinó que requereix una acció correctiva, en aquest cas el cabal de fuga sol ser elevat però la seva reparació es realitza en poques hores, ja que per la seva magnitud es detecten amb rapidesa.

Seguidament es defineixen per cada tipus de fuga la lògica d'estimació seguida així com l'assignació a tram dels volums que s'estima que li corresponen.

Estimació de fuites latents

L'estimació de les fuites latents és funció de la pressió, el material, el gruix de la paret de la canonada, el nombre de connexions, el nombre de tubs que conté cada tram d'inventari i l'estimació de la probabilitat d'avaría (descriu a l'apartat 3.5.3.1). Tal com s'observa a la Figura 4.19, aquestes fuites són fruit del degoteig constant de les diferents unions.

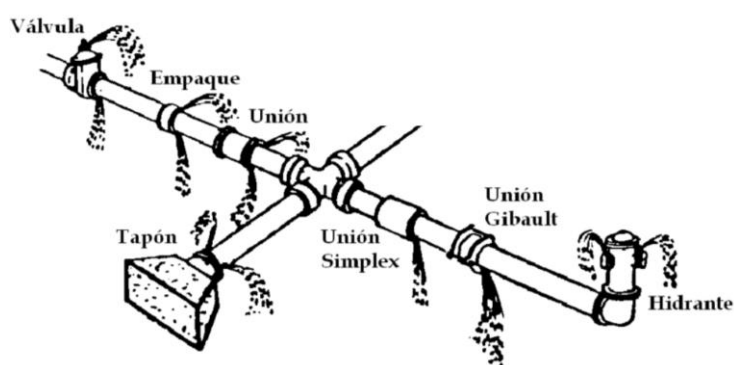


Figura 4.19. Fuites latents xarxa distribució (Molina, 2020)

Per determinar el volum de fuites latents es realitza l'estimació a nivell de sector de distribució, aquesta és realitzada pels experts en eficiència hidràulica de la Direcció de Suport Operatiu (DSO). Com que es tracta de petites fuites però constants té sentit estimar-les a partir del balanç del sector. Un cop determinat a nivell de sector (entitat on té sentit l'estimació de les fuites latents) cal realitzar una assignació a nivell de tram d'inventari.

L'estimació de fuites latents és el resultat del percentatge de fuites latents per l'Aigua No Registrada (ANR) de cada sector. Anàlogament al balanç hídric presentat a la Taula 4.14, l'ANR de cada sector resulta de la diferència entre l'aigua que entra al sector i el consum que s'ha registrat al mateix. S'utilitza la primera estimació de cabal de fuites latents a nivell de tram per calcular el percentatge de fuites latents estimades a cada tram amb relació a l'agregat per sector d'aquests mateixos cabals de fuga estimats. És doncs a aquest repartiment percentual per sector que se li aplica el volum absolut de fuites latents estimat pels experts del DSO, obtenint una nova estimació de cabals de fuga latent per trams.

Les fases de l'estimació de repartiment de fuites entre els trams d'inventari d'un sector són les següents: *Estimació de fuites teòriques o de "laboratori"*, *correcció segons la probabilitat d'avaría (PA)* i *càlcul del volum total de fuites per cada sector*.

- *Estimació de fuites teòriques o de "laboratori"*: per cada tram es comptabilitzen el nombre de tubs que és funció del material (ja que les canonades que conformen el tram poden ser de més o menys longitud segons el material), es determinen el nombre d'escomeses i s'utilitza el seu diàmetre, es calcula el gruix de la paret amb

una taula de gruixos funció del material i diàmetre, es realitza una estimació de la pressió mitjana a cada tram a partir de les pressions a les escomeses, si el tram té escomeses connectades en cas que no tingui escomeses, aquest càlcul de pressió es realitza amb la cota piezomètrica del pis de pressió al qual pertany el tram i les seves cotes altimètriques als extrems.

A aquestes variables se li afegeix una hipòtesi de càlcul: *s'assumeix que la meitat de les connexions entre els tubs del propi tram o amb les escomeses que hi ha connectades hi ha un "offset" d'instal·lació (dx) de 0,01mm.*

Feta aquesta hipòtesi, s'aplica la fórmula empírica per obtenir el cabal que sortiria per un forat rodó d'un tub elàstic, desenvolupada per un grup d'investigació de la universitat de Johannesburg (van Zyl and Clayton, 2005) (Greyvenstein *et al.*, 2007), l'Eq. 4.13. D'aquesta Eq. 4.13 s'obté un cabal de fuga estimat que vindria a ser el que podríem observar en el supòsit impossible que fóssim capaços de reproduir en un entorn de laboratori la mateixa xarxa de nou amb totes les connexions esmentades, amb els mateixos materials i les mateixes condicions d'explotació.

$$Q_f = C_d \frac{\pi d_o^2}{4} \sqrt{2g} \left(H^{0.5} + \frac{2c\rho g D}{3tE} H^{\frac{3}{2}} + \frac{c^2 \rho^2 g^2 D^2}{9t^2 E^2} H^{\frac{5}{2}} \right) \quad (\text{Eq. 4.13})$$

- On: Q_f : cabal empíric en una canonada elàstica [m^3/s]
 C_d : coeficient de descàrrega (0,6)
 d_o : diàmetre de l'orifici, segons (Eq. 4.17)
 g : gravetat [$9,81 \text{ m/s}^2$]
 H : pressió mitja del tram
 c : constant de proporcionalitat (1,0)
 ρ : densitat del fluid [$998,29 \text{ kg/m}^3$]
 D : diàmetre interior de la canonada (tram)
 t : espessor de la canonada (tram)
 E : mòdul d'elasticitat del material [$\text{kg/m}\cdot\text{s}^2$] (presentats a la Taula 4.15 per cada material)

Per determinar el diàmetre de l'orifici, s'utilitza la superfície del tram, la de l'escomesa i la del propi orifici, definides a l'Eq. 4.14.

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{tram} = N \cdot dx \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{interior} = N \cdot dx \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{\Phi_{interior}}{2} \\ S_{escomesa} = dx \cdot 2 \cdot \pi \cdot \sum r_{escomeses} = dx \cdot 2 \cdot \pi \cdot \sum \frac{\Phi_{escomesa_i}}{2} \\ S_{orifici} = \pi \cdot \left(\frac{d_o}{2} \right)^2 \end{array} \right. \quad (\text{Eq. 4.14})$$

Es suposa que la superfície de l'orifici és igual a la meitat de la superfície del tram i de la superfície de l'escomesa, tal com es mostra a l'Eq. 4.15. Finalment, simplificant i aïllant, s'obté segons l'Eq. 4.17 el diàmetre de l'orifici.

$$\frac{1}{2} \cdot \left(N \cdot dx \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{\Phi_{interior}}{2} \right) + \frac{1}{2} \cdot \left(dx \cdot 2 \cdot \pi \cdot \sum \frac{\Phi_{escomesa_i}}{2} \right) = \pi \cdot \frac{d_o^2}{4} \quad (\text{Eq. 4.15})$$

$$N \cdot dx \cdot \frac{\Phi_{interior}}{2} + dx \cdot \sum \frac{\Phi_{escomesa_i}}{2} = \frac{d_o^2}{4} \quad (\text{Eq. 4.16})$$

$$d_o = \sqrt{4 \cdot dx \cdot \left(\frac{\Phi_{interior} + \sum \Phi_{escomesa_i}}{2} \right)} \quad (\text{Eq. 4.17})$$

Taula 4.15. Mòdul d'elasticitat pels diferents materials

Material		Mòdul d'elasticitat [N/m ²]
Acer	A	210.000.000.000
Formigó armat retacat	B	30.000.000.000
Formigó armat junta soldada	BS	30.000.000.000
Fosa dúctil	FD	170.000.000.000
Fosa grisa	FG	100.000.000.000
Ferro galvanitzat	GALV	200.000.000.000
Acer inoxidable	INOX	190.000.000.000
Polietilè d'alta densitat	PEA	1.100.000.000
Polietilè de baixa densitat	PEB	800.000.000
Polietilè de mitja densitat	PEM	900.000.000
Polièster reforçat fibra vidre	PRFV	7.000.000.000
Policlorur de vinil	PVC	2.400.000.000
Policlorur de vinil orientat	PVCO	3.000.000.000
Fibrociment	FC	20.000.000.000

- Un cop es realitza l'estimació teòrica, aquesta es corregeix segons la probabilitat d'avaría (PA) (descriu a l'apartat 3.5.3.1 del capítol anterior) per afegir-li a l'estimació teòrica les condicions reals de les canonades. És a dir, si el tram és nou o no ha patit avaries, la fuga teòrica assignada es corregeix al nou valor igual a zero. En el cas que es tracti d'un tram amb un mal estat de conservació, i per tant, amb una probabilitat alta d'avaría, s'utilitza el resultat de la fórmula teòrica sense modificar. Els valors entremig agafen només una porció del valor del cabal teòric estimat de fuga latent d'acord amb la funció de valor utilitzada.

- Per últim, per cada sector es calcula el volum total de fuites resultant d'aquesta lògica estimativa i és aquest valor el que s'utilitza per determinar el % de fuga latent estimada per cada tram de cada sector.

Estimació de fuites visibles i superficials

Les fuites visibles i superficials són originades per una avaria, així doncs, cal destacar que el nombre d'avaries anual de l'inventari és la suma de les avaries naturals que provoquen **fuites en superfície** (avaries sobtades) i de les avaries naturals que provoquen **fuites visibles** (avaries prelocalitzades amb els sistemes d'informació d'explotació dels sectors i reparades de forma planificada).

Tal com s'ha mencionat, les dades de fuites visibles i superficials es troben a nivell de tot l'abastament, i cal realitzar un repartiment a nivell de trams. Per fer una estimació del repartiment al llarg de tot l'inventari de trams, donat que és difícil determinar quins trams s'avarieren l'any següent, s'utilitza el volum total d'aquestes dues fuites de l'any en curs i es reparteixen d'acord amb la probabilitat d'avaría que s'ha estimat que tindrà cada tram (*PA*, descrita a l'apartat 3.5.3.1 del capítol anterior).

Per calcular el **volum anual de fuites visibles**, es consulten els episodis de fuites visibles detectades pel departament responsable de la millora de l'eficiència hidràulica de la xarxa (DSO). S'estudia la informació registrada de cada episodi: l'estimació del cabal de fuga (*Qf*) i el temps de reacció (*TDR*) que s'ha necessitat per reparar la fuga. Amb aquests valors històrics s'extreu una relació entre cabal de fuga i el temps de resolució d'aquestes fuites mitjançant una regressió potencial, aquesta relació es presenta a la Figura 4.20.

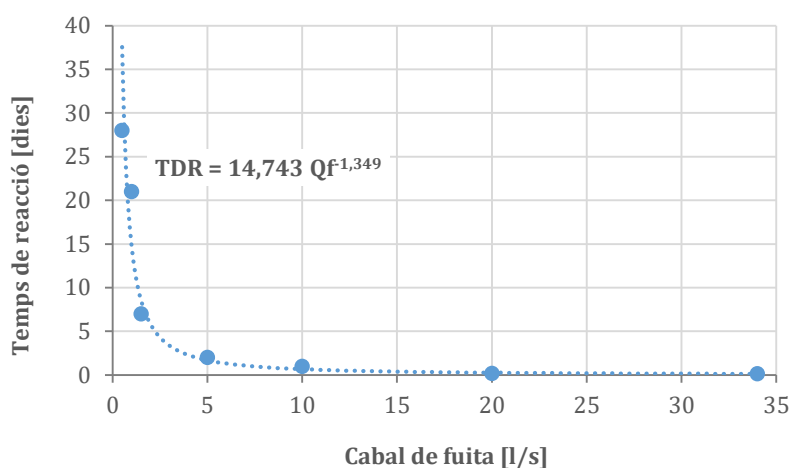


Figura 4.20. Relació entre el Cabal de fuga i el temps de reacció per la reparació

Finalment, per determinar el volum total de fuites visibles, s'utilitza els registres de fuites correctives on apareix el cabal de fuga. Amb aquest cabal i l'equació de la regressió presentada a la Figura 4.20 s'obté el temps de reacció. Determinades aquestes dues dades

el volum total és directament la suma del producte d'aquests dos paràmetres per cada episodi, Eq. 4.18.

$$V_{tot} \text{ fuites visibles}_i = \sum_{i=1}^n Qf_i \cdot TDR_i \quad (\text{Eq. 4.18})$$

Per calcular el **volum anual de fuites superficials** s'utilitza l'estimació de cabal mig (\overline{Qf}) d'avaría en superfície ($\overline{Qf} = 35 \text{ l/s}$), amb l'equació de la regressió presentada a la Figura 4.20 obtenim el temps mitjà de reparació (TMR) de fuites en superfície que resulta de 2 hores aproximadament. Aquest valor de cabal i temps mitjà s'utilitza per determinar el volum total de fuites en superfície tal com s'indica a l'Eq. 4.19.

$$V_{tot} \text{ fuites sup.} = N^{\circ} AvNat \cdot TMR \cdot \overline{Qf} \quad (\text{Eq. 4.19})$$

El volum total obtingut de fuites visibles i superficials (Eq. 4.20), també anomenat volum total de fuites no latents, es reparteix a nivell de tram utilitzant les avaries que s'ha calculat que tindrà aquell tram a l'any. Per tant, es realitza una proporció entre l'Índex d'avaries estimat (IAE) explicat a l'apartat 3.5.3.1 (Eq. 3.3) i el total d'avaries naturals utilitzades per calcular el volum total de fuita ($N^{\circ} AvNat$) tal com s'indica a l'Eq. 4.21, on només va canviant el (AE_{tram_i}) segons el tram de l'inventari que s'estigui calculant.

$$V_{tot} \text{ no latents} = V_{tot} \text{ fuites visibles} + V_{tot} \text{ fuites sup.} \quad (\text{Eq. 4.20})$$

$$V_{tot} \text{ no latents}_i = V_{tot} \text{ no latents} \frac{IAE_{tram_i}}{N^{\circ} AvNat} \quad (\text{Eq. 4.21})$$

Finalment, l'estimació d'aigua anual (EAA) d'estalvi que s'aconseguiria en el supòsit de renovar cada tram (Eq. 4.22), resulta de la suma per cada tram del volum de fuites latents i les fuites no latents. Per estimar l'estalvi per metre lineal (EAA_{ml}) que tindria cada tram es divideix el resultat de l'estalvi d'aigua de cada tram per la seva longitud (Eq. 4.23).

$$EAA_i [m^3/any] = V_{latents}_i + V_{tot} \text{ no latents}_i \quad (\text{Eq. 4.22})$$

$$EAA_{ml_i} [m^3/ml/any] = \frac{EAA_i}{long_i} \quad (\text{Eq. 4.23})$$

La funció de valor que es proposa per aquest indicador d'estalvi potencial d'aigua, es divideix en dues funcions de valor, una pel volum absolut i l'altra funció de valor pel volum per metre lineal. No es pot utilitzar la mateixa funció de valor pels dos valors ja que tenen ordres de magnitud i unitats diferents.

Finalment, el valor de l'indicador d'estalvi potencial d'aigua (*EPA*) és la suma ponderada (Eq. 4.24) del resultat de la funció de valor del volum absolut any pel pes relatiu ($\omega_1 = 0,25$) i del volum per metre lineal any pel seu pes relatiu ($\omega_2 = 0,75$).

$$EPA = \omega_1 \cdot EPA'_{m^3/any} + \omega_2 \cdot EPA'_{m^3/ml/any} \quad (\text{Eq. 4.24})$$

La funció de valor escollida pel volum d'aigua estalviable té una forma creixent, donat que com més gran sigui el volum que es pot estalviar més prioritari ha de sortir el tram. La funció en forma "S" tal com mostra la Figura 4.21.a té el mínim a (0;0) i el màxim a (1.715;1), creix pràcticament lineal fins al punt d'inflexió 500 m³/any. A partir d'aquest punt d'inflexió el valor de l'indicador ja és molt proper a 1.

La funció de valor escollida per la part de l'indicador que quantifica el volum per metre lineal té una forma creixent donat que com més gran sigui aquest quocient més prioritari ha de sortir el tram ja que el potencial d'estalvi és major. La funció en forma "S" tal com mostra la Figura 4.21.b té el mínim a (0;0) i el màxim a (13,3;1), és còncava fins al punt 3,15 on té el punt d'inflexió i la part convexa de la funció dona valors molt propers a 1.

$$EPA'_{m^3/any} = 1,00 * \left[1 - e^{-2,15 * \left(\frac{|EAA_i - 0|}{500} \right)^2} \right] \quad (\text{Eq. 4.25})$$

$$EPA'_{m^3/ml/any} = 1,00 * \left[1 - e^{-1,25 * \left(\frac{|EAA_{ml} - 0|}{3,15} \right)^2} \right] \quad (\text{Eq. 4.26})$$

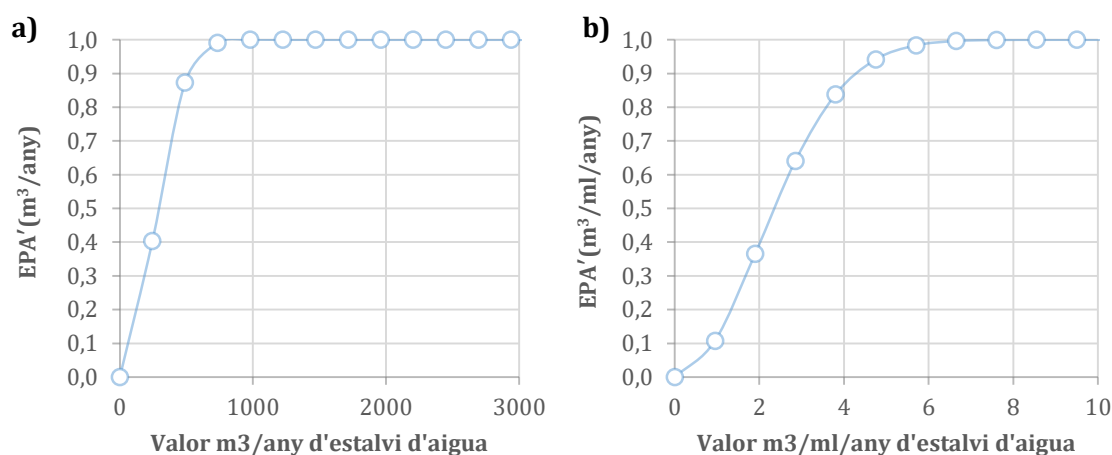


Figura 4.21. a) Funció de valor Indicador Estalvi d'Aigua en m³; b) Funció de valor Indicador Estalvi d'Aigua en m³/ml

Les funcions de valor en aquest cas s'han consensuat amb la Direcció de Suport Operatiu (DSO), concretament els encarregats d'eficiència hidràulica. Amb la seva experiència i els resultats dels indicadors s'ha definit a partir de quin volum els trams havien de sortir amb prioritat 1. Com s'observa a ambdues Figura 4.21.a i Figura 4.21.b la transició entre prioritat 0 i 1 és força lineal, el motiu és que calia discriminar aquells que eren intolerables i donar valors intermedis a la resta.

4.3.3 Estalvi potencial d'energia (EPE)

L'indicador d'estalvi potencial d'energia (*EPE*) té per objectiu quantificar l'energia malbaratada degut a la pèrdua d'aigua en les diferents cotes. La necessitat de calcular aquest indicador sorgeix pel fet que l'orografia de l'àmbit d'abastament és molt irregular, es distribueix aigua a cotes que estan a nivell del mar fins a cotes situades a 541 metres sobre el nivell del mar. Aquest fet fa que l'energia necessària per impulsar l'aigua a les cotes més elevades resulti en un valor força important a tenir en compte. Per tant, l'impacte en estalvi energètic que té renovar un tram on s'estima que hi ha moltes pèrdues d'aigua situat a una cota elevada no té el mateix impacte que renovar un tram amb la mateixa estimació de pèrdues situat a nivell de mar.

Per poder calcular l'indicador d'estalvi potencial d'energia es parteix de l'estimació del volum de fuites anuals per trams descrit a l'apartat anterior 4.3.2. Aquest volum suposarà més energia perduda en funció del consum energètic de producció i transport emprat per cada metre cúbic que arriba al tram on s'estima que hi ha la pèrdua. Cal doncs, saber el cost unitari del transport de l'aigua per cada tram. Per obtenir aquest valor s'executa un procés massiu per tot el sistema d'abastament amb el software OPTINET. Aquest software permet modelar el teu sistema mitjançant uns diagrames de blocs, aquest model s'utilitza per determinar els òptims tenint en compte el consum energètic de transport i emmagatzematge que exigeix la demanda segons les alternatives possibles.

La Figura 4.22 mostra el diagrama de blocs necessari per poder conèixer la informació que s'utilitza amb el software OPTINET, on apareixen els diversos pisos de pressió, les aportacions i els consums necessaris per produir i impulsar l'aigua des de les entrades al sistema fins a les diferents cotes d'abastament. Per poder realitzar els balanços necessaris i proporcionar el consum específic (C_e) per cada sector de distribució és necessària la següent informació:

- Les demandes anuals de cada sector i les vendes en alta. Amb aquesta informació es recopila tota la informació de l'aigua necessària per abastir als clients propis (demandes de cada sector) i per donar servei a la resta de companyies subministradores que compren amb alta per abastir municipis que no són de l'àmbit de distribució de l'empresa (vendes en alta).
- Els volums anuals de les aportacions al sistema. Es recopilen totes les dades d'aportacions, així sabem quanta aigua entra al sistema per cada aportació i a quina cota.

- L'acumulat anual dels volums impulsats per cadascuna de les impulsions. Amb aquesta dada i el consum específic que té cada impulsió es pot determinar quina energia ha estat necessària per transportar l'aigua d'una cota a una altra.
- I, els consums energètics específics associats a ambdues entitats: les aportacions (consum energètic específic en kWh/m³) i les impulsions (consum energètic d'impulsió en kWh/m³).

Amb el cost unitari per cada sector de distribució i sabent al sector al quals pertanyen tots els trams de l'inventari, es pot associar l'energia que ha estat necessària per fer arribar l'aigua a aquell tram. La relació de trams que pertanyen a cada sector s'obté utilitzant els sistemes d'informació de l'empresa, la jerarquia tècnica definida ens permet disposar d'una taula on s'indica quina col·lecció de trams pertanyen a cada sector. Per fer un símil amb les entitats d'una ciutat, seria com comparar el sector amb l'entitat barri i els trams que pertanyen a aquell sector serien els carrers que pertanyen a cada barri.

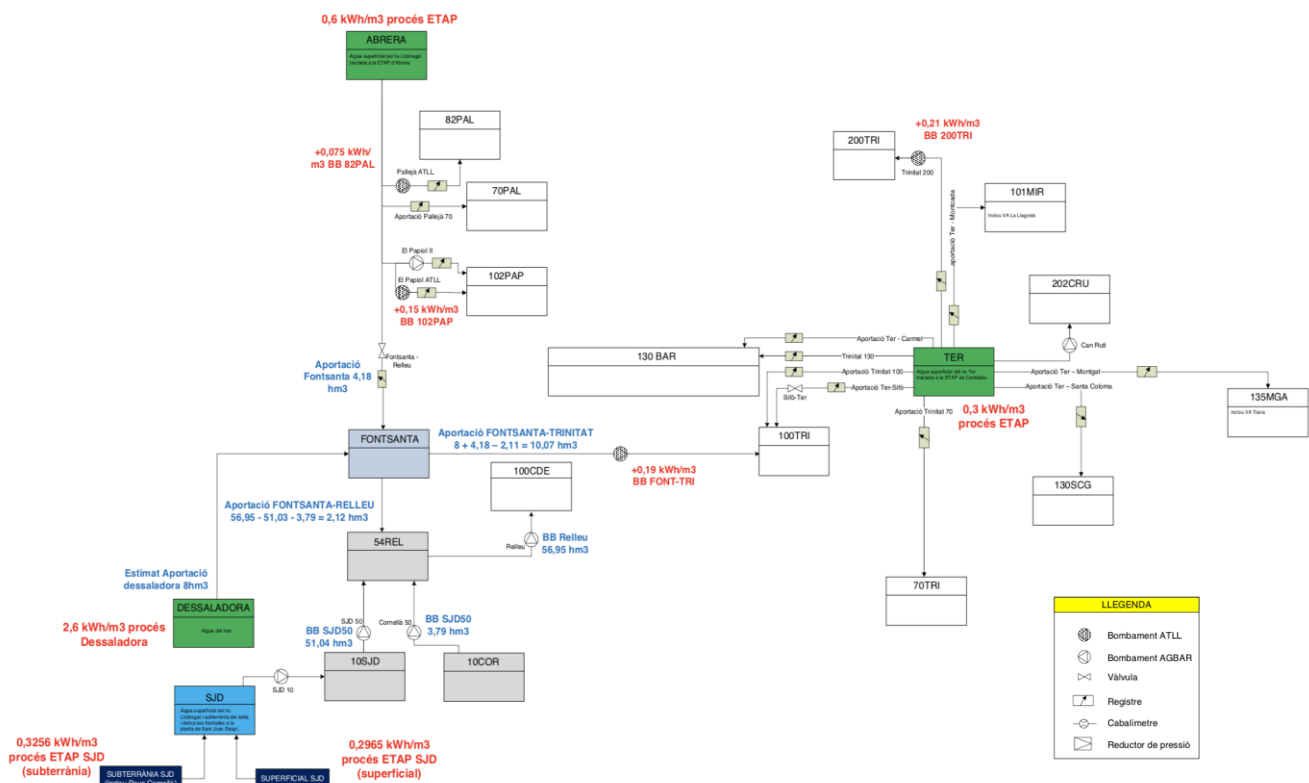


Figura 4.22. Diagrama de blocs simplificat utilitzat pel software OPTINET

Finalment, l'estimació d'energia (EE) anual d'estalvi que s'aconseguiria en el supòsit de renovar cada tram (Eq. 4.27), resulta del producte entre el consum energètic específic (C_e) de l'aigua vehiculada per cada tram i el volum anual d'estalvi d'aigua (V_e) que s'aconseguiria en el supòsit de renovació del tram (calculat a l'indicador d'estalvi potencial d'aigua, apartat 4.3.2). Per estimar l'estalvi per metre lineal (EE_{ml}) que tindria cada tram es divideix el resultat de l'estalvi d'energia de cada tram per la seva longitud (Eq. 4.28).

$$EE_i[kWh/any] = V_i \cdot Ce_i \quad (\text{Eq. 4.27})$$

$$EE_{ml_i}[kWh/ml/any] = \frac{V_i \cdot Ce_i}{long_i} \quad (\text{Eq. 4.28})$$

Igual que a l'indicador d'estalvi potencial d'aigua, la funció de valor que es proposa per aquest indicador d'estalvi potencial d'energia, es divideix en dues funcions de valor, una pels kWh anuals (EE) i dels kWh per metre lineal any (EE_{ml}). No es pot utilitzar la mateixa funció de valor pels dos valors ja que tenen ordres de magnitud i unitats diferents.

El valor de l'indicador d'estalvi potencial d'energia (EPE), segons l'Eq. 4.29, és la suma ponderada del resultat de la funció de valor dels kWh anuals pel pes relatiu ($\omega_1 = 0,25$) i dels kWh per metre lineal any pel seu pes relatiu ($\omega_2 = 0,75$).

$$EPE = \omega_1 \cdot EPE'_{kWh/any} + \omega_2 \cdot EPE'_{kWh/ml/any} \quad (\text{Eq. 4.29})$$

La funció de valor escollida pels kWh anuals estalviables té una forma creixent ja que com més gran sigui el volum que es pot estalviar més prioritari ha de sortir el tram. La funció en forma "S" tal com mostra la Figura 4.23.a té el mínim a (188,5;0), el màxim a (1.029,4;1), té la part còncava fins al punt d'inflexió 250 kWh/any.

La funció de valor escollida per la part de l'indicador que quantifica els kWh per metre lineal any té una forma creixent ja que com més gran sigui aquest quocient més ho serà el potencial d'estalvi que té el tram i per tant, més prioritari en la renovació ha de sortir. La funció en forma "S" tal com mostra la Figura 4.23.b té el mínim a (1,47;0) i el màxim a (4,49;1), com que el punt d'inflexió es troba al punt 1,00 menor que el mínim.

$$EPE'_{kWh/any} = 1,00 * \left[1 - e^{-2,25 * \left(\frac{|EE_i - 188,5|}{250} \right)^2} \right] \quad (\text{Eq. 4.30})$$

$$EPE'_{kWh/ml/any} = 1,00 * \left[1 - e^{-2,5 * \left(\frac{|EE_{ml_i} - 1,47|}{1} \right)^2} \right] \quad (\text{Eq. 4.31})$$

Les funcions de valor en aquest cas s'han consensuat amb la Direcció de Suport Operatiu (DSO) de la mateixa manera que la de l'indicador EPA. En aquest cas també es varen definir els valors intolerables igual que amb l'estalvi d'aigua a partir del qual els trams obtenen prioritats màxima 1. En aquest cas, també es varen definir valors per sota dels quals no tenia sentit donar puntuació als trams, és per aquest motiu pel qual les funcions de valor no tenen valors positius fins que no superen uns valors d'estalvi d'energia considerat, tal com s'observa a les Figura 4.23.a i Figura 4.23.b.

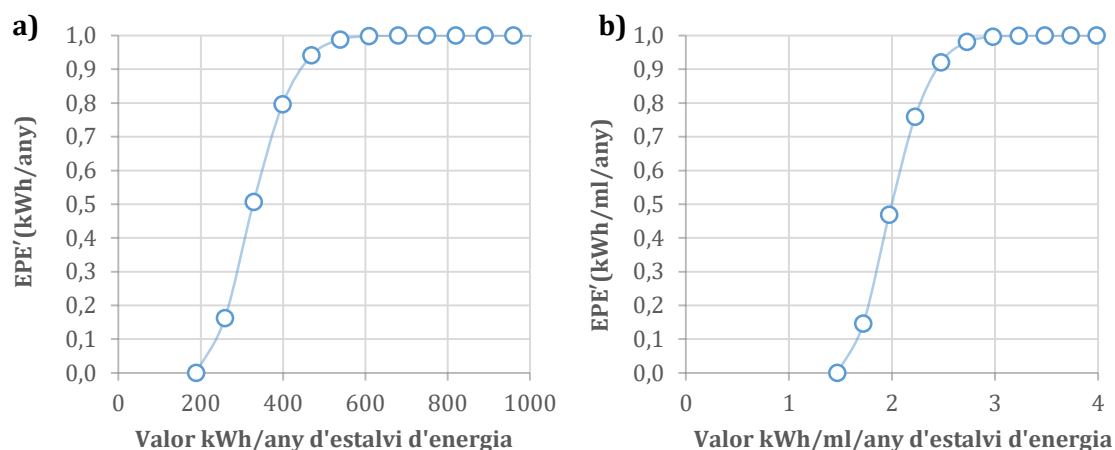


Figura 4.23. a) Funció de valor Indicador Estalvi d'Energia en kWh/any; b) Funció de valor Indicador Estalvi d'Energia en kWh/ml/any

4.4. REQUERIMENT ECONÒMIC

4.4.1 Introducció al Requeriment Econòmic

Aquest indicador ja s'utilitzava a Aigües de Barcelona per prioritzar les inversions de renovació de la xarxa de distribució des del 2006.

El requeriment econòmic només consisteix en un únic criteri i indicador com es mostra a la Taula 4.16, i com s'ha comentat anteriorment es basa en la lògica del model de renovació anterior introduït a l'apartat 3.3 del Capítol 3. A continuació, l'apartat 4.4.2 detalla l'objectiu d'aquest indicador, les alternatives que existeixen a la literatura, com s'avalua l'indicador i la seva funció de valor.

Taula 4.16. Estructura arbre de decisió Requeriment Econòmic

Requeriments	Criteris	Indicadors
Econòmic	Cost d'Oportunitat del Manteniment	Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM) (4.4.2)

Tot i que aquest indicador no calcula la rendibilitat econòmica de la renovació, aquest indicador històricament s'ha anomenat Taxa Interna de Rendibilitat (*TIR*) de la renovació. Aquest nom es deu al fet que la filosofia de càlcul consisteix a calcular els fluxos de caixa provisionals i aplicar la fórmula del *TIR* a unes previsions resultat d'una diferència entre els fluxos de caixa esmentats. En aquest estudi s'estima oportú substituir el nom de l'antic indicador per Cost d'Oportunitat del Manteniment per aproximar-lo més al que realment calcula.

4.4.2 Indicador de Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM)

L'Indicador de Cost d'Oportunitat del Manteniment (*COM*) té com a objectiu determinar quan és més aconsellable renovar que mantenir el tram en qüestió (Figura 2.16).

Per fer aquesta estimació cal calcular els fluxos de caixa provisionals tant per l'escenari de renovació del tram com per al de no renovació del tram, per finalment fer la diferència any a any d'aquests fluxos de caixa i aplicar la fórmula del TIR al conjunt de resultats anuals (veure Figura 4.24).

El valor de l'indicador *COM*, segons l'Eq. 4.32, s'obté d'una suma ponderada per un factor ω entre dos valors:

- El càlcul de cost d'oportunitat del manteniment realitzat utilitzant l'índex d'avaries estimat (*IAE*) presentat a l'Eq. 3.4. En endavant COM_1 . L'*IAE* s'obté a partir de les corbes presentades a la Figura 3.10,
- I, el càlcul del balanç de cost d'oportunitat del manteniment realitzat utilitzat per tota la predicció futura de la ràtio d'avaries observada amb l'històric d'avaries naturals reals (*IAR*) presentat a l'Eq. 3.5. En endavant COM_2 . Aquest segon càlcul és necessari ja que s'observa que, en general, les canonades que han patit alguna avaria es comporten pitjor que les canonades que no han patit mai cap avaria.

$$COM = \omega \cdot COM_1 + (1 - \omega) \cdot COM_2 \quad (\text{Eq. 4.32})$$

On ω és:

- $\omega = 1 \rightarrow$ si $COM_2 < COM_1$
- $\omega = 0,2 \rightarrow$ si material retirat és Fibrociment
- $\omega = 0,8 \rightarrow$ si $COM_2 > COM_1$

Mentre el COM_1 s'obté només a partir magnituds predites, el COM_2 té com a objectiu incorporar que a la pràctica els trams poden tenir un històric d'avaries observades (*IAR*) molt superior al previst per l'índex d'avaries estimat (*IAE*).

El paràmetre ω que s'utilitza per fer la ponderació necessària, tindrà valor 1 en cas que el COM_2 resulti inferior al balanç COM_1 . Per contra, si el COM_2 , és superior al COM_1 i l'històric d'avaries és superior a 1 avaria, ens quedem amb el 80% del valor del COM_1 i amb el 20% del valor del COM_2 .

Aquest tractament no és igual per tots els materials, concretament el fibrociment (material en desús actualment), a partir de la primera avaria pot experimentar un fenomen de fragilització que aconsella en primer lloc utilitzar la lògica de la ponderació a partir de la primera avaria i també donar més pes al valor del COM_2 . Així per a les canonades de fibrociment amb alguna avaria històrica i pels casos en els quals el COM_1 resulti inferior al COM_2 , s'utilitza un coeficient de ponderació ω igual a 0,2.

La Figura 4.24 mostra el diagrama de fluxos de caixa que cal realitzar per poder obtenir tant el COM₁ com el COM₂.

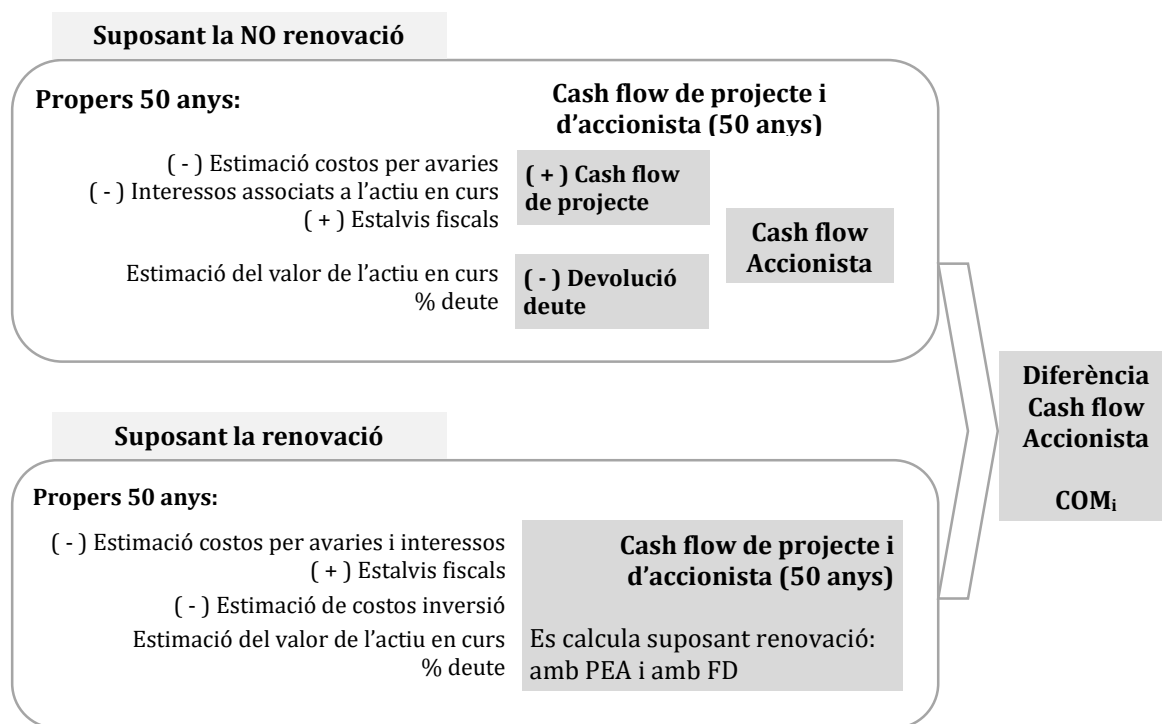


Figura 4.24. Lògica de fluxos de caixa utilitzada tant al COM₁ com al COM₂

Costos de les potencials avaries

Els costos de les potencials avaries que s'estima que tindran els trams es realitza considerant tant els costos directes unitaris com els costos indirectes, els primers fan referència als costos amb els que s'ha de concorre quan es té una avaria, costos de reparació del tram i els indirectes fan referència a tots aquells costos derivats d'una avaria, cal tenir en compte el cost de l'aigua perduda, pèrdues en la facturació, sinistres, drenatges i manteniments correctius.

Els **costos directes**, per metre lineal de tram, són els relatius a la reparació del tram avariats. Els costos totals de les avaries són la suma de:

- Els *costos externs*, s'anomenen costos externs ja que són treballs realitzats per tercers, relatius als contractistes que realitzen les operacions de substitució i reparació de les avaries, aquests costos es divideixen en una part fixa i les guàrdies.
- Els *costos interns*, relatius a manteniments correctius cada cop que hi ha un incident i els drenatges preventius que es realitzen periòdicament.

Els **costos indirectes** són l'estimació de costos unitaris relatius associats a:

- El *volum d'aigua potable perduda*, aquest s'obté del càlcul de l'indicador d'EPA descrit a l'apartat (4.3.2) on s'estima el volum de les pèrdues físiques per cada tram. Un cop s'obté el volum perdut aquest es multiplica pel preu unitari d'aigua que té cada sector. El programa OPTINET a part de proporcionar el consum energètic específic per cada sector també ens proporciona el cost unitari que ha tingut potabilitzar i transportar l'aigua a cada sector.
- La *pèrdua de facturació* durant el temps de reparació. Degut a l'avaria cal realitzar un tall del subministrament a tots els clients que es troben dins del mateix tancament, clients situats dins de les vàlvules que caldrà tancar per poder reparar l'avaria, durant aquest temps no s'està facturant tots aquells volums que s'estarien facturant si els clients disposessin de subministrament. Amb aquest volum i el cost unitari de facturació de cada m³ s'obté el valor dels costos d'aigua no facturada.
- Els *costos d'indemnitzacions* potencials per sinistres. Com s'ha comentat anteriorment a diversos apartats del requeriment social, les afectacions per una avaria sobre l'entorn poden provocar grans desperfectes materials, és per aquest motiu que cal tenir en compte els costos en sinistres que tindran les potencials avaries. Per al càlcul dels costos d'indemnitzacions es realitza una mitjana de tots els sinistres registrats.

Addicionalment, a aquelles zones definides per l'indicador d'afectació a la mobilitat per avaria com zones especialment concentradores de persones per tractar-se de zones comercials (veure apartat 4.2.3) es considera que en cas d'haver-hi una avaria els costos amb els que s'haurà de concórrer seran més elevats ja que caldrà assumir aquells guanys que degut a l'incident el comerç ha deixat de guanyar. És per aquest motiu que, aquells trams situats a dins d'aquestes zones comercials se'ls incrementa el cost mitjà segons l'Eq. 4.33. On $\overline{Cost\ sinistres}$ és la mitjana de tots els sinistres registrats i $I_{comercials}$ és l'índex estratègic que té la zona on es troba el tram en qüestió. S'ha limitat aquest increment a 1/3 considerant aquest valor suficient per sufragar les despeses extra del cost d'oportunitat que hagi perdut el comerç.

$$Cost\ sinistres_{comercials} = \overline{Cost\ sinistres} * \left(1 + \frac{I_{comercials}}{15}\right) \quad (Eq. 4.33)$$

- Els *drenatges* que es fan periòdicament. Aquests costos també seran estalviats en el supòsit de renovació del tram ja que es deixen de fer aquests drenatges periòdics. Els costos de drenatges resulta de la mitjana dels costos registrats als sistemes d'informació.
- Els *manteniments correctius d'accessoris i escomeses* connectades al tram. Els manteniments correctius de tots els elements connectats al tram seran estalviats en el supòsit de renovació del tram ja que aquests també seran substituïts. Per obtenir els costos de manteniment també s'utilitza la mitjana dels costos registrats en manteniments d'accessoris i els d'escomeses als sistemes d'informació de l'empresa.

Costos de reposició de la canonada

L'estimació del cost de reposició s'obté realitzant dues hipòtesis amb els materials més utilitzats:

- reposició amb polietilè d'alta densitat (PEA),
- reposició amb fosa dúctil (FD).

Aquests valors de reposició per ambdós materials s'obté de la mitjana històrica de reparacions de les diferents Direccions de Zona. La mitjana històrica de reposició no només té en compte el cost d'instal·lació de la canonada sinó que també conté la pavimentació del carrer i la posada en marxa.

A aquest valor de reposició, segons el temps d'amortització que estableix el Pla General Comptable (PGC) per cada material, es van deduint els costos d'amortització corresponents. En el cas de polietilè d'alta densitat (PEA) el PGC estableix que s'amortitza a 20 anys i per a les canonades de fosa dúctil (FD) s'utilitza un període d'amortització de 33 anys.

Es comprovarà la idoneïtat de renovació de cada tram fent una estimació del valor pendent d'amortitzar utilitzant el cost de reposició anteriorment descrit i aplicant l'històric d'IPC d'acord amb la data d'instal·lació del tram. A aquest valor se li dedueixen els costos d'amortització pendents a aplicar els propers anys.

Per realitzar el finançament de la inversió, s'ha considerat que es finançarà amb el 60% de fons propis i el 40% restant serà finançament aliè. El cost del deute d'aquest finançament serà del 4% i els estalvis fiscals associats als costos seran del 35%.

Un cop calculats els balanços per cadascun dels trams d'acord amb les dues hipòtesis de renovació anteriorment descrites, substituir per un tram de PEA i per un tram de FD, segons el material i el diàmetre del tram a retirar el valor del COM és una de les dues hipòtesis ja que hi ha uns criteris establerts, segons el material que hi ha instal·lat i el diàmetre que es retira, es substitueix aquesta canonada per un dels materials que s'instal·len actualment PEA o FD. A continuació, es detallen les condicions de substitució:

- *Materials plàstics i diàmetre ≤ 225 mm:* polietilè d'alta densitat (PEA), polietilè de baixa densitat (PEB), polietilè de mitja densitat (PEM), polièster reforçat fibra vidre (PRFV), policlorur de vinil (PVC), policlorur de vinil orientat (PVCO); seran substituïts per polietilè d'alta densitat (PEA).
- *Materials plàstics i diàmetre > 225 mm:* polietilè d'alta densitat (PEA), polietilè de baixa densitat (PEB), polietilè de mitja densitat (PEM), polièster reforçat fibra vidre (PRFV), policlorur de vinil (PVC), policlorur de vinil orientat (PVCO); seran substituïts per fosa dúctil (FD).

- *Materials no plàstics i diàmetre < 100 mm*: acer (A), formigó armat retacat (B), formigó armat junta soldada (BS), fosa dúctil (FD), fosa grisa (FG), ferro galvanitzat (GALV), acer inoxidable (INOX), fibrociment (FC); seran substituïts per polietilè d'alta densitat (PEA).
- *Materials no plàstics i diàmetre >= 100 mm*: acer (A), formigó armat retacat (B), formigó armat junta soldada (BS), fosa dúctil (FD), fosa grisa (FG), ferro galvanitzat (GALV), acer inoxidable (INOX), fibrociment (FC); seran substituïts per fosa dúctil (FD).

La funció de valor que es proposa per aquest indicador té una forma creixent ja que per valors elevats de COM l'indicador apunta que cal renovar, és a dir, no seguir mantenint és per aquest motiu que la funció proporciona valors elevats. S'ha utilitzat una funció en forma "S" tal com es mostra a la Figura 4.25, amb un mínim situat al punt (0;0) i el màxim al punt (0,4;1).

$$COM = 1,00 * \left[1 - e^{-0,065 * \left(\frac{|COM'|}{0,025} \right)^{2,25}} \right] \quad (\text{Eq. 4.34})$$

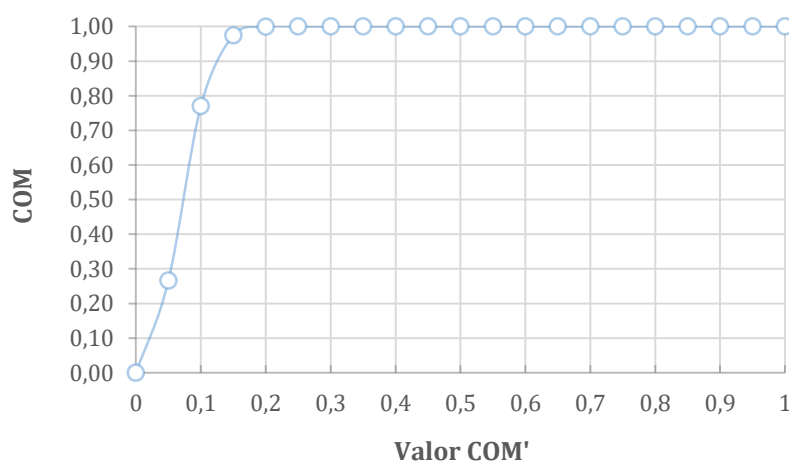


Figura 4.25. Funció de valor Indicador Econòmic de Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM)

La part còncaua de la funció creixent "S" delimitada pel punt d'inflexió situat al punt 0,03 posa en relleu aquells valors de COM majors de 0,10 (part còncaua) i dona valors molt pròxims a 1,00 a partir del valor COM 0,20.

Finalment, la funció de valor de l'indicador permet identificar aquells trams que s'estima que actualment i en els anys vinents tindrien un impacte econòmic més negatiu. Aquest impacte econòmic és degut a un previsible creixement dels costos de manteniment a causa de futures avaries. Indicant així que cal proposar aquests trams per ser renovats si la resta d'indicadors així també ho indiquen.

CAPÍTOL 5

RESULTATS DEL MODEL DE RENOVACIÓ DE LA XARXA DE DISTRIBUCIÓ I ANÀLISI DE SENSIBILITAT

5.1. INTRODUCCIÓ

Del total de la xarxa d'abastament d'Aigües de Barcelona, la xarxa de distribució representa un 88,37% dels kilòmetres totals d'abastament, és per aquest motiu que gran part dels esforços tant econòmics com dels recursos humans de l'empresa es dediquen a la renovació, manteniment i gestió d'aquesta xarxa de distribució. Cal destacar que aproximadament un quart del volum total d'inversió anual va destinat a la renovació de la xarxa de distribució (Figura 5.1). Així doncs, utilitzar un model de prioritització de la renovació de la xarxa de distribució per escollir aquells trams que han de ser renovats té un impacte significatiu si ho comparem amb altres inversions, com seria la renovació de la resta de xarxa de transport i producció que representa només un 11,63% dels kilòmetres de la xarxa, i per tant tenen un abast més reduït.

Dins del BLOC II, als capítols 3 i 4 s'ha presentat, respectivament, el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució amb criteris de Desenvolupament Sostenible (DS), i el detall de tots els indicadors que configuren l'arbre de decisió d'aquest model. Aquesta metodologia descrita té com a objectiu prioritzar segons la contribució al desenvolupament sostenible que tindria cada tram de la xarxa de distribució en cas de ser renovat.

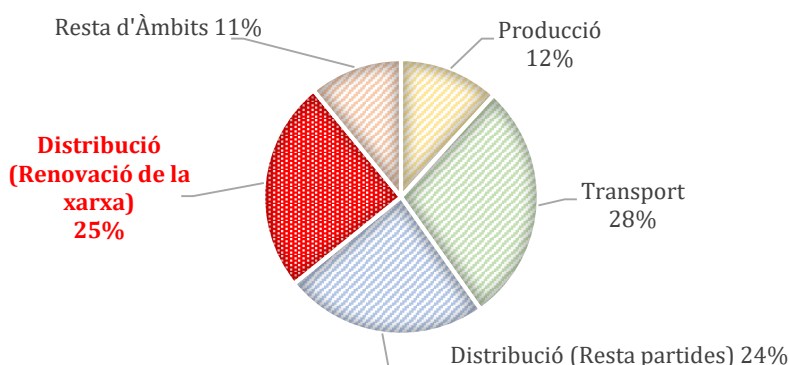


Figura 5.1. Volum d'inversió anual mitjà per partides d'inversió (mitjana dels últims tres plans d'inversions '17, '18, '19)

L'objectiu del present capítol és mostrar els resultats del nou model de renovació de la xarxa de distribució per uns escenaris definits, tot realitzant una anàlisi de sensibilitat. Per fer-ho es tenen en compte diferents escenaris de participació dels grups de relació.

Amb la finalitat de donar resposta a aquestes necessitats, el capítol presenta els resultats obtinguts i els impactes que es generen utilitzant aquest nou model. Addicionalment, s'analitza la distribució territorial que proporciona aquest nou model. Per presentar tots aquests aspectes es segueix l'estructura següent:

- Es descriu com es defineix la partida de renovació de la xarxa de distribució del Pla d'Inversions anual (apartat 5.2).
- Es presenten les característiques principals de la xarxa per Direccions de Zona per poder analitzar els resultats (apartat 5.3).
- Es descriuen els escenaris analitzats (apartat 5.4).
- Es realitza un estudi amb diferents casos que permeten fer una anàlisi de sensibilitat (apartat 5.5).
- Es presenten les verificacions del model a la xarxa de distribució d'Aigües de Barcelona (apartat 5.6).
- Finalment, es presenten les conclusions del capítol (apartat 5.7).

5.2. PLA D'INVERSIONS

El resultat de l'execució anual del model proporciona una llista amb tots els trams de l'inventari, on cadascun dels trams té assignada una puntuació corresponent a l'índex de prioritització segons la seva contribució al DS. En aquesta llista de trams apareix també el valor dels indicadors calculats, així com altres paràmetres utilitzats per calcular els indicadors que proporcionen informació de l'impacte que tindria una possible avaria d'aquell tram.

És aquest rànquing de puntuacions el que utilitzen els experts del territori, concretament els 5 caps de planificació de cadascuna de les Direccions de Zona d'Aigües de Barcelona, com a base per generar el Pla d'Inversions (PI) corresponent cada any. Per facilitar la feina d'elecció dels trams als experts del territori, encarregats de realitzar aquesta tria, se'ls proporciona una llista més reduïda corresponent a 5 cops el pressupost que s'ha definit per la partida de renovació de la xarxa de distribució per aquell any.

Així, s'ordenen els trams i es van seleccionant aquells que tenen una puntuació de contribució al desenvolupament sostenible més elevada fins a consumir el pressupost corresponent a 5 cops el pressupost real. D'aquesta forma, la preselecció és més acotada i permet destacar aquells trams que tenen una puntuació més elevada.

Un cop realitzada aquesta preselecció, s'obté quina és la puntuació mínima i màxima per cadascuna de les Direccions de Zona i quin percentatge del pressupost han consumit (%P). Per ajustar aquest pressupost a la capacitat d'actuació que tenen les Direccions de Zona es realitza un ajust final amb el pressupost que els tocaria segons el percentatge de xarxa que tenen (%PX) realitzant una mitjana aritmètica (Eq. 5.1) s'obté el pressupost final (%PF) que haurà d'executar cada Direcció de Zona escollint aquells trams que tinguin una puntuació més elevada i per tant, un major impacte.

$$%PF = \frac{%P + \%PX}{2} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Tal com s'indica a la Figura 5.2, per configurar el capítol de renovació de la xarxa de distribució del Pla d'Inversions complementàriament al model s'utilitzen altres inputs que ajuden a dissenyar una llista de trams, o porcions d'aquests, a renovar fins a assolir el pressupost assignat.

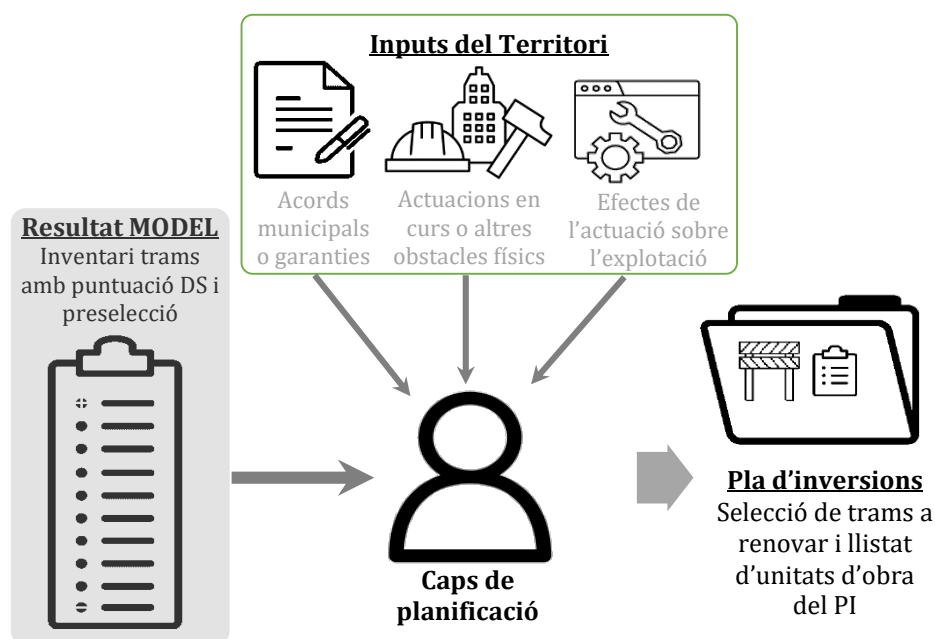


Figura 5.2. Diagrama del procés de generació del Pla d'Inversions

Per realitzar l'anàlisi i obtenir els resultats presentats a l'apartat 5.5, s'ha utilitzat un volum de pressupost disponible fictici de 52,5 M€. Aquest valor equival a 5 cops el valor fictici arrodonit de 10,5 M€ que podria correspondre a la inversió anual de la partida de renovació de la xarxa de distribució.

Els resultats que es presenten en aquest capítol corresponen als trams que serien renovats si la configuració del Pla d'Inversions (PI) és realitzada només considerant l'ordenació que proporciona el model i consumint tot el pressupost fictici (52,5 M€), part ombrejada a la Figura 5.2. És a dir, sense tenir en compte els inputs que es recullen del territori (part superior enquadrada a la Figura 5.2) i que en realitat, acaben condicionant l'elecció dels trams a renovar, aquests inputs s'utilitzen per completar l'elecció dels trams aprofitant així sinergies amb els ajuntaments per coordinar actuacions previstes, com són per exemple les pavimentacions.

5.3. CARACTERÍSTIQUES PRINCIPALS DE LA XARXA DE DISTRIBUCIÓ

Per poder analitzar els resultats és necessari tenir en compte les característiques principals de la xarxa de distribució actual (obtingudes amb l'inventari de gener del 2019), algunes d'aquestes anteriorment introduïdes a l'apartat 3.2. Així com les característiques que té la xarxa a cadascuna de les Direccions de Zona (les divisions organitzatives que existeixen per gestionar la xarxa).

A la Taula 5.1 es presenten alguns dels paràmetres principals de les característiques de la xarxa de distribució (kilòmetres de xarxa, nombre de trams, antiguitat mitjana, longitud mitjana i diàmetre mitjà), agrupats per les 5 Direccions de Zona (GD1, GD2, GD3, GD4 i GD5) i finalment, una agrupació conjunta (AB), a fi de facilitar la interpretació dels resultats.

Taula 5.1. Característiques de la xarxa de distribució per Direcció de Zona

Direcció de Zona	Xarxa [km]	Nº de trams	Longitud mitjana dels trams [m]	Antiguitat mitjana [anys]	Diàmetre mitjà [mm]
Barcelona Nord (GD1)	878,9	28.906	30,40	34,25	130,76
Barcelona Sud (GD2)	912,0	29.132	31,31	34,43	137,13
Llobregat Nord (GD3)	644,0	20.190	31,90	29,29	129,03
Llobregat Sud (GD4)	901,5	21.377	42,17	25,41	108,56
Besòs (GD5)	797,2	21.156	37,68	31,42	122,07
AB	4.133,6	120.761	34,69	30,96	125,51

La Taula 5.1 indica que les direccions de zona de Barcelona (878,9 i 912,0 km) i la de Llobregat Sud (901,5 km) són les que han de gestionar més kilòmetres de xarxa, amb una longitud mitjana de trams major a Llobregat Sud ja que ocupa la segona posició pel que fa a longitud de xarxa, tot i això, el nombre de trams és força inferior al que tenen les dues direccions de zona corresponents a Barcelona. L'alta densitat de xarxa fa necessària un

major nombre de vàlvules per tal de poder intervenir la xarxa afectant el menor nombre de persones, essent aquest un dels motius pels quals a la zona de Barcelona l'inventari té més trams, tot i tenir un volum semblant de kilòmetres de xarxa.

Pel que fa a l'antiguitat mitjana del total de la xarxa de distribució (30,96 anys), a la Taula 5.1 s'observa que la GD1, la GD2 i la GD5 tenen una antiguitat per sobre de la mitjana del total de la xarxa de distribució (34,25; 34,43 i 31,42, respectivament), per contra, la GD3 i la GD4 tenen una antiguitat per sota (29,29 i 25,41, respectivament). La xarxa més antiga es troba a la ciutat de Barcelona (GD1 i GD2) en canvi, la part de la xarxa que té menys antiguitat es troba als municipis que formen la (GD4). Un dels motius pels quals la xarxa de Llobregat Sud és més recent és que la major part de la xarxa d'aquesta Direcció de Zona va ser adquirida per l'empresa als anys 90 i un gran nombre de trams d'inventari no tenen l'edat assignada doncs la informació no s'havia registrat correctament per l'empresa que en feia la gestió anterior.

Amb relació al diàmetre mitjà de les canonades de distribució, la zona de Barcelona Sud està formada per diàmetres majors (130,76 mm de diàmetre mitjà), en canvi, Llobregat Sud té els diàmetres més petits (108,56 mm de diàmetre mitjà). Amb diàmetres mitjans similars es troben les direccions de zona de Barcelona Nord i Llobregat Nord (130,76 i 129,03 mm respectivament). La densitat d'habitants pot ser un dels motius pels quals en una zona són necessàries canonades de majors diàmetres per poder garantir la demanda de la zona.

Complementàriament a les característiques de la xarxa presentades a la Taula 5.1, un altre paràmetre important a tenir en compte és el material. La Figura 5.3.a mostra el percentatge de kilòmetres de xarxa segons el material, aquells materials que són minoritaris apareixen agrupats en aquesta mateixa figura. Per aquests materials minoritaris, anomenats *altres materials* a la figura, es presenta un zoom que clarifica el percentatge de cadascun d'aquests materials (Figura 5.3.b).

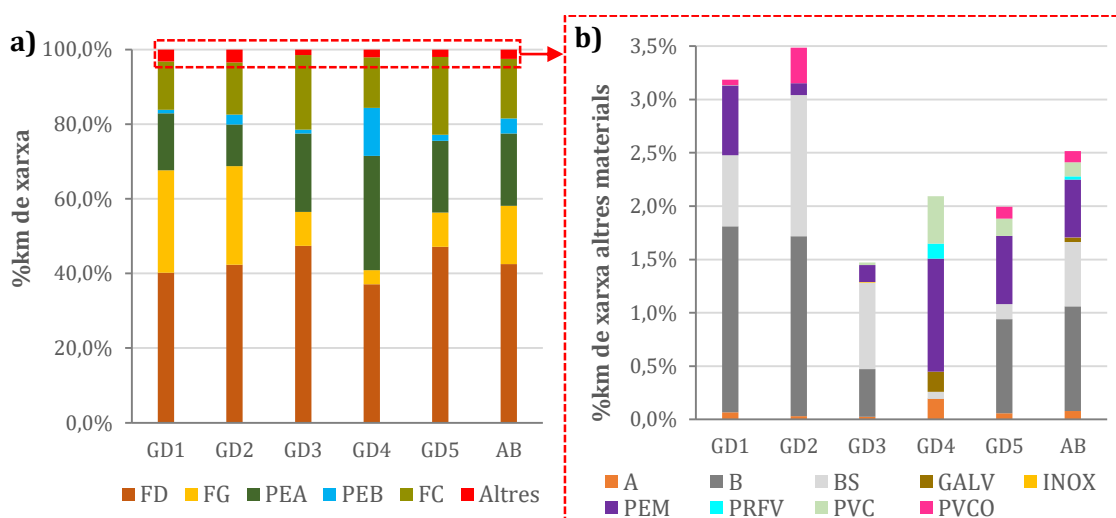


Figura 5.3. % de kilòmetres de xarxa per Direcció de Zona i global de l'empresa (AB):
 a) materials principals i altres, i, b) zoom de detall dels altres materials

La Figura 5.3.a mostra com a material majoritari a totes les direccions de zona la fosa dúctil (FD), representant més d'un 40% de la xarxa total (AB), cal destacar que aquest valor és lleugerament inferior a la GD4. La fosa grisa (FG) i el fibrociment (FC) representen aproximadament el mateix percentatge, gairebé un 16% en ambdós casos del total de la xarxa. Aquests materials són presents amb major percentatge a Barcelona (GD1 i GD2) i tenen una presència baixa a la GD4, on predominen els materials plàstics, els polietilens tant de baixa densitat (PEB) com d'alta densitat (PEA). El polietilè de baixa densitat (PEB) és poc utilitzat i representa menys d'un 5% del total de la xarxa, el motiu pel qual apareix a la Figura 5.3.a és la seva presència a la GD4 on aquest material representa més del 10% de la seva xarxa.

Els materials minoritaris que apareixen a la Figura 5.3.b són: acer (A), formigó armat amb junta retacada (B), formigó armat amb junta soldada (BS), ferro galvanitzat (GALV), acer inoxidable (INOX), polietilè de mitja densitat (PEM), polièster reforçat amb fibra de vidre (PRFV), policlorur de vinil (PVC) i policlorur de vinil orientat (PVCO). La Figura 5.3.b mostra que a Barcelona (GD1 i GD2) on les canonades són de major diàmetre, el material minoritari més utilitzat és el formigó, essent aquest material més idoni per canonades de gran diàmetre (Parrot, 2008).

L'acer inoxidable (INOX) és pràcticament inexistent a la xarxa, i és per aquest motiu que gairebé no s'aprecia al gràfic de la Figura 5.3.b per cap direcció de zona. A la part de la gràfica que surt l'agrupat sí que es pot observar una lleu presència d'aquest material. D'altres materials com el ferro galvanitzat (GALV) i el polièster reforçat amb fibra de vidre (PRFV) només són lleugerament presents als municipis de la GD4.

No només cal tenir en compte les característiques físiques de la xarxa per poder interpretar els resultats obtinguts. La concentració demogràfica dels habitants i la ubicació geogràfica dels serveis, tot i no ser característiques físiques de la xarxa sinó paràmetres relatius al territori, permeten conèixer la distribució territorial d'alguns dels paràmetres que s'utilitzen per al càlcul dels indicadors per poder realitzar una bona anàlisi. Aquests paràmetres que s'utilitzen són: els clients sensibles (CS), els grans consumidors (GC) i el nombre de persones.

A continuació, la Figura 5.4 mostra els paràmetres mencionats que gestiona cada direcció de zona. S'observa que la GD2 (Barcelona Sud) és la que concentra al seu territori més clients sensibles (CS) i grans consumidors (GC), així, junt amb Barcelona Nord (GD1) el major nombre de persones. La GD1 és la segona direcció de zona pel que fa a client sensibles (Figura 5.4.a), seguida per la GD3, la GD5 i finalment la GD4.

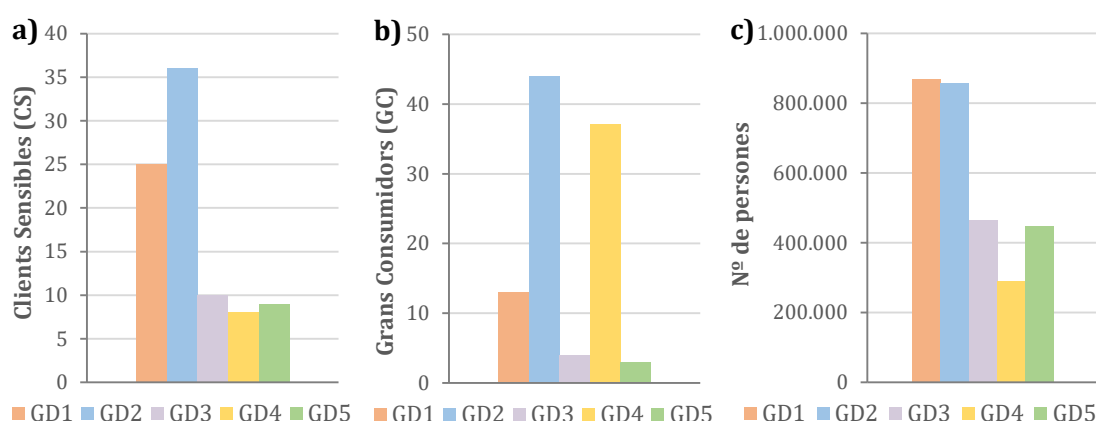


Figura 5.4. Distribució territorial per direcció de zona de: a) els clients sensibles, b) els grans consumidors i c) el nombre de persones

Pel que fa a grans consumidors (Figura 5.4.b), aquests estan concentrats sobretot a la GD2 i la GD4, la GD1 en té menys de 15 i finalment, la GD3 i la GD5 són les direccions amb menys grans consumidors (menys de 5 a cada direcció). En relació al nombre de persones (Figura 5.4.c), aquestes sobretot estan concentrades a la GD1 i GD2, gairebé 900.000 persones a cadascuna d’aquestes direccions de zona que corresponen amb el municipi de Barcelona. Seguidament, la GD3 i la GD5 ronden les 450.000 persones, i finalment, la GD4 que no arriba a les 300.000.

5.4. ESCENARIS ANALITZATS

Aquest apartat presenta en primer lloc diferents escenaris de participació dels grups de relació (Taula 5.2), en concret 8 escenaris per poder analitzar quin és l’impacte final en la renovació de la xarxa segons les contribucions dels diferents grups.

Taula 5.2. Pesos utilitzats en els diferents escenaris de participació

		BLOC 1			BLOC 2			BLOC 3		
ESCENARI:		1	2	3	3	4	5	6	7	8
Requeriments DS	ECONÒMIC (w_{R_E})	35,0%	50%	20%	20%	14%	32%	100%	0%	0%
	SOCIAL (w_{R_S})	35,8%	30%	42%	42%	47%	31%	0%	100%	0%
	AMBIENTAL (w_{R_A})	29,2%	20%	38%	38%	39%	37%	0%	0%	100%

Els escenaris que es presenten a la Taula 5.2 es classifiquen en tres blocs. El **Bloc 1** engloba els escenaris 1, 2 i 3; el **Bloc 2** està format pels escenaris 3, 4 i 5; i finalment, el **Bloc 3** on hi ha els escenaris 6, 7 i 8. Cal destacar que l’escenari 3 s’engloba tant al Bloc 1 com al Bloc 2 de forma intencionada, ja que comparteix característiques en ambdós blocs.

Bloc 1:

Els escenaris que pertanyen a aquest bloc (escenari 1, 2 i 3), representen uns pesos proporcionats per grups de relació amb ideals més centrals, donat que cap dels escenaris té una puntuació de requeriment inferior al 20%.

Dins d'aquest bloc, cal destacar que l'escenari 1 és l'únic escenari que té pesos amb decimals, el motiu d'aquest detall és que correspon als pesos obtinguts com a mitjana de la participació dels grups de relació d'AB durant l'any 2018 (utilitzats a l'execució del model pel PI2019).

Els pesos de l'escenari 2 pretenen recollir una percepció més econòmica de la gestió. On la consciència per mantenir els actius en bon estat no només físic sinó també econòmic predomina sobre els beneficis sobretot ambientals, ja que es considera que aquests estan implícits dins del criteri econòmic. Una pèrdua substancial dels recursos principals (aigua i energia) té un impacte negatiu sobre l'indicador econòmic, així com interrompre el servei o tenir avaries que produeixin sinistres.

L'escenari 3 representa una importància molt similar entre el requeriment social i ambiental, pel que fa al requeriment econòmic només rep la meitat d'importància relativa que la resta de requeriments. Potenciant els estalvis ambientals i els beneficis socials, sense deixar de banda l'impacte econòmic que impacta directament sobre l'estat dels actius.

Bloc 2:

Els escenaris que pertanyen a aquest bloc (escenari 3, 4 i 5), representen uns ideals més lliberals, on el factor social és força important. Aquests escenaris presenten una importància del requeriment ambiental força similar pels tres casos ($38\pm 1\%$).

L'escenari 4, similar a l'escenari anterior (escenari 3) també present al bloc 1, aquest pretén mostrar una contribució molt social i ambiental poc preocupada per la gestió econòmica que cal realitzar de la xarxa.

Bloc 3:

Finalment, aquest bloc, recull els escenaris més extrems (escenari 6, 7 i 8). On els decisors centren la seva atenció en un únic requeriment. Aquests escenaris permeten observar l'impacte que genera renovar només tenir en compte un dels vectors del desenvolupament sostenible.

Més concretament, l'escenari 6 prioritza purament el requeriment econòmic. Com que la part econòmica està composta d'un únic criteri i indicador la resta de nivells presentats a la taula no tindran influència sobre els resultats. Cal destacar que el resultat d'aquest escenari és el més pròxim al resultat que s'obtenia amb la prioritització que es realitzava històricament, ja que com s'ha comentat, la definició d'aquest indicador tot i que

ha incorporat algunes millores, segueix la filosofia de la metodologia que s'estava utilitzant fins al moment.

L'escenari 7 prioritza només els criteris socials, per tant, tenint en compte els impactes sobre les persones i la ciutat. Finalment, l'escenari 8 prioritza els criteris ambientals, tenint en compte els estalvis d'aigua i energia que tindria la renovació de cada tram.

5.5. ANÀLISI DE SENSIBILITAT DE CADA ESCENARI

Aquest apartat recull els resultats dels 8 escenaris presentats anteriorment. A la Taula 5.3 es presenten, novament els pesos corresponents a cada requeriment (w_{R_t}), i els pesos dels criteris (w_{C_y}) i els indicadors (w_{I_j}) utilitzats per cada escenari. Aquests pesos seran substituïts, per cada cas, a l'Eq. 5.2 obtenint així el valor d'Índex de Contribució al Desenvolupament Sostenible, en endavant Índex DS, per cadascun dels trams de l'inventari. El valor de l'indicador ($IV_j(T_x)$) és un valor fix per tots els escenaris ja que depèn de les característiques físiques i les condicions de contorn del tram.

$$\text{Índex DS } (T_x) = \sum w_{R_t} \cdot w_{C_y} \cdot w_{I_j} \cdot IV_j(T_x) \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Taula 5.3. Pesos utilitzats en els diferents escenaris de participació

ESCENARI:		1	2	3	4	5	6	7	8
Requeriment DS	ECONÒMIC (w_{R_E})	35,0%	50%	20%	14%	32%	100%	0%	0%
	SOCIAL (w_{R_S})	35,8%	30%	42%	47%	31%	0%	100%	0%
	AMBIENTAL (w_{R_A})	29,2%	20%	38%	39%	37%	0%	0%	100%
Criteris Socials	PERSONES (w_{C_P})	59,9%	60%	45%	40%	56%	50%	50%	50%
	CIUTAT (w_{C_C})	40,1%	40%	55%	60%	44%	50%	50%	50%
Criteris Ambientals	ESTALVI AIGUA (w_{C_A})	60,0%	60%	60%	60%	57%	50%	50%	50%
	ESTALVI ENERGIA (w_{C_E})	40,0%	40%	40%	40%	43%	50%	50%	50%
Indicadors criteri Persones	AFECTACIÓ PER AVARIES (w_{I_A})	58,1%	60%	75%	80%	66%	50%	50%	50%
	AFECTACIÓ A LA PERCEPCIÓ (w_{I_P})	41,9%	40%	25%	20%	34%	50%	50%	50%
Indicadors criteri Ciutat	MOBILITAT (w_{I_M})	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	INFRASTRUCTURES SUBTERRÀNIES ($w_{I_{IS}}$)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	COORDINACIÓ DE PLANS ($w_{I_{CP}}$)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Els diferents pesos de la Taula 5.3 corresponen: en un primer lloc, als pesos dels requeriments relatius als tres vectors del desenvolupament sostenible ($w_{R_E}, w_{R_S}, w_{R_A}$), seguidament als pesos dels criteris socials (w_{C_P}, w_{C_C}), als pesos dels criteris ambientals (w_{C_A}, w_{C_E}) i finalment, als pesos dels indicadors del criteri persones (w_{I_A}, w_{I_P}) i indicadors del criteri ciutat ($w_{I_M}, w_{I_{IS}}, w_{I_{CP}}$).

Cal destacar que no s'han realitzat grans variacions sobre les importàncies relatives assignades als criteris i els indicadors dels diferents escenaris utilitzats.

Els criteris que formen el requeriment social, persones i ciutat, presenten importàncies relatives similars per tots els escenaris, en alguns casos s'ha proporcionat més importància a les persones i en altres a la ciutat, sense que aquestes diferències siguin molt importants per després poder analitzar els resultats d'aquestes variacions.

Els criteris ambientals, aigua i energia, també presenten valors pròxims al 50% per tots els casos. Considerant ambdós recursos molt importants i estretament lligats aquests reben un pes molt similar. L'aigua és el recurs més important per l'empresa, per tant, s'ha donat sempre més importància al criteri aigua que al criteri energia, sense deixar aquest darrer de banda, ja que sense l'energia no seria possible distribuir aquesta aigua al llarg del territori.

Pel que fa als indicadors del criteri persones, s'ha proporcionat més pes a l'indicador d'afectació per avaria (w_{I_A}) que a l'indicador d'afectació a la percepció organolèptica (w_{I_P}). Aquesta importància respon a la capacitat de millorar l'afectació per avaria, que mitjançant la renovació de la xarxa de distribució és major a la possible millora que es pot obtenir de la percepció organolèptica. Ja s'ha mencionat a la descripció de l'indicador (apartat 4.2.2.2) que aquest, per les característiques de la xarxa impacta a aquelles canonades de materials fèrrics que al final de la seva vida útil podrien tenir una petita afectació a la percepció organolèptica en el cas de no ser renovades amb anterioritat.

Dels tres indicadors que pertanyen al criteri ciutat, només es presenta pes per a l'indicador de mobilitat, la resta d'indicadors, d'infraestructures subterrànies ($w_{I_{IS}}$) i coordinació de plans ($w_{I_{CP}}$), són sempre igual a 0%, com s'ha explicat a l'apartat 3.5.2 del Capítol 3 aquests indicadors no s'han pogut desenvolupar a causa de la manca de dades base.

Un cop presentat el detall dels pesos als tres nivells de l'arbre de decisió, el que determina la importància que té cadascun dels indicadors sobre el valor final de l'Índex DS, tal com s'observa a l'Eq. 5.2, és el producte del pes del requeriment, el criteri i l'indicador que correspon en cada cas ($w_{R_t} \cdot w_{C_y} \cdot w_{I_j}$), obtenint així la importància de cada indicador. Les importàncies de cada indicador per cadascun dels 8 escenaris es presenta a la Taula 5.4, on apareixen destacats aquells indicadors que tenen un pes igual o superior al 20%.

Taula 5.4. Importància de cada indicador pels diferents escenaris de participació

Indicadors/Escenaris	1	2	3	4	5	6	7	8
Afectació al Servei per Avaria	12%	11%	14%	15%	11%	0%	25%	0%
Afectació a la Percepció Organolèptica	9%	7%	5%	4%	6%	0%	25%	0%
Afectació a la Mobilitat per Avaria	14%	12%	23%	28%	14%	0%	50%	0%
Estalvi d'Aigua	18%	12%	23%	23%	21%	0%	0%	50%
Estalvi d'Energia	12%	8%	15%	16%	16%	0%	0%	50%
Cost d'Oportunitat del Manteniment	35%	50%	20%	14%	32%	100%	0%	0%

Un cop presentats tots els pesos que defineixen els escenaris utilitzats, a continuació es presenten els resultats. Com ja s'ha introduït a l'apartat 5.2 l'anàlisi es realitza tenint en compte que es renovaran els trams amb Índex DS més elevat fins a consumir el pressupost fictici de 52,5 M€. Un cop ordenats tots els trams de l'inventari segons l'Índex DS obtingut amb els pesos de la Taula 5.3, és necessari calcular el cost de renovació de cada tram per poder seleccionar tots aquells trams que formarien els diferents Plans d'Inversions, per finalment poder presentar els impactes que tindria la prioritització de la renovació de cada escenari.

Per poder realitzar el càlcul del cost de renovació de cada tram s'utilitza un cost mitjà d'instal·lació funció del diàmetre, la direcció de zona a la qual pertany el tram a substituir, i el material pel qual és substituït fosa dúctil (FD) o polietilè d'alta densitat (PEA). Aquest cost (Taula 5.5) multiplicat per la seva longitud proporciona una estimació del cost que té la renovació d'aquell tram.

Taula 5.5. Cost mitjà d'instal·lació [€] per diàmetre, material a instal·lar i direcció de zona

Diàmetre [mm]	Cost d'instal·lació FD [€]					Cost d'instal·lació PEA [€]				
	GD1	GD2	GD3	GD4	GD5	GD1	GD2	GD3	GD4	GD5
20 - 80	264,8	264,0	242,5	245,6	233,2	221,1	286,6	239,5	231,7	271,1
90 - 120	395,1	393,9	361,7	366,4	347,9	329,9	427,6	357,3	345,7	404,5
130 - 140	362,9	455,6	397,8	308,0	340,8	335,9	419,2	363,8	334,1	411,9
150 - 190	389,1	488,6	426,6	330,3	365,4	360,3	449,5	390,2	358,3	441,7
200	486,4	610,7	533,3	412,8	456,8	450,3	561,9	487,7	447,9	552,2
250 - 280	535,1	673,3	585,7	453,4	502,6	534,2	571,5	530,5	513,2	600,6
300 - 370	506,9	637,8	554,8	429,5	476,1	506,1	541,4	502,5	486,1	568,9
400 - 450	636,3	800,6	696,4	539,1	597,6	635,3	679,6	630,8	610,2	714,2
500 - 550	712,2	896,0	779,5	603,4	668,9	711,0	760,6	706,0	683,0	799,3
600 - 650	794,9	1000,1	870,0	673,5	746,6	793,6	848,9	788,0	762,3	892,2
700	830,0	1044,2	908,3	703,2	779,5	828,6	886,3	822,7	795,9	931,5

Els propers apartats presenten els resultats dels impactes que genera cadascun dels Plans d'Inversions simulats amb els 8 escenaris de col·laboració. A l'apartat 5.5.1 es presenten els resultats dels impactes globals per blocs de tot l'àmbit sense tenir en compte la distribució territorial d'aquesta renovació. Per poder mostrar els beneficis de forma

territorial, a l'apartat 5.5.2 es mostren els mateixos resultats agrupats per Direcció de Zona. L'apartat 5.5.3 presenta els beneficis agrupats segons els materials renovats. Finalment, l'apartat 5.5.4 mostra la distribució del pressupost consumit ($\%P$) per Direccions de Zona, així com el valor del percentatge de xarxa que tenen ($\%PX$) i la mitjana aritmètica amb la qual s'obté el pressupost final ($\%PF$).

5.5.1 Resultat dels impactes globals

Aquest apartat recull els impactes globals de cadascun dels 8 escenaris anteriorment presentats, considerant la xarxa completa sense realitzar una diferenciació territorial dels resultats. Els resultats s'estructuren de la següent forma:

- El nombre de trams a renovar i els kilòmetres de xarxa
- Els impactes relatius al requeriment social
- Els impactes relatius al requeriment ambiental
- Els impactes relatius al requeriment econòmic

a. Nombre de trams i kilòmetres de xarxa a renovar

La Figura 5.5 mostra el nombre de trams i els kilòmetres que componen els suposats Plans d'Inversions que varien per cada escenari. Aquesta variació és deguda a les característiques dels trams que han obtingut puntuacions més altes d'Índex DS, concretament a la longitud que té cadascun d'aquests trams amb puntuació més elevada.

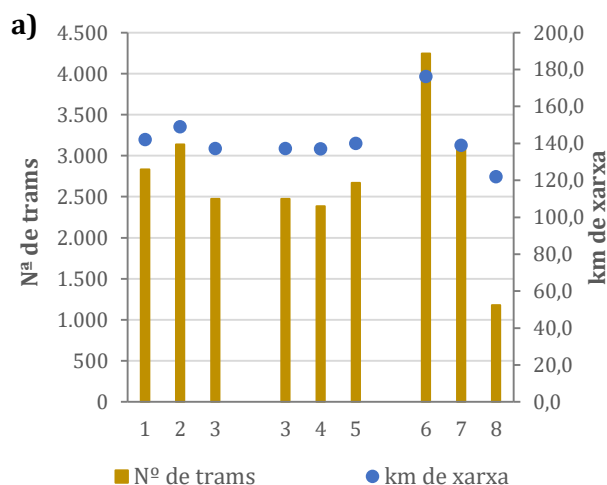


Figura 5.5. Nombre de trams i kilòmetres de xarxa a ser renovats

Pel que fa al nombre de trams prioritzats i els kilòmetres de xarxa totals renovats dels 3 primers escenaris (**Bloc 1**) que apareixen a la Figura 5.5, resulta bastant variable amb més de 500 trams de diferència, i aproximadament amb una diferència de 10 km. L'escenari 2, on el requeriment econòmic és el que té més importància relativa, prioritza més trams i

kilòmetres de xarxa. Dins l'anàlisi del bloc 3 on hi ha l'escenari purament econòmic (escenari 6), s'observa aquest mateix comportament, augment del nombre de trams i els kilòmetres a renovar.

Pel que fa als resultats dels escenaris pertanyents al **Bloc 2**, els resultats són més similars, pel que fa al nombre de trams i kilòmetres de xarxa. En aquest cas, el nombre de trams prioritzat presenten una diferència menor a 200 trams. Aquests representen un volum de kilòmetres entre 137 i 139,9 km. Segons els indicadors que prenen més protagonisme en cada cas, s'han prioritzat trams amb longituds més o menys llargues, d'aquí a la diferència més significativa pel que fa al nombre de trams.

Dins del **Bloc 3**, l'escenari 6 que es mostra a la Figura 5.5 representa el resultat amb major nombre de trams i també de kilòmetres de xarxa. En aquest cas, els trams prioritzats són trams més curts i segurament de menor diàmetre, permetent així amb el mateix pressupost renovar més kilòmetres de xarxa ja que el cost de renovació dels diàmetres petits és inferior (com s'observa a la Taula 5.5).

En el cas de l'escenari 7, els resultats són força similars als cinc primers escenaris, tot i que en tots els escenaris el requeriment social no rep el pes més elevat, només als escenaris 1, 3 i 4, aquest requeriment té més d'un 30% del pes.

Un dels casos més extrems que s'observa a la Figura 5.5 és l'escenari 8, on el nombre de trams és dos o tres cops menor que a la resta d'escenaris. En canvi, els kilòmetres de xarxa que representen aquests trams només són lleugerament inferiors a la resta d'escenaris. Aquest escenari, on el requeriment ambiental s'endú tot el protagonisme, prioritza aquells trams de l'inventari amb més longitud, ja que a més longitud el tram té més connexions i probablement més connexions d'accessoris. Els trams amb aquestes característiques tendeixen a tenir més pèrdues i per tant, com que s'ha maximitzat el requeriment ambiental resulten prioritàries.

Un cop presentats el nombre de trams i els kilòmetres de xarxa que es renoven per cada escenari, es presenten els impactes que tindrien aquests trams en cas de ser renovats. Es presenten els impactes associats als indicadors així com altres paràmetres que han estat necessaris per poder obtenir l'indicador.

b. [Impactes del requeriment social](#)

A la Figura 5.6 es presenten els beneficis del requeriment social. Tal com es pot observar, a la Figura 5.6.a es mostra el nombre de clients sensibles (CS) corresponents a hospitals i centres de diàlisi que es beneficiarien de la renovació per cada escenari, així com els grans consumidors (GC). A l'eix secundari de la mateixa Figura 5.6.a s'observen el nombre de persones que es beneficiarien de la renovació per cada escenari. Cal recordar, tal com s'ha descrit a l'apartat 4.2.2.1, per poder determinar aquests valors, tant de persones com de clients sensibles i grans consumidors, es realitza a nivell de tancament. Així, s'evita que els paràmetres tinguin duplicats, doncs en cas contrari, si es renoven dos trams que

pertanyen al mateix tancament i aquest tancament té un client sensible es computaria dos cops.

Per altra banda, la Figura 5.6.b presenta els kilòmetres de xarxa que en cas de ser renovats tindrien un benefici sobre la percepció organolèptica i sobre les vies d'alta mobilitat, tant de vianants (IMP) com rodada (IMD). Per comptabilitzar els kilòmetres de xarxa que en cas de ser renovats, millorarien la percepció organolèptica, es considera que són tots els trams de fosa grisa amb puntuació major o igual a 2 punts. En el cas dels kilòmetres d'alta mobilitat, es considera que el tram passa per una via d'alta mobilitat si tal com mostra l'Eq. 5.3: l'índex de mobilitat (IM) sumat a la meitat del valor de l'índex estratègic (IE) és superior o igual a 4, aquest valor representa l'enter justament superior a la meitat del valor màxim que es pot obtenir amb el sumatori de l'Eq. 5.3. El valor màxim de l'IM igual que l'IE és 5 punts, i per tant, el sumatori pot donar com a màxim 7,5 punts, essent la meitat d'aquest darrer valor 3,75.

$$\left(IM + \frac{IE}{2} \right) \geq 4 \quad (\text{Eq. 5.3})$$

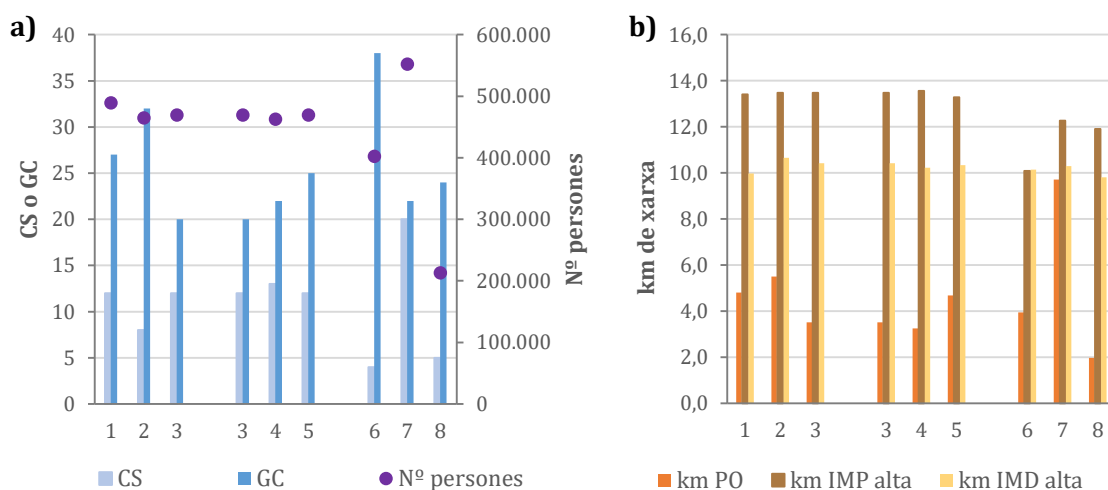


Figura 5.6. Distribució beneficis indicadors del requeriment social: a) N° de clients sensibles (CS), N° grans consumidors (GC) i N° de persones; b) km percepció organolèptica (PO), km IMP alta, km IMD alta (alta)

Els resultats de la Figura 5.6.a dels primers escenaris (1, 2, 3) que pertanyen al **Bloc 1**, mostren que el nombre de clients sensibles (CS) als que es blinda amb la renovació és més elevat com més pes recaigui sobre el requeriment social. Per contra, els grans consumidors (GC) són prioritzats amb més pes al requeriment econòmic (escenari 2) i com menys pes tingui aquest el nombre de grans consumidors anirà disminuint (escenari 3).

Si s'observa el **Bloc 2**, escenaris (3, 4 i 5), cal destacar que el nombre de clients sensibles (CS) beneficiats gairebé no oscil·la, l'escenari 4 beneficia només un client sensible (CS) més que els altres dos. Pel que fa als grans consumidors (GC) beneficiats per la renovació seguint la mateixa tendència presentada al primer bloc, l'escenari amb més

importància al requeriment econòmic (escenari 5) és el que beneficia a un major nombre de clients sensibles (CS). El nombre de persones beneficiades és bastant constant dins d'aquest bloc 2, s'observa un lleuger decrement a l'escenari 4 motivat també per la renovació d'un menor nombre de trams.

Pel que fa al **Bloc 3**, el nombre de clients sensibles (CS) que es beneficien és major a l'escenari 7 ja que és l'escenari que té per objectiu prioritzar els criteris socials. És per aquest motiu que també el nombre de persones són màximes en aquest escenari. Pel que fa al nombre de grans consumidors (GC) beneficiats l'escenari més favorable per aquest aspecte és el 6. Si s'analitza en detall l'escenari 6, pel que fa als clients sensibles (CS) i nombre de persones aquests paràmetres presenten els resultats més baixos, essent l'escenari més perjudicial. En el cas dels grans consumidors (GC), com que aquests són més elevat en nombre total i per tant a més kilòmetres renovats més grans consumidors beneficiats, i és l'escenari on es renoven més kilòmetres de xarxa aquest paràmetre resulta ser el més elevat de tots els escenaris. Com era d'esperar, l'escenari 7 maximitza els paràmetres pel que fa al nombre de clients sensibles (CS) i nombre de persones. Finalment, l'escenari 8 resulta el menys atractiu pel que fa als beneficis a persones.

De la Figura 5.6.b, s'observa que els kilòmetres de xarxa que milloren la **percepció organolèptica** (km PO) són màxims a aquells escenaris on el requeriment social i econòmic té un pes elevat i a la vegada l'ambiental té una importància menor, addicionalment, corresponen a aquells escenaris on es renoven més kilòmetres de xarxa (bloc 1 – escenari 2 i bloc 2 – escenari 5).

El **Bloc 1** presenta un major nombre de kilòmetres renovats per percepció organolèptica (km PO) més elevat a l'escenari 2. S'observa d'aquests tres escenaris que conformen el bloc 1, que quan entren a l'equació els tres requeriments, no necessàriament aquell escenari on el requeriment social té més pes donarà una priorització amb més kilòmetres que afecten la percepció organolèptica (km PO). Dins d'aquest bloc 1, s'observa que l'escenari amb més pes social, l'escenari 3, resulta amb menys kilòmetres renovats per percepció organolèptica (km PO).

Seguint amb aquesta línia, el **Bloc 2**, mostra que a igual pes ambiental, l'escenari amb més kilòmetres de xarxa que afecten la percepció organolèptica (km PO) és aquell que té més importància al requeriment econòmic i a la vegada un pes important al requeriment social (escenari 5).

Finalment, quan només entra a l'equació un dels tres requeriments, escenaris del **Bloc 3**, el màxim impacte sobre els kilòmetres de xarxa que afecten la percepció organolèptica (km PO) s'aconsegueix amb la priorització de només el requeriment social (escenari 7) i s'observa que en el cas de tenir només en compte el requeriment ambiental (escenari 8), el resultat és el menor dels tres escenaris estudiats (escenaris 6, 7 i 8).

Si s'observa el resultat de l'afectació a la mobilitat presentat a la Figura 5.6.b, els **kilòmetres d'alta mobilitat** (km IMP alta i km IMD alta) són similars en tots els casos i es

veuen lleugerament incrementats quan el requeriment social té una importància elevada i més concretament si s'ha donat més importància al criteri ciutat que al criteri persones (escenari 3 i 4).

Tant pels escenaris del **bloc 1** com del **bloc 2**, el resultat és similar entre 13,3 – 13,6 kilòmetres a carrers de IMP alta i entre 10 – 10,7 kilòmetres de xarxa situats a vies amb IMD alta.

En relació als escenaris del **bloc 3**, s'observa que quan només s'utilitza un dels requeriments per prioritzar el resultat no és favorable en quant a kilòmetres de xarxa situats en zones amb mobilitat elevada. Més concretament, l'escenari 6, tot i renovar molts kilòmetres de xarxa com s'ha vist anteriorment, els prioritaris no estan situats en zones d'alta mobilitat ja que es prioritzen seguint altres criteris més econòmics que no afavoreixen aquest impacte. Entre l'escenari 7 i 8, s'observa una mínima diferència que fa més interessant l'escenari 7 pel que fa a kilòmetres (km IMP alta i km IMD alta), com era d'esperar ja que aquest indicador es troba dins del requeriment social.

Tot i que cal destacar la influència que té el nombre de kilòmetres de xarxa renovats, doncs, a més kilòmetres de xarxa renovats major és el nombre de kilòmetres que poden estar situats a carrers d'alta mobilitat. És per aquest motiu que pels primers escenaris a igual nombre de kilòmetres renovats els kilòmetres situats en zones d'alta mobilitat són força similars.

c. Impactes del requeriment ambiental

A la Figura 5.7 es presenten els beneficis del requeriment ambiental per cadascun dels 8 escenaris plantejats. En primer lloc, la Figura 5.7.a presenta els estalvis potencials d'aigua tant el còmput global ($EPA' m^3/any$) com els estalvis per metre lineal ($EPA' m^3/ml/any$). Seguidament, la Figura 5.7.b mostra els estalvis potencials d'energia, igualment, en aquest cas també es presenten per una banda els estalvis en kWh globals ($EPE' kWh/any$) i els estalvis en kWh per metre lineal ($EPE' kWh/ml/any$).

Pel que fa a l'**estalvi potencial d'aigua**, la Figura 5.7.a mostra que l'estalvi de m^3 anuals es produeix per l'escenari que té per objectiu maximitzar l'impacte ambiental rebent un 100% del pes (escenari 8).

Dels escenaris que pertanyen al **Bloc 1**, s'observa que l'impacte en estalvi d'aigua està molt lligat a la importància relativa que té el requeriment ambiental. Així, l'escenari 3 té el requeriment ambiental amb un pes major i per tant, l'estalvi que s'obté amb aquest escenari és major que a la resta d'escenaris. El mínim estalvi s'obté amb l'escenari 2, ja que aquest escenari considera que el requeriment ambiental només representa un 20% del pes total dels requeriments.

Els escenaris que pertanyen **Bloc 2**, tenen com a característica comuna un valor molt similar del requeriment ambiental, doncs el resultat global d'estalvis anuals d'aigua (EPA'

m^3/any) és molt similar pels tres casos. Dels últims escenaris, **Bloc 3**, el màxim pel qual va a l'estalvi total a l'any ($EPA' m^3/any$) s'obté amb l'escenari 8, en canvi si el que s'analitza és l'estalvi per metre lineal ($EPA' m^3/ml/any$), aquest màxim s'observa amb l'escenari 7.

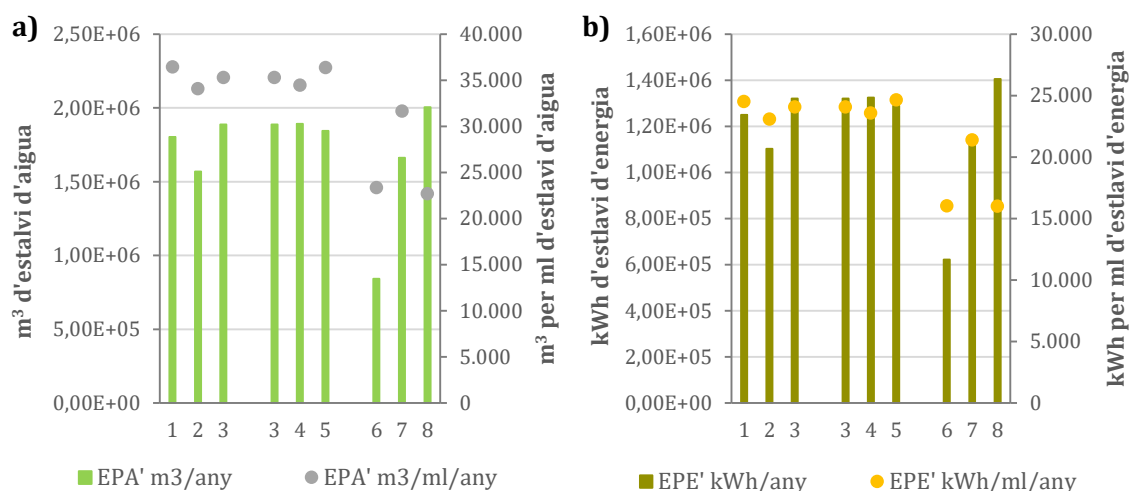


Figura 5.7. Distribució beneficis indicadors del requeriment ambiental: a) estalvi potencial d'aigua (EPA); b) estalvi potencial d'energia (EPE)

Pel que fa a l'estalvi potencial d'energia, la Figura 5.7.b també mostra el seu màxim anual a l'escenari 8, obtingut ja que aquest escenari proporciona tota la importància relativa al requeriment ambiental.

L'estalvi d'energia dels escenaris del **Bloc 1**, igual que en el cas de l'estalvi d'aigua, és màxim per l'escenari 3, essent aquest l'escenari amb un pes major al requeriment ambiental. Amb la mateixa línia també s'observa un estalvi d'energia molt similar pels tres escenaris que conformen el **Bloc 2**, doncs aquests tenen una importància relativa al requeriment ambiental molt similar, amb el màxim situat a l'escenari 4. Pel que fa a l'últim bloc, el **Bloc 3**, aquí trobem l'escenari amb el màxim i el mínim estalvi energètic anual ($EPE' kWh/any$). S'obté un estalvi màxim si el requeriment ambiental s'endú la màxima puntuació i el mínim si és el requeriment econòmic el que s'endú la màxima puntuació.

En ambdós casos, pel que fa als estalvis tant d'aigua com d'energia, el cas en que s'estalvia menys recurs és l'escenari 6, on només es té en compte el requeriment econòmic. Aquest escenari representa un estalvi potencial d'energia ($EPE' kWh/any$) inferior a la meitat de la mitjana de la resta de casos.

Pel que fa a l'estalvi potencial per metre lineal s'observa que aquests segueixen la mateixa tendència tant pels estalvis d'aigua ($EPA' m^3/ml/any$, Figura 5.7.a) com pels estalvis d'energia ($EPE' kWh/ml/any$, Figura 5.7.b). Tot i que en aquest cas, a diferència de l'estalvi anual, quan s'observa l'estalvi per metre lineal no s'obté el valor màxim d'estalvi amb l'escenari 8 si no quan entren en joc tots els requeriments.

d. Impactes del requeriment econòmic

La mitjana del Cost d'Oportunitat del Manteniment (*COM*) que tenen els trams proposats per ser renovats per tots els escenaris analitzats es presenta a la Figura 5.8, així com la mitjana dels tres escenaris que conformen cada bloc (*Mitjana*).

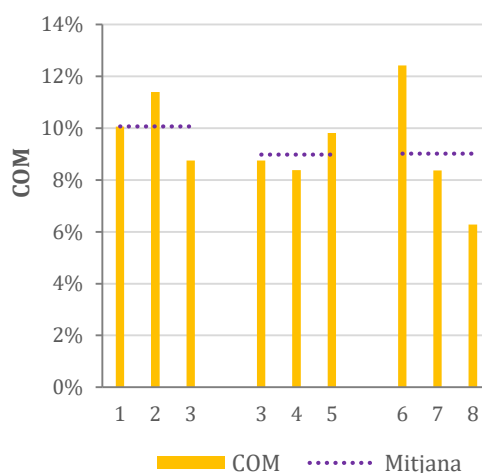


Figura 5.8. Distribució de l'indicador econòmic de Cost d'Oportunitat del Manteniment (*COM*)

La Mitjana del COM del **Bloc 1** es troba al voltant del 10%, superat per l'escenari 2 i igualat per l'escenari 1, ambdós escenaris reben un pes elevat de l'indicador econòmic, fet que prioritza aquells trams amb més COM.

Pel que fa a la mitjana del **Bloc 2** i el **Bloc 3**, aquest valor es troba al voltant del 9%. En el cas dels escenaris del **bloc 2** (escenari 3, 4 i 5), tots tres tenen valors del COM molt similars, l'escenari 5 presenta una mitjana del COM pròxima al 10% ja que és l'escenari que proporciona més pes al requeriment econòmic.

En canvi, els escenaris del bloc 3 (escenari 6, 7 i 8) presenten valors molt diferents de COM. L'escenari 6 prioritza només el requeriment econòmic és el que proporciona valors de COM més elevats, en canvi, els dos escenaris que donen valor nul al requeriment econòmic (escenari 7 i 8), obtenen valors del COM inferiors a la mitjana del **bloc 3**. Obtenint els valors més baixos de COM per aquells trams prioritzats amb l'escenari 8, ja que la priorització de trams seguint únicament criteris ambientals es prioritzen trams més llargs que tenen COM més baixos, ja que el cost de l'escenari de renovació resulta més elevat en aquests casos.

Així doncs, aquells escenaris que proporcionen més pes al requeriment econòmic, prioritzen trams amb un COM més elevat, tot i que la diferència de la mitjana de COM entre escenaris no és significativa, sense tenir en compte els escenaris extrems del **bloc 3**, la diferència de COM entre escenaris és com a màxim d'un 3%.

5.5.2 Resultats agrupats per DZ

Per poder realitzar l'anàlisi a nivell de territori, aquest apartat mostra moltes de les dades presentades anteriorment, en aquest cas però, la informació està agrupada per direccions de zona (DZ). Els resultats es presenten seguint la següent estructura:

- El nombre de trams a renovar i els kilòmetres de xarxa
- Els impactes relatius al requeriment social
- Els impactes relatius al requeriment ambiental

a. Nombre de trams i kilòmetres de xarxa a renovar

La Figura 5.9.a mostra la distribució de kilòmetres de xarxa i la Figura 5.9.b el nombre de trams per cadascun dels escenaris plantejats i quants d'aquests pertanyen a cada direcció de zona. Per altra banda, la Taula 5.6 presenta la longitud mitjana que tenen aquests trams prioritzats per direcció de zona i escenari.

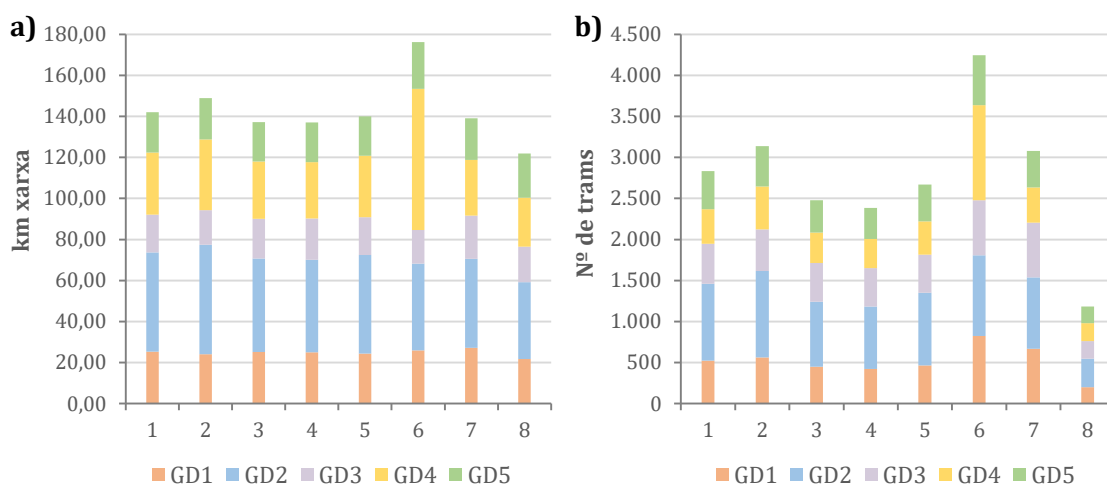


Figura 5.9. Distribució per Direcció de Zona de: a) kilòmetres de xarxa a ser renovats i b) Nombre de trams

Taula 5.6. Longitud mitjana [m] dels trams a renovar per direccions de zona (DZ) i escenaris

DZ / Escenaris	1	2	3	4	5	6	7	8
GD1	48,36	42,78	56,07	59,02	52,25	31,51	40,92	109,53
GD2	51,55	50,69	57,37	59,4	54,52	42,96	49,61	107,13
GD3	38,11	33,47	41,19	42,81	39,37	24,53	31,74	81,5
GD4	71,39	65,46	75,63	77,57	73,46	59,27	62,97	108,47
GD5	42,39	41,23	48,72	50,71	42,94	37,43	45,59	107,66
Total	50,12	47,5	55,4	57,41	52,43	41,49	45,16	103,27

De la Figura 5.9.a s'observa que els kilòmetres de xarxa per tots els escenaris són bastant similars. Oscil·lant entre 27,25 i 21,80 km per a la GD1, entre 53,37 i 37,39 km, per a la GD2, entre 21,11 i 16,49 km, per a la GD3 i entre 22,76 i 19,19 km, per a la GD5. En canvi, per la GD4 els valors tenen molta més oscil·lació, entre 68,75 i 23,86 km, a causa del resultat de l'escenari 6. S'observa el mateix fenomen amb relació al nombre de trams, resultant força similar a totes les direccions de zona menys al cas de l'escenari 6.

Aquesta concentració de renovació a la zona de la GD4 pot ser deguda al fet que és la direcció de zona que té més materials plàstics i de menys diàmetre, el que fa més interessant econòmicament la renovació d'aquests trams.

Cal destacar també de la Taula 5.6 que els trams renovats de la GD4 per tots els escenaris, la seva longitud mitjana és gairebé un 40% superior a la longitud mitjana de tots els trams renovats (*Total*). També es posa en relleu que tenint en compte principalment el requeriment econòmic (escenari 6) es prioritza trams curts, per contra, el requeriment ambiental (escenari 8) prioritza trams més llargs a totes les direccions de zona, permetent realitzar menys nombre de trams, tal com s'observa a la Figura 5.9.b.

b. Impactes del requeriment social

La Figura 5.10.a mostra agrupats per direcció de zona el nombre de clients sensibles que es beneficiarien de la prioritització, seguidament, el nombre de grans consumidors (Figura 5.10.b) i el nombre de persones (Figura 5.10.c).

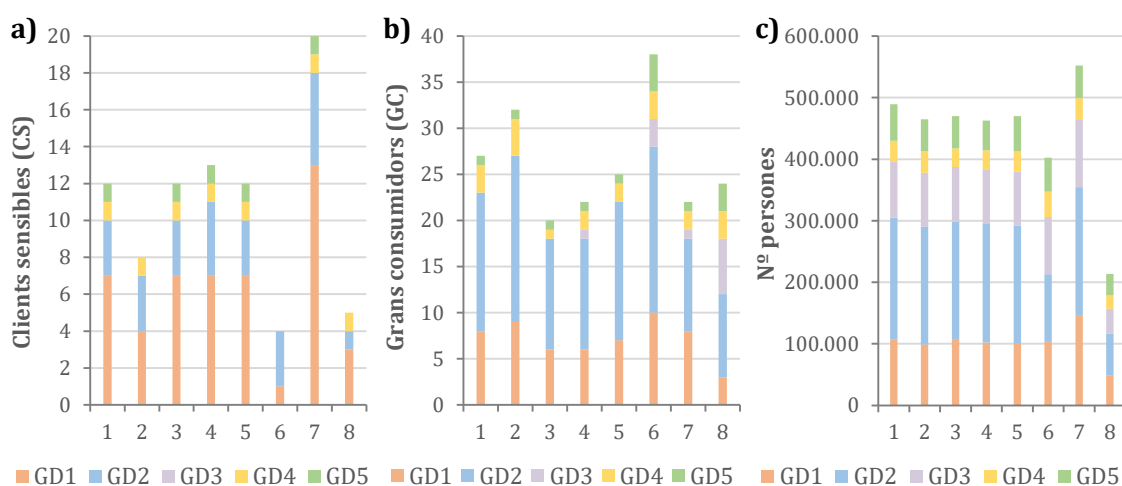


Figura 5.10. Distribució per Direcció de Zona del nombre de clients blindats: a) clients sensibles (CS), b) grans consumidors (GC) i c) nombre persones

Pel que fa al nombre de **clients sensibles** (CS), de la Figura 5.10.a es pot concloure que en cap cas es prioritza clients sensibles de la GD3, i pel que fa a la resta del territori, alguns escenaris deixen sense prioritzar clients sensibles de la resta del territori. Només l'escenari 1, 3, 4, 5 i evidentment el 7 que pretén mostrar la maximització dels beneficis socials, prioritzen trams que beneficien clients sensibles de les 4 direccions de zona restants

(GD1, GD2, GD4 i GD5). L'escenari 2 i 8, en canvi, beneficien Barcelona (GD1 i GD2) i els municipis de GD4. Finalment, l'escenari 6 és el més perjudicial pel que fa a prioritzar trams que afecten clients sensibles.

Si s'analitzen els resultats relatius als **grans consumidors** (GC), la Figura 5.10.b ens mostra que sobretot la prioritització es concentra a Barcelona (GD1 i GD2). Dels cinc primers escenaris només l'escenari 4 proposa renovar trams que afectarien un gran consumidor de la GD3, la resta no en prioritzen cap. En canvi, per la resta d'escenaris el 6, 7 i 8, els beneficis en major o menor mesura estan distribuïts per tot el territori.

La Figura 5.10.c mostra beneficis en **nombre de persones** per totes les direccions de zona. Com era d'esperar hi ha trams proposats per renovar distribuïts per tot l'àmbit, aquestes renovacions beneficiaran a un major o menor nombre de persones però tot el territori es veu beneficiat. Per tots els casos la GD2 presenta valors més elevats de nombre de persones, el motiu principal és la densitat demogràfica que té aquesta zona. La GD4 amb els municipis amb menys densitat demogràfica trobem que els beneficis en nombre de persones són els menors per tots els casos.

Els kilòmetres de xarxa que milloren la percepció organolèptica i els que afecten les vies d'alta mobilitat (ja sigui d'alta mobilitat per vianants o per mobilitat rodada) es presenten a la Figura 5.11.

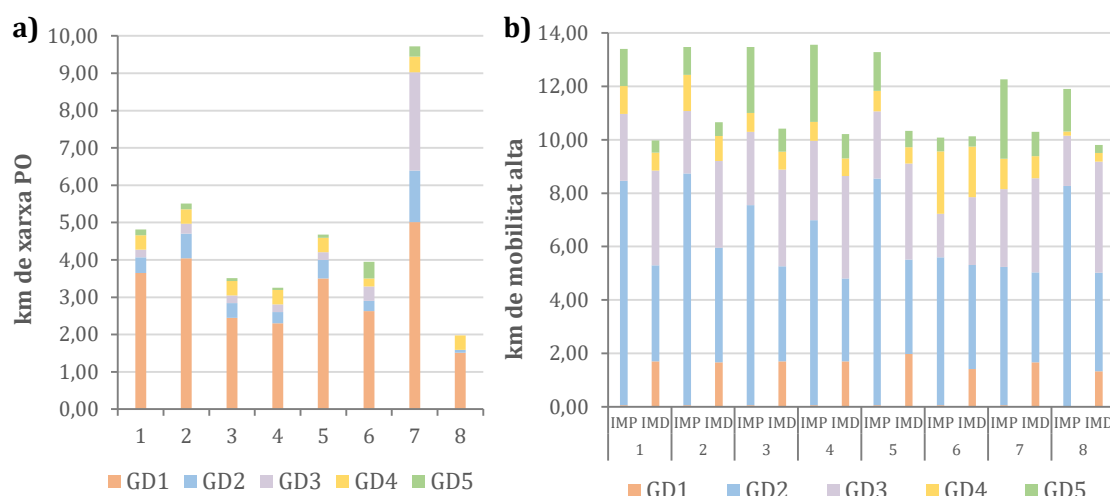


Figura 5.11. Distribució per Direcció de Zona dels kilòmetres amb: a) afectació a la percepció organolèptica (PO) i b) alta mobilitat (IMP i IMD)

La **percepció organolèptica** (PO) només pot ser millorada mitjançant renovació de la xarxa de distribució substituint canonades de fosa grisa (FG). És per aquest motiu que el percentatge de xarxa que té cada direcció de zona d'aquest material és un paràmetre important. Com s'il·lustra anteriorment a la Figura 5.3.a les direccions de zona amb més xarxa d'aquest material són les que corresponen a Barcelona, amb igual percentatge les segueix la GD3 i la GD5 i finalment se situa la GD4.

La Figura 5.11.a mostra una prioritització de xarxa que al final de la seva vida útil podria donar problemes de percepció sobretot concentrada a la GD1. Una de les raons d'aquesta concentració és que històricament hi ha hagut sectors més problemàtics situats a la GD1. Si observem l'escenari 7, escenari que maximitza aquest indicador social, es prioritza gairebé 10 km de xarxa que té com a finalitat la millora d'aquesta percepció organolèptica. La meitat d'aquests kilòmetres es troben situats a la GD1. Per contra, les direccions amb menys kilòmetres prioritzats són la GD4 i la GD5.

En relatiu a la **mobilitat** és important tenir present la concentració de zones turístiques, comercials i vies d'alta mobilitat als barris del centre històric de Barcelona. És per aquest motiu que si s'observa la Figura 5.11.b, el resultat de kilòmetres prioritzats es concentren sobretot a la GD2. Seguits per la GD3, on la major part dels municipis han proporcionat informació base de mobilitat, a diferència d'altres direccions de zona, aquesta ha participat activament en facilitar tota aquesta informació vectorial relativa a la mobilitat tant amb el format com amb el detall de la informació.

c. Impactes del requeriment ambiental

La Figura 5.12 il·lustra la distribució per direcció de zona dels **estalvis potencials d'aigua**, per una banda els acumulats anuals i per l'altra el volum per metre lineal de canonada.

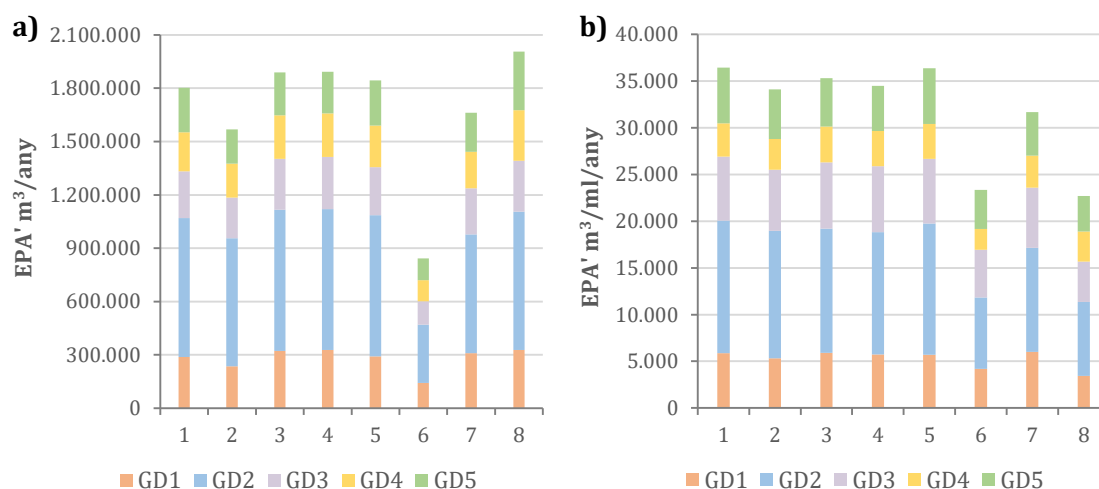


Figura 5.12. Distribució per Direcció de Zona d'estalvis potencials d'aigua (EPA'): a) volum total i b) volum per metre lineal de canonada

Pel que fa als **estalvis d'aigua**, aquests es concentren sobretot a la GD2 on trobem els sectors amb rendiments més baixos de la xarxa, situats al nucli antic de Barcelona. Tenir un rendiment baix representa que una part de l'aigua que entra al sector no es lliura i per tant es perd. És per aquest motiu que renovar un tram on el rendiment és baix representa un estalvi major, ja que probablement amb aquesta renovació es milloraran les fuites, i indirectament el rendiment. Pel que fa a la resta del territori, representen aproximadament el mateix estalvi.

La distribució per direcció de zona dels **estalvis potencials d'energia** es presenten a la Figura 5.13. Per una banda, la Figura 5.13.a mostra els kWh totals anuals i per l'altra, la Figura 5.13.b mostra els estalvis de kWh per metre lineal.

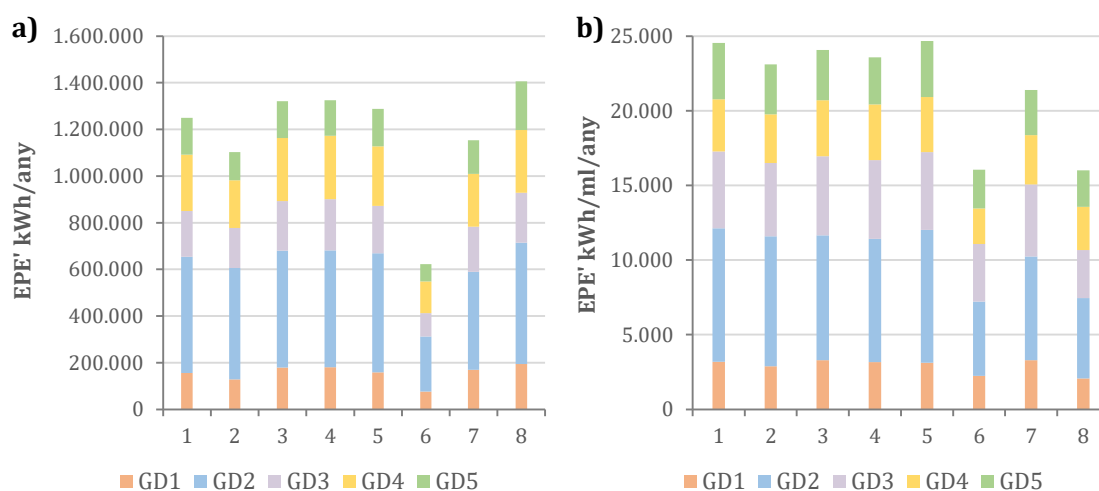


Figura 5.13. Distribució per Direcció de Zona d'estalvis potencials d'energia (EPE'): a) kWh totals i b) kWh per metre lineal de canonada

Seguint la mateixa tendència que la gràfica anterior presentada a la Figura 5.12, ja que aquests dos indicadors estan estretament relacionats, la major contribució s'observa amb els trams prioritzats de la GD2 (Figura 5.13). En aquest cas però, la Figura 5.13 també ens mostra una contribució elevada de la GD4 que no era tan notòria pel que fa als estalvis d'aigua. El motiu de la contribució per part dels trams a renovar a la GD4 és la cota a la qual es troben alguns dels municipis que componen aquesta direcció de zona, fent necessària grans quantitats d'energia per poder elevar l'aigua fins a la cota que requereix l'orografia. El municipi de Begues en seria un cas.

5.5.3 Resultats agrupats per Materials i Diàmetres

Aquest apartat presenta els kilòmetres de xarxa que es prioritzen per cada escenari segons el material que tenen aquests trams prioritzats (Figura 5.14) i el percentatge de xarxa a renovar segons el seu diàmetre (Figura 5.15).

A la Figura 5.14.a es mostren els kilòmetres de xarxa corresponents als materials majoritaris i a la Figura 5.14.b es mostren els kilòmetres de xarxa corresponents als materials minoritaris. El motiu d'aquesta divisió és apreciar els kilòmetres d'aquells materials que són menys abundants a la xarxa ja que a causa de la diferència de magnitud aquests quedarien representats a una escala inadequada.

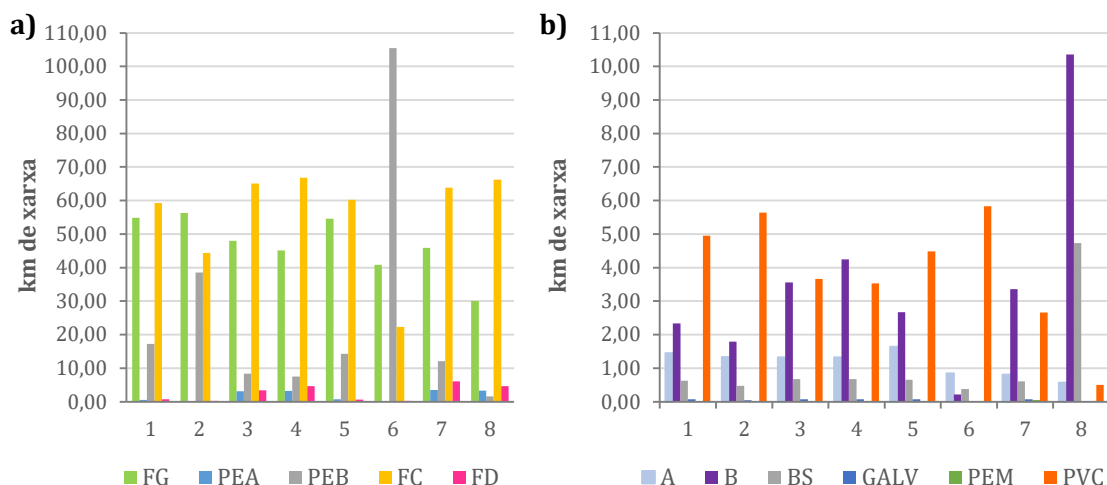


Figura 5.14. Distribució de kilòmetres a renovar per materials: a) materials majoritaris de la xarxa i b) materials minoritaris de la xarxa

Si s'analitza el detall dels kilòmetres prioritzat per cada material, Figura 5.14.a, tot i que la priorització no només depèn del material, sinó que depèn de molts factors, entre d'altres d'on estan situats els trams amb aquests materials si estan situats a zones on abasteixen moltes persones o si donen servei a centres sanitaris. Destaca que:

- La fosa grisa (FG) és un dels materials que apareix a tots els escenaris ja que es tracta d'un material més antic que presenta mal funcionament amb freqüència.
- Pel que fa al polietilè d'alta densitat (PEA) resulta poc prioritzat al tractar-se d'un material plàstic de bona qualitat que té un bon comportament.
- El polietilè de baixa densitat (PEB) sobretot es veu potenciat quan es prioritza tenint en compte el criteri econòmic (escenari 6). Aquest material presenta un increment pronunciat del nombre d'avaries (veure corba d'avaries PEB de la Figura 3.10) fet que el fa realment atractiu a la renovació atenent criteris econòmics ja que la comparativa entre l'escenari de renovar o seguir mantenint el tram mostra més favorable la seva renovació degut a aquest increment en el nombre d'avaries.
- El fibrociment (FC) resulta àmpliament prioritzat a tots els escenaris, tot i que en el cas on es prioritza únicament atenent criteris econòmics la renovació d'aquest material es veu lleugerament reduït.
- La fosa dúctil (FD) tot i tenir una presència majoritària a la xarxa pel que fa al nombre de kilòmetres instal·lats d'aquest material resulta poc prioritzat. Al tractar-se d'un material de recent instal·lació amb bon comportament el risc d'afectació resulta força controlat ja que la probabilitat d'un mal funcionament és baix.

Si s'observa la Figura 5.14.b, on es presenten els materials minoritaris, destaquen:

- Els materials més prioritzats: el formigó amb junta retacada (B), el formigó amb junta soldada (BS) i el polietilè de clorur de vinil (PVC).

- Els materials prioritzats en menor mesura: el formigó amb junta soldada (BS), el ferro galvanitzat (GALV) i el polietilè de mitja densitat (PEM). Aquest darrer pràcticament no apareix a cap dels escenaris presentats.

A la Figura 5.15 es presenta el percentatge de xarxa per grups de diàmetres que prioritza cadascun dels 8 escenaris estudiats.

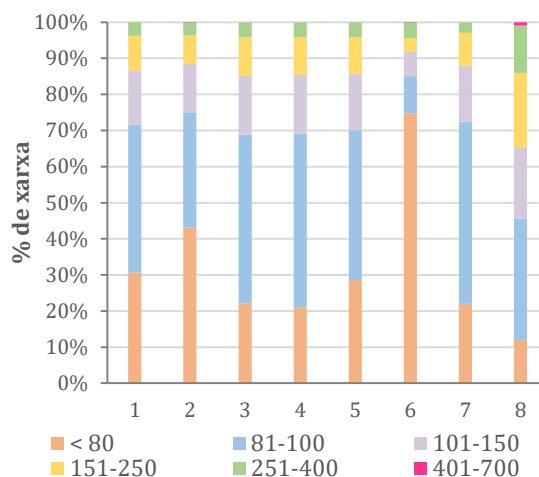


Figura 5.15. Percentatge de xarxa per grups de diàmetres [mm]

La Figura 5.15 presenta una major renovació dels diàmetres petits (< 80 mm) per aquells escenaris on el requeriment econòmic rep el pes més important (escenari 2 i 6). Per contra, els escenaris amb una importància concentrada al requeriment ambiental prioritza una major part dels trams amb diàmetres elevats (> 151 mm), aquest fet es veu il·lustrat a l'escenari 8. Els diàmetres entre 82 i 100 mm són més prioritzats atenent criteris socials (escenaris 3, 4 i 7).

5.5.4 Distribució del pressupost

La Figura 5.16 presenta la distribució del pressupost total per Direcció de Zona. El pressupost total utilitzat per a l'estudi representa un volum total de 52,5 M€, essent aquest el valor màxim que s'observa a la Figura 5.16.

Per cadascun dels escenaris es pot observar el volum total d'inversió que se li ha assignat segons la prioritització del model. La Figura 5.16 mostra que:

- Per la GD1 el pressupost consumit per la major part dels escenaris està al voltant de 10 M€ a excepció de l'escenari 2 i 6 on aquest valor és lleugerament inferior.
- Pel que fa a la GD2 s'observa que el pressupost consumit està al voltant dels 20 M€, igualment, en aquest cas també hi ha una disminució significativa d'aquest valor per l'escenari 6 (16,9 M€).

- En quant a la GD3, el pressupost consumit ronda els 7 M€, essent per a l'escenari 6 un valor de 5,35 M€.
- Pel que fa a la GD4, el pressupost consumit està entre 7 – 8 M€, en aquest cas però, l'escenari 6 és el més beneficiós per aquesta direcció de zona, en aquest cas el pressupost consumit és el doble (16,21 M€).
- Finalment, a la GD3 li corresponen valors entre 7 – 8 M€ del pressupost consumit, essent lleugerament superior a l'escenari 8 (8,72 M€).

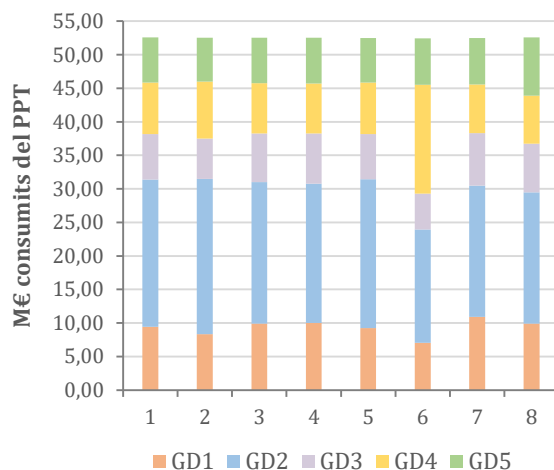


Figura 5.16. Distribució per Direcció de Zona del pressupost fictici total (52,5M€)

La Figura 5.17, Figura 5.18 i Figura 5.19 mostra el percentatge consumit pel model (%P) el pressupost que correspondria segons el percentatge de xarxa que tenen (%PX) i el pressupost final (%PF). Aquest %PF és el resultat realitzant una mitjana aritmètica dels dos primers valors %P i %PX.

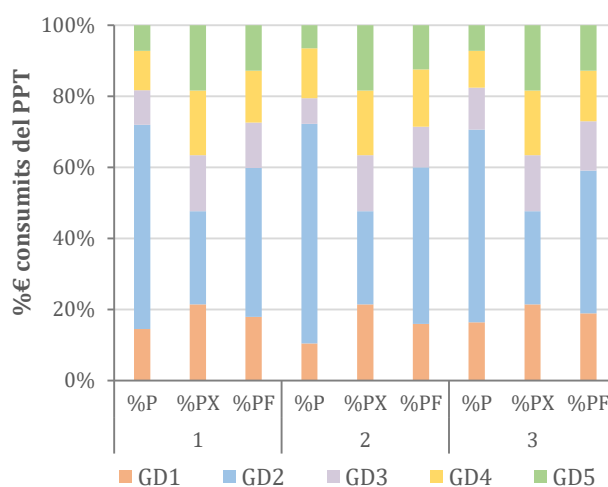


Figura 5.17. Distribució per Direcció de Zona del bloc 1 del percentatge de pressupost consumit pel model (%P), el pressupost per kilòmetres de xarxa (%PX) i el pressupost final (%PF)

La distribució final del pressupost final (%PF) del **bloc 1**, presentats a la Figura 5.17, mostra com els tres escenaris veuen el percentatge de pressupost consumit pel model (%P) reduït en fer la mitjana aritmètica amb el pressupost per kilòmetres de xarxa (%PX) per la GD2, en canvi les altres direccions de zona (GD1, GD3, GD4 i GD5) veuen un increment sobre el pressupost del model (%P).

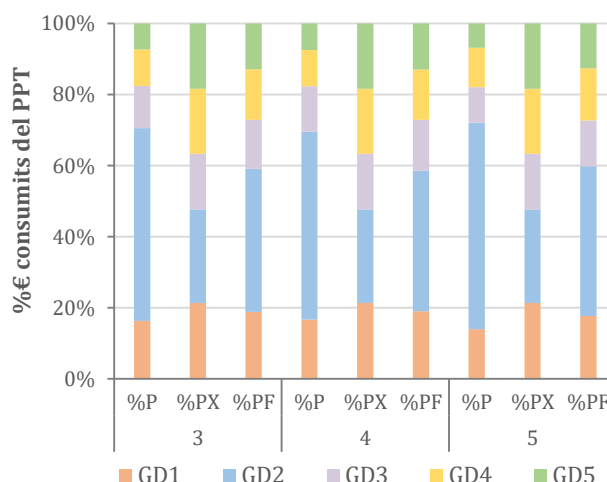


Figura 5.18. Distribució per Direcció de Zona del bloc 2 del percentatge de pressupost consumit pel model (%P), el pressupost per kilòmetres de xarxa (%PX) i el pressupost final (%PF)

El bloc 2 presentat a la Figura 5.18, proporciona un pressupost final (%PF) molt similar al que proposa el model (%P) a la GD1, la GD3 i la GD4 tot i que s’observa un petit increment, en el cas de la GD5 aquest increment és més elevat. Finalment, la GD2 veu el seu pressupost atorgat pel model (%P) àmpliament reduït en tots els escenaris.



Figura 5.19. Distribució per Direcció de Zona del bloc 3 del percentatge de pressupost consumit pel model (%P), el pressupost per kilòmetres de xarxa (%PX) i el pressupost final (%PF)

En el cas del **bloc 3** (Figura 5.19), el pressupost final (%PF) es veu incrementat als tres escenaris a la GD1, GD3 i GD5, per contra, es redueix a la GD2 i a la GD4. Aquest fet és

més significatiu en el cas de l'escenari 6, i es produeix en menys mesura en el cas de l'escenari 7 i 8.

En tots els casos, la GD2 rep un pressupost pel model (%P) molt més elevat que el que li tocaria pel nombre de kilòmetres de xarxa que té (%PX), finalment obté un pressupost (%PF) que es veu reduït per aquests kilòmetres de xarxa. El fet que el model li proporcioni un pressupost més elevat és a causa de que aquesta zona concentra la part més antiga de Barcelona, districtes com Ciutat Vella on hi ha canonades amb antiguitat més elevada i materials més antics que actualment ja no s'instal·len com pot ser la fosa grisa (FG) expliquen aquesta concentració d'inversió. Per altra banda, també presenta un atractiu social elevat ja que moltes zones especialment concentradores de persones i els clients sensibles es troben a aquesta direcció de zona.

5.6. VERIFICACIÓ DEL MODEL PROPOSAT A LA XARXA D'AIGÜES DE BARCELONA

Aquest apartat pretén mostrar l'impacte que ha tingut la utilització del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució a la xarxa de distribució d'Aigües de Barcelona. Per poder mostrar aquest impacte en primer lloc, a l'apartat 5.6.1 es presenta una comparativa dels paràmetres principals de la xarxa obtinguts amb l'inventari de gener del 2019 i l'inventari de gener de 2020. Seguidament, a l'apartat 5.5.2, es presenta l'impacte de la renovació segons el percentatge de trams renovats amb alta contribució al DS, en oposició a renovar seguint altres criteris com poden ser els condicionants territorials.

5.6.1 Verificació de les característiques de la xarxa

Per verificar les característiques de la xarxa es presenten els mateixos paràmetres que s'han presentat a la Taula 5.1 (obtingudes amb l'inventari de gener del 2019) en aquest cas però, obtingudes amb l'inventari de gener del 2020 (Taula 5.7).

Taula 5.7. Característiques de la xarxa de distribució per Direcció de Zona (Inventari extret a gener 2020)

Direcció de Zona	Xarxa [km]	Nº de trams	Longitud mitjana dels trams [m]	Antiguitat mitjana [anys]	Diàmetre mig [mm]
Barcelona Nord (GD1)	880,0	29.181	30,15	33,73	130,94
Barcelona Sud (GD2)	912,5	29.361	31,08	33,90	137,27
Llobregat Nord (GD3)	650,1	20.436	31,81	28,58	129,18
Llobregat Sud (GD4)	903,4	21.625	41,78	24,85	108,77
Besòs (GD5)	798,8	21.061	37,93	31,06	121,95
AB	4.144,7	121.664	34,55	30,42	125,62

Si s'analiza l'evolució dels kilòmetres de xarxa, aquests han incrementat passant de 4.133,6 a 4.144,7 km. El nombre de trams (de 120.761 a 121.644) també s'ha vist

incrementat, fet que majoritàriament es deu a la divisió dels trams de l'inventari, tot i que també té origen a la instal·lació de nova xarxa (increment dels kilòmetres de xarxa). Encara que el nombre de kilòmetres ha augmentat, l'increment en nombre de trams ha estat més significatiu fent que la longitud mitjana dels trams s'hagi reduït lleugerament (de 34,69 a 34,55 m). Dels paràmetres mostrats a la Taula 5.7, el que està més estretament lligat a la renovació de la xarxa és la reducció o l'augment de l'antiguitat d'aquesta, aquest valor s'ha vist reduït globalment (AB) en aproximadament mig any.

La comparativa per direccions de zona presentada a la Taula 5.8 mostra que la reducció de l'antiguitat ha estat més elevada a la GD3 i menys elevada a la GD5.

Taula 5.8. Antiguitat mitjana xarxa, inventari gener 2019 vs gener 2020

Direcció de Zona	Antiguitat mitjana [anys]		Δ Antiguitat mitjana [anys]
	inventari gener 2019	inventari gener 2020	
Barcelona Nord (GD1)	34,25	33,73	-0,52 ↓
Barcelona Sud (GD2)	34,43	33,90	-0,53 ↓
Llobregat Nord (GD3)	29,29	28,58	-0,71 ↓
Llobregat Sud (GD4)	25,41	24,85	-0,56 ↓
Besòs (GD5)	31,42	31,06	-0,36 ↓
AB	30,96	30,42	-0,54 ↓

La Taula 5.9 presenta els kilòmetres de xarxa per material dels dos inventaris i l'increment o decrement de la longitud (Δkm) per identificar quins materials han disminuït o han augmentat a la xarxa de distribució.

Taula 5.9. Kilòmetres de xarxa per material, inventari gener 2019 vs gener 2020

Material xarxa		Kilòmetres de xarxa		Δkm
		inventari gener 2019	inventari gener 2020	
Acer	A	3,23	3,23	0,00
Acer inoxidable	INOX	0,05	0,05	0,00
Ferro galvanitzat	GALV	1,70	1,80	0,10
Fibrociment	FC	657,89	641,50	-16,40 ↓
Formigó armat junta soldada	BS	24,88	23,72	-1,16 ↓
Formigó armat junta retacada	B	40,60	39,32	-1,28 ↓
Fosa dúctil	FD	1755,80	1777,81	22,02
Fosa grisa	FG	646,74	635,40	-11,34 ↓
Policlorur de vinil	PVC	5,48	4,74	-0,74 ↓
Policlorur de vinil orientat	PVCO	4,37	4,37	0,00
Polièster reforçat fibra vidre	PRFV	1,26	1,26	0,00
Polietilè d'alta densitat	PEA	801,12	823,35	22,23
Polietilè de baixa densitat	PEB	168,04	165,64	-2,40 ↓
Polietilè de mitja densitat	PEM	22,45	22,47	0,02
AB		4.133,6	4.144,7	11,1

Els materials que han incrementat la seva longitud són els dos materials que actualment s'utilitzen per realitzar noves canalitzacions, la fosa dúctil (FD) i el polietilè d'alta densitat (PEA).

Els materials que han reduït la seva longitud a la xarxa han estat: en primer lloc el fibrociment, seguit de la fosa grisa (FG), i en menor mesura el polietilè de baixa densitat (PEB), el formigó armat tant de junta soldada (BS) com retacada (B) i el policlorur de vinil (PVC). Materials que generen mal funcionaments, és a dir, que els indicadors de risc calculats pel model els haurien de donar puntuacions elevades.

El mal funcionament dels materials sovint es tradueix en una avaria. La Taula 5.10 presenta el nombre d'avaries naturals per material de la xarxa de distribució. Addicionalment, a la mateixa taula es presenta l'Índex d'avaries Z per material, calculat segons l'Eq. 3.1, per relativitzar el nombre d'avaries als kilòmetres que aquest material té a la xarxa.

Taula 5.10. Nombre d'avaries naturals i índex d'avaries Z per material

Material		Nº Av. Nat.	Nº Av. Nat.	Z	Z
		2018	2019	2018	2019
Acer	A	3	1	93	31
Acer inoxidable	INOX	0	0	0	0
Ferro galvanitzat	GALV	3	0	176	0
Fibrociment	FC	331	394	50	61
Formigó armat junta soldada	BS	14	11	56	46
Formigó armat junta retacada	B	21	20	52	51
Fosa dúctil	FD	122	117	7	7
Fosa grisa	FG	308	351	48	55
Policlorur de vinil	PVC	5	2	91	42
Policlorur de vinil orientat	PVCO	0	0	0	0
Polièster reforçat fibra vidre	PRFV	0	0	0	0
Polietilè d'alta densitat	PEA	55	71	7	9
Polietilè de baixa densitat	PEB	93	125	55	75
Polietilè de mitja densitat	PEM	10	7	45	31

Els materials que s'instal·len actualment, fosa dúctil (FD) i polietilè d'alta densitat (PEA) tenen un índex d'avaría Z molt petit (Taula 5.10). Per contra, aquells materials que a causa de la renovació han estat eliminats de la xarxa, i per tant, els kilòmetres han disminuït de l'inventari de 2019 al del 2020, són materials que presenten un índex d'avaría Z força elevats ($Z > 50$).

5.6.2 Verificació de l'eficiència del model en funció de l'ús

Per realitzar la verificació de l'eficiència del model s'estudia dues zones de l'àmbit d'abastament, la Zona 1 i la Zona 2. Ambdues zones, tal com es presenta a la Taula 5.11, han invertit un percentatge similar al PI 2018, en el cas de la Zona 1 ha invertit un 16,1% del

total de pressupost de renovació i la Zona 2 un 15,9%. Així doncs, es poden comparar els efectes que ha tingut la seva inversió sobre alguns dels paràmetres, socials, ambientals i econòmics, calculats pel model.

Taula 5.11. Comparativa ZONA 1 i ZONA 2

	%€ invertits al 2018 sobre total	% dins la preselecció 2018	% reducció av. 06/2018 - 06/2019*
ZONA 1	16,1%	27%	- 5%
ZONA 2	15,9%	72%	+ 12%

* Conjunt de 12 mesos consolidats (de juny a juny)

Aquestes dues zones escollides per realitzar la comparativa han realitzat la seva renovació atenent criteris de prioritització diferents, en el primer cas, la Zona 1 ha realitzat un 27% de la renovació atenent criteris de DS, és a dir, escollint aquells trams que tenen una puntuació més elevada. La resta de la renovació un (73%) ha estat prioritzada per compromisos o condicionants territorials. Per contra, la Zona 2 ha realitzat la major part de la renovació (72%) atenent criteris de DS i només ha renovat una petita part (28%) degut a compromisos o condicionants territorials

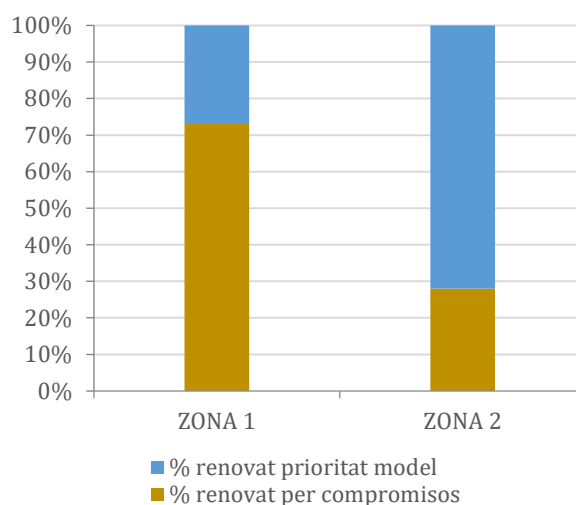


Figura 5.20. Criteris de renovació utilitzats per la Zona 1 i la Zona 2

A la Taula 5.12 es presenten els beneficis del PI 2018 corresponent a la renovació realitzada per aquestes dues zones (Zona 1 + Zona 2). El nombre de persones beneficiades per la renovació, els kilòmetres de xarxa renovats en carrers d'alta mobilitat ($IE > 2$), els kilòmetres de xarxa renovats en sectors amb baix rendiment ($< 70\%$), els kilòmetres de xarxa en sectors on el consum energètic és elevat.

Per saber quina diferència representen aquests beneficis sobre els obtinguts al pla d'inversions de l'any anterior (PI 2017), es realitza una comparativa dels beneficis obtinguts el 2017 versus els obtinguts el 2018. El PI 2017 va realitzar-se utilitzant la prioritització del

model anterior, i el PI 2018 va ser el primer any que es va utilitzar el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució objecte d'aquesta tesi.

Taula 5.12. Beneficis del pla d'inversions 2018 de la Zona 1 i la Zona 2

Beneficis	PI 2018 (ZONA 1 + ZONA 2)
Nombre de persones	24.489 persones
Kilòmetres en carrers d'alta mobilitat	6,5 km
Kilòmetres en sectors de baix rendiment (<70%)	5,4 km
Kilòmetres en sectors de consum energètic elevat	5,4 km

A la Figura 5.21 es presenten els beneficis socials, nombre de persones i km renovats en carrers d'alta mobilitat, respecte al PI 2017.

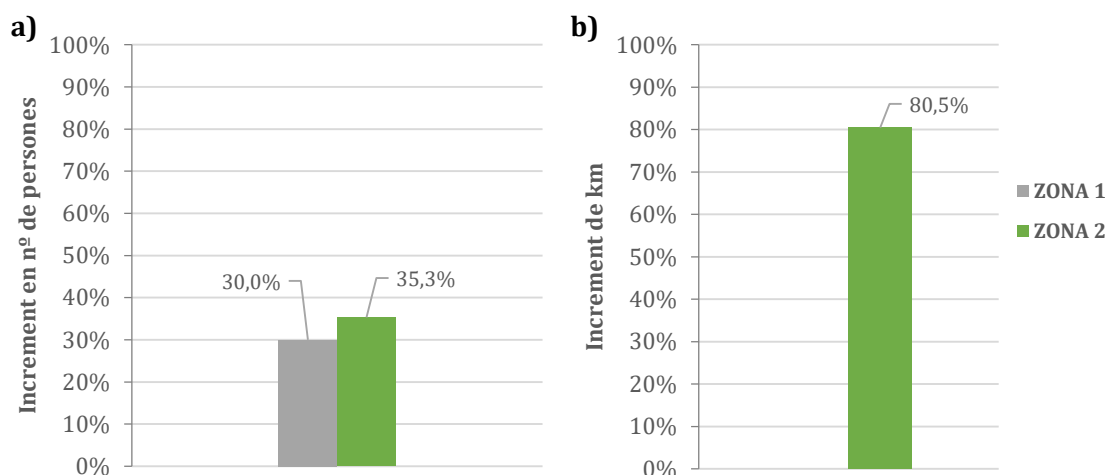


Figura 5.21. Increment entre el PI 2018 respecte el PI 2017: a) nombre de persones i b) km renovats en carrers d'alta mobilitat

El nombre de persones beneficiades és aproximadament un 30% superior, amb la renovació realitzada al PI 2018 respecte a la renovació del PI 2017. Concretament, un 30% a la Zona 1 i un 35,3% a la Zona 2 (Figura 5.21.a). Pel que fa a la renovació en carrers d'alta mobilitat (Figura 5.21.b), només la Zona 2 (zona que ha escollit més kilòmetres de xarxa amb puntuació de contribució al DS elevada) ha obtingut un increment de renovació amb el PI 2018 en aquest sentit respecte al PI 2017.

A la Figura 5.22 es presenten els increments en kilòmetres de xarxa del PI 2018 respecte al PI 2017 en sectors de rendiment inferior al 70% (Figura 5.22.a) i en sectors on el consum energètic és elevat (Figura 5.22.b).

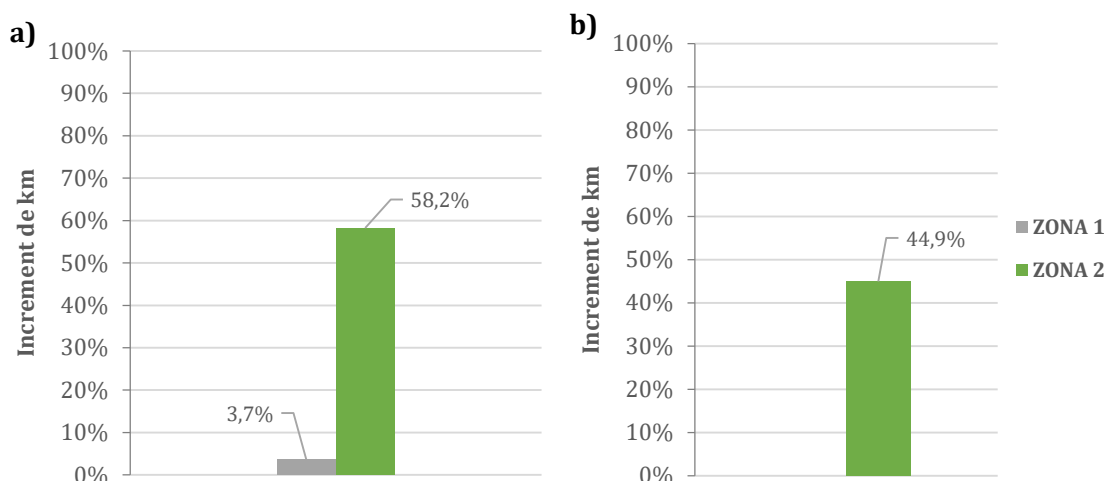


Figura 5.22. Increment de kilòmetres del PI 2018 respecte el PI 2017: a) km renovats en sectors de baix rendiment i b) km renovats en sectors d'alt consum energètic

En aquest cas, la Figura 5.22.a mostra un increment pel que fa a la renovació en sectors de baix rendiment de la renovació realitzada per la Zona 2 del 58,2%, en canvi la Zona 1 ha aconseguit un increment molt poc significatiu. En quant a l'increment pel que fa a la renovació en sectors amb un consum energètic elevat, la Zona 2 també ha renovat més trams situats en sectors amb alt consum energètic. En canvi, la Zona 1 no ha experimentat increment en aquest sentit al PI 2018 respecte al PI 2017.

5.7. CONCLUSIONS

Les principals conclusions que s'extreu de l'anàlisi de sensibilitat realitzada en aquest capítol són les següents:

- En cas que es realitzés una assignació de pesos dels requeriments igualment repartida, és a dir, que donés la mateixa importància a tots ells, resultaria en una preselecció de trams a renovar que en cas de ser executada, proporcionaria uns beneficis per als clients, la ciutat i el medi ambient molt elevats amb un retorn econòmic considerable.
- Proporcionar màxima prioritat al vector social, afavoreix els trams amb més persones i clients sensibles, així com aquells trams situats en carrers d'alta mobilitat. Per altra banda, prioritza la renovació dels trams de fosa grisa, eliminant així un dels materials considerats com "dolents".
- Proporcionar màxima prioritat al vector ambiental, afavoreix aquells trams que perden més aigua o que estan situats dins de sectors on el consum energètic per impulsar l'aigua fins aquella zona és gran.
- Finalment, proporcionar màxima prioritat al vector econòmic, afavoreix trams més curts i de menor diàmetre, així com trams de polietilè de baixa densitat (PEB), amb una major taxa d'avaries prevista per edats menors que la resta de materials.

Després de l'execució del primer any de la renovació de la xarxa de distribució utilitzant el resultat del model desenvolupat al BLOC II d'aquest document, s'ha **verificació el resultat del model a la xarxa d'Aigües de Barcelona** i es poden extreure les següents conclusions:

- Després de la renovació del 2018 utilitzant el resultat del nou Model de Renovació de la Xarxa de Distribució, s'observa una reducció d'aquells materials considerats com "*dolents*" (principalment fibrociment i fosa grisa).
- Aquelles direccions de zona que han pogut ajustar més el seu Pla de renovació als trams prioritzats pel Model, han comprovat una major contribució social, ambiental i econòmica respecte la renovació realitzada l'any anterior (renovació any 2017).
- Per contra, aquelles direccions on els condicionants territorials s'han endut gran part de la renovació, han pogut comprovar una contribució nul·la per gairebé tots els paràmetres analitzats respecte a l'any anterior. El paràmetre nombre de persones ha estat l'únic que ha presentat un increment significatiu. Per altra banda, coincideix que aquestes direccions de zones han tingut un pitjor comportament pel que fa a les avaries.

CAPÍTOL 6

MODEL DE PRIORITZACIÓ D'INVERSIONS PER PARTIDES AMB CRITERIS DS

6.1. INTRODUCCIÓ

El BLOC II d'aquesta tesi compostat pels Capítols 3, 4 i 5 recull el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució, model que prioritza la renovació de la xarxa de distribució. Aquest capítol dona inici al tercer bloc (BLOC III), conformat pels Capítols 6, 7 i 8 on es detalla el Model de Priorització d'Inversions per Partides.

Concretament en aquest capítol es presenta el Model de Priorització d'Inversions per Partides amb criteris de Desenvolupament Sostenible. Un cop el repartiment del volum total d'inversió s'ha realitzat, cal prioritzar les actuacions que composaran cadascuna de les partides i subpartides que integren el Pla d'Inversions. El Model de Renovació de la Xarxa de Distribució (presentat al Capítol 3, 4 i 5) és l'encarregat de prioritzar les actuacions d'una de les subpartides de la partida Distribució, concretament la de Renovació de la Xarxa de Distribució.

La planificació de les inversions es materialitza en un Pla d'Inversions (*PI*) anual que recull totes les actuacions que es preveu realitzar. Un cop aquestes siguin aprovades, cal executar i fer el seguiment de totes aquestes inversions que recull el PI.

El cicle d'inversions a Aigües de Barcelona consta principalment de 4 fases presentades a la Figura 6.1: planificació de les inversions, execució i seguiment de les inversions, activació de les inversions executades i explotació.

Aquest enfocament pas a pas té com a objectiu millorar la qualitat i el resultat de les inversions en curs i futures. Com és el cas del mètode de gestió iteratiu utilitzat per la millora continua dels processos i els productes, el Plan-Do-Check-Act (PDCA), aquest també consta de quatre fases cícliques que permeten aquesta millora buscada, les fases són: planificar, executar, verificar i actuar o ajustar.

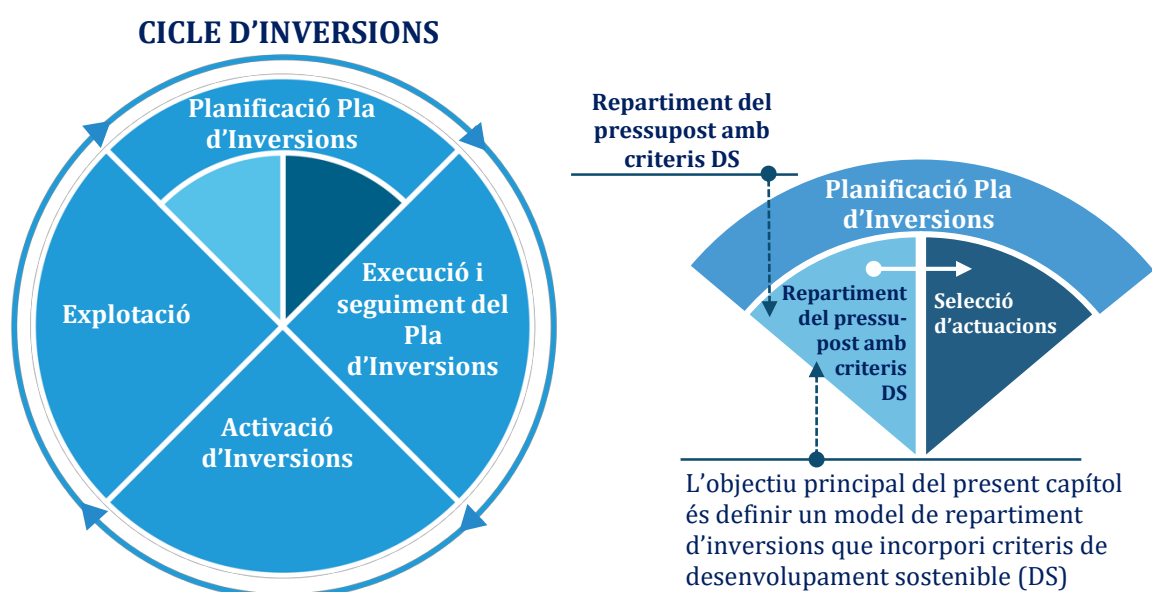


Figura 6.1. Diagrama del cicle d'inversions dels Plans d'Inversions anuals

La Figura 6.1 presenta totes les fases del cicle d'inversions així com un zoom a la planificació del Pla d'Inversions essent aquesta darrera la fase on es concentra l'objectiu principal del model a desenvolupar i per tant, del present capítol. Aquesta primera part del cicle, la planificació, consta de dos etapes consecutives: el repartiment del pressupost total i la selecció de les actuacions. El Pla d'Inversions està organitzat en *Partides d'Inversió* corresponent a grans agrupacions i *subpartides d'inversió*, aquestes són els subcapítols que componen cadascuna de les partides.

L'objectiu principal del Model de Priorització d'Inversions per Partides és definir una metodologia de repartiment d'inversions que incorpori criteris de desenvolupament sostenible. Aquesta metodologia ha de ser participativa ja que s'estima clau la incorporació dels grups de relació a la decisió. Finalment, la transparència a la decisió i que aquesta estigui alineada amb els ODS dels grups de relació són aspectes claus a introduir en el nou model.

Tot i que l'empresa gestiona el cicle integral de l'aigua, aquest capítol es centra únicament en l'àmbit de l'abastament on es realitzen les inversions. Com és lògic només seran àmbit d'estudi aquells actius per als que Aigües de Barcelona n'és responsable de la gestió, per tant, tot i que l'abastament depèn també d'actius gestionats per tercers, aquests no són objecte del pla d'inversions d'Aigües de Barcelona i queden fora d'aquest estudi.

A fi de donar resposta a l'objectiu plantejat anteriorment, el present capítol s'estructura segons els següents apartats:

- Àmbit de l'estudi (apartat 6.2), on es presenten les diferents tipologies d'actius que formen la xarxa d'abastament de l'empresa.
- Precedents del model de prioritització d'inversions per partides (apartat 6.3).
- El Repte de prioritzar les inversions relatives als actius que integren el sistema d'abastament (apartat 6.4).
- Finalment, s'introdueix la nova metodologia dissenyada per realitzar el repartiment del pressupost de la inversió per partides tenint en compte criteris de desenvolupament sostenible (apartat 6.5).

6.2. ÀMBIT D'ESTUDI: ELS ACTIUS D'ABASTAMENT

L'àmbit d'estudi del Model de Priorització d'Inversions per Partides es centra en el sistema d'abastament d'aigua potable. El sistema d'abastament d'aigua potable és el que s'encarrega de les primeres etapes del cicle integral de l'aigua que són: la captació, la potabilització, el transport i l'emmagatzematge, la distribució i el consum.

A la Figura 6.2 es mostra el diagrama del cicle integral de l'aigua, on apareixen les etapes que componen l'abastament (1-5) i les de la part de sanejament (6-8). Les etapes del cicle integral de l'aigua són les següents:

1. *Captació*: és el procés d'obtenció de l'aigua de la font natural.
2. *Potabilització*: és el procés de tractament de l'aigua per assegurar la qualitat exigida per les autoritats sanitàries.
3. *Transport i emmagatzematge*: aquest procés inclou l'elevació de l'aigua fins a dipòsits d'emmagatzematge i la distribució a cada punt de subministrament a través d'una xarxa de canonades juntament amb d'altres elements que condueixen l'aigua als nuclis urbans.
4. *Distribució*: és l'etapa final del recorregut de l'aigua per la xarxa de canonades del municipi fins arribar a cada habitatge. Aquesta fase és prèvia al consum i per això es fonamental comptar en un bon sistema de controla de la qualitat de l'aigua que vetlli tant per la seva innocuïtat com per unes òptimes característiques organolèptiques.

5. *Consum*: és el moment en que es fa ús d'aquesta aigua, ja sigui durant l'activitat diària a les cases, a les ciutats, les fàbriques i els camps.
6. *Clavegueram*: l'aigua residual és conduïda a la xarxa de clavegueram una vegada utilitzada pels diferents usuaris. El sistema de clavegueram facilita la recollida i el transport d'aigües residuals i pluvials fins a les diverses estacions depuradores.
7. *Depuració*: a les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR), les aigües són sotmeses a un conjunt de processos per restituir les característiques de qualitat prevista per tal de retornar-la en les millors condicions al medi natural.
8. *Reutilització o retorn al mitjà natural*. La reutilització produeix aigua regenerada que s'utilitza per a usos diferents dels relacionats amb l'aigua de consum humà, com ara: el reg, la neteja urbana de carrers i clavegueram, els usos industrials i ambientals. Aquesta aigua no requereix tenir una qualitat tan elevada com la de consum domèstic. El retorn al medi és la última fase del cicle, on l'aigua depurada no reutilitzada es torna al riu o al mar mitjançant conduccions especials o emissaris submarins, tractant sempre de no alterar el sistema natural.

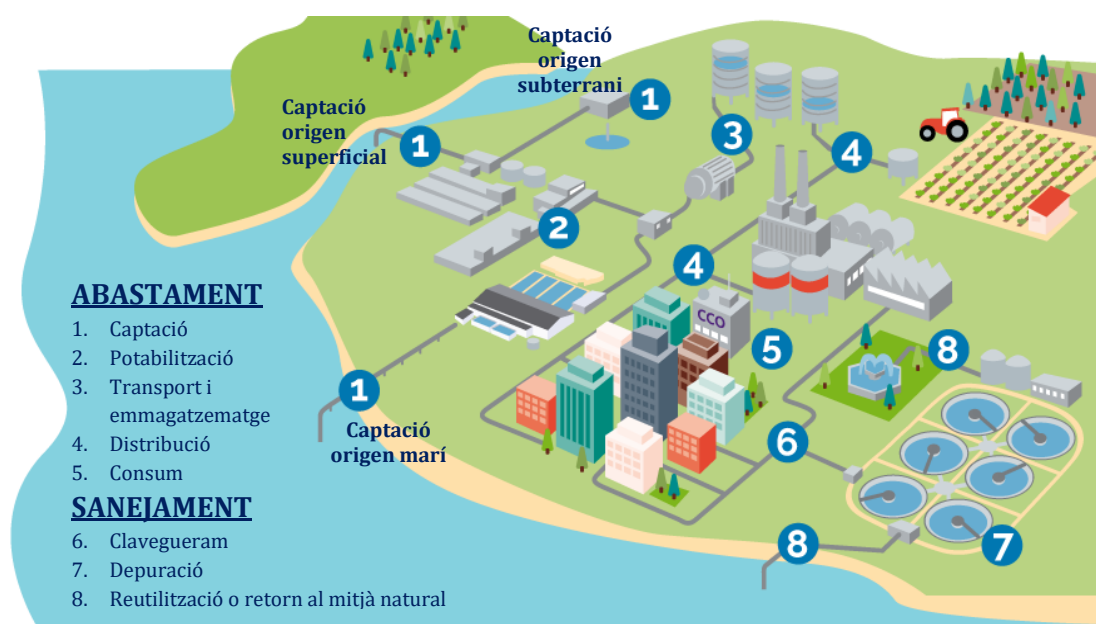


Figura 6.2. Esquema del cicle integral de l'aigua (font: Aigües de Barcelona)

Presentades les etapes que comprenen el cicle integral de l'aigua, a continuació es detallen els actius necessaris per poder dur a terme les primeres etapes del cicle integral de l'aigua corresponents a l'abastament (captació, potabilització, transport i emmagatzematge, distribució i consum). S'utilitza la paraula actius per tot allò material o immaterial tals que la responsabilitat de la seva gestió recau en Aigües de Barcelona, com per exemple els edificis, maquinària, softwares o hardwares, entre d'altres.

Per identificar i classificar els actius de l'abastament, s'utilitzen les agrupacions existents dins l'empresa, en aquest cas s'agrupen segons la seva funció en les següents divisions: producció, transport, distribució i resta d'àmbits.

Els actius de producció són tots aquells necessaris per captar i potabilitzar l'aigua del medi. La captació del recurs (punt 1 de la Figura 6.2) per l'abastament prové d'aigües superficials (conca del riu Llobregat i conca del riu Ter), d'aigües subterrànies (aquífers de la Vall Baixa, Delta del Llobregat i del Besòs) i finalment, d'aigües d'origen marí (provinents del tractament de dessalinització de la ITAM del Llobregat). A fi de potabilitzar el recurs (punt 2 de la Figura 6.2) captat del medi, Aigües de Barcelona explota 6 Estacions de Tractament d'Aigua Potable (ETAP): l'ETAP de Sant Joan Despí, dues ETAP de les Estrelles, ETAP del Papiol, ETAP del Besòs i ETAP de la Llagosta. La xarxa de producció utilitzada per transportar l'aigua des de la captació fins la sortida del tractament té una longitud de 18,28 kilòmetres (veure Taula 6.1).

Els actius de transport (punt 3 de la Figura 6.2) són els encarregats de transportar i emmagatzemar l'aigua un cop tractada per poder cobrir la demanda en cada moment del dia. La xarxa de transport té una longitud de 525,8 km (veure Taula 6.1) i està formada per 73 dipòsits que tenen una capacitat d'emmagatzematge de 281.266 m³. Addicionalment als dipòsits de gestió pròpia, l'abastament també depèn d'altres dipòsits gestionats per Ens d'Abastament d'Aigua Ter-Llobregat (ATL), que com ja s'ha dit queden fora de l'àmbit d'estudi. Per tal de transportar l'aigua als diferents dipòsits s'utilitzen 68 centrals de bombament.

Els actius de distribució (punt 4 de la Figura 6.2) mitjançant els 4.133,62 km de xarxa (veure Taula 6.1) la xarxa de distribució fa arribar l'aigua a tots els habitatges de l'àmbit. Aquesta s'organitza en sectors, que permeten realitzar un control continu de pressions i cabals a determinats punts d'una xarxa de distribució altament mallada.

Taula 6.1. Kilòmetres de xarxa de producció, transport i distribució

Divisió	Xarxa [km]	% km xarxa
Producció	18,28	0,39%
Transport	525,80	11,24%
Distribució	4.133,62	88,37%

Finalment, es troben els actius de resta d'àmbits utilitzats com a eina de suport a tots els processos, de forma transversal a les diferents etapes del cicle de l'aigua. Dins d'aquest grup es trobem els actius de: Sistemes d'Informació, Gestió d'Edificis, Laboratori, Direcció de Suport Operatiu (DSO), Subministrament (també anomenat, Telelectura) i Recursos Hídrics Alternatius.

6.3. PRECEDENT DEL MODEL DE PRIORITZACIÓ D'INVERSIONS PER PARTIDES

Fins al 2018 (Pla d'Inversions 2019), el repartiment del volum total anual d'inversió era fidel a l'estructura percentual històrica essent objecte de modificacions en funció de les necessitats identificades i justificades pels responsables de cadascuna de les àrees organitzatives encarregades de seleccionar les actuacions a realitzar dins de cada partida d'inversió.

Val a dir però que tant l'estructura percentual històrica com les modificacions estaven encaminades a l'acompliment dels compromisos de l'Acord Marc vigent així com d'altres compromisos legals ineludibles. L'Acord Marc estableix tres objectius: garantia de subministrament i qualitat de l'aigua; gestió ambiental i sostenibilitat; i, qualitat en l'atenció als clients. Com es pot comprovar la major part d'aquests objectius perseguien finalitats de caràcter social i mediambiental.

Aquesta metodologia depenia de la interpretació que feien els diversos responsables d'AB sobre els objectius estratègics fixats per l'Acord Marc i també del seu criteri amb relació a la millor forma d'assolir-los. Aquesta particularitat comportava un biaix de criteri entre responsables i entre diferents anys que feia la metodologia poc eficaç per assolir la òptima contribució al Desenvolupament Sostenible.

Així és com s'obtenia el volum d'inversió que li corresponia a cadascuna de les partides presentades a la Taula 6.2. En aquesta apareixen les tres partides més importants pel que fa al volum d'inversió necessari (Producció, Transport, Distribució) i d'altres partides més minoritàries quedarien agrupades en el concepte "Resta d'àmbits": Gestió Edificis, Control Operatiu, Laboratori, Sistemes d'Informació, Subministrament i Recursos Hídrics Alternatius.

Una vegada fet el repartiment d'inversió per partides, els responsables del Pla d'Inversions de cada partida seleccionaven les actuacions d'acord amb els seus criteris, veure la Figura 6.1.

A la Taula 6.2 es presenten tant les 9 partides actuals, com les subpartides de la partida producció, transport i distribució que s'utilitzaven abans del model. A les subpartides s'hi recullen les actuacions d'inversió finalment escollides. Aquestes principalment separen les actuacions d'ampliació i millora de les de renovació o adequació tot i que a banda també hi ha inversions relatives als processos de control de l'eficiència. O la qualitat.

Taula 6.2. Relació partides i subpartides del Pla d'Inversions d'Abastament històric

Partides	Subpartides
PRODUCCIÓ	- Adequació i renovació de les instal·lacions i mecanismes de producció - Eficiència energètica i garantia operativa - Renovació de l'automatització de les instal·lacions de producció
TRANSPORT	- Adequació i renovació de la xarxa de transport - Adequació i renovació de les instal·lacions i mecanismes de transport - Ampliació de la xarxa de transport - Ampliació d'instal·lacions i mecanismes de transport
DISTRIBUCIÓ	- Ampliació i reforç de la xarxa i instal·lacions i mecanismes de distribució - Pla de millora del rendiment de distribució - Renovació de la xarxa i instal·lacions i mecanismes de distribució
RESTA D'ÀMBITS (agrupa les 6 partides següents):	
GESTIÓ EDIFICIS (Adequació, renovació i millora dels Edificis d'Abastament)	
CONTROL OPERATIU	
LABORATORI	
SISTEMES D'INFORMACIÓ (comercials, generals i tècnics)	
SUBMINISTRAMENT	
RECURSOS HÍDRICS ALTERNATIUS	

6.4. REPTES DEL MODEL DE PRIORITZACIÓ D'INVERSIONS PER PARTIDES

El principal objectiu del projecte de millora de la prioritització d'inversions era aconseguir desenvolupar i implantar una metodologia que garantís la màxima contribució al desenvolupament sostenible i per fer-ho primer calia dissenyar un nou mètode de repartiment de les inversions que fos sistemàtic, objectiu i sobretot alineat amb els dos següents compromisos de l'estratègia de desenvolupament sostenible d'Aigües de Barcelona (Memòria de Sostenibilitat 2017, Aigües de Barcelona).

- *Compromís 2. Incorporar plans i objectius per satisfer les expectatives dels grups de relació.*
- *Compromís 7. Avaluar l'impacte social, econòmic i ambiental en totes les decisions rellevants.*

Com es pot comprovar, el compromís 2 té implícit un treball conjunt amb els grups de relació i aquests només podran participar de la decisió si la metodologia al temps que encertada és entenedora i explicable sense fer ús de tecnicismes. D'altra banda, el compromís 7 demana desenvolupar mètodes objectius per mesurar i fer comparables les estimacions del nivell de contribució potencial al desenvolupament sostenible esperable per cada euro invertit en cada partida

Per entendre encara més la gran dificultat d'aquests reptes cal conèixer millor el punt de partida. Com ja hem esmentat els criteris utilitzats fins el moment per al

repartiment d'inversions per partides i subpartides responien un històric i estaven exposats a les necessitats del moment. Aquests no s'havien organitzat i sistematitzat i els criteris tenien un gran biaix subjectiu.

En definitiva, el repartiment de la inversió era especialment difícil de justificar i no era possible d'explicar a tercers sense entrar en tecnicismes a l'abast només de gestors d'abastaments d'aigua potable.

A més a més la definició de les partides i subpartides d'inversió no responia a un únic criteri. Hi ha partides que són fases del cicle de l'aigua, d'altres que són funcions com ara la gestió d'edificis el laboratori o el control operatiu i d'altres que són simplement tipologies d'actius, com les inversions en hardware i el software que agrupa la partida "Sistemes d'Informació".

Per altra banda, algunes subpartides són agrupadores d'inversions segons la seva finalitat, com per exemple el *pla de millora del rendiment de la xarxa de distribució*, mentre d'altres agrupen actuacions d'inversió segons el tipus d'actiu afectat juntament amb el tipus d'actuació que cal fer, com per exemple *l'ampliació i reforç de la xarxa i els mecanismes de la xarxa de distribució*. I justament aquests dos exemples il·lustren molt bé la complexitat que suposa objectivar els contribucions al desenvolupament sostenible que cal estimar, doncs el *pla de millora del rendiment de la xarxa de distribució* ja preveu accions d'ampliació i reforç de la xarxa i dels mecanismes, però només aquelles encaminades a millorar el rendiment. En definitiva, aquesta gran diversitat fa especialment difícil comparar una partida o subpartida amb un altra en termes de contribució al desenvolupament sostenible.

Amb relació a les dificultats implícites en l'estructura de les partides i subpartides, cal destacar que les subpartides de la partida Producció han sofert molts canvis al llarg dels anys. És per això que es va fer una redefinició de les subpartides de producció per tal que aquestes fossin estables en el temps, quelcom que òbviament és necessari per la implantació d'aquest projecte. A continuació, a la Taula 6.3 es relacionen els canvis més recents en aquestes subpartides, juntament amb el nou redisseny del Model de repartiment:

Amb aquestes set subpartides resultants, les noves partides de la Taula 6.3, és possible agrupar totes aquelles inversions de la partida producció, i dependrà de les necessitats que presenti les instal·lacions de l'àmbit de producció les que determinaran si aquell any una subpartida rep més o menys volum d'inversió.

Finalment, les partides i subpartides utilitzades per realitzar el repartiment de la inversió amb el Model de Priorització d'Inversions per Partides es presenten a la Taula 6.4.

Taula 6.3. Evolució històrica de les subpartides de Producció

PI de l'any	2013	2014	2015 - 2019	Noves partides
	Adequació i renovació de les instal·lacions i mecanismes de producció	Adequació i renovació de les instal·lacions i mecanismes de producció	Adequació i renovació de les instal·lacions i mecanismes de producció	Renovació d'instal·lacions i mecanismes de producció
	Automatització de les instal·lacions de producció	Automatització de les instal·lacions de producció	-	-
	Adequació i renovació de la xarxa de producció	-	-	Renovació de la xarxa de producció
Subpartides de Producció	-	Eficiència energètica a les instal·lacions de producció	Eficiència energètica i garantia operativa	Control Operatiu de producció
	-	-	Renovació de l'automatització de les instal·lacions de producció	-
	-	-	-	Ampliació de la xarxa de producció
	-	-	-	Ampliació d'instal·lacions i mecanismes de producció
	-	-	-	Ampliació tractament
	-	-	-	Renovació tractament

Taula 6.4. Relació partides i subpartides del Pla d'Inversions d'Abastament

Partides	Subpartides
PRODUCCió	<ul style="list-style-type: none"> - Ampliació de la xarxa de producció - Renovació de la xarxa de producció - Ampliació d'instal·lacions i mecanismes de producció - Renovació d'instal·lacions i mecanismes de producció - Ampliació tractament - Renovació tractament - Control Operatiu de producció
TRANSPORT	<ul style="list-style-type: none"> - Adequació i renovació de la xarxa de transport - Adequació i renovació de les instal·lacions i mecanismes de transport - Ampliació de la xarxa de transport - Ampliació d'instal·lacions i mecanismes de transport
DISTRIBUCió	<ul style="list-style-type: none"> - Ampliació i reforç de la xarxa i instal·lacions i mecanismes de distribució - Pla de millora del rendiment de distribució - Renovació de la xarxa i instal·lacions i mecanismes de distribució
RESTA D'ÀMBITS (agrupa les 6 partides següents):	
GESTió EDIFICIS (Adequació, renovació i millora dels Edificis d'Abastament)	
CONTROL OPERATIU	
LABORATORI	
SISTEMES D'INFORMACió (comercials, generals i tècnics)	
SUBMINISTRAMENT	
RECURSOS HÍDRICS ALTERNATIUS	

6.5. EL MODEL DE PRIORITZACIÓ D'INVERSIONS PER PARTIDES AMB CRITERIS DS

Simplificant la metodologia, el Model de repartiment demana justificar quanta més contribució al desenvolupament sostenible s'obté invertint un euro en diferents actius (decantadors, softwares,...) amb diferents finalitats (millora del rendiment, control de qualitat,...) i actuant de diferent manera (renovant o ampliant). És a dir, es tracta d'una comparació no homogènia. Per superar aquesta dificultat en aquest treball s'ha completat la metodologia MIVES afegint d'altres mètodes d'ajuda a la decisió que han estat dissenyats expressament per a aquest estudi.

Com s'explica més detalladament a continuació, en aquesta nova metodologia s'utilitza el mètode MIVES en una primera etapa per repartir el volum d'inversió entre les partides i dins de cada partida s'utilitza un altra metodologia per repartir el volum assignat a cada partida entre les subpartides que la componen. Cal dir però, que no tot el volum d'inversió s'ha de repartir utilitzant criteris de desenvolupament sostenible doncs cada any hi ha una petita part del pla d'inversions que es fa com a compliment d'uns condicionants legals ineludibles.

Així doncs, la metodologia està composta per 3 fases:

A la **fase I – Condicionants legals**, es determina el pressupost que cal destinar a l'acompliment d'imperatius legals vigents i que per tant no és objecte de priorització amb criteris de desenvolupament sostenible. És d'assignació directa. Així, com s'indica a la Figura 6.3, al volum total del Pla d'Inversions se li resta aquell volum a destinar a aquelles inversions que cal realitzar per complir amb els imperatius legals, i el volum restant es reparteix seguint criteris DS.

La **fase II – Arbre de decisió**, s'utilitza el model de repartiment per partides (arbre de decisió) per obtenir el volum d'inversió a destinar a cada partida. Aquest model utilitza la metodologia multicriteri MIVES (Model Integrat de Valor per a Avaluacions de la Sostenibilitat) on mitjançant l'arbre de decisió es recullen de forma ordenada i jeràrquica tots aquells aspectes necessaris per prioritzar les inversions.

Finalment, a la **fase III – Matrius de subpartides**, una vegada establert el volum del pressupost que li correspon a cadascuna de les partides, es determina la proporció corresponent a cadascuna de les subpartides que les componen. En aquest cas, els tècnics encarregats d'identificar les necessitats d'inversió dins l'empresa són els que defineixen el quina mesura cada subpartida pot contribuir a maximitzar la contribució a la millora de cadascun dels indicadors definits a l'arbre de decisió.

A continuació, es descriu amb més detall les tres fases necessàries pel repartiment del pressupost: *Fase I – Condicionants legals*, *Fase II – Arbre de decisió* i *Fase III – Matrius de subpartides*.

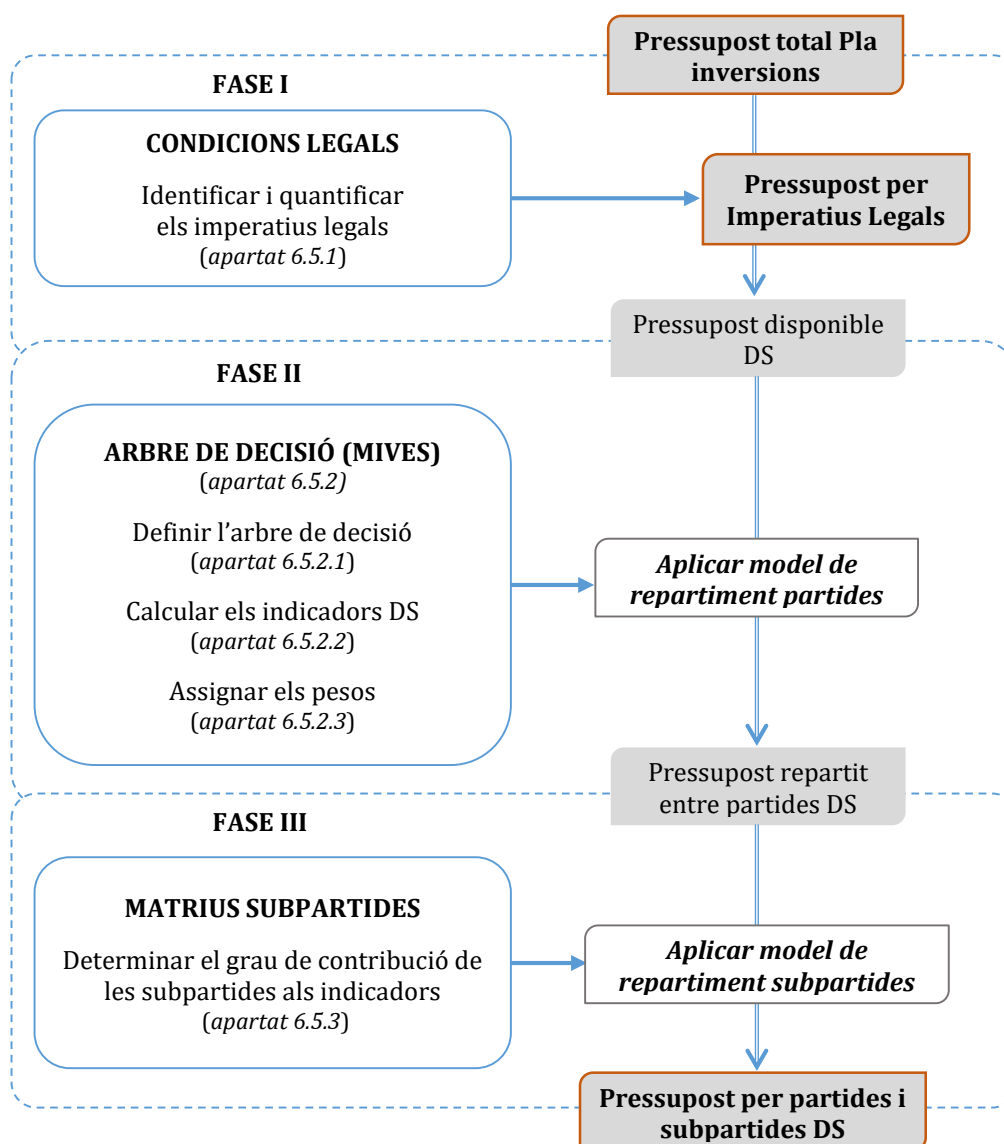


Figura 6.3. Diagrama de fases de la metodologia del model de prioritització d'inversions per partides

La metodologia dissenyada ha permès ordenar millor els àmbits de decisió. Més concretament els grups de relació d'Aigües de Barcelona ara són els que determinen la interpretació utilitzada del que és el Desenvolupament Sostenible del servei. Ho fan per mitjà de l'assignació dels pesos de l'arbre de decisió, quelcom que acaba determinant el volum a invertir a cada partides d'inversió (fase II). En canvi, és el coneixement i l'experiència dels responsables de les inversions el que serveix per afinar l'assignació d'aquests volums d'inversió entre subpartides. Per fer-ho compten amb unes matrius de contribució dissenyades expressament per aquest estudi amb l'objectiu de garantir la màxima objectivitat d'aquest darrer procés d'assignació.

6.5.1 Fase I – Condicionants legals

La necessitat d'incorporar aquesta fase radica en que aquest tipus d'inversions parteixen d'una necessitat identificada per una administració i no té sentit valorar la contribució al desenvolupament sostenible d'una inversió que no parteix de l'òptima gestió de l'abastament. A més a més, aquestes obligacions poden tenir caràcter urgent i ser diferents d'un any o altre. Així doncs en aquesta fase s'avaluen els condicionants legals vigents i les necessitats d'inversió associades.

Són els experts de cada àrea els que han de proporcionar el detall de les inversions que són necessàries. Alguns exemples que s'han identificat en aquesta fase durant l'estudi són: modificació dels sistemes d'informació existents per donar compliment a recents modificacions en les obligacions administratives que afecten la declaració del IVA, inversions per assegurar la correcta protecció d'infraestructures donant així compliment a la Llei de Protecció d'Infraestructures Crítics (LPIC).

6.5.2 Fase II – Arbre de decisió

L'arbre de decisió té com a objectiu estructurar i organitzar de forma ramificada aquells conceptes a avaluar. Per dissenyar-lo cal realitzar una reflexió sobre les inversions executades i el risc o la millora assolits en cada cas, és a dir, els efectes sobre els diferents indicadors que representen el valor del servei. A continuació, es presenta l'arbre de decisió, l'estructura que seguiran els indicadors i els agents involucrats en la decisió.

6.5.2.1. Disseny l'arbre de decisió

Seguint la mateixa estructura que al Model de Renovació de la Xarxa de Distribució, l'arbre de decisió consta de tres nivells: requeriments, criteris i indicadors.

Per dissenyar tots els indicadors de l'arbre de decisió de forma que es garanteixi que aquests estan alineats al concepte de Desenvolupament Sostenible dels grups de relació d'Aigües de Barcelona, s'han consultat les agendes estratègiques d'aquells grups de relació que les havien publicat i on, en definitiva, recollien la interpretació adaptada al seu àmbit de gestió dels 17 objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) definits per l'ONU. S'han consultat les agendes estratègiques de l'Ajuntament de Barcelona, l'Àrea Metropolitana de Barcelona i la Diputació de Barcelona (representativa de la possible interpretació que puguin fer la resta dels ajuntaments de l'àmbit).

Així doncs, fent l'estudi de l'estratègia de desenvolupament sostenible de l'empresa (compromisos, objectius i indicadors de DS) i complementant-la amb la interpretació dels ODS dels grups de relació (Diputació de Barcelona, Àrea Metropolitana de Barcelona, Ajuntament de Barcelona) s'ha dissenyat l'arbre de decisió. A continuació, s'explica amb detall la configuració i l'evolució de l'arbre de decisió fins a la versió finalment utilitzada (presentat a la Taula 6.5).

Taula 6.5. Arbre de decisió

Requeriments	Criteris	Indicadors
Social	Persones (clients)	Garantia de Subministrament
		Percepció del servei
		Eficiència de la prestació
	Ciutat	Mobilitat
		Infraestructures subterrànies
Ambiental	Persones Treballadores	Seguretat i Salut Laboral
	Consum eficient d'Aigua	Consum eficient d'Aigua
	Consum eficient d'Energia	Consum eficient d'Energia
	Petjada de CO ₂	Petjada de CO ₂
	Biodiversitat	Biodiversitat
Econòmic	Índex Econòmic	Índex Econòmic

A continuació, es detalla com s'ha estructurat cada requeriment a nivell de criteris i indicadors.

Requeriment Social

Socialment, les inversions que es realitzen emmarcades al Pla d'Inversions anuals, poden tenir impacte sobre les *persones*, la *ciutat*, i sobre les *persones treballadores*.

Els indicadors del criteri persones fan referència a com afecten les inversions a les persones com a usuaris del servei. En concret als efectes que té la inversió sobre la garantia de subministrament, la percepció organolèptica i l'eficiència de la prestació.

La garantia de subministrament és un dels aspectes que afecta al nivell de satisfacció de l'usuari. Però no només aquest aspecte afecta al nivell de satisfacció de l'usuari, altres factors com són la percepció organolèptica o l'eficiència de la prestació tenen un alt grau d'impacte sobre la imatge del servei. De fet, és fàcil d'imaginar que, malgrat el sistema d'abastament fos infal·lible, el servei podria veure deteriorada la seva imatge si descuidés els altres dos aspectes esmentats.

Pel que fa al criteri ciutat, els indicadors escollits són els efectes sobre la mobilitat, sobre les infraestructures subterrànies i la oportunitat de coordinació de plans entre administracions i gestors de serveis.

Mitjançant la inversió es pot reduir el risc d'afectar a la mobilitat ja que renovar allò que està en mal estat evita una futura fallada i per tant, l'afectació d'aquesta sobre la ciutat. Com en el cas del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució, els indicadors d'efectes sobre les infraestructures subterrànies i la coordinació de plans, no s'han pogut desenvolupar, en el primer cas a causa de la manca d'informació base, i en el segon, a causa del desfasament temporal de planificació que necessiten la resta de companyies de serveis.

El criteri persones treballadores, fa referència a la millora en la seguretat i salut laboral. Aquest criteri només conté un únic indicador que recull totes les actuacions per tal de millorar i mantenir amb les millors condicions l'entorn laboral.

Requeriment Ambiental

- La Figura 6.4 mostra com interacciona l'activitat amb el medi que l'envolta. L'activitat, element actiu, genera problemes sobre l'element passiu, l'entorn. Segons Gómez (1999) i Encinas i Gómez de Balugera (2011), l'activitat té:
 - Entrades, com són recursos naturals i matèries primeres, entre d'altres.
 - Elements físics que transformen l'entorn natural per poder dur a terme l'activitat.
 - Finalment, l'activitat genera sortides o efluents com són les emissions, els abocaments i els residus.

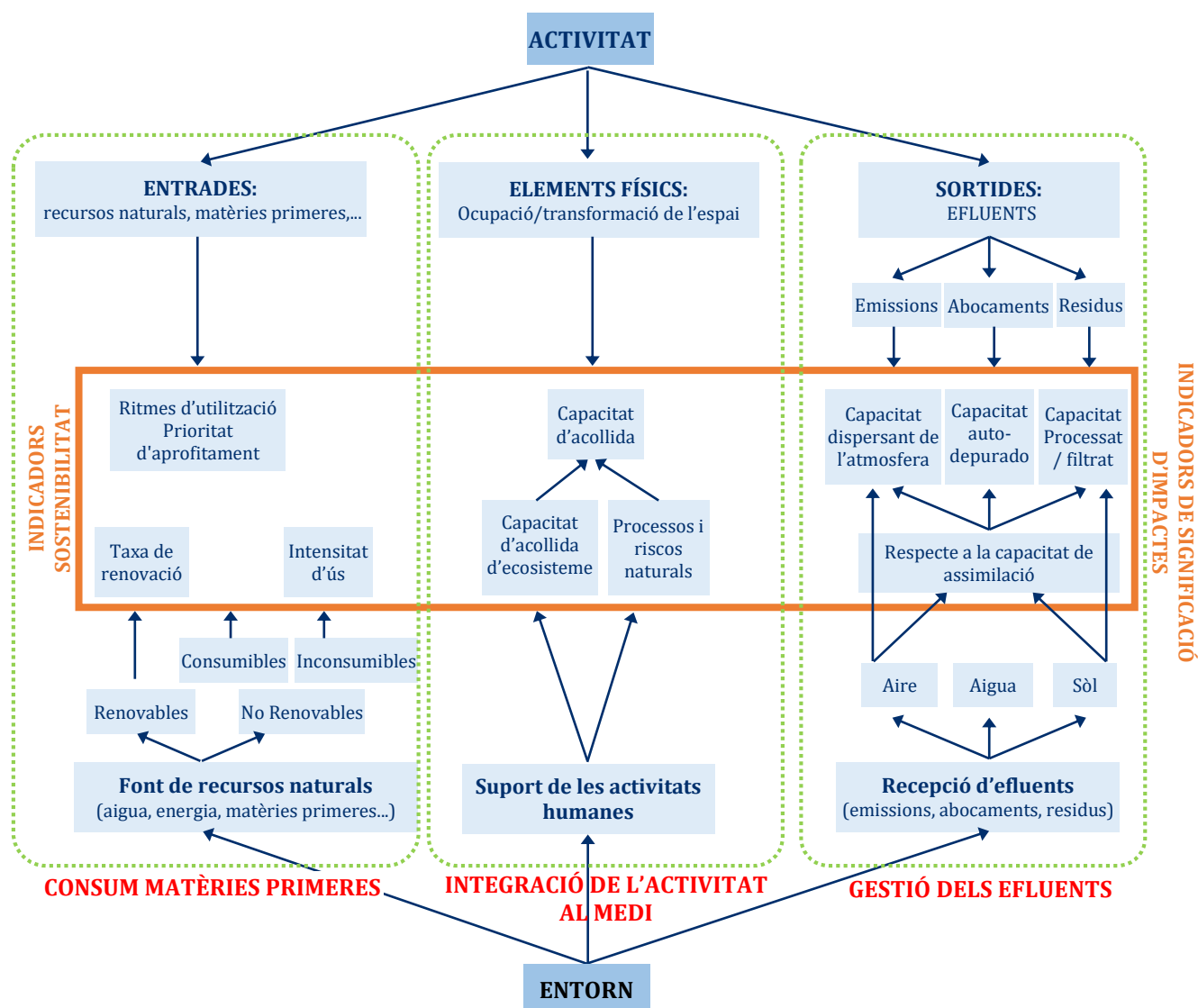


Figura 6.4. Relació de l'activitat amb l'entorn (Gómez, 1999; Encinas i Gómez de Balugera, 2011)

Per altra banda, l'entorn és una font de recursos naturals que es veu modificat per acollir l'activitat i reben alhora els efluents que genera.

És en base a l'esquema de relació de l'activitat amb l'entorn (Figura 6.4) que es desenvolupa la primera versió de l'estructura dels criteris i dels indicadors que componen el requeriment ambiental (presentat a la Taula 6.6).

Taula 6.6. Estructura requeriment ambiental inicial

Requeriments	Criteris	Indicadors
Ambiental	Consum matèries primeres	Consum matèries primeres
	Integració de l'activitat al medi	Integració de l'activitat al medi
	Gestió dels efluents	Gestió dels efluents

Aquesta primera versió es modifica d'acord amb la informació disponible i la importància dels aspectes a considerar.

En primer lloc les matèries primeres es poden separar per importàncies relatives a l'impacte sobre el medi ambient associat al seu consum. En aquest sentit són clarament més importants el consum d'aigua i el consum d'energia del sistema d'abastament que la resta de consums. És per això que es decideix posar-les de forma desagrupada. D'altra banda la petjada de CO₂, que es calcula cada any, transforma la resta de consums i efluents en una magnitud proporcional a l'impacte mediambiental, el CO₂ equivalent. I justament el consum d'energia no queda comptabilitzat en el la petjada CO₂ a causa de que el 100% de la energia utilitzada es comprada amb el segell d'energia verda. D'aquesta manera amb els indicadors de consum eficient d'aigua, consum eficient d'energia i petjada de CO₂ s'aconsegueix comptabilitzar per qualsevol de les partides tant el seu nivell de consum de matèries primeres com la magnitud del volum d'emissions/efluents que genera.

L'avaluació anual del CO₂ que fa Aigües de Barcelona té el detall de consums, emissions i efluents per orígens, de forma que, coneguda la relació entre partides d'inversió i actius, és pràcticament directe calcular la petjada relativa a cada partida d'inversió.

D'altra banda la capacitat observada d'integració al medi de l'activat per mitjà de noves inversions es limita a l'adequació dels espais per millorar la flora i la fauna de l'entorn, és a dir, contribuir a la biodiversitat de l'entorn.

En resum, el requeriment ambiental finalment utilitzat en la decisió es compon dels indicadors consum eficient d'aigua, consum eficient d'energia, petjada de CO₂ i biodiversitat (Taula 6.7).

Al Capítol 7 i més concretament a l'apartat 7.3, es presenta l'estructura de càlcul dels indicadors aquí enunciats del requeriment ambiental.

Taula 6.7. Estructura requeriment ambiental final

Requeriments	Criteris	Indicadors
Ambiental	Consum eficient d'Aigua	Consum eficient d'Aigua
	Consum eficient d'Energia	Consum eficient d'Energia
	Petjada de CO ₂	Petjada de CO ₂
	Biodiversitat	Biodiversitat

Requeriment Econòmic

Aquest indicador té per objectiu evitar posar en risc la continuïtat de negoci degut l'execució d'inversions ruïnoses o la ràpida depreciació d'actius crítics per manca d'inversions de renovació.

A fi d'escollir la composició de l'Índex Econòmic, es realitza un estudi dels diferents indicadors econòmics i financers presents a la literatura, observant quines avantatges i inconvenients representen i la viabilitat d'obtenir la informació necessària per al càlcul.

Els indicadors estudiats es poden classificar segons si són *indicadors comptables*, *indicadors financers* o *indicadors de rendibilitat*.

- Els **indicadors comptables** són aquells que prenen per referència la comptabilitat de la companyia i tenen l'avantatge de ser fàcilment calculables si es disposa d'aquesta. Per contra, no incorporen aspectes financers i de rendibilitat.
- Els **indicadors financers** són generalment acceptats i utilitzats per prendre decisions a l'hora d'invertir, ja que incorporen el factor temps en el càlcul i aborden els resultats en termes de rendibilitat i retorn econòmic de la inversió mitjançant mètodes dinàmics. Com a contrapartida, tenen un cost computacional molt elevat ja que cal construir per cadascuna de les inversions a analitzar els seus *Cash-Flows* i el calendari temporal.
- Els **indicadors de rendibilitat** compostats a partir dels comptes d'exploració i dels balanços de situació es caracteritzen per ser un mixt dels dos anteriors. En aquest cas, els indicadors tenen en compte informació real com és l'estat comptable de la companyia i aproximen la rendibilitat financera a partir d'un mètode elàstic.

Cal tenir en compte que l'ordre de generació del Pla d'Inversions és: en primer lloc realitzar el repartiment del pressupost per partides i després seleccionar les actuacions, tal com s'apunta a l'apartat 6.1, concretament a la Figura 6.1.

En aquest moment, es pot descartar la utilització dels indicadors financers ja que aquests demanen conèixer els projectes a priori per tal de poder realitzar el càlcul de l'indicador. Un altra dificultat afegida a aquest tipus d'indicadors, els financers, és la heterogenita de les inversions que componen les diferents partides d'inversió.

La Taula 6.8 detalla l'objectiu de cadascun dels indicadors estudiats i es presenten agrupats segons si són indicadors comptables o de rendibilitat. Dins dels indicadors comptables s'identifiquen 4 indicadors: el valor net comptable (VNC), el valor residual de mercat (VRM), el valor d'adquisició de l'actiu a temps zero (VAZ) i la taxa de rendiment comptable (TRC). Els tres indicadors de rendibilitat estudiats són: Return On Assets (ROA), CAPEX to ASSET, CAPEX to OPEX.

Taula 6.8. Objectius dels indicadors comptables i de rendibilitat

INDICADOR	OBJECTIU DE L'INDICADOR
<i>Indicadors comptables</i>	
Valor net comptable (VNC)	Mesurar el grau de deteriorament/obsolescència de l'actiu
Valor residual de mercat (VRM)	Mesurar el valor de l'actiu un cop finalitzada la seva vida útil
Valor adquisició actiu a temps zero (VAZ)	Mesurar el valor de mercat de l'actiu
Taxa rendiment comptable (TRC)	Mesurar el % de Beneficis que genera una inversió
<i>Indicadors de rendibilitat</i>	
Return on assets (ROA)	Mesurar el % Beneficis que generen els actius existents
CAPEX to ASSET	Mesurar la intensitat d'inversió en adquirir nous actius
CAPEX to OPEX	Mesurar l'impacte d'una inversió en actius en contenció de despeses operatives

Amb aquest informació a l'apartat 7.4 es defineix l'estructura final de càlcul de l'Índex Econòmic compostat per alguns dels indicadors descrits en aquest apartat.

6.5.2.2. [Calcular els indicadors DS](#)

Definit l'arbre de decisió, el següent pas és el disseny dels indicadors. Un dels reptes del disseny és la necessitat de poder calcular el mateix indicador per totes les partides. Aquest requisit no resulta fàcil d'assolir degut a l'abast de l'àmbit i la heterogeneïtat de les partides

D'altra banda, un altre repte són les dades base de les que es disposa per al càlcul dels indicadors, segons la naturalesa d'aquestes els indicadors poden ser de naturalesa qualitativa o quantitativa.

Finalment, segons l'objectiu que s'aconsegueixi invertint en la direcció de cadascun dels indicadors, podem estar reduint un risc o produint una millora.

Indicadors aplicables a totes les partides

La definició del càlcul dels indicadors ha de resultar en una metodologia reproducible per totes les partides d'inversió. No només és necessari poder calcular el mateix indicador per totes les partides, sinó que també s'ha de disposar de la informació requerida pel càlcul. Aquesta informació pot existir i per tant, està registrada als sistemes d'informació de l'empresa, o alternativament, en el cas de no existir, s'ha de poder generar amb el coneixement dels experts de l'àmbit.

Naturalesa qualitativa i quantitativa dels indicadors

Segons la informació disponible i la naturalesa de les dades base de càlcul de l'indicador, aquests poden ser: indicadors quantitius o indicadors qualitius. A la Taula 6.9 es mostra per cada indicador de l'arbre de decisió quina tipologia d'indicador s'utilitza.

Preferiblement, si les dades base existents ho permeten, els indicadors quantitius tendeixen a ser més objectius i transparents. En el cas contrari, quan les dades base són de baixa qualitat o no existeixen, cal definir un procediment amb una definició dels termes qualitius emprats molt detallat i acurat, per evitar que el resultat final que caldrà obtenir anualment depengui de l'avaluador.

Taula 6.9. Indicadors model de prioritització d'inversions per partides i la seva tipologia

Requeriments	Indicadors	Tipologia d'indicadors
Social	Garantia de Subministrament	Quantitatiu
	Percepció del servei	Qualitatiu
	Eficiència de la prestació	Qualitatiu
	Mobilitat	Quantitatiu
	Infraestructures subterrànies	-
	Coordinació de Plans	-
	Seguretat i Salut Laboral	Quantitatiu
Ambiental	Consum eficient d'Aigua	Quantitatiu
	Consum eficient d'Energia	Quantitatiu
	Petjada de CO ₂	Quantitatiu
	Biodiversitat	Quantitatiu
Econòmic	Índex Econòmic	Quantitatiu

Com s'observa a la Taula 6.9, dos indicadors: el de percepció del servei i eficiència de la prestació, presenten una tipologia d'indicador qualitatiu. La lògica de càlcul d'aquests dos indicadors, que pertanyen al requeriment social i més concretament al criteri persones, ha resultat de la utilització de diverses normatives com són les ISO, ISO/IEC, entre d'altres. El detall de càlcul d'aquests indicadors es detalla a continuació, *mètode de càlcul dels indicadors qualitius*.

Mètode de càlcul dels indicadors qualitatius

El mètode de càlcul dels indicadors qualitatius es basa en la lògica emprada per les ISO de càlcul del risc, més concretament es basa en el mètode BIA de la IEC 31010:2009 (AENOR, 2011) i té per objectiu garantir la màxima objectivitat possible en l'esforç d'estimació d'un risc que utilitza algunes valoracions subjectives.

Per poder calcular l'indicador qualitatiu de risc de cada partida d'inversió és necessari abans calcular l'indicador de risc d'aquells agrupadors d'actius que hi estan relacionats.

A la Figura 6.5 es presenta el diagrama de la metodologia de càlcul fins arribar al risc' preliminar de cada agrupació d'actius (*RiscA'*). La informació a obtenir (*informació base*) per poder avaluar els indicadors és la següent:

- Processos i subprocessos que en cas d'incidència afecten en major o menor mesura als indicadors
- Agrupacions d'actius que intervenen en els processos/subprocessos i la relació d'aquests conjunts d'actius amb les partides d'inversió
- Estat d'aquests actius

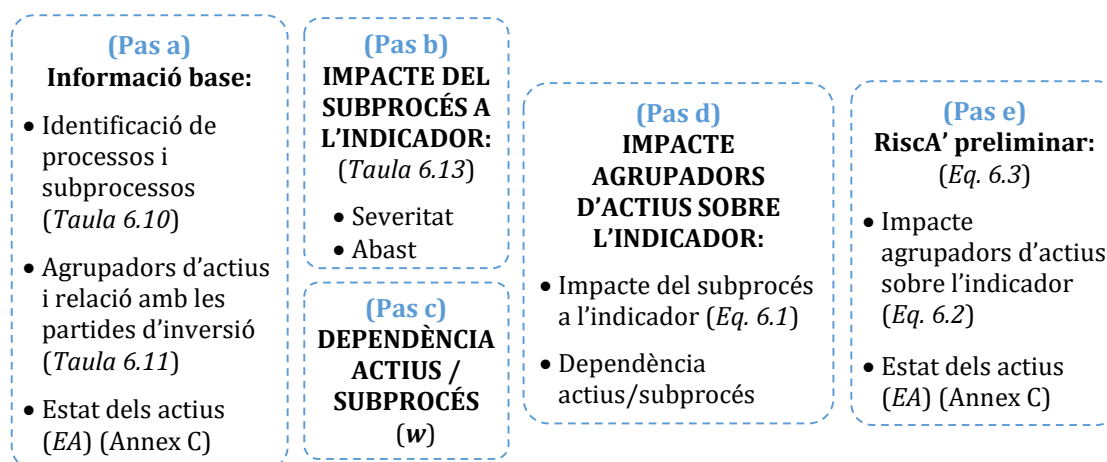


Figura 6.5. Diagrama de càlcul risc indicadors percepció i eficiència

Amb la informació de base esmentada, s'identifica: l'impacte dels processos/subprocessos sobre els indicadors i coneguda la dependència dels agrupadors d'actius sobre els processos/subprocessos s'obté l'impacte potencial dels conjunts d'actius sobre els indicadors, essent finalment necessari aplicar la probabilitat de fallada d'aquests conjunts d'actius per calcular el risc de cada indicador associat a cada agrupador d'actius. Aproximats els riscos de cada indicador a nivell d'agrupadors d'actius es pot obtenir un risc ponderat a nivell de partida d'inversió utilitzant els valors de detall a nivell d'agrupadors d'actius del grau de dependència actius-subprocés i els nivell d'impacte sobre els indicadors de cadascun dels subprocessos.

En quant a la probabilitat de fallada, justament per aquest tipus d'indicadors, aquest estudi requereix d'una estimació d'aquest paràmetre estadístic per la pràctica totalitat d'agrupacions d'actius existents. En la majoria dels casos no s'han desenvolupat els models estadístics necessaris. És per això que, per l'estudi, es decideix fer una estimació tècnica aproximada. Concretament l'estimació de l'estat d'obsolescència tècnica i funcional dels actius de l'abastament implicats en els processos d'incidència en els indicadors dissenyats (EA). Aquesta estimació es dur a terme combinant els estudis disponibles juntament amb auditories d'estat dissenyades expressament per aquest propòsit. Com pitjor sigui l'estat actual d'un actiu major serà la seva probabilitat de fallada.

Pas a. Identificació de la informació de base

En primer lloc, s'han d'identificar els processos/subprocessos que en cas de fallada incidirien sobre els indicadors. Un procés és una successió de tasques planificades que impliquen la participació de recursos humans i materials, que requereixen d'unes entrades determinades per finalment obtenir les sortides objectiu. Cal tenir en compte que el col·lapse d'algun dels recursos materials (actius) pot posar en risc la sortida objectiu en qualitat i/o quantitat.

Per tal de dur a terme aquesta fase s'han d'estudiar tots els processos i subprocessos de l'empresa a fi d'identificar aquells que poden incidir en els indicadors. La Taula 6.10 il·lustra aquesta tasca.

Taula 6.10. Processos i subprocessos implicats en cadascun dels indicadors

Partida	Procés	Subprocés *	Indicador 1	Indicador 2
Partida 1	Procés 1	Subprocés 1		■
Partida 1	Procés 2	Subprocés 2	■	
...	Procés 2	Subprocés 3	■	■
...	■	
Partida x	Procés t	Subprocés n	■	■

La Taula 6.10 presenta un exemple de taula on apareixen les partides a les que pertanyen els processos i subprocessos i la relació d'implicació de cada indicador en aquests processos i subprocessos identificats com a necessaris per poder prestar el servei d'abastament i que estan implicats en la percepció del servei i l'eficiència de la prestació.

Seguidament es determinen les agrupacions d'actius de l'abastament que s'utilitzen en els processos/subprocessos que poden incidir negativament sobre els indicadors i la relació d'aquests actius amb les partides d'inversió (Taula 6.11).

A continuació cal fer una estimació de l'estat de les agrupacions d'actius que intervenen en els processos/subprocessos. Aquest estat, al seu torn, s'obté a partir de l'estat de cadascun dels actius (EA) que formen part dels agrupadors.

Taula 6.11. Agrupadors d'actius identificats

Agrupadors d'actius	Partida
Agrupador 1	Partida 1
Agrupador 2	Partida 1
Agrupador 3	Partida 2
Agrupador 4	Partida 3
Agrupador 5	Partida 3
...	...
Agrupador n	Magnitud n

Les agrupacions d'actius s'han fet atenent a la funció que aquests porten a terme. No tots els actius tenen la mateixa importància, doncs alguns tenen una capacitat major de desenvolupar la seva funció i aquesta capacitat pot tenir o no alternatives en altres actius. És per això que s'ha utilitzat la importància relativa que tenen els indicadors dins de cada agrupador per determinar el seu estat global. Més concretament per cada agrupador s'ha establert la magnitud més representativa de la seva funció, s'ha calculat el valor d'aquesta per cada actiu i s'ha utilitzat aquest en la ponderació corresponent. L'avaluació de l'estat dels actius i de les agrupacions s'explica en més detall a l'Annex C.

Taula 6.12. Magnituds representatives utilitzades per ponderar l'estat global de l'agrupador d'actius

Agrupadors d'actius	Magnitud representativa
Agrupador 1	Magnitud 1
Agrupador 2	Magnitud 2
Agrupador 3	Magnitud 2
Agrupador 4	Magnitud 3
...	...
Agrupador n	Magnitud n

Pas b. [Impacte del subprocés sobre l'indicador](#)

Cal determinar l'impacte del procés/subprocés sobre l'indicador (*Imp P*), aquest impacte quantifica fins a quin punt, si el procés/subprocés col·lapsa, incideix negativament sobre els indicadors. L'impacte del procés sobre l'indicador és el resultat del producte entre la *severitat* de l'impacte i l'*abast* d'aquest impacte Eq. 6.1.

$$Imp P = severitat \cdot abast \quad (Eq. 6.1)$$

Ambdós paràmetres, la *severitat* i l'*abast*, estan definits a la Taula 6.13. En el cas de la *severitat* (Taula 6.13), el nivell que se li atribueix és funció de la resposta a la següent pregunta: "en cas de fallar el procés, quina seria la severitat de les conseqüències en la percepció del servei o en l'eficiència de la prestació?". En el cas de l'*abast* de l'afecció (Taula 6.13), la pregunta que permet assignar un nivell és la següent: "en el cas de fallada del procés, quants clients veurien afectada la seva percepció del servei o l'eficiència de la prestació?".

Taula 6.13. Severitat de l'impacte i abast de l'afecció

Severitat de l'impacte	Abast o extensió de l'afecció (quantitat de clients afectats)	Puntuació
Alarma social, pot produir un gran perjudici a la imatge de l'empresa <i>Ex.: aigua contaminada, l'alarma social es crea tant sobre les persones que l'han begut (afecció directa) com les que no han begut (afecció indirecta)</i>	Tota la població (directament o indirecta)	3
Molèsties notables que no arriben a crear alarma social <i>Ex.: tall d'aigua en hores punta d'utilització</i>	Nombre intermedi (2/3 de la població)	2
Molèsties poc importants però que desgasten la imatge de l'empresa <i>Ex.: Microtalls de subministrament, concepte mal explicat a la factura trucada al CAT i no resolen dubte, etc.</i>	Individual o poques persones (1/3 de la població)	1
El procés no té afecció en la percepció	Cap	0

Pas c. Dependència actius/subprocés i grau de vinculació de les agrupacions d'actius als processos

Identificats els processos i subprocessos és necessari determinar quines agrupacions d'actius permeten realitzar aquests processos. Addicionalment, també és necessari fixar el grau de vinculació d'aquests actius al procés, és a dir, en el cas de fallada dels actius involucrats en el procés/subprocés, fins a quin punt el procés/subprocés es veuria afectat. Per determinar aquest grau de vinculació, s'ha definit una pregunta a respondre per cada indicador i en funció d'aquesta resposta la Taula 6.14 determina el grau de vinculació.

El grau de vinculació de l'actiu al procés (GVAP), presentats a la Taula 6.14, assigna un percentatge segons l'efecte que la fallada de l'actiu tingui sobre el procés, com més alt sigui aquest efecte més elevat és el GVAP.

Taula 6.14. Grau de vinculació actiu-procés (GVAP)

GVAP (%)	Definició
100	El procés queda totalment inhabilitat
50	El rendiment del procés baixa de forma significativa
25	El rendiment del procés baixa lleugerament
0	El procés no té cap afectació

Pas d. Impacte dels agrupadors d'actius sobre l'indicador

L'impacte associat a l'agrupador d'actius sobre el procés/subprocés (*Imp A*) és el resultat del producte de l'impacte del procés sobre l'indicador (*Imp P*) pel grau de vinculació d'aquests actius al subprocés corresponent (GVAP) segon l'Eq. 6.2.

$$\text{Imp } A = \text{Imp } P \cdot \text{GVAP} \quad (\text{Eq. 6.2})$$

Així doncs, a més impacte sobre el subprocés i més grau de vinculació de l'agrupació d'actius, més negativa per a l'indicador seria una possible fallada dels actius de l'agrupador.

Pas e. Càlcul del risc preliminar

El risc preliminar de cada agrupació d'actius és el producte de les conseqüències d'un fet per la probabilitat de que aquest fet es produeixi. Les conseqüències es quantifiquen com l'impacte relatiu al agrupador d'actius sobre l'indicador i l'estat d'aquest agrupador. La determinació d'aquest estat es detalla a l'Annex C.

És a nivell de cada agrupador d'actius (Taula 6.11) que s'estima un valor de "contribució al risc" de cada indicador mitjançant el producte de l'impacte potencial i l'estat de cada agrupador. Per determinar el risc preliminar ($RiscA'$), simplement se sumen les contribucions dels diferents processos/subprocessos sobre els que impacta aquell agrupador d'actius segons l'Eq. 6.3.

$$RiscA' = \sum \text{Imp } A_j \cdot EA_j \quad (\text{Eq. 6.3})$$

El risc de l'indicador ($RiscA$) per cada agrupador d'actius es calcula segons l'Eq. 6.4, on w_i és el sumatori dels graus de vinculació d'aquest agrupador d'actius als processos que impacten a l'indicador i w_{ij} és el sumatori dels graus de vinculació als processos que tenen impacte a l'indicador (GVAP) de totes les agrupacions d'actius d'una mateixa partida. El $RiscA'$ és el risc preliminar de cada agrupació d'actius.

$$RiscA = \frac{\sum_i w_i}{\sum_{ij} w_{ij}} \cdot RiscA' \quad (\text{Eq. 6.4})$$

Finalment, el risc de cada indicador ($Risc$) per cada partida s'obté com el sumatori dels risc de cada agrupador d'actius que formen cada partida, segons l'Eq. 6.5.

$$Risc = \sum RiscA \quad (\text{Eq. 6.5})$$

Indicadors de risc i oportunitat

Per determinar com contribuir per mitjà de la inversió al desenvolupament sostenible cal abans conèixer les diferents tipologies d'inversió i com aquestes poden impactar positivament en el DS. Més concretament, existeixen subpartides que estan pensades per reduir un cert risc i d'altres que permeten l'aprofitament d'oportunitats de millora. Aquestes dues tipologies són:

- La *renovació* del sistema d'abastament per evitar que l'obsolescència dels actius comporti fallides del sistema que el posin en risc el servei en qualitat o quantitat (**indicadors de risc**).
- L'*ampliació* o *millora* del sistema d'abastament per donar resposta a noves oportunitats (**indicadors d'oportunitat**).

Els indicadors de risc s'han dissenyat seguint la metodologia àmpliament utilitzada de càlcul del risc, segons l'Eq. 6.6 (Fine, 1971) el risc és el resultat del producte de les conseqüències (*C*) (anomenat també dany) que tindria aquesta situació per la freqüència (*E*) en que es presenta i per la probabilitat (*P*) de que aquesta situació es produeixi.

$$R = C \cdot E \cdot P \quad (\text{Eq. 6.6})$$

on: R: és el risc
 C: són les conseqüències o el dany associat a una situació
 E: és la freqüència en que es presenta una situació
 P: és la probabilitat de que es produeixi aquesta situació

La finalitat d'aquests indicadors és determinar el risc associat a no invertir en cadascuna de les partides. Una de les grans dificultats de les estimacions de risc és justament l'estimació de la probabilitat de fallada dels actius implicats. En la gran majoria dels casos no s'han desenvolupat els models estadístics corresponent. És per això que, exclusivament per l'estudi, es decideix fer una estimació tècnica aproximada, l'estimació de l'estat d'obsolescència tècnica i funcional de tots els actius de l'abastament gestionats per Aigües de Barcelona (en endavant l'estat dels actius (EA)). Aquesta estimació es va dur a terme combinant els estudis disponibles amb auditories d'estat dissenyades expressament per aquest propòsit. Com pitjor sigui l'estat actual d'un actiu major serà la seva probabilitat de fallada. És per aquest motiu, que s'ha assimilat l'estat dels actius (EA) a la probabilitat de fallada per als diferents indicadors d'estimació de risc.

Per altra banda, els indicadors d'oportunitat es poden calcular només en partides i subpartides que compten amb una planificació específica de millora. Només així es pot treballar amb la informació que resumeix el potencial de aquesta millora, com són: l'estat actual, l'objectiu de millora en magnitud i temps, la capacitat de millora del sistema per mitjà d'inversió i l'eficàcia o el rendiment dels actius invertits en el grau d'assoliment l'objectiu. Aquests conceptes es veuen més clarament quan en un àmbit de gestió s'intenta aprofitar un canvi tecnològic. Es per això que a continuació es descriu com una funció d'oportunitat genèrica la hipòtesis de canvi tecnològic, posant accent en les característiques que determinen el nivell de potencial d'una oportunitat de millora determinada.

La funció d'oportunitat genèrica es defineix segons la Figura 6.6, on l'eix d'abscisses correspon a la capacitat del sistema i l'eix d'ordenades correspon al valor de l'indicador.

- La *capacitat del sistema* és el grau de millora que el sistema podria arribar a assolir donat un estat actual i unes tecnologies disponibles. Així, a mesura que es

modifiquen o amplien els actius del sistema, s'incorporen i/o optimitzen noves tecnologies, major és el nivell d'excel·lència assolit.

- El valor de l'indicador mesura el nivell d'excel·lència assolit.

L'eix d'abscisses de la Figura 6.6 presenta els següents conceptes:

- La capacitat actual o de referència és la capacitat que té realment el sistema al moment de l'avaluació.
- La capacitat nova inversió correspon a l'estimació de la capacitat amb el desplegament de la nova tecnologia i l'adquisició dels actius que siguin necessaris per implementar-la.
- Increment de capacitat és la diferència entre la capacitat de la nova inversió i la capacitat actual del sistema.
- La capacitat màxima tecnològica existent indica el límit de d'excel·lència assolible per la tecnologia prèvia al canvi.
- La capacitat màxima del salt tecnològic correspon a la capacitat màxima que s'obtindria amb l'ús d'una nova tecnologia.

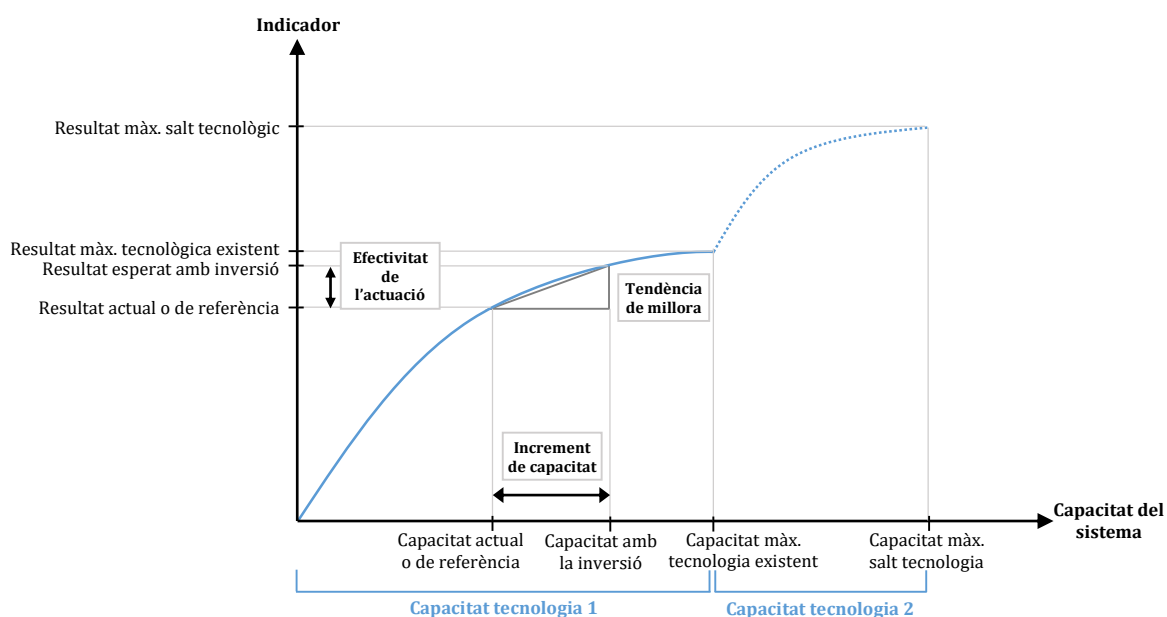


Figura 6.6. Funció d'oportunitat segons la capacitat del sistema

Per altra banda, l'eix d'ordenades de la Figura 6.6 presenta els següents conceptes:

- El resultat actual o resultat de referència és el nivell actual de l'indicador.
- El resultat esperat amb la inversió és el nivell previst de l'indicador amb el canvi.

- L'efectivitat de l'actuació és la diferència entre el resultat actual o de referència i el resultat esperat amb la inversió.
- El resultat objectiu és el resultat de l'indicador que s'ha fixat com a objectiu.
- El resultat màxim amb la tecnologia existent és el resultat màxim previst segons la planificació d'implantació de la millora.
- El resultat màxim amb salt tecnològic és el resultat màxim de l'indicador que s'obtindria amb la màxima capacitat de l'aplicació de la nova tecnologia.

La relació entre l'efectivitat de l'actuació (resultat esperat menys resultat actual) i l'increment de capacitat del sistema es defineix com *tendència de millora*.

6.5.2.3. [Assignar els pesos](#)

L'últim pas per poder aplicar el model de la fase II (veure Figura 6.3), correspon a l'assignació de pesos. Els agents encarregats de prendre la decisió són els grups de relació. Els grups de relació o *stakeholders* són aquells grups que es veuen afectats directa o indirectament pel desenvolupament de l'activitat empresarial, i per tant, també tenen la capacitat d'afectar directa o indirectament el desenvolupament d'aquesta (Freeman, 1983).

Els grups de relació de l'empresa es presenten a la Figura 6.7 i són: administracions, proveïdors, ciutadania, plantilla, reguladors i accionistes. L'activitat d'Aigües de Barcelona té un impacte directe sobre la ciutadania i també sobre les administracions que gestionen el territori on aquesta presta el servei.

De tots els grups de relació de l'empresa (Figura 6.7) s'han fet participar només aquells que es veuen afectats o involucrats directa o indirectament en la prioritització de les inversions (Figura 6.8). És estratègic que els decisors del model, entenguin el seu funcionament i sobretot els conceptes que posen de manifest els indicadors, criteris i requeriments de l'arbre de decisió, doncs cal aquests proporcionin unes importàncies relatives d'aquests conceptes fidels al seu punt de vista del desenvolupament sostenible.

La lògica d'assignació de pesos és la mateixa que s'utilitza per assignar els pesos de l'arbre de decisió del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució, descrita a l'apartat 3.5.5.

L'assignació de pesos es realitza mitjançant un dels mètodes descrits a l'apartat 3.5.5, en funció del nombre de participants i la tipologia de col·lectiu involucrat. Els decisors poden participar a tots els nivells de la decisió (requeriments, criteris i indicadors) o només a aquells nivells on es sentin decisors.



Figura 6.7. Grups de relació Aigües de Barcelona (font: Memòria de Sostenibilitat 2018, Aigües de Barcelona)

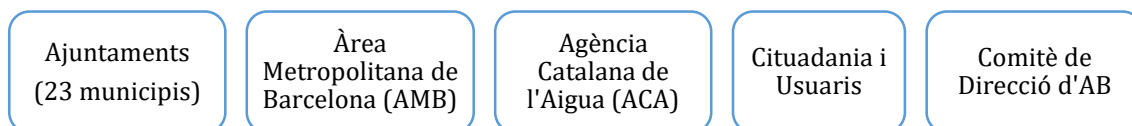


Figura 6.8. Decisors del model de priorització d'inversions per partides, els grups de relació

Un cop recollits els pesos de tots els grups de relació participants, per tal de tenir una visió completa del que representa el desenvolupament sostenible d'un servei d'abastament, es realitza una mitjana aritmètica dels pesos que representen la visió de cadascun dels grups participants. Així doncs, tots els grups de relació tenen el mateix pes.

6.5.3 Fase III – Matrius de subpartides

Aquesta última fase (Fase III) de repartiment del pressupost correspon a l'assignació del percentatge de pressupost que correspon a les subpartides que inclou cadascuna de les partides d'inversió (veure la Taula 6.4.)

Per fer aquest repartiment a nivell de subpartides, cal que els responsables de cada àrea avaluin el grau de contribució de les subpartides a cadascun dels indicadors. S'ha definit una escala del 0 – 5, on 0 representa una contribució nul·la i 5 una contribució màxima (Taula 6.15). El funcionament de la matriu de contribució per l'indicador econòmic no segueix l'escala de nivells de contribució, sinó que resulta del percentatge de la mitjana històrica pressupostat als darrers tres plans d'inversions (con s'indica a la Taula 6.16).

Taula 6.15. Escala de nivells de contribució de les subpartides als indicadors

	1	2	3	4	5
Contribució	Molt dèbil	Dèbil	Moderada	Forta	Molt forta

A la Taula 6.16 es presenta a tall d'exemple, el grau de contribució a cadascun dels indicadors de les subpartides de Transport. La resta de matrius de contribució de les diferents subpartides així com la justificació dels nivells de contribució assignats es presenten a l'Annex D, on aquestes apareixen complimentades pels responsables de cada àmbit.

En definitiva, s'aprofita el coneixement dels experts per a que aquests facin una estimació prou objectiva del grau de contribució de cada subpartida a cadascun dels indicadors de l'arbre de decisió. Aquesta reflexió sobre les diferents contribucions posteriorment serveix també a aquests mateixos experts per a realitzar una selecció de les actuacions més alineada amb el desenvolupament sostenible, garantint així el canvi de mentalitat en l'organització i la millora continuada dels indicadors DS.

Taula 6.16. Matriu de contribució de les subpartides de Transport (versió PI2020)

Indicadors	Partida Transport				Contribució a l'indicador
	Renovació Xarxa	Renovació instal·lacions	Ampliació Xarxa	Ampliació instal·lacions	
Garantia de Subministrament	3	3	5	5	16
Percepció del servei	5	2	0	0	7
Eficiència de la prestació	5	4	2	2	13
Mobilitat	5	0	0	0	5
Infraestructures subterrànies	5	0	0	0	5
Coordinació de Plans	5	0	0	0	5
Seguretat i Salut Laboral	0	5	0	0	5
Consum eficient d'Aigua	4	1	1	1	7
Consum eficient d'Energia	2	5	2	2	11
Petjada de CO ₂	0	4	0	2	6
Biodiversitat	0	5	0	0	5
Índex Econòmic	% Històric Pla Inversions (mitjana dels últims 3 anys)				

Així doncs, amb les dades següents es realitza el repartiment per subpartides:

- De la fase II s'obté quina part del pressupost li toca a cada partida per part de cada indicador.
- De la fase III s'obtenen les matrius de contribucions de cada subpartida.

Amb aquests valors, es reparteix el pressupost parcial de cada indicador per cada partida ponderant pel grau de contribució de les subpartides que contribueixen a aquell indicador. Per exemple, si l'indicador de *garantia de subministrament* aporta 100.000 € a la partida de Transport (valor provinent de la fase II), aquests 100.000 € es repartiran en 16

parts (3+3+5+5 veure Taula 6.16). Les subpartides de renovació s'enduran 3/16 parts d'aquest pressupost cadascuna i les partides d'ampliació s'enduran 5/16 parts del pressupost cadascuna (veure Taula 6.17). I així successivament per tots els indicadors.

Taula 6.17. Exemple repartiment del pressupost de la fase II entre subpartides

Indicadors	Renovació Xarxa	Renovació instal·lacions	Ampliació Xarxa	Ampliació instal·lacions
Garantia de Subministrament	$\frac{3}{16} \cdot 100.000\text{€}$	$\frac{3}{16} \cdot 100.000\text{€}$	$\frac{5}{16} \cdot 100.000\text{€}$	$\frac{5}{16} \cdot 100.000\text{€}$

CAPÍTOL 7

INDICADORS DEL MODEL DE PRIORITZACIÓ D'INVERSIONS PER PARTIDES

7.1. INTRODUCCIÓ

Al Capítol 6 s'han presentat les característiques principals del model així com la metodologia desenvolupada. En aquest capítol es detallen els indicadors dissenyats i posteriorment, al Capítol 8, es descriu la proposta d'inversió resultat de l'aplicació del Model de Priorització d'Inversions per Partides.

L'objecte principal d'aquest capítol és detallar el càlcul dels indicadors que componen l'arbre de decisió del Model de Priorització d'Inversions per Partides. L'arbre de decisió s'utilitza a la Fase II de la metodologia presentada a l'apartat 6.5.2. Aquesta segona fase de la metodologia requereix de la definició de l'arbre de decisió, el càlcul dels indicadors i l'assignació dels pesos.

A la Fase II, s'aplica l'arbre de decisió del Model de Priorització d'Inversions per Partides per obtenir el pressupost repartit entre les tres grans partides (Producció, Transport, Distribució) i les partides que s'agrupen a la Resta d'Àmbits (Gestió Edificis, Control Operatiu, Laboratori, Sistemes d'Informació, Subministrament i Recursos Hídrics Alternatius).

El capítol s'organitza en tres apartats que corresponen a cadascun dels requeriments de l'arbre de decisió. Per altra banda, els subapartats fan referència a cadascun dels indicadors.

- En primer lloc, es presenten els indicadors que integren el requeriment social (apartat 7.2).
- Seguidament, a l'apartat 7.3 es detallen els indicadors que componen el requeriment ambiental.
- Finalment, es descriu l'indicador del requeriment econòmic (apartat 7.4).

7.2. REQUERIMENT SOCIAL

7.2.1 Introducció al Requeriment Social

L'estructura del requeriment social es presenta a la Taula 7.1. Aquesta consta de tres criteris i set indicadors. El *criteri persones* agrupa els indicadors que tenen un impacte directe sobre les persones com són la garantia de subministrament, la percepció del servei i l'eficiència de la prestació. El *criteri ciutat* és l'encarregat d'agrupar tots aquells indicadors d'impacte sobre la ciutat, com són l'afectació a la mobilitat, les infraestructures subterrànies i la coordinació de plans. El *criteri persones treballadores* considera els indicadors que vetllen pel benestar de les persones que treballen a l'àrea d'abastament, en aquest cas l'indicador de seguretat i salut laboral.

Taula 7.1. Estructura Requeriment Social

Requeriments	Criteris	Indicadors
Social	Persones (clients)	Garantia de Subministrament (7.2.2.1)
		Percepció del servei (7.2.2.2)
		Eficiència de la prestació (7.2.2.3)
	Ciutat	Mobilitat (7.2.3.1)
		Infraestructures subterrànies*
		Coordinació de Plans*
	Persones Treballadores	Seguretat i Salut Laboral (7.2.4.1)

(*)a causa de manca d'informació de base aquests indicadors no es desenvolupen

Tal com ja s'ha introduït al Capítol 6, els indicadors d'*infraestructures subterrànies* i *coordinació de plans*, no s'han pogut desenvolupar a causa de la manca d'informació de base per al càlcul.

7.2.2 Afectació a les Persones (Clients)

7.2.2.1 Efectes sobre la garantia de subministrament

Totes les gestores d'abastaments vetllen per garantir la continuïtat del servei (fiabilitat) i, tot i que es poden produir incidències, cal que el sistema estigui preparat per limitar l'afectació al mínim i tingui la capacitat de resposta que li permeti restablir les condicions prèvies la incidència tan aviat com es pugui (resiliència).

L'objectiu de l'indicador d'efectes sobre la garantia de subministrament és:

- Per una banda, avaluar les inversions en les partides que contribueixen a la millora de la *resiliència*.
- Per l'altra, avaluar el potencial de millora del nivell de fiabilitat de l'abastament o dit d'una altra manera avaluar la *continuïtat del servei* de cadascuna de les partides.

Així doncs, l'indicador d'efectes sobre la garantia de subministrament (*GarSub*) està compostat per dos subindicadors que recullen els objectius anteriorment mencionats, risc resiliència (*Risc_{Res}*) i risc continuïtat del servei (*Risc_{Cont}*). Finalment, l'indicador de *GarSub* resulta de la mitjana entre el màxim i la mitjana del risc de resiliència i el risc de continuïtat de servei, tal com s'indica a l'Eq. 7.1.

$$GarSub = \frac{\max(Risc_{Res_i}; Risc_{Cont_i}) + \frac{Risc_{Res_i} + Risc_{Cont_i}}{2}}{2} \quad (\text{Eq. 7.1})$$

Al respecte, és important posar en relleu la diferència entre aquest dos conceptes ja que millorar la resiliència sobretot implica avaluar els punts febles del sistema que en cas d'incidència comprometen el servei d'una manera greu de forma que el temps de resposta és cabdal per evitar que el problema s'agreugi per problemes de capacitat del subministrament alternatiu. Per altra banda, la tipologia d'incidències que s'inclouen en l'indicador de millora de la continuïtat de servei són aquelles on l'afectació es limita a una manca de subministrament acotada exclusivament a les escomeses dels clients que es troben en la zona que ha de quedar necessàriament aïllada per poder reparar l'avaria, sense perill que l'àmbit de la incidència s'ampliï.

Risc Resiliència (*Risc_{Res}*)

La resiliència s'entén com: "*la capacitat del sistema per absorbir pertorbacions i reorganitzar-se al mateix temps que se sotmet a canvis per retenir essencialment la mateixa funció, estructura i retroalimentació*" (Folke, 2006).

S'espera doncs, que un sistema d'abastament resilient sigui capaç de prevenir, resistir i recuperar la seva funció després d'un mal funcionament com pot ser una avaria. Per aconseguir un sistema resilient, cal identificar els punts febles i dissenyar una alternativa per proveir al sistema d'aquesta capacitat d'adaptació.

Aquests punts febles del sistema, en el cas d'Aigües de Barcelona, es troben recollits al Pla Director d'Aigües de Barcelona per a l'horitzó de l'any 2026, en endavant PDAB26. L'objectiu principal del PDAB2026 és garantir les necessitats actuals i futures d'abastament de l'àmbit i planificar aquelles actuacions de millora o de nova creació sobre les infraestructures que permeten garantir un bon servei.

Per realitzar el càlcul de l'indicador de Risc Resiliència ($Risc_{Res}$) es segueixen els passos definits a la Figura 7.1.

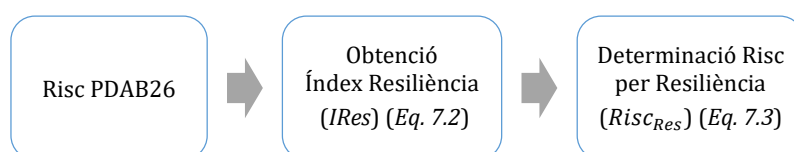


Figura 7.1. Diagrama de càlcul del Risc Resiliència

Al PDAB26, i pel que fa a l'estudi de Resiliència de la xarxa, amb l'ajuda d'un model matemàtic (PICCOLO⁵) que simula el comportament de l'abastament per al dia punta de l'any horitzó, s'estimen els impactes potencials en forma de nombre d'habitants afectats (en endavant habitants captius⁶) i també es fa una estimació de la probabilitat d'avaria de cada tram de xarxa que es va considerar que constituïa un punt feble de l'abastament. Aquests punts febles es trobaven a les xarxes de Transport i de Producció i amb la composició de l'impacte i de la probabilitat d'avaria el PDAB26 assigna un valor de risc a cada escenari d'avaria simulat i en conseqüència un índex de contribució a la resiliència a les actuacions dissenyades per a la resolució dels punts febles detectats.

Juntament amb els punts febles de la xarxa, el PDAB26 identifica la necessitat de millorar l'eficiència de tractament i la incorporació de recursos alternatius per tal de millorar la resiliència del conjunt de l'abastament especialment en períodes de sequera. Per aquest altre tipus d'actuacions, les de garantia de recurs, el PDAB26 dona directament una estimació de risc que és comparable amb el risc resultant per cada punt feble de la xarxa de transport i producció. De cara a l'aplicació en el model de repartiment, les actuacions de garantia de recurs tenen associades uns valors de recurs recuperat que es poden transformar en persones equivalents i que per tant poden ser comparables també amb les persones afectades en cada escenari de resiliència de la xarxa. Així, amb el risc (en endavant *risc PDAB*) i l'impacte en habitants equivalents, com es veurà més endavant, es poden comparar el conjunt de punts febles corresponents als actius de la partida de Transport amb el conjunt de punts febles dels actius de Producció, les dues úniques partides on aplica l'estimació de la contribució a la resiliència de l'abastament.

⁵ PICCOLO (SAFEGE Consulting Engineers, Nanterre, França)

⁶ Els **habitants captius** d'una instal·lació o infraestructura són tots aquells que no tenen en aquest cas alternativa d'abastament, és a dir, que no existeix una infraestructura alternativa que faci la mateixa funció.

Val a dir però que el valor de *risc PDAB* que s'ha utilitzat en aquest estudi és l'actualitzat a 2019 doncs des de la redacció del PDAB26 s'han executat algunes de les actuacions de reducció risc dissenyades.

Aquests riscos identificats i valorats pel PDAB26 s'usen en el model de repartiment prèvia transformació a un *índex de resiliència (IRes)* que adopta valors entre 0 i 1. L'*índex de resiliència* s'obté mitjançant la funció de valor presentada a la Figura 7.7 i a l'Eq. 7.2.

La relació entre l'*índex de risc PDAB* i l'*índex de Resiliència* utilitzat finalment al Model està establerta pel responsable del PDAB26. La funció de valor també dissenyada pel responsable del PDAB26, retorna IRes pròxims a 1 a partir de valors de *Risc PDAB* igual a 30. Per aquells valors de Risc PDAB que es troben a la frontera entre risc mitjà i risc alt, valors al voltant de 25 punts, el seu IRes també resulta molt pròxim a 1, tal com s'observa a la Figura 7.2 valors al voltant de 0,9.

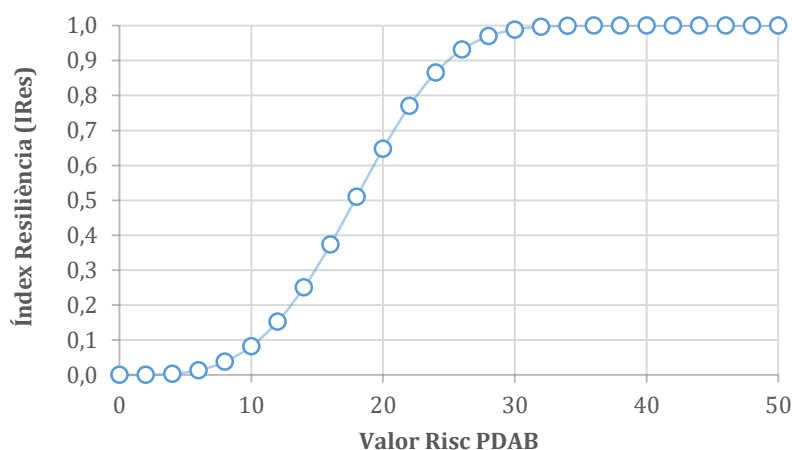


Figura 7.2. Funció de valor Índex Resiliència (IRes)

$$IRes = 1,00 * \left[1 - e^{-0,06 * \left(\frac{|RISC_{PDAB}|}{9,05} \right)^{3,6}} \right] \quad (\text{Eq. 7.2})$$

Finalment, per determinar el Risc per Resiliència ($Risc_{Res}$) de cadascuna de les partides identificades en la contribució mitjançant una inversió, es fa una suma ponderada (Eq. 7.3) dels riscos corresponents als actius de cada partida ($IRes$) amb l'impacte de cada risc valorat (el nombre d'habitants captius - $HabCap$).

$$Risc_{Res_i} = \frac{\sum_i IRes_i \cdot HabCap_i}{\sum_i HabCap_i} \quad (\text{Eq. 7.3})$$

En resum, s'identifica que el numerador de l'Eq. 7.3 per la partida de Producció és de 1.348.702 i per la partida de Transport és 1.892.525. Pel que fa al nombre d'habitants

captius de la partida de Producció són 1.937.047 i de la partida de Transport són 2.889.700. Amb aquests valors s'obté un $Risc_{Res}$ de 0,65 de la partida de Producció i 0,70 de la partida de Transport. El % de $Risc_{Res}$ normalitzat final també es presentat a la Taula 7.2.

Taula 7.2. Resultat paràmetres Indicador Risc Resiliència

Partides	$\sum IRes \cdot HabCap$	$\sum HabCap$	$Risc_{Res}$	% $Risc_{Res}$
Producció	1.348.702	1.937.047	0,65	51,53%
Transport	1.892.525	2.889.700	0,70	48,47%
Distribució	-	-	-	-
Resta d'Àmbits	-	-	-	-
Gestió Edificis	-	-	-	-
Control Operatiu	-	-	-	-
Laboratori	-	-	-	-
Sistemes D'informació	-	-	-	-
Subministrament	-	-	-	-
Recursos Hídrics Alternatius	-	-	-	-
			1,35	100,00%

Risc de continuïtat del servei ($Risc_{Cont}$)

La continuïtat del servei té l'objectiu d'avaluar el potencial de millora de la fiabilitat del servei per mitjà de la inversió. Per estimar l'índex de continuïtat del servei (ICS) es dissenya la fórmula de càlcul de l'Eq. 7.4. Aquesta aproximació, considera que una partida determinada contribuirà més a la continuïtat del servei quan els seus actius intervenen en el subministrament d'un nombre més alt de clients, però sense deixar de banda la forma en la que aquests actius poden incidir sobre la continuïtat del servei en cas d'avaria i, tenint en compte també la probabilitat d'avaria dels actius implicats.

$$ICS = ICob \cdot MImp \cdot PImp \quad (\text{Eq. 7.4})$$

L'índex de cobertura ($ICob$) indica el grau d'implicació dels actius en el subministrament, la magnitud de l'impacte ($MImp$) dona el nivell de relació entre el col·lapse dels actius d'una partida i la interrupció del subministrament, i el potencial de l'impacte ($PImp$) és el potencial d'avaria dels actius que provocarien una interrupció del servei.

El risc de continuïtat del servei ($Risc_{Cont}$) de cadascuna de les partides és proporcional a l'impacte que té cadascuna d'aquestes i es calcula segons l'Eq. 7.5.

$$Risc_{Cont_i} = \frac{ICS}{\sum_i ICS_i} \quad (\text{Eq. 7.5})$$

Índex de cobertura (*ICob*)

A la pràctica, l'Índex de cobertura (*ICob*) comptabilitza els subministraments dels clients d'Aigües de Barcelona que depenen directa o indirectament dels actius de les partides que s'ha considerat que poden afectar a la cobertura del servei, que són: Producció, Transport i Distribució.

Per al càlcul de l'índex es té en compte que hi ha subministraments més sensibles que d'altres. És per això que per cada partida s'obté la relació de: nombre de persones, nombre de clients sensibles (CS) i nombre de grans consumidors (GC) tals que el seu subministrament depèn directa o indirectament d'algun subconjunt d'actius associats a la partida.

Per fer aquesta relació de dependència entre subministraments i partides, cal conèixer l'abastament. Tots els subministraments de l'àmbit són dependents d'algun subconjunt d'actius de Transport o de Distribució, però pel cas de producció cal analitzar la capacitat d'abastament de les ETAPs d'Aigües de Barcelona i les possibilitats de subministrament alternatiu per mitjà de fonts d'abastament gestionades per tercers.

Així doncs, per identificar aquells subministraments de l'abastament que depenen directa o indirectament d'actius de Producció s'han d'estudiar les zones d'abastament que només poden rebre aigua procedent d'ETAPs gestionades per Aigües de Barcelona. De fet, aquesta circumstància només es produeix amb l' ETAP de Sant Joan Despí (ETAP SJD), doncs tal com està configurada la xarxa la major part de les zones abastables per aquesta ETAP no tenen alternativa.

Les zones o àrees d'abastament, segons el RD 140/2003 article 2.21, es defineixen com una àrea geogràfica establerta i censada per l'autoritat sanitària a proposta del gestor de l'abastament, no superior a l'àmbit provincial, on l'aigua de consum humà prové d'una o diverses captacions i la qualitat de les aigües distribuïdes pot considerar-se homogènia la major part de l'any. És a dir, tota zona d'abastament queda emmarcada en tres idees: geogràficament definida, proposada pel gestor i amb qualitat homogènia de l'aigua.

A la Figura 7.3 es presenten les Àrees d'Abastament de l'àmbit, on apareix cada municipi amb el color de l'àrea d'abastament a la qual pertany. Addicionalment, la Taula 7.3 proporciona la font o les fonts d'abastament de cadascuna de les àrees d'abastament.

A la Figura 7.3 també apareixen les fonts d'abastament. Per una banda, existeixen fonts d'abastament pròpies marcades amb un punt, com són l'ETAP Sant Joan Despí, ETAP les Estrelles, ETAP el Papiol, ETAP la Llagosta i ETAP Besòs. Addicionalment a aquestes fonts pròpies, també es compta amb l'ETAP Cardedeu, l'ETAP Abrera i l'ITAM del Llobregat, com fonts no pròpies gestionades per l'Ens d'Abastament d'Aigua Ter-Llobregat (*ATL*).

Es considera que de la Taula 7.3 només les àrees d'abastament A i B2 són les que tenen dependència dels actius de la partida producció. Aquestes dues àrees d'abastament

són les úniques que depenen exclusivament de la producció pròpia d'aigua, tal com s'observa, en les altres hi ha fonts d'abastament d'ATL. Com que es disposa de la informació de les àrees d'abastament a nivell de sectors, i cadascun dels trams pertany a un sector, s'ha pogut determinar quantes persones, clients sensibles i grans consumidors, depenen directa o indirectament dels actius de Producció.

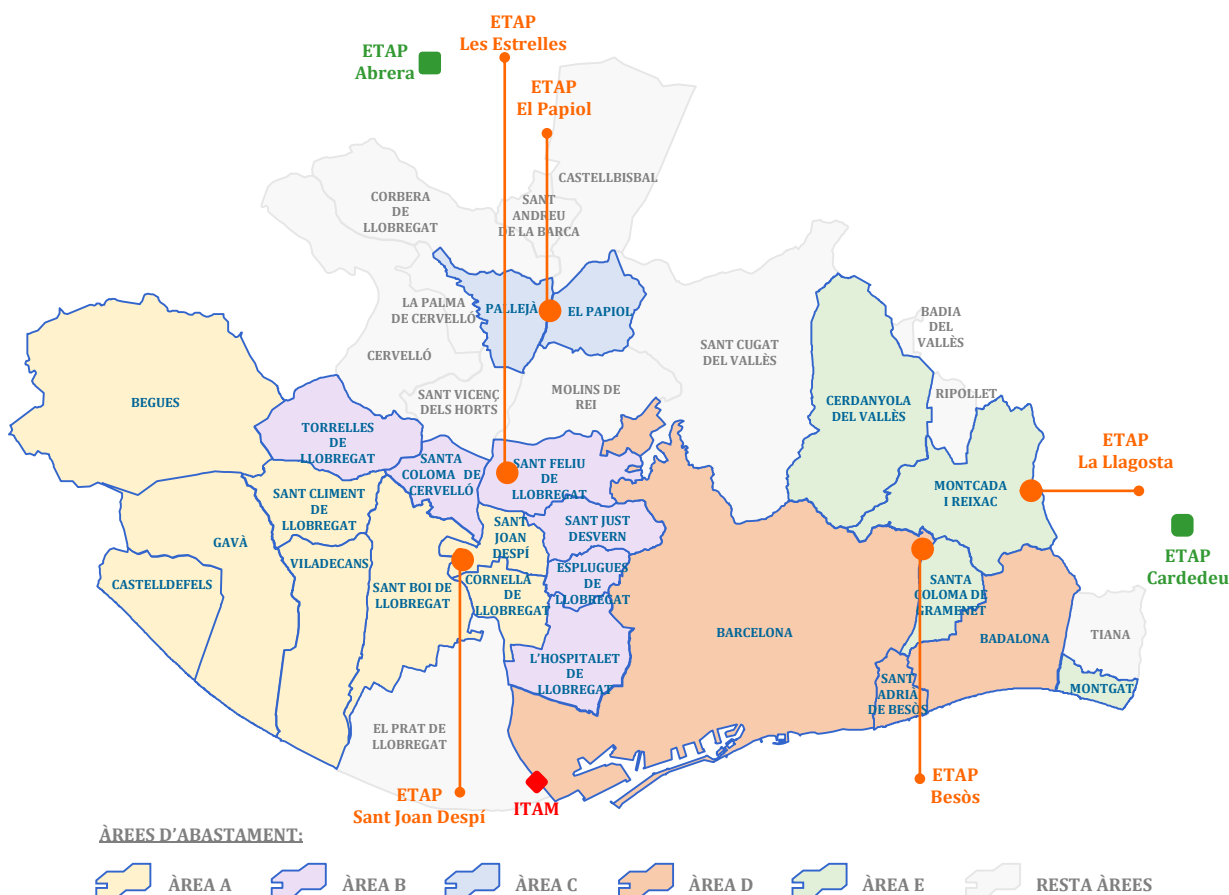


Figura 7.3. Distribució de les Àrees d'Abastament de l'àmbit

Taula 7.3. Relació àrees i font d'abastament

Àrea d'abastament	Font d'abastament
ÀREA_A	ETAP SJD (Llob/Pous)
ÀREA_B1	ETAP SJD (Llob/Pous) / Abrera (Llob) / ITAM
ÀREA_B2	ETAP Estrelles (Pous)
ÀREA_C1	ETAP Abrera (Llob) / ITAM
ÀREA_C2	ETAP Abrera (Llob)/ ITAM / Mina Seix
ÀREA_D	ETAP SJD(Llob/Pou)/ Cardedeu (Ter) /Abrera (Llob) / ITAM
ÀREA_E	ETAP Cardedeu (Ter)/ETAP Besòs

A continuació, a la Taula 7.4 es presenta per cadascuna de les partides Producció, Transport i Distribució el nombre de persones, clients sensible (CS) i grans consumidors

(GC) el subministrament dels quals depèn directa o indirectament d'algun subconjunt d'actius associat a les partides anomenades.

Taula 7.4. N^o persones, CS, GC amb dependència directa o indirecta dels actius de Producció, Transport i Distribució

Partides	N ^o de persones	Clients sensibles (CS)	Grans consumidors (GC)
Producció	421.463	13	3
Transport	2.907.529	86	30
Distribució	2.907.529	86	30
Resta d'Àmbits	-	-	-
Gestió Edificis	-	-	-
Control Operatiu	-	-	-
Laboratori	-	-	-
Sistemes D'informació	-	-	-
Subministrament	-	-	-
Recursos Hídrics Alternatius	-	-	-

Una vegada relacionats els subministraments per tipologies amb les partides cal tenir un únic indicador de cobertura i per això és necessari fer comparables les diferents tipologies introduint el diferent grau de la sensibilitat d'aquestes. Per fer-ho es dissenya un mètode de normalització per habitants equivalents. És a dir, s'estima el nombre de persones a les que equivaldria un gran consumidor o un client sensible. En primer lloc es considera que qualsevol client sensible té almenys el doble de sensibilitat que un gran consumidor i també que un gran consumidor es pot fer equivaler a tants habitants com gran sigui la relació entre el seu consum diari i la dotació d'aigua lliurada de l'habitant mitjà, (*Dot*), 188 litres per habitant i dia. Així, amb un consum mitjà dels grans consumidors ($\overline{Cons GC} = 374,08 \text{ m}^3/\text{dia}$) s'obté que cada gran consumidor equival (GC_{eq}) a 1.989,8 habitants i en conseqüència que cada client sensible equival (CS_{eq}) a 3.979,5 habitants.

Per cada partida es calcula l'índex de cobertura (*ICob*) (Eq. 7.6) com la relació entre els habitants equivalents de cada partida ($Habitants_{eq_i}$) i els habitants equivalents totals ($\sum Habitants_{eq_i}$). Els habitants equivalents de cadascuna de les partides, , correspon a la suma del nombre de persones equivalents de totes les tipologies de consumidors presentades a la Taula 7.4.

$$ICob = \frac{Habitants_{eq_i}}{\sum Habitants_{eq_i}} \quad (\text{Eq. 7.6})$$

$$Habitants_{eq_i} = n^oGC \cdot GC_{eq} + n^oCS \cdot CS_{eq} + n^o\text{persones} \quad (\text{Eq. 7.7})$$

Els resultats de l'índex de cobertura (*ICob*) així com el nombre d'habitants equivalents ($Habitants_{eq_i}$) per cada partida es presenten a la Taula 7.5. On s'observa que la partida de Transport i Distribució tenen el mateix índex de cobertura (*ICob*) ja que el

nombre de persones, els clients sensibles i els grans consumidors que en depenen són els mateixos, en contrast, la partida de Producció té un índex de cobertura menor.

Taula 7.5. N^o d'habitants equivalents ($Habitants_{eq}$) i Índex de cobertura ($ICob$)

Partides	$Habitants_{eq}$	$ICob$
Producció	479.166	6,75%
Transport	3.309.462	46,62%
Distribució	3.309.462	46,62%
Resta d'Àmbits	-	-
Gestió Edificis	-	-
Control Operatiu	-	-
Laboratori	-	-
Sistemes D'informació	-	-
Subministrament	-	-
Recursos Hídrics Alternatius	-	-
	7.098.090	100,00%

Magnitud de l'impacte ($MImp$)

Cal recordar que l'indicador de continuïtat del servei és diferència del de Resiliència perquè se centra en episodis d'avaria que deixen sense servei només aquells subministraments que han quedat atrapats pel tancament necessari per la corresponent reparació de l'avaria. Per aquests escenaris d'avaria el temps de reparació no és crític per la resta de l'abastament com pels punts febles detectats en els estudis de resiliència. És per això que, si bé és cert que alguns dels actius de producció que formen part de les ETAPs podrien arribar a causar problemes de subministrament, aquests problemes, per la seva naturalesa, encaixen amb l'apartat de millora de la resiliència i ja es van estudiar al PDAB26, pel que estarien inclosos a l'indicador de resiliència.

La xarxa és l'únic tipus d'actiu que en cas d'avaria pot requerir d'un tancament que deixi algun subministrament sense servei. Per tant, per avaluar la magnitud d'un impacte de continuïtat del servei cal estudiar aquests tipus d'actius, que són els que estan directament lligats als subministraments. En definitiva, la magnitud de l'impacte s'estima per les tres tipologies de xarxes Producció, Transport i Distribució. Per fer-ho es té en compte la mitjana d'escomeses (o ramals) atrapades en cadascuna de les avaries dels darrers 5 anys i la durada mitjana dels tancaments que s'han hagut d'efectuar a causa de l'avaria.

La magnitud de l'impacte ($MImp$) és el resultat de la suma, per cada tipus de xarxa, del producte del nombre mitjà d'escomeses o ramals (RM) per la durada mitjana (Dur) de cadascuna de les avaries històriques. A l'Eq. 7.8 el subíndex "s" indica cadascuna de les avaries estudiades i el subíndex "i" com a la resta de casos indica cadascuna de les partides.

$$MImp = \frac{\sum (RM_s \cdot Dur_s)_i}{\sum RM_s \cdot Dur_s} \quad (\text{Eq. 7.8})$$

A la Taula 7.6 es presenta el resultat dels paràmetres utilitzats per obtenir la magnitud d'impacte (*MImp*) així com el valor d'aquest per les partides de Producció, Transport i Distribució. Tal com s'observa a la Taula 7.6 no hi ha hagut afectació a cap escomesa derivada d'una avaria als actius de Producció, és per aquest motiu que la partida té $MImp = 0$.

Taula 7.6. Resultat paràmetres magnitud d'impacte (*MImp*)

Partides	$\sum \overline{RM_s} \cdot \overline{Dur_s}$	<i>MImp</i>
Producció	0	0
Transport	164,66	72,55%
Distribució	62,29	27,45%
Resta d'Àmbits	-	-
Gestió Edificis	-	-
Control Operatiu	-	-
Laboratori	-	-
Sistemes D'informació	-	-
Subministrament	-	-
Recursos Hídrics Alternatius	-	-
	226,95	100,00%

Potencial de l'impacte (*PImp*)

El potencial de tenir un impacte en la continuïtat de servei als clients està estretament relacionat amb el nombre d'avaries enregistrades a la xarxa de cadascuna de les partides. Aquestes avaries són comptabilitzades des del 2002 i la proporció d'avaries de cada partida sobre el total d'avaries seran el potencial de l'impacte a esperar (*PImp*), segons l'Eq. 7.9.

$$PImp = \frac{n^{\circ} \text{ avaries}_i}{\sum n^{\circ} \text{ avaries}_i} \quad (\text{Eq. 7.9})$$

A la Taula 7.7 es presenta el nombre d'avaries (n° avaries) i el valor calculat de potencial de l'impacte (*PImp*) per les partides de Producció, Transport i Distribució.

Taula 7.7. N^o d'avaries (n° avaries) i potencial de l'impacte (*PImp*)

Partides	n° avaries	<i>PImp</i>
Producció	59	0,25%
Transport	1.240	5,33%
Distribució	21.967	94,42%
Resta d'Àmbits	-	-
Gestió Edificis	-	-
Control Operatiu	-	-
Laboratori	-	-
Sistemes D'informació	-	-
Subministrament	-	-
Recursos Hídrics Alternatius	-	-
	23.266	100,00%

A la Taula 7.8 es presenten els paràmetres necessaris per calcular el subindicador del Risc de continuïtat del servei per les partides de Producció, Transport i Distribució.

Taula 7.8. Resultat paràmetres Risc de continuïtat del servei

Partides	ICob	MImp	PImp	ICS	Risc _{con}
Producció	6,75%	0,00%	0,25%	0,00%	0,00%
Transport	46,62%	72,55%	5,33%	1,80%	12,98%
Distribució	46,62%	27,45%	94,42%	12,08%	87,02%
Resta d'Àmbits	-	-	-	-	-
Gestió Edificis	-	-	-	-	-
Control Operatiu	-	-	-	-	-
Laboratori	-	-	-	-	-
Sistemes D'informació	-	-	-	-	-
Subministrament	-	-	-	-	-
Recursos Hídrics	-	-	-	-	-
Alternatius	-	-	-	-	-
	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Com s'observa a la Taula 7.8 el potencial de millora a la fiabilitat del servei per mitjà de la inversió és màxima per la partida de Distribució. Així aquest indicador proporcionarà un major volum d'inversió a aquesta partida.

7.2.2.2 [Efectes sobre la percepció del servei](#)

Aquest indicador és un dels dos indicadors mesurats de forma qualitativa. Per fer-ho s'ha desenvolupat una metodologia específica comuna per als dos indicadors (*indicador d'efectes sobre la percepció del servei* i *l'indicador sobre l'eficiència de la prestació*). Aquesta metodologia es basa en la lògica emprada per les ISO de càlcul del risc, més concretament es basa en el mètode BIA de la IEC 31010:2009 (AENOR, 2011) i té per objectiu garantir la màxima objectivitat possible en l'esforç d'estimació d'un risc que utilitza algunes valoracions subjectives.

La percepció del servei depèn de molts factors, no només de la qualitat objectiva o de la percepció de qualitat del producte servit (en aquest cas l'aigua), sinó també altres factors com: la qualitat sobre l'atenció rebuda, el preu del servei, les accions socials realitzades, entre molts altres aspectes. Habitualment, la percepció d'un servei es mesura a través d'enquestes que responen els usuaris o persones que reben aquest servei o es veuen afectades pel mateix.

Així doncs, per identificar els aspectes que afecten la percepció del servei s'analitzen les enquestes de satisfacció que el Departament de Clients de l'empresa realitza periòdicament als clients amb aquesta finalitat. Es realitzen dues enquestes que fan referència a temes de percepció del servei, trimestralment l'*Omnibus* i anualment *L'estudi de satisfacció d'usuaris domèstics* (en endavant, enquesta de Satisfacció).

A la Figura 7.4 es mostra l'evolució de la puntuació de la satisfacció global obtinguda per l'enquesta de Satisfacció. S'observa que aquesta puntuació és bastant estable en el temps i resulta un valor entre 7 i 8 punts. Aquest nivell de satisfacció és compartit entre altres regions d'Espanya, per exemple l'empresa EMAESA⁷ té un índex de satisfacció 7,48 i l'empresa pública que gestiona el cicle integral de l'aigua a Madrid (Canal de Isabel II) té un índex de satisfacció del 8,23.

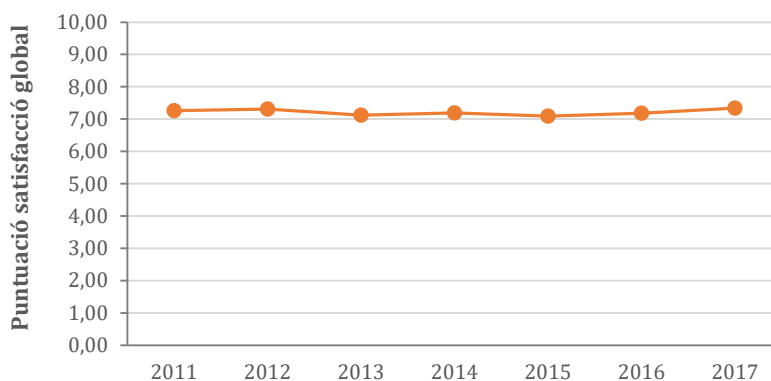


Figura 7.4. Puntuació Satisfacció Global (font: Enquesta Estudi de Satisfacció d'usuaris domèstics d'Aigües de Barcelona, Resultats 2011-2017)

La Figura 7.5 mostra el mapa d'importàncies sobre la percepció del servei resultat de l'enquesta de Satisfacció realitzada per l'empresa Aigües de Barcelona. Els resultats d'aquesta enquesta s'agrupen en 4 quadrants, els límits dels quals es troben lleugerament per sobre de la meitat dels dos paràmetres indexadors: la satisfacció i la importància. Així doncs s'identifiquen quatre quadrants amb les característiques següents: Satisfacció baixa i importància baixa; Satisfacció elevada i importància baixa; Satisfacció baixa i importància elevada; Satisfacció elevada i importància elevada.

La major part dels resultats estan situats als quadrants amb importància elevada i tant satisfacció elevada com baixa. Per altra banda, també hi ha concentració de resultats al quadrant amb importància baixa però satisfacció elevada.

Per poder utilitzar els resultats de l'enquesta per calcular l'indicador, caldria que anualment l'enquesta es realitzés al mateix nombre de persones i que aquestes persones idealment fossin les mateixes, fet que resulta molt difícil.

Com que escollir sempre una mostra de població similar no és possible, s'utilitzen els termes i els aspectes identificats a les enquestes però es defineix una metodologia sistemàtica. Aquesta ha de permetre avaluar anualment l'indicador amb independència dels resultats sobre els usuaris enquestats, fet que podria generar una variabilitat injustificable en alguns casos.

⁷ Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla S.A.

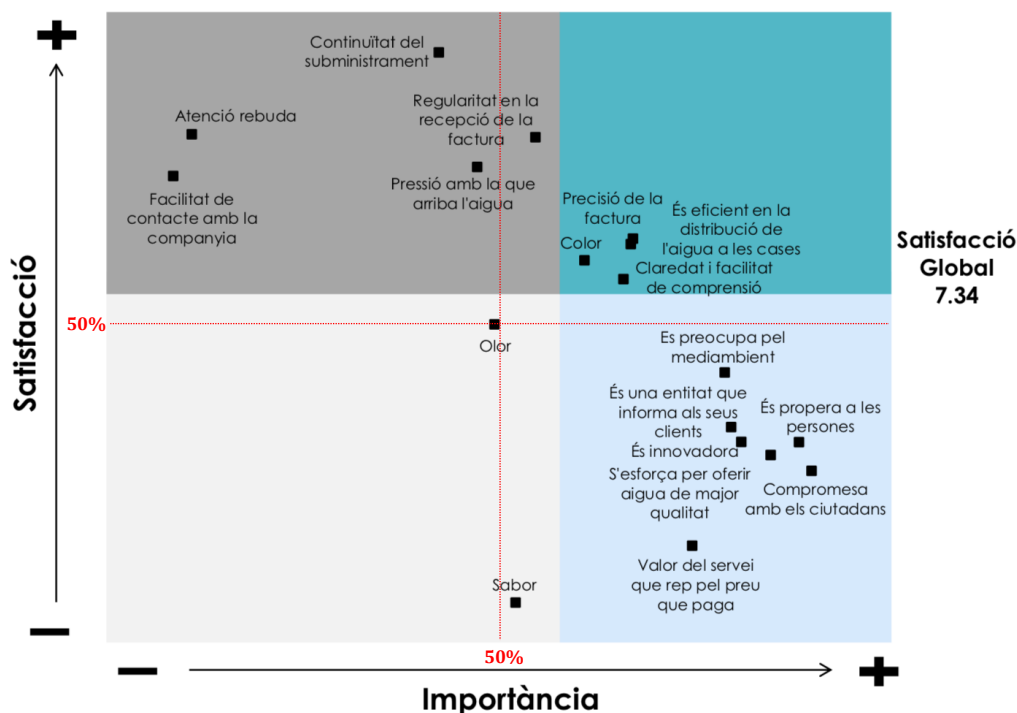


Figura 7.5. Mapa d'importàncies segons resultats clients (font: Enquesta Estudi de Satisfacció d'usuaris domèstics d'Aigües de Barcelona, Resultats Juliol 2017)

L'indicador d'efectes sobre la percepció del servei té per objectiu definir el risc d'afectació a la percepció del servei que podria arribar a tenir la no inversió en els actius de cada partida d'inversió. La metodologia per determinar el risc s'ha presentat a l'apartat 6.5.2.2 (*Mètode de càlcul d'indicadors qualitatius*).

Com es detalla a continuació, per al càlcul del risc percepció ($Risc_{Percepció}$) de cada partida cal abans calcular el risc ($RiscA_{Percepció}$) que s'obté per cada agrupació d'actius vinculada a cada partida.

Pas a. Identificació de la informació de base

La Taula 7.9 presenta els processos i sub processos identificats com a necessaris per poder prestar el servei d'abastament i que estan implicats en la percepció del servei.

S'utilitzen les agrupacions d'actius de l'abastament que intervenen en els processos/sub processos que poden incidir negativament sobre l'indicador de percepció i la relació d'aquests actius amb les partides d'inversió (Taula 7.10). També s'utilitza, l'estat dels actius i l'estat de les agrupacions obtingut ponderant l'estat dels actius per la magnitud representativa mostrada a la Taula 7.10. El detall del càlcul de l'estat dels actius es presenta a l'Annex C.

Taula 7.9. Processos i sub processos implicats en l'indicador de percepció

	Procés	Subprocés *	Indicador Percepció
Producció	Producció	Millora qualitat organolèptica	■
Transport	Transport	Regulació i reserva aigua potable	
Transport	Transport	Transport aigua potable (inclou manteniment i explotació in situ)	■
Distribució	Distribució	Distribució i subministrament aigua potable (inclou manteniment i explotació in situ)	■
Laboratori	Laboratori xarxa	Control i assegurament de la qualitat de l'aigua potable	■
Control Operatiu	Suport operatiu	Atenció telefònica per avaries	■
Sistemes d'informació	Sistemes	Manteniment i millora dels sistemes d'informació per a persones	■
Gestió Edificis	Gestió Edificis	Gestió d'edificis administratius	■
Sistemes d'informació	PRL	Gestió de la seguretat i la salut laboral	■
Sistemes d'informació	Compres	Gestió compres i aprovisionament	■
Sistemes d'informació	Atenció al client	Atenció comercial presencial	■
Sistemes d'informació	Atenció al client	Atenció comercial no presencial	■
Sistemes d'informació	Atenció al client	Lectura, facturació i cobrament	■
Recursos Hídrics Alternatius	Recursos Hídrics Alternatius	Abastament de recurs no potable	■

* només s'han considerat aquells sub processos susceptibles a rebre inversió

Pas b. [Impacte del subprocés sobre l'indicador](#)

Es determina l'impacte del procés/subprocés sobre l'indicador (*Imp P*) fent el producte del nivell de severitat i l'abast d'afecció en cas de col·lapse del procés/Subprocés, segons l'Eq. 6.1 i la Taula 6.13.

El nivell de severitat depèn de la resposta a la pregunta: “en cas de fallar el procés, quina seria la severitat de les conseqüències en la percepció del servei o en l'eficiència de la prestació?”.

Per deduir el nivell d'abast de l'afecció es fa la següent pregunta: “en el cas de fallada del procés, quants clients veurien afectada la seva percepció del servei o l'eficiència de la prestació?”.

Pas b. [Impacte del subprocés sobre l'indicador](#)

Es determina l'impacte del procés/subprocés sobre l'indicador (*Imp P*), fent el producte del nivell de severitat i l'abast d'afecció en cas de col·lapse del procés/Subprocés, segons l'Eq. 6.1 i la Taula 6.13.

El nivell de severitat depèn de la resposta a la pregunta: “en cas de fallar el procés, quina seria la severitat de les conseqüències en la percepció del servei o en l’eficiència de la prestació?”.

Per deduir el nivell d’abast de l’afecció es fa la següent pregunta: “en el cas de fallada del procés, quants clients veurien afectada la seva percepció del servei o l’eficiència de la prestació?”.

Taula 7.10. Agrupadors d’actius i magnituds representatives utilitzades per ponderar l’estat global

Agrupadors d’actius	Partida	Magnitud representativa
Captació ETAP Pous Llobregat Pous Besòs ETAP Sant Joan Despí* ETAP Besòs* Laboratori Sant Joan Despí Central Cornellà*	Producció	Volum anual produït i cabal nominal de gestió
Xarxa transport Centrals impulsó Dipòsits	Transport	Volum canonada Volum impulsat Volum emmagatzemat
Xarxa distribució	Distribució	Volum canonada
Edificis Oficines Edificis Comercials	Gestió Edificis	Nombre de treballadors
Sistemes d’informació generales		-
Sistemes d’informació tècnics	Sistemes d’Informació	-
Sistemes d’informació comercials		-
Centre de Control Operatiu	DSO	-
Recursos hídrics alternatius	Recursos hídrics alternatius	-
Laboratori Collblanc	Laboratori	-
Subministrament	Subministrament	-

* Les ETAPs i la Central Cornella inclouen la xarxa de producció corresponent

Pas c. [Dependència actius/subprocés i grau de vinculació de les agrupacions d’actius als processos](#)

El grau de vinculació, es determina fent la pregunta: “en cas de fallada, quants clients veurien afectada la seva percepció?” i utilitzant la Taula 6.14 per obtenir el grau de vinculació (GVAP).

Pas d. [Impacte dels agrupadors d’actius sobre l’indicador](#)

Coneguts l’impacte a nivell de cada subprocés i la relació entre els agrupadors d’actius i els subprocessos, s’obté l’impacte associat a l’agrupador d’actius simplement fent el producte entre les dues magnituds, sobre el procés/subprocés (*Imp A*) segons l’Eq. 6.2.

Pas e. Càlcul del risc' preliminar

El risc preliminar és el producte de les conseqüències d'un fet per la probabilitat que aquest fet es produeixi. Les conseqüències es quantifiquen com l'impacte relatiu a l'agrupador d'actius sobre l'indicador i l'estat d'aquest agrupador. La determinació d'aquest estat es detalla a l'Annex C.

És a nivell de cada agrupador d'actius (Taula 7.10) que s'estima un valor de "contribució al risc" de l'indicador de percepció mitjançant el producte de l'impacte potencial i l'estat de cada agrupador. Per determinar el risc' preliminar ($RisCA'_{percepció}$), se sumen les contribucions dels diferents processos/subprocessos sobre els que impacta aquell agrupadors d'actius, com es mostra a l'Eq. 7.10.

$$RisCA'_{percepció} = \sum Imp A_j \cdot EA_j \quad (\text{Eq. 7.10})$$

El risc sobre la percepció ($RisCA_{percepció}$) per cada agrupador d'actius es calcula segons l'Eq. 7.11, w_i és el sumatori dels graus de vinculació d'aquest agrupador d'actius als processos que impacten a l'indicador i w_{ij} és el sumatori dels graus de vinculació als processos que tenen impacte a la percepció (GVAP) de totes les agrupacions d'actius d'una mateixa partida. El $RisCA'_{percepció}$ és el risc preliminar de cada agrupació d'actius.

$$RisCA_{percepció} = \frac{\sum_i w_i}{\sum_{ij} w_{ij}} \cdot RisCA'_{percepció} \quad (\text{Eq. 7.11})$$

El risc sobre la percepció ($Risc_{percepció}$) per cada partida s'obté com el sumatori dels risc de cada agrupador d'actius que formen cada partida, segons l'Eq. 7.12. Finalment, s'obté el ($\%Risc_{percepció}$) com la relació entre el $Risc_{percepció}$ de cada partida i el sumatori de risc sobre la percepció total.

$$Risc_{percepció} = \sum RisCA_{percepció} \quad (\text{Eq. 7.12})$$

A la Taula 7.11 es presenten els resultats dels paràmetres utilitzats per al càlcul de l'indicador de risc sobre la percepció ($\%Risc_{percepció}$).

Les partides de Transport, Distribució, Gestió Edificis i Sistemes d'informació són els que tenen un major efecte sobre l'indicador de risc a la percepció, tal com s'observa a la Taula 7.11. Més concretament, els agrupadors d'actius xarxa (transport i distribució) i els sistemes d'informació tant generals, comercials com tècnics juguen un paper important en la percepció del servei.

Taula 7.11. Resultat paràmetres Indicador Risc Percepció

Partida	Agrupadors d'actius	EA	RiscA'percepció	$\frac{\sum_i w_i}{\sum_{ij} w_{ij}}$	RiscApercepció	Riscpercepció (per partides)	%Riscpercepció
Producció	Captació ETAP	1,49	1,87	25%	0,47	1,69	2,38%
	Pous Llobregat	1,49	0,00	0%	0,00		
	Pous Besòs	1,49	0,00	0%	0,00		
	ETAP Sant Joan Despí	1,38	1,72	25%	0,43		
	ETAP Besòs	1,55	0,77	12,5%	0,10		
	Laboratori Sant Joan Despí	1,10	1,38	25%	0,34		
	Central Cornellà	1,25	2,82	12,5%	0,35		
Transport	Xarxa transport	1,51	18,13	40%	7,25	12,02	16,96%
	Centrals impulsió	0,88	4,59	20%	0,92		
	Dipòsits	0,92	9,63	40%	3,85		
Distribució	Xarxa distribució	0,89	9,82	100%	9,82	9,82	13,85%
Gestió edificis	Edificis Oficines	0,82	7,42	75%	5,56	6,80	9,59%
	Edificis Comercials	0,82	4,95	25%	1,24		
Sistemes d'informació (SSII)	SSII generals	1,32	29,10	36%	10,58	33,66	47,47%
	SSII tècnics	1,90	41,87	36%	15,23		
	SSII comercials	1,34	28,78	27%	7,85		
Centre de Control Operatiu	Centre de Control Operatiu	0,70	2,10	100%	2,10	2,10	2,96%
Recursos hídrics alternatius	Recursos hídrics alternatius	1,00	1,00	100%	1,00	1,00	1,41%
Laboratori	Laboratori Collblanc	1,61	3,62	100%	3,62	3,62	5,11%
Subministrament	Subministrament	0,04	0,19	100%	0,19	0,19	0,26%

7.2.2.3 Efectes sobre l'eficiència de la prestació

L'eficiència de la prestació recull totes aquelles mesures que es realitzen més enllà de les exigències de la normativa vigent, si no que són accions que busquen l'excel·lència i l'optimització de les tasques a fi de prestar un servei el més eficient possible. Alguns exemples podrien ser: la planificació de manteniments (manteniments preventius) per evitar tenir una avaria sobtada (manteniments correctius), la lectura i la factures automàtica dels comptadors (Telelectura) o el control remot dels equips.

Igual que l'indicador anterior (efectes sobre la percepció del servei), l'indicador d'efectes sobre l'eficiència de la prestació segueix la lògica de càlcul del mètode BIA de la IEC 31010:2009 (AENOR, 2011) per a l'apreciació del risc. L'indicador sobre l'eficiència de la prestació s'ha definit amb l'objectiu de poder definir el risc d'afectació a l'eficiència de la prestació que podria tenir la no inversió en els actius involucrats amb l'eficiència de cadascuna de les partides d'inversió.

Com es detalla a continuació, per al càlcul del risc sobre l'eficiència ($Risc_{Eficiència}$) de cada partida cal abans calcular el risc ($RiscA_{Eficiència}$) que s'obté per cada agrupació d'actius vinculada a cada partida.

Pas a. Identificació de la informació de base

La Taula 7.12 presenta els processos i sub processos identificats com a necessaris per poder prestar el servei d'abastament i que estan implicats en l'eficiència de la prestació.

Taula 7.12. Processos i sub processos implicats en l'indicador d'eficiència

	Procés	Subprocés *	Indicador Eficiència
Producció	Producció	Captació aigua crua	■
Producció	Producció	Potabilització aigua crua	■
Producció	Producció	Millora qualitat organolèptica	■
Transport	Transport	Regulació i reserva aigua potable	■
Distribució	Distribució	Distribució i subministrament aigua potable (inclou manteniment i explotació in situ)	■
Control Operatiu	Suport operatiu	Coordinació remota de les operacions a la xarxa de transport	■
Control Operatiu	Suport operatiu	Coordinació remota de les operacions a la xarxa de distribució	■
Producció	Laboratori SDJ	Control i assegurament de qualitat de l'aigua procés	■
Laboratori	Laboratori xarxa	Control i assegurament de la qualitat de l'aigua potable	■
Producció	Producció	Control remot i gestió de l'eficiència del processos de producció	■
Control Operatiu	Suport operatiu	Control remot i gestió de l'eficiència del processos de transport i distribució	■
Producció	Taller	Execució del manteniment equipament electromecànic	■
Control Operatiu	Suport operatiu	Manteniment i millora dels sistemes d'informació per a infraestructures	■
Sistemes d'informació	Sistemes	Manteniment i millora dels sistemes d'informació per a persones	■
Sistemes d'informació	Sistemes	Planificació enginyeria i implantació de sistemes	■
Sistemes d'informació	Planificació i enginyeria	Planificació de manteniment	■
Sistemes d'informació	Planificació i enginyeria	Planificació enginyeria i implantació d'infraestructures de xarxa	■
Sistemes d'informació	Planificació i enginyeria	Planificació enginyeria i implantació d'infraestructures de producció	■
Gestió Edificis	Gestió Edificis	Gestió d'edificis industrials	■
Gestió Edificis	Gestió Edificis	Control remot de l'eficiència dels edificis	■
Sistemes d'informació	RRHH	Gestió de recursos humans	■
Sistemes d'informació	Atenció al client	Atenció comercial no presencial	■
Sistemes d'informació	Atenció al client	Lectura, facturació i cobrament	■

* només s'han considerat aquells sub processos susceptibles a rebre inversió

S'utilitzen les agrupacions d'actius de l'abastament que intervenen en els processos/sub processos que poden incidir negativament sobre l'indicador d'eficiència i la relació d'aquests actius amb les partides d'inversió (Taula 7.10). També s'utilitza l'estat dels actius i de les agrupacions s'explica amb més detall a l'Annex C, ponderades segons les magnituds d'impacte presentades a la Taula 7.10.

Pas b. Impacte del subprocés sobre l'indicador

Es determina l'impacte del procés/subprocés sobre l'indicador ($Imp P$) fent el producte del nivell de severitat i l'abast d'afecció en cas de col·lapse del procés/Subprocés, segons l'Eq. 6.1 i la Taula 6.13.

El nivell de severitat depèn de la resposta a la pregunta: “en cas de fallar el procés, quina seria la severitat de les conseqüències en la percepció del servei o en l'eficiència de la prestació?”.

Per deduir el nivell d'abast de l'afecció es fa la següent pregunta: “en el cas de fallada del procés, quants clients veurien afectada la seva percepció del servei o l'eficiència de la prestació?”.

Pas c. Dependència actius/subprocés i grau de vinculació de les agrupacions d'actius als processos

Es determina el grau de vinculació, responent a la pregunta: *en cas de fallada, quants clients veurien afectada l'eficiència de la prestació?* i en funció d'aquesta resposta la Taula 6.14 determina el grau de vinculació (GVAP).

Pas d. Impacte dels agrupadors d'actius sobre l'indicador

Coneguts l'impacte a nivell de cada subprocés i la relació entre els agrupadors d'actius i els subprocessos, s'obté l'impacte associat a l'agrupador d'actius simplement fent el producte entre les dues magnituds, sobre el procés/subprocés ($Imp A$) segons l'Eq. 6.2.

Pas e. Càlcul del risc' preliminar

El risc preliminar és el producte de les conseqüències d'un fet per la probabilitat de que aquest fet es produeixi. Les conseqüències es quantifiquen com l'impacte relatiu a l'agrupador d'actius sobre l'indicador i l'estat d'aquest agrupador. La determinació d'aquest estat es detalla a l'Annex C.

És a nivell de cada agrupador d'actius (Taula 7.10) que s'estima un valor de “contribució al risc” de l'indicador d'eficiència mitjançant el producte de l'impacte potencial i l'estat de cada agrupador. Per determinar el risc' preliminar ($Risca'_{Eficiència}$), se sumen les contribucions dels diferents processos/subprocessos sobre els que impacta aquell agrupadors d'actius, com es mostra a l'Eq. 7.13.

$$Risca'_{percepció} = \sum Imp A_j \cdot EA_j \quad (\text{Eq. 7.13})$$

El risc sobre l'eficiència ($Risca_{Eficiència}$) per cada agrupador d'actius es calcula segons l'Eq. 7.14, w_i és el sumatori dels graus de vinculació d'aquest agrupador d'actius als processos que impacten a l'indicador i w_{ij} és el sumatori dels graus de vinculació als

processos que tenen impacte a l'eficiència (GVAP) de totes les agrupacions d'actius d'una mateixa partida. El $Risca'_{Eficiència}$ és el risc preliminar de cada agrupació d'actius.

$$Risca_{Eficiència} = \frac{\sum_i w_i}{\sum_{ij} w_{ij}} \cdot Risca'_{Eficiència} \quad (\text{Eq. 7.14})$$

El risc sobre l'eficiència ($Risc_{Eficiència}$) per cada partida s'obté com el sumatori dels risc de cada agrupador d'actius que formen cada partida, segons l'Eq. 7.15. Finalment, s'obté el ($\%Risc_{Eficiència}$) com la relació entre el $Risc_{Eficiència}$ de cada partida i el sumatori de risc sobre l'eficiència total.

$$Risc_{Eficiència} = \sum Risca_{Eficiència} \quad (\text{Eq. 7.15})$$

A la Taula 7.13 es presenten els resultats dels paràmetres utilitzats per al càlcul de l'indicador de risc sobre l'eficiència ($\%Risc_{Eficiència}$).

Taula 7.13. Resultat paràmetres Indicador Risc Eficiència

Partida	Agrupadors d'actius	EA	Risca'Eficiència	$\frac{\sum_i w_i}{\sum_{ij} w_{ij}}$	RiscaEficiència	RiscEficiència (per partides)	%RiscEficiència
Producció	Captació ETAP	1,49	3,36	10%	0,33	10,86	5,69%
	Pous Llobregat	1,49	2,24	6%	0,14		
	Pous Besòs	1,49	1,12	3%	0,04		
	ETAP Sant Joan Despí	1,38	17,58	42%	7,37		
	ETAP Besòs	1,55	3,48	6%	0,22		
	Laboratori Sant Joan Despí	1,10	9,90	26%	2,55		
	Central Cornellà	1,25	3,13	6%	0,20		
Transport	Xarxa transport	1,51	27,57	34%	9,48	20,24	10,60%
	Centrals impulsó	0,88	11,38	25%	2,84		
	Dipòsits	0,92	19,49	41%	7,92		
Distribució	Xarxa distribució	0,89	18,75	100%	18,75	18,75	9,82%
Gestió edificis	Edificis	0,82	22,87	100%	22,87	22,87	11,98%
	Comercials	0,82	0,00	0%	0,00		
Sistemes d'informació (SSII)	SSII generals	1,32	76,71	42%	32,11	83,22	43,59%
	SSII tècnics	1,90	110,39	42%	46,21		
	SSII comercials	1,34	30,12	16%	4,90		
Control Operatiu	Control Operatiu	0,70	23,98	100%	23,98	23,98	12,56%
Recursos hídrics alternatius	Recursos hídrics alternatius	1,00	0,01	100%	0,01	0,01	0,00%
Laboratori	Laboratori Collblanc	1,61	10,86	100%	10,86	10,86	5,69%
Subministrament	Subministrament	0,04	0,15	100%	0,15	0,15	0,08%

Les partides de Transport, Distribució, Gestió Edificis, Sistemes d'informació i Control Operatiu són els que tenen un major efecte sobre l'indicador de risc sobre

l'eficiència, tal com s'observa a la Taula 7.13. Més concretament, els agrupadors d'actius edificis comercials i els sistemes d'informació generals i tècnics juguen un paper important en l'eficiència del servei.

7.2.3 Afectació a la Ciutat

7.2.3.1 Efectes sobre la mobilitat

L'activitat d'Aigües de Barcelona està completament integrada en les ciutats que abasta. Aquesta interrelació activitat-ciutat és especialment important per l'actiu xarxa doncs aquest ressegueix la pràctica totalitat dels carrers de les ciutats. Per tant, la partida d'inversió que està vinculada a un major conjunt de trams de xarxa per carrers d'alta mobilitat i que, al mateix temps, aquests trams tenen un abast d'afectació en cas d'avaria més gran, serà la partida amb major valor de l'indicador d'efectes sobre la mobilitat.

Així doncs, per al càlcul de l'indicador d'efectes sobre la mobilitat es segueixen els passos descrits a la Figura 7.7, on els primers 4 passos (pas 1 – pas 4) són iguals als descrits anteriorment a l'apartat 4.2.3.1. Aquests primers passos permeten obtenir el dany associat a la mobilitat ($Dany_{MOB}$) presentat a l'Eq. 4.10, per cadascun dels trams de l'inventari tant de la xarxa de producció, de transport com de distribució. La segona part del càlcul, fins a obtenir el % de l'indicador de mobilitat de cadascuna de les partides (pas 5 – pas 7), es descriu a continuació.

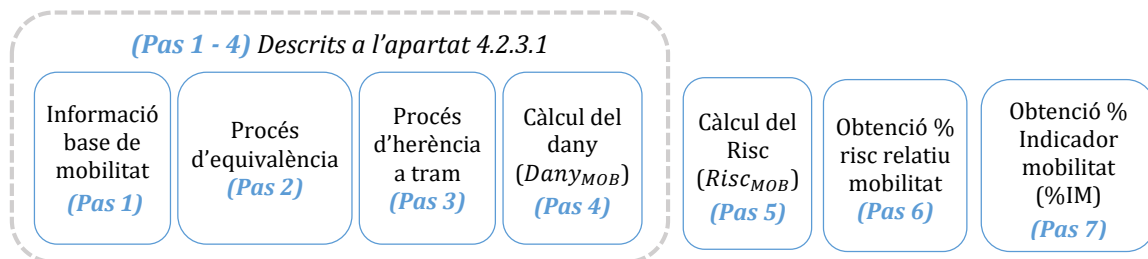


Figura 7.6. Diagrama de càlcul de l'indicador efectes sobre la mobilitat

Pas 5. Càlcul del Risc ($RISC_{MOB}$)

El risc d'afectació per avaria a la mobilitat ($RISC_{MOB}$), es determinaria amb el producte de la probabilitat d'avaria de cada tram pel dany que ocasionaria a la mobilitat. Donat que l'estudi només disposava de la probabilitat d'avaria per una part de la xarxa (partida de Distribució) alternativament s'usa la magnitud "Estat", tal com es mostra a l'Eq. 7.16. A l'Annex C, es detalla com es determina la variable d'estat de l'actiu xarxa (EA_i) finalment utilitzat.

$$RISC_{MOB_i} = EA_{xarxa} \cdot Dany_{MOB} \quad (\text{Eq. 7.16})$$

Pas 6. Obtenció % risc relatiu mobilitat

La funció de valor de la Figura 7.7 utilitzada per obtenir el risc potencial d'afectació per avaria a la mobilitat (*RPAAM*) és una funció creixent ja que com més gran sigui l'impacte que es genera a la mobilitat en cas d'avaría més puntuació ha d'obtenir el tram. Aquesta funció distribueix la població de l'inventari de forma que el percentatge de canonades amb riscos alts encaixen amb la sensibilitat manifestada per Ajuntaments i els responsables de l'operació de la xarxa (Direccions Territorials).

$$RPAAM = 1,00 * \left[1 - e^{-1,0 * \left(\frac{|RISC_{MOB_i}|}{0,2} \right)^{0,5}} \right] \quad (\text{Eq. 7.17})$$

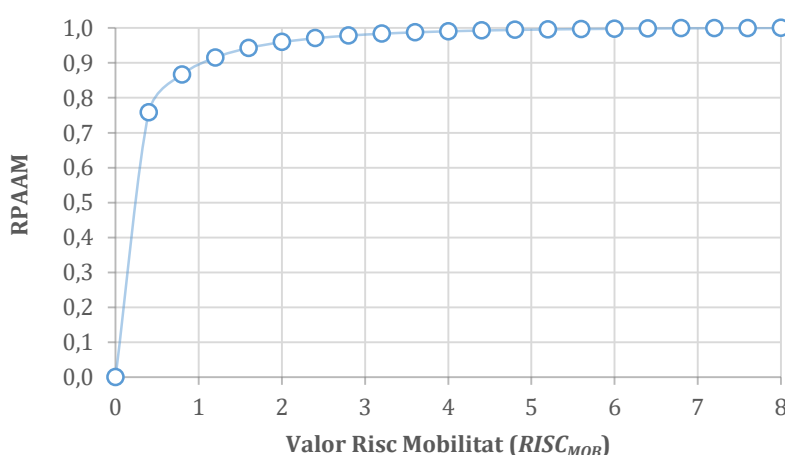


Figura 7.7. Funció de valor Risc potencial per avaria a la mobilitat (*RPAAM*)

Un cop obtingut el risc potencial d'afectació per avaria a la mobilitat (*RPAAM*) de cada tipus de xarxa (producció, transport i distribució), s'obté el %risc relatiu mobilitat (Eq. 7.18). Aquest percentatge és igual a la relació del *RPAAM* de cada xarxa sobre el *RPAAM* de tota la xarxa d'abastament. El denominador resulta de la suma dels riscos dels tres tipus de xarxa considerats (producció, transport i distribució).

$$\%Risc\ relatiu\ mobilitat_i = \frac{RPAAM_i}{\sum_i^3 RPAAM_i} \quad (\text{Eq. 7.18})$$

Pas 7. Obtenció del % Indicador mobilitat (%IM)

Les avaries a la xarxa de transport o producció tenen un impacte sobre la mobilitat més acusat, ja que les canonades que realitzen aquestes funcions són canonades de grans diàmetres normalment tenen temps de tancament més alts per la menor densitat de vàlvules de seccionament. Aquestes dues característiques, que es tradueixen amb un major volum de fuga i per tant en un major potencial d'interrupció de la mobilitat de la ciutat, es

posen de manifest també en uns majors costos d'avaria. És per aquest motiu que per obtenir l'indicador de mobilitat associat a cada partida es pondera el %risc relatiu mobilitat obtingut utilitzant els costos mitjans de reparació de les avaries corresponents a la xarxa de cada partida (Eq. 7.19). Els %costos mitjans avaria resulten de fer la mitjana històrica del cost que tenen les avaries de les xarxes corresponents a cada partida.

$$IM_i = \%Risc\ relatiu\ mobilitat_i \cdot \% Costos\ mitjans\ avaria_i \quad (\text{Eq. 7.19})$$

Finalment, el percentatge de l'indicador de mobilitat (%IM) de risc relatiu a cada partida és la relació de risc de cada tipus de xarxa sobre el risc total de la xarxa d'abastament (Eq. 7.20).

$$\%IM_i = IM_i / \sum_i^3 IM_i \quad (\text{Eq. 7.20})$$

La Taula 7.14 presenta els resultats dels paràmetres de l'indicador d'efectes sobre la mobilitat per les partides involucrades en la reducció del risc d'aquest indicador (Producció, Transport i Distribució). Tal com s'observa, la partida que mitjançant inversió pot reduir en major mesura el risc sobre la mobilitat és la partida de Distribució, concretament a través de la inversió en renovació de la xarxa. Oposadament, la partida que menys impacte tindria és la de Producció, al tenir la major part de la xarxa dins de les instal·lacions pròpies de l'empresa o en àrees rurals.

Taula 7.14. Resultat paràmetres Indicador Efectes sobre la Mobilitat

Partides	RPAAM	% Risc relatiu mobilitat	% Costos mitjans avaria	Indicador Mobilitat (IM)	% Indicador Mobilitat (%IM)
Producció	64,52	0,11%	44,22%	0,00	0,51%
Transport	2.556,70	4,31%	48,14%	0,02	22,04%
Distribució	56.642,29	95,58%	7,64%	0,07	77,45%
Resta d'Àmbits	-	-	-	-	-
Gestió Edificis	-	-	-	-	-
Control Operatiu	-	-	-	-	-
Laboratori	-	-	-	-	-
Sistemes d'informació	-	-	-	-	-
Subministrament	-	-	-	-	-
Recursos Hídrics Alternatius	-	-	-	-	-
	59.263,52	100,00%	100,00%	0,09	100,00%

7.2.4 Afectació a les Persones Treballadores

7.2.4.1 Efectes sobre la seguretat i salut laboral

La seguretat i salut laboral té per objectiu proporcionar totes les eines i mesures necessàries per prevenir els riscos laborals derivats d'un treball. Tenir les instal·lacions en bon estat i proporcionar els equips de protecció individuals a cadascun dels treballadors

així com la formació necessària segons les tasques que realitza cada treballador redueix el nombre d'accidents i la gravetat d'aquests.

L'objectiu de l'indicador d'efectes sobre la seguretat i salut laboral és determinar el potencial d'actuació mitjançant inversió sobre les instal·lacions d'abastament per poder millorar la Seguretat i Salut Laboral d'aquestes.

Per poder identificar quines són les possibles actuacions a realitzar, s'analitzen les avaluacions de riscos (AVR) de cadascuna de les instal·lacions d'abastament. Així doncs els actius implicats on les persones treballadores poden trobar-se en algun risc són les instal·lacions de producció i de transport, els edificis i el laboratori. Sobre les instal·lacions de distribució només es fan actuacions correctives. No té sentit doncs fer una inversió per millorar la seguretat i salut del treballador quan cap treballador té la possibilitat d'accedir als trams de canonada de distribució.

Aquestes AVR són realitzades pels tècnics de prevenció de riscos laborals (PRL) i segueixen les següents fases: *identificació de riscos laborals, avaluació dels riscos identificats i revisió de les avaluacions* (realitzat segons la Instrucció tècnica d'Aigües de Barcelona: Identificació i avaluació de Riscos).

- **Identificació de riscos laborals**

És necessari identificar els riscos laborals analitzant totes les condicions de treball que puguin presentar riscos per la seguretat i la salut del treballador. Per fer aquesta feina, els tècnics que PRL realitzen un seguit d'inspeccions a les diferents condicions de treball a fi de detectar totes aquelles situacions o elements que poden comportar un risc. Concretament analitzen:

- Les característiques dels locals, instal·lacions, equips i eines de treball, productes químics utilitzats, i demés útils emprats en el desenvolupament del treball.
- La naturalesa dels agents físics, químics i biològics presents en l'ambient de treball i les seves intensitats, concentracions o nivells de presència.
- Els procediments per la utilització dels agents anteriorment citats que influeixen en la generació dels riscos, així com aquelles altres característiques del treball, incloses les relatives a la seva organització i ordenació, que influeixin en la magnitud dels riscos a què estigui exposat el treballador.

- **Avaluació dels riscos identificats**

La metodologia d'avaluació seguida és el Mètode W. Fine, el qual permet fer una estimació del grau de perillositat considerant per a cadascun dels riscos identificats: *el temps d'exposició, la probabilitat i les conseqüències* (segons la Taula 7.15).

El temps d'exposició (E), valora el temps o ocasions que la persona està exposada a la situació de risc identificada.

La probabilitat (P) de patir el dany, valora la facilitat en què pot materialitzar-se el risc.

Les conseqüències (C) que poden donar lloc. Aquest paràmetre valora els danys de la materialització del risc.

La combinació dels tres paràmetres anteriors, exposició, probabilitat i conseqüències, genera automàticament la valoració del risc, grau de perillositat (GP) segons l'Eq. 7.21:

$$GP = E \cdot P \cdot C \quad (\text{Eq. 7.21})$$

La classificació del Nivell de risc segons la Metodologia W. Fine, es defineix a la Taula 7.16.

Taula 7.15. Puntuació Exposició (E), Probabilitat (P) i Conseqüències (C)

Exposició (E)	Puntuació
Continua o moltes vegades al dia. Durada \geq 50% jornada	10
Freqüent. Diverses vegades al dia. Durada < 50% jornada	8
Menys Freqüent. Una o dues vegades al dia. Petita durada	6
Ocasional. Una vegada per setmana	4
Escassa. Una vegada per mes	2
Rara. Se sap que s'ha produït. 1 vegada per any	1
Probabilitat (P)	Puntuació
Diffícilment evitable el succés vas desencadenar	10
Molt possible. Probabilitat superior al 50%	8
Possible. Cara i Creu. Probabilitat del 50%	6
No freqüent però probable. Fàcilment explicable	4
Probabilitat remota però no menyspreable	2
Probabilitat bastant remota. Ja va ocórrer en l'Empresa	1
Conseqüències (C)	Puntuació
Accident catastròfic. Accidents Majors	100
Diversos Morts	50
Accident Mortal	25
Lesions greus. Intoxicacions. Incapacitat Permanent	15
Petites amputacions, Baixes Prolongades (més gran de 30 dies)	10
Accidents amb Incapacitat Transitòria. Baixes iguals o superiors a 3 dies	5
Assistència en la Mútua. Baixes inferiors a 3 dies	3
Danys menors. Cures farmaciola. Butllofes	1

- **Revisió de les avaluacions:**

Un cop identificats, avaluats i classificats els riscos, cal dur a terme aquelles accions correctives necessàries per mitigar aquells riscos que siguin més elevats. Finalment, cal realitzar una revisió de les avaluacions per detectar nous riscos i tornar a avaluar aquells que han estat mitigats.

L'avaluació és revisada i/o actualitzada seguint els criteris legals establerts a la Llei 31/1995 de Prevenció de Riscos Laborals (L.P.R.L.) i al Reglament dels Serveis de PRL RD. 39/1997 (R.S.P.).

Taula 7.16. Nivells risc segons Metodologia W. Fine

Nivell de Risc	Classificació del Risc	Acció i temporització orientativa
Nivell 1 GP < 60	Lleu o molt baix	No es requereix acció específica amb urgència. Es requereixen comprovacions periòdiques per assegurar que es mantenen les mesures de control del risc.
Nivell 2 60 ≤ GP < 160	Baix o tolerable	No es requereix acció específica amb urgència. Es requereixen comprovacions periòdiques per assegurar que es manté l'eficàcia de les mesures de control del risc.
Nivell 3 160 ≤ GP < 250	Moderat	S'han de fer esforços per reduir el risc, determinant les inversions precises. Les mesures per reduir el risc deuen implantar-se en un període determinat. Quan el risc moderat està associat amb conseqüències perjudicials (a partir d'un valor de 10), caldrà precisar una acció posterior per establir la probabilitat de dany com a base per determinar la necessitat de millora de les mesures de control.
Nivell 4 250 ≤ GP < 400	Important	No ha de començar-se la feina fins que no s'hagi reduït el risc. Es precisaran recursos considerables per controlar el risc. Quan el risc correspon a un treball que s'està realitzant, ha de solucionar-se el problema en un temps inferior al dels riscos moderats.
Nivell 5 GP ≥ 400	Intolerable	No es pot començar ni continuar la feina fins que no es redueixi el risc. Si no és possible reduir el risc, ha de prohibir-se la feina.

Per al càlcul de l'indicador d'efectes sobre la seguretat i salut laboral, s'ha utilitzat només aquells riscos pendents de solucionar relatius a cada partida d'inversió i s'ha identificat quines es podien resoldre via inversió. Cal destacar, que la majoria d'actuacions que apareixen als AVR s'han de resoldre via despesa ja que són petites actuacions que no requereixen d'una inversió que permeti modificar l'estructura o la tipologia d'actiu, sovint són canvis en el procediment d'execució o incorporació de nous equips de protecció individual (EPI).

Un cop identificats els riscos de cada àmbit (producció, transport, edificis i laboratori) resolubles per inversió, aquests tenen associada una classificació relativa al risc que suposen (segons la Taula 7.16). Així doncs, s'ha comptabilitzat per cada àmbit el nombre de riscos identificats corresponents a cada nivell de classificació (lleu, baix o tolerable, moderat, important, intolerable) i s'ha ponderat el nombre de riscos pel límit inferior del grau de perillositat definit segons la Metodologia W. Fine. Finalment, aplicant l'Eq. 7.22 s'obté un risc de l'indicador de seguretat i salut laboral (RSSL) associat a cadascun dels àmbits.

$$RSSL_i = 1 \cdot N^{\circ}R_{lleu} + 60 \cdot N^{\circ}R_{baix} + 160 \cdot N^{\circ}R_{mode.} + 250 \cdot N^{\circ}R_{import.} + 400 \cdot N^{\circ}R_{intol.} \quad (\text{Eq. 7.22})$$

Un cop definit el $RSSL_i$ per tots els àmbits (on i representa cadascun dels àmbits), aquests valors s'escalen de 0 – 1 utilitzant la funció de valor lineal de la Figura 7.8, on el valor màxim de les abscisses és la suma dels RSSL de totes les partides. A partir d'aquest valor queda definida la funció de valor que proporciona valors de l'indicador entre 0 i 1 com a resultat.

$$ISiSL = \frac{RSSL_i}{\sum RSSL_i} \quad (\text{Eq. 7.23})$$

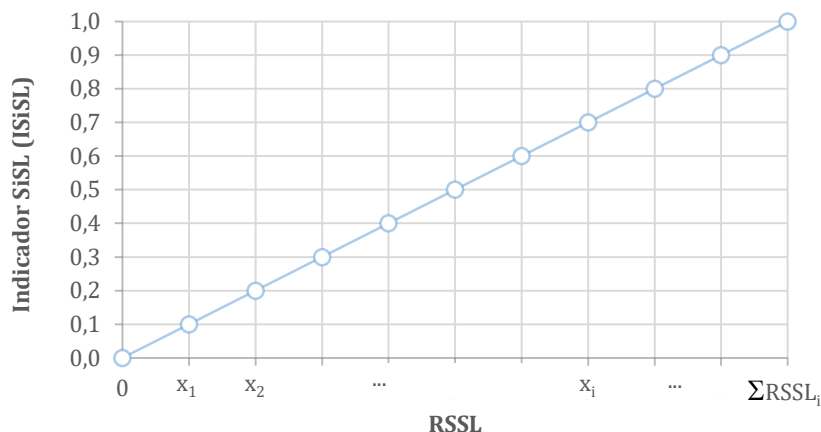


Figura 7.8. Funció de valor Indicador Seguretat i Salut laboral (ISiSL)

A la Taula 7.17 es presenten els resultats dels paràmetres necessaris per al càlcul de l'indicador de Seguretat i Salut Laboral (ISiSL). El risc de l'indicador de seguretat i salut laboral (RSSL) associat a cadascun dels àmbits mostra que el risc més gran es troba a la partida de Transport, seguit de risc associat als actius de la partida de Producció. En menor mesura es troba el risc associat als actius de les partides de Laboratori i Gestió Edificis. Finalment, tal com s'ha enunciat en aquest apartat la partida Distribució no té cap risc associat ja que cap treballador té la possibilitat d'accedir als trams de canonada de distribució.

Taula 7.17. Resultat paràmetres Indicador Seguretat i Salut laboral

Partides	RSSL	ISiSL
Producció	5.126	26,17%
Transport	13.735	70,11%
Distribució	0	0,00%
Resta d'Àmbits		
Gestió Edificis	180	0,92%
Control Operatiu	-	-
Laboratori	550	2,81%
Sistemes d'informació	-	-
Subministrament	-	-
Recursos Hídrics Alternatius	-	-
	19.591	100,00%

7.3. REQUERIMENT AMBIENTAL

7.3.1 Introducció al Requeriment Ambiental

El canvi climàtic cada cop més present representa un dels grans desafiaments als que s'enfronta la societat actual. Així doncs el requeriment ambiental pren una importància

creixent en la decisió. El nombre de població creixent, l'escassetat hídrica, l'augment de la contaminació i la desaparició d'espècies animals i vegetals cada cop és més evident i cal que, la societat i les empreses prenguin consciència i realitzin allò que està al seu abast per mitigar aquestes conseqüències.

Qualsevol procés necessita unes entrades que permeten dur a terme l'activitat i genera unes sortides després d'haver executat aquell procés. Aquests indicadors recullen per una banda, les entrades (*aigua* i *energia*) i les sortides (*emissions*), i per l'altra, també considera l'entorn on es desenvolupa aquesta activitat a través de l'indicador d'integració de l'activitat al medi (*biodiversitat*).

Tal com il·lustra la Taula 7.18 el requeriment ambiental s'estructura amb quatre criteris i quatre indicadors.

Taula 7.18. Estructura Requeriment Ambiental

Requeriments	Criteris	Indicadors
Ambiental	Consum eficient d'Aigua	Consum eficient d'Aigua (7.3.2)
	Consum eficient d'Energia	Consum eficient d'Energia (7.3.3)
	Petjada de CO ₂	Petjada de CO ₂ (0)
	Biodiversitat	Biodiversitat (7.3.5)

Per una banda, realitzar un *consum eficient* de les matèries primeres més importants l'aigua i l'energia, mitjançant el consum eficient es redueix al màxim l'impacte sobre el medi. Per altra banda, la *petjada de CO₂* inclou l'ús responsable de la resta de matèries primeres utilitzades així com la minimització dels residus generats a causa de l'activitat. Finalment, l'indicador de *biodiversitat* pretén englobar totes les possibles inversions per tal d'integrar les infraestructures necessàries per a l'abastament a l'entorn natural que les envolta.

7.3.2 Consum eficient d'Aigua

L'escassetat hídrica provocada pel canvi climàtic i per altra banda, el constant creixement de la demanda, posa en relleu la necessitat de dur a terme un ús del recurs responsable.

Justament l'*indicador de consum eficient d'aigua* té per objectiu avaluar el potencial de recuperació d'aigua en origen de cada partida i ho fa per mitjà d'una valoració de la capacitat de millora de l'eficiència identificant on hi ha més potencial de millora del rendiment hidràulic a través de la inversió.

Els actius del sistema d'abastament que poden influir en el consum eficient d'aigua es troben a totes les partides de Producció, Transport, Distribució i de les partides de Resta d'Àmbits a la partida de Control Operatiu, de Subministrament i de Recursos Hídrics Alternatius.

En el cas de Producció els actius involucrats serien tots aquells que poden afectar el rendiment, des de la captació fins a les impulsions finals.

La xarxa de Transport i Distribució és el conjunt d'actius objecte dels plans de millora del rendiment necessaris per millorar l'eficiència hidràulica del sistema. Aquests plans preveuen també accions sobre els actius de control operatiu necessaris, el hardware i software considerats a la partida de "Control Operatiu", imprescindibles per la recerca de fuites.

D'altra banda, dins de la partida de Subministrament, el sistema Telelectura (xarxa d'antenes, software, comptadors intel·ligents, ...) permet conèixer amb més precisió el consum que realitzen els clients per franges horàries. En el cas que el sistema detecti un consum anòmal el client pot rebre un avís sempre que estigui donat d'alta al servei d'Oficina en xarxa d'Aigües de Barcelona (OFEX), reduint així l'impacte sobre el medi ambient de potencials fuites a les instal·lacions del client.

Arribat a aquest punt, cal aclarir que l'indicador de millora de l'eficiència, com a indicador d'oportunitat que és, només s'aplica per partides que tenen un Pla de millora o el desenvolupen expressament per a l'estudi. Són aquestes partides les úniques que, gràcies al pla de millora, es pot identificar l'eficiència actual, l'eficiència objectiu, els mitjans d'inversió amb els que es pot assolir i l'eficàcia d'aquests mitjans. Característiques que, com es veu a continuació, s'utilitzen en el càlcul de l'indicador corresponent. La partida de Producció justament no té cap pla de millora de l'eficiència hidràulica i els seus responsables no posen de manifest una necessitat en aquest sentit. Per contra, les partides de Transport, Distribució, Control Operatiu i Telelectura són considerades en plans de millora específics que permeten desenvolupar la lògica de càlcul de l'indicador de consum eficient d'aigua.

Val a dir que, des del punt de vista de l'indicador de consum eficient d'aigua hi ha partides que tenen un objectiu comú en la recerca de fuites. Més concretament les fuites a la xarxa de transport i les fuites a la xarxa de distribució es poden detectar i prelocalitzar gràcies al Control Operatiu que és responsabilitat de la Direcció de Suport Operatiu. És per això que el càlcul de l'indicador per cadascuna d'aquestes 3 partides és indirecte i segueix aquestes fases:

- Càlcul del potencial de millora global de l'eficiència en el consum a cada xarxa ($PG \times transport$ i $PG \times distribució$). Un càlcul que té implícita la contribució a la recerca de fuites dels sistemes d'informació del Control Centralitzat.
- Càlcul del potencial de millora intrínsec de l'eficiència en el consum a les partides de Transport i Distribució ($PI \times transport$ i $PI \times distribució$).
- Càlcul del potencial intrínsec de l'eficiència en el consum de la partida Control Centralitzat

Finalment, cal també reescalar tots els potencials intrínsecs que es calculen, incloent als 3 anteriors el potencial intrínsec d'estalvi de recurs de la Telelectura.

Millora global de l'eficiència en el consum a la xarxa de Transport

A partir de les dades històriques del rendiment de la xarxa de transport enregistrades i estudiades pels tècnics del Departament de Suport Operatiu (DSO), es plantegen diverses estratègies de millora d'aquest paràmetre.

Cal tenir en compte que, donat que rendiment és la relació entre l'aigua consumida mesurada i l'aigua lliurada mesurada, l'objectiu del plans de millora de rendiment no només tenen per objecte la reducció de fuites. La diferència entre l'aigua lliurada mesurada i l'aigua consumida mesurada, també anomenada *Aigua No Registrada* (ANR), inclou molts altres conceptes que es sumen a les pèrdues reals, com són el consum autoritzat no facturat no mesurat, el consums no autoritzats (fraus), subcomptatges i les pèrdues comercials (veure balanç hídric de la Taula 4.14). És per això que el primer esforç és fer la millor aproximació possible de les fuites a cada xarxa, aquesta estimació és anomenada *aigua perduda estimada* a cada xarxa.

La reducció de les fuites que són d'abastament requereix actuar tant sobre els actius de cada partida de xarxa com sobre els actius de Control Operatiu. És per això que per determinar el paràmetre de pèrdues recuperables a nivell de les partides de Transport, Distribució i Control Operatiu cal fer un repartiment just de les pèrdues actuals de la Xarxa de Transport i de la xarxa de Distribució. Més endavant, a l'apartat de Control Operatiu es detalla el repartiment entre partides de l'aigua perduda estimada a nivell de xarxes.

El valor de l'*indicador de consum eficient d'aigua* d'una partida determinada serà més alt, entre d'altres, com més alt sigui el gruix absolut de les fuites que es puguin reduir en aquesta partida. Val a dir però que el consum eficient d'aigua fa referència al recurs d'origen. És per això que al volum de pèrdues estimat se li ha d'aplicar l'invers del rendiment per obtenir el volum de recurs estalviat a origen. Així es determina el volum de recuperació de fuites a la xarxa de transport. L' $AP_{x.transport}$ actualment és de 5,82 hm³.

D'altra banda, la reducció de pèrdues només és assolible si la xarxa està preparada per calcular el rendiment del sistema a través dels corresponents elements de mesura. Els plans de millora preveuen substituir els elements de mesura amb mala qualitat de la mesura i instal·lar tots els que es considerin necessaris per millorar l'eficiència fins a assolir l'objectiu fixat al Pla. A l'estudi s'associa a la "capacitat actual" de la "lògica de determinació de l'indicador d'oportunitat" (veure apartat 6.5.2.2) al conjunt d'elements existents que fan possible la millora i s'associa a la "capacitat futura" al conjunt de nous elements que es preveu instal·lar.

Cal tenir en compte que el valor de l'indicador de millora d'una partida determinada serà més elevada en la mesura en què, entre d'altres, es prevegi un increment proporcional de la capacitat actual més alt.

Per poder valorar la capacitat actual de la xarxa de transport cal conèixer el nombre de sectors arterials⁸ que hi ha actualment, el nombre de sectors objectiu, el nombre de cabalímetres “fiables” actuals, el nombre de cabalímetres objectiu, i també conèixer el sistema actual i les ampliacions previstes de software i hardware de suport a la recerca de fuites. A la Taula 7.19 es presenta el detall de conceptes que s'utilitzen per determinar la capacitat actual i la capacitat futura de la xarxa de transport. Aquesta relació és fruit de la interpretació del pla de millora de la xarxa de transport amb el suport dels responsables de la Direcció de Suport Operatiu (DSO).

Taula 7.19. Capacitat actual i futura de la xarxa de transport en la recerca de fuites

Conceptes	Capacitat actual	Capacitat futura
Sectors arterials	49	74
Cabalímetres fiables	63	83
Softwares i hardwares (Taula 7.20)	Nivell 1	Nivell 5

Pel que fa a software i hardware de suport a la detecció de fuites es preveuen modificacions importants en l'actual sistema de control per tal que aquest desenvolupi les capacitats de detecció precoç i prelocalització anàlogues a les previstes per al sistema de control dels sectors de rendiment de distribució (el Nivell 5). Definint una capacitat actual global de Transport de 0,61.

Els Nivells d'eficàcia dels sistemes de control en la recerca de fuites són d'ús intern dels tècnics de la Direcció de Suport Operatiu i es defineixen a la Taula 7.20.

Taula 7.20. Nivells d'eficàcia dels sistemes de control en recerca de fuites

Nivells	Descripció
Nivell 1	Elements de control monitoritzats
Nivell 2	Esquemes de sectors als SCADA
Nivell 3	ANR dels sectors de control monitoritzable
Nivell 4	Alarmes fiables per fuita visible als sectors de control
Nivell 5	Sistemàtica de recerca preventiva de fuites lligada als sistemes d'informació, més integració amb altres sistemes d'informació.

S'ha observat també que els sectors arterials de dimensions més reduïdes permeten una detecció, prelocalització i localització més eficaç de les fuites. És per això que per una longitud total de xarxa de transport pràcticament invariable en el temps, es preveu un increment de sectors via la partició dels existents amb el corresponent increment d'elements de mesura. Per donar una referència el pla preveu una longitud mitjana dels sectors arterials actuals d'uns 7 km i una inversió en renovació o ampliació de 20 cabalímetres.

⁸ **Sector arterial:** anàlogament als sectors (anomenats també sectors hidràulics) de la xarxa de distribució, els sectors arterials corresponen a trams de la xarxa de transport perfectament delimitada, dels que es mesuren i es controlen les seves entrades i sortides d'aigua.

A l'estudi s'associa a l'efectivitat (Ef) de la lògica de determinació dels indicadors d'oportunitat de millora a la ràtio empírica mitjana de cabal recuperat de fuga per kilòmetre inspeccionat. Malgrat s'han realitzat poques recerques de fuites els responsables de la millora del rendiment consideren aquesta ràtio representativa de l'efectivitat perquè les tecnologies utilitzades estan molt consolidades. Si no hi ha més casos de recerca és exclusivament perquè els elements de mesura a la mida dels sectors arterials no permet la detecció i prelocalització eficaç de les fuites no visibles. L' Ef actual de transport és 0,18.

A l'estudi s'associa la tendència de millora (Tm) de la lògica de determinació dels indicadors d'oportunitat de millora a la ràtio empírica corresponent de la "pendent de la corba històrica de rendiment". Aquesta corba justament presenta una evolució estancada i erràtica que encaixa amb el fet que la distribució ha concentrat la gran majoria dels esforços de millora del rendiment, deixant el transport en segon pla. En definitiva s'estima que la tendència ha de ser immillorable. La tendència de millora actual de la xarxa de transport és 1, tal com s'observa a la Figura 7.9 l'evolució del rendiment no mostra un comportament estable actualment sinó que va fluctuant sense mostrar tendència d'estabilitzar-se.

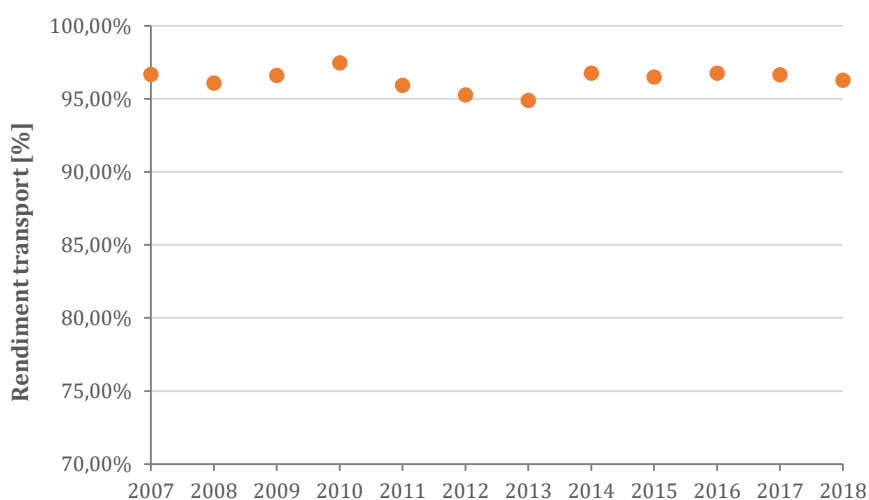


Figura 7.9. Evolució històrica del rendiment [%] de Transport

Finalment el potencial global de la xarxa de transport ($PG_{x.transport}$), segons l'Eq. 7.24, resulta de fer el producte entre l'aigua perduda estimada (AP), l'efectivitat (Ef), la tendència de millora (Tm) i l'increment de capacitat percentual necessari ($1 - Ca$).

$$PG_{transport} = AP_{x.transport} \cdot Ef \cdot Tm \cdot (1 - Ca) \quad (\text{Eq. 7.24})$$

Millora global de l'eficiència en el consum a la xarxa de Distribució

El Departament de Suport Operatiu (DSO) des de 1999 compta amb un Pla de Millora del rendiment de la xarxa de Distribució que actualitza cada any. Aquest pla es basa en tenir la xarxa sectoritzada en els anomenats sectors de rendiment. El projecte de sectorització de

la xarxa de distribució es va iniciar l'any 1999 i va tenir un impuls notable entre 2004 i 2007, any en que els sectors de rendiment cobriren tota la xarxa. Des d'aleshores s'ha invertit en el redisseny de sectors per tal d'optimitzar el procés de detecció, prelocalització i localització final de les fuites no visibles, alhora que s'ha invertit en la implantació de vàlvules reguladores hidràuliques a les entrades d'aquests sectors per a retallar la pressió a les nits.

Actualment el sistema de distribució ha assolit un rendiment proper al 85%, similar a la mitjana de l'AMB (Figura 7.10). Cal tenir en compte que arribar a un rendiment del 100% no és possible, doncs existeixen pèrdues aparents i físiques impossibles d'eliminar (Taula 4.14). Per exemple, sempre queda una part d'aquesta aigua que no arriba a ser comptabilitzada pels aparells de mesura.

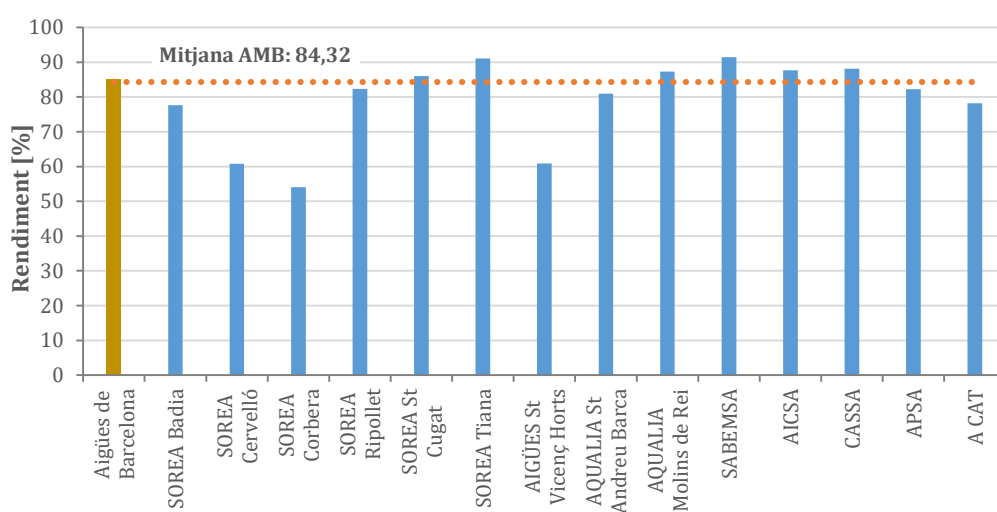


Figura 7.10. Rendiment de les xarxes de distribució de les diferents companyies de l'AMB (font: AMB)

Anàlogament a la xarxa de Transport, per poder calcular de l'indicador d'eficiència de consum d'aigua per la xarxa de Distribució, cal primer estimar les fuites i després calcular el volum estalviat de recurs associat aplicant l'invers dels rendiments de distribució i de transport. L' $AP_{distribució}$ és de 8,35 hm³.

A continuació, cal extreure la variable de "capacitat actual" i "capacitat futura" a partir de les dades base del pla de millora de rendiment de la xarxa de distribució.

Per poder millorar el rendiment s'han de partir els sectors existents fins a la mida ideal per dur a terme el procés de recerca de fuites. També cal instal·lar els cabalímetres de control de cabal lliurat a les entrades i, sempre que es pugui, les vàlvules reguladores per a la reducció nocturna de les pressions, amb la disminució de fuites corresponent. A continuació, es detallen els conceptes que defineixen la capacitat actual i futura del sistema (Taula 7.21).

Taula 7.21. Capacitat actual i futura de la xarxa de distribució en la recerca de fuites

Conceptes	Capacitat actual	Capacitat futura
Nº Sectors	275	305
NºVàlvules reguladores	339	413
Softwares i hardwares (Taula 7.20)	Nivell4	Nivell 5

Després d'estudiar les característiques dels 275 sectors actuals, s'estableix un objectiu pel que fa als kilòmetres que idealment hauria de tenir un sector, segons els experts uns 20 km. Pel que fa a les vàlvules reguladores, l'objectiu s'ha fixat amb un increment de 74 vàlvules. Definint una capacitat actual global de Distribució de 0,859.

Pel que fa al software i hardware de suport a la detecció de fuites, el sistema de control de distribució ja és capaç de detectar i prelocalitzar les fuites no visibles eficaçment però malgrat això també es preveuen petites millores.

L'efectivitat que es calcula com la relació entre les fuites ocultes reparades i els kilòmetres inspeccionats per trobar aquestes és un paràmetre empíric calculat amb l'històric recent. L'Ef actual de distribució és 1,0.

La tendència de millora és molt més baixa que als primers anys de la implantació de la sectorització justament perquè l'estratègia seguida ha servit per reduir els cabals de fuga fins a valors difícils de detectar amb els mitjans disponibles. Seria desitjable que en un futur pròxim es puguin incorporar noves metodologies que permetin tornar a obtenir guanys percentuals semblants als de l'inici del projecte de sectorització. El gràfic següent il·lustra l'evolució de l'eficiència de l'estratègia seguida. La tendència de millora és del 0,20. Tal com s'observa a la Figura 7.11, l'evolució del rendiment mostra l'estabilitat que està assolint aquest, fet que demostra que s'està assolint una estanquitat pel que fa a la millora d'aquest.

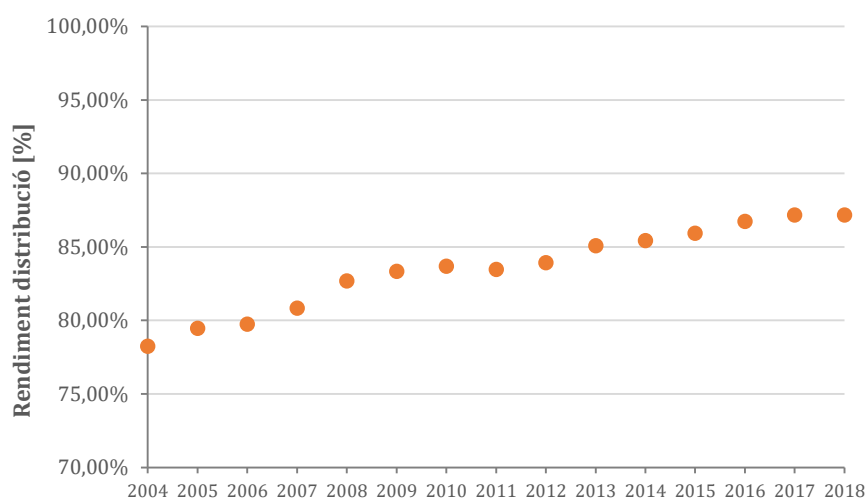


Figura 7.11. Evolució històrica del rendiment [%] de Distribució

El potencial global de la xarxa de distribució ($PG_{x.distribució}$), segons l'Eq. 7.25, resulta del producte dels següents paràmetres: l'aigua perduda estimada (AP), l'efectivitat (Ef), la tendència de millora (Tm) i la capacitat restant no assolida actualment, és a dir, la diferència fins a arribar a 100% de la capacitat actual (Ca). Aquests paràmetres han estat definits anteriorment.

$$PG_{x.distribució} = AP_{distribució} \cdot Ef \cdot Tm \cdot (1 - Ca) \quad (\text{Eq. 7.25})$$

Millora intrínseca de l'eficiència en el consum a les partides de Transport, Distribució i Control Centralitzat

El paper dels actius Control Centralitzat en la recerca de fuites és complementari al dels actius de xarxa (cabalímetres, reguladores i reforços de xarxa per fer més eficaç la recerca de fuites). És per aquest motiu que es determina la contribució potencial dels sistemes de control justament utilitzant el paper que preveuen els Plans de Millora per al hardware i el software necessari en l'assoliment dels seus objectius respectius. En altres paraules, l'increment potencial de la capacitat obtinguda per cadascuna de les xarxes té implícita una inversió en desenvolupaments dels sistemes de control, que si es tingués en compte la xarxa per si sola. Amb la suma de les dues contribucions potencials (pla de millora de transport i distribució) s'obté una estimació del potencial global dels actius de la Direcció de Suport Operatiu.

A la pràctica, el que es realitza és tornar a calcular els potencials de la xarxa de Transport i de la xarxa de Distribució sense comptar amb l'increment de capacitat prevista en els Plans de Millora a nivell de sistemes de control, és a dir, es calculen els potencials intrínsecs de les partides de Transport i Distribució. D'aquesta forma s'obtenen dos nous potencials més baixos als potencials globals (PG) de xarxa que finalment s'utilitzen per obtenir el potencial final (PF) dels actius de la Direcció de Suport Operatiu, fent la suma de les diferències amb els potencials de xarxa de Transport i Distribució calculats anteriorment (aquests ja incloïen l'increment de capacitat prevista en sistemes de control).

La capacitat actual intrínseca de la xarxa de Transport sense software i hardware ($Ca_{sense\ soft+hard}$) s'ha estimat de 0,66. La de Distribució és molt similar a la capacitat actual global ja que hi ha poca trajectòria de millora pel que fa al software i hardware, segons la

Taula 7.21 només hi ha la possibilitat d'incrementar en un nivell. La capacitat actual intrínseca de la xarxa de Distribució sense software i hardware s'ha estimat de 0,861.

A continuació es resumeix el que s'ha descrit amb el detall de les equacions hi intervenen. Per estimar el potencial intrínsec de la xarxa de transport ($PI_{transport\ (sense\ soft+hard)}$), s'aplica l'Eq. 7.26 amb els paràmetres anteriorment presentats pel potencial global de la xarxa de transport substituint la capacitat global per la capacitat intrínseca ($Ca_{sense\ soft+hard}=0,66$). En el cas de la xarxa de distribució, el potencial intrínsec ($PG_{distribució\ (soft+hard)}$) s'estima amb l'Eq. 7.27, utilitzant els valors

presentats al potencial global de distribució i substituint la capacitat per la intrínseca ($Ca_{sense\ soft+hard}=0,861$). El resum de tots els paràmetres utilitzats es troba a la Taula 7.22.

$$PI_{transport\ (sense\ soft+hard)} = AP \cdot Ef \cdot Tm \cdot (1 - Ca_{sense\ soft+hard}) \quad (\text{Eq. 7.26})$$

$$PI_{distribució\ (sense\ soft+hard)} = AP \cdot Ef \cdot Tm \cdot (1 - Ca_{sense\ soft+hard}) \quad (\text{Eq. 7.27})$$

Millora intrínseca de l'eficiència en el consum a la partida de Subministrament (Telelectura)

Pel que fa als possibles estalvis relacionats amb la Telelectura, aquests són comptabilitzables en la mesura en què el sistema de lectura detecti consums anòmals, el client pugui rebre els avisos i aquest pugui confirmar i aturar la possible fuga. Per poder rebre aquests avisos, els clients han d'estar donats d'alta a l'Oficina en xarxa d'Aigües de Barcelona (OFEX).

Per calcular el potencial global que té la Telelectura ($PI_{telelectura}$), segons l'Eq. 7.28, és necessari identificar els següents paràmetres: l'aigua perduda estimada (AP), l'efectivitat (Ef), la tendència de millora (Tm) i la capacitat restant no assolida actualment, és a dir, la diferència fins a arribar a 1 de la capacitat actual (Ca).

$$PI_{telelectura} = AP_{telelectura} \cdot Ef \cdot Tm \cdot (1 - Ca) \quad (\text{Eq. 7.28})$$

L'aigua perduda (AP) serà el resultat d'estimar l'aigua en recurs d'origen estalvable utilitzant aquest mètode de detecció i avís. Per fer-ho cal primer fer una estimació de l'aigua consumida estalvable i obtenir l'equivalent en aigua en recurs d'origen utilitzant els rendiments de la xarxa de distribució, transport i producció. L' $AP_{telelectura}$ és de 0,87 hm³.

Per obtenir l'efectivitat de la Telelectura (Ef) s'han comparat els volums anuals recuperables segons les dades de sospites de fuites enregistrades i els volums anuals recuperats per recerca de fuites a la distribució. Aquesta comparació resulta en 15 vegades menys eficàcia d'estalvi de recurs d'origen via Telelectura. L' Ef de la Telelectura és de 0,07.

La tendència de millora (Tm) es considera màxima ja que tot just s'està iniciant la implantació d'aquest sistema de detecció-avís. Tm de la Telelectura actual és de 1,00.

La capacitat (Ca) s'estima com la relació entre el nombre d'antenes instal·lades actuals i l'objectiu a instal·lar, donant una capacitat de 0,45.

Reescalat final de tots els potencials finals de millora de l'estalvi de consum d'aigua

Un cop calculats els potencials globals i intrínsecs de Transport, Distribució i Subministrament amb els paràmetres que apareixen de forma resumida a la Taula 7.22. Es pot obtenir el potencial final de cadascuna de les partides com (Taula 7.23):

- Potencial final de la xarxa de Transport sense software i hardware és igual al potencial intrínsec de la xarxa de Transport (Taula 7.23).
- Potencial final de la xarxa de Distribució sense software i hardware és igual al potencial intrínsec de la xarxa de Distribució (Taula 7.23).
- Potencial final del Control Operatiu és igual a la diferència entre el potencial global i l'intrínsec de la xarxa de Transport i de la xarxa de Distribució (Taula 7.23).
- Potencial final del Subministrament és igual al potencial intrínsec de la Telelectura (Taula 7.23).

Taula 7.22. Paràmetres càlcul Potencial global (PG) i Potencial intrínsec (PI)

Partides	Ap	Ef	Tm	Ca _{total}	Ca'	PG	PI
Transport	5,82	0,18	1,00	0,61	0,66	0,413	0,365
Distribució	8,35	1,00	0,20	0,86	0,33	0,235	0,232
Subministrament	0,87	0,07	1,00	0,03	-	0,032	0,032
						0,681	0,629

Taula 7.23. Resultat potencial global (PG), potencial intrínsec (PI) i potencial final (PF)

Partides	PG	PI	PF
Producció	-	-	-
Transport	0,413	0,365	0,365
Distribució	0,235	0,232	0,232
Gestió Edificis	-	-	-
Control Operatiu	-	-	(0,413-0,365)+(0,235-0,232)
Laboratori	-	-	-
Sistemes d'informació	-	-	-
Subministrament	0,032	0,032	0,032
Recursos Hídrics Alternatius	-	-	-
	0,681	0,629	0,681

Finalment, definit el potencial final (*PF*) per cadascun dels àmbits, aquests valors s'escalen de 0 – 1 utilitzant la funció de valor lineal de la Figura 7.12, on el valor màxim de les abscisses és la suma del PF de totes les partides. A partir d'aquest valor queda definida la funció de valor que proporciona valors de l'indicador entre 0 i 1 com a resultat.

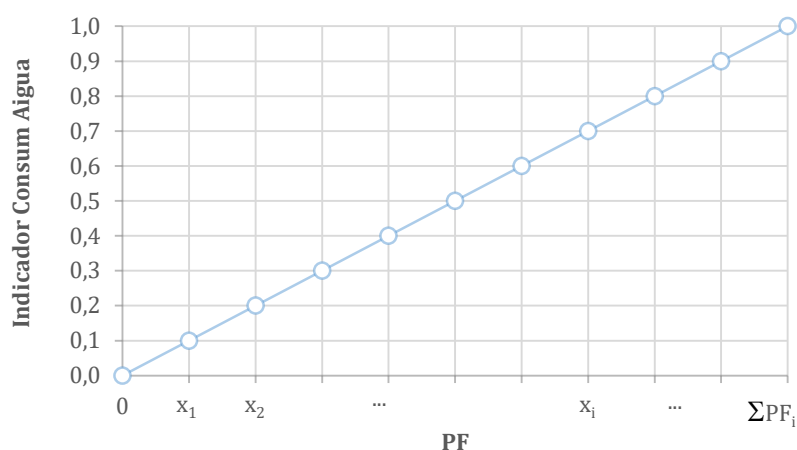


Figura 7.12. Funció de valor Indicador Consum Eficient d'Aigua

A la Taula 7.24 es presenten els resultats dels paràmetres de l'indicador de Consum Eficient d'Aigua on apareixen els valors del potencial final i el valor reescalat amb la funció de valor de la Figura 7.12 que proporciona el valor final de l'indicador de consum d'aigua.

Taula 7.24. Resultat paràmetres Indicador Consum Eficient d'Aigua

Partides	PF	Càlcul indicador consum aigua	Indicador Consum Aigua
Producció	-	-	-
Transport	0,365	$0,365/0,681$	53,63%
Distribució	0,232	$0,232/0,681$	34,06%
Gestió Edificis	-	-	-
Control Operatiu	$(0,048)+(0,003)$	$0,052/0,681$	7,58%
Laboratori	-	-	-
Sistemes d'informació	-	-	-
Subministrament	0,032	$0,032/0,681$	4,73%
Recursos Hídrics Alternatius	-	-	-
	0,681		100,00

7.3.3 Consum eficient d'Energia

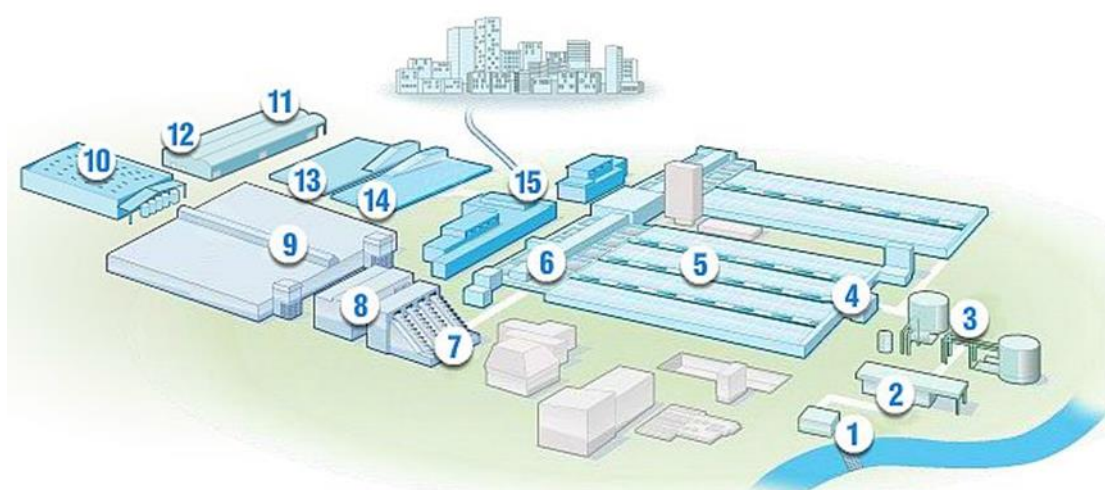
L'objectiu de l'indicador de consum eficient d'energia és avaluar el potencial de recuperació d'energia de cada partida, és a dir, permet analitzar on hi ha més capacitat de millora mitjançant una inversió pel que fa al consum d'energia.

Els actius del sistema d'abastament que consumeixen energia es troben a Producció, Transport, Distribució i a Resta d'Àmbits, dins la qual es concentra a la partida de Gestió Edificis.

Per identificar els actius de la partida Producció que mitjançant inversió, tenen capacitat de reduir el consum d'energia, s'estudia l'esquema de funcionament de l'ETAP de

Sant Joan Despí, ja que és l'ETAP més complexa d'Aigües de Barcelona, essent també una de les ETAP tecnològicament més avançades d'Europa. L'esquema identifica les diferents fases de potabilització de l'aigua crua i es presenta a la Figura 7.13.

La captació del recurs pel cas de l'ETAP de Sant Joan Despí, es pot fer d'aigües superficials (del riu Llobregat) o d'aigües subterrànies (de l'aquífer del riu Llobregat). Seguint el recorregut que realitza l'aigua s'identifiquen els elements que consumeixen més energia i on hi ha capacitat d'actuació, ja que elements com l'osmosi inversa tenen un gran consum energètic tot i que no hi ha capacitat d'actuació ja que el rendiment de les membranes és l'adequat. A continuació, s'esmenten aquells actius que seran avaluats per l'indicador d'eficiència energètica: els pous de primera elevació d'aigua crua, els pous de captació d'aigua subterrània, el bombament intermedi amb cargols d'Arquímedes de l'aigua pretractada, els bombaments a les diferents cotes (c10, c50 i c70) i addicionalment, la xarxa que vehicula el recurs en el procés de potabilització.



- | | |
|---|---|
| 1. Captació de l'aigua superficial i desarenament. | 8. Ozonització |
| 2. Peroxidació | 9. Filtració per carbó actiu |
| 3. Bombament: mitjançant bombes submergides dels pous de primera elevació | 10. Ultrafiltració |
| 4. Floculació | 11. Osmosi inversa (OI) |
| 5. Decantació | 12. Remineralització |
| 6. Filtració per sorra | 13. Cambres de mescles i cloració |
| 7. Bombament intermedi: 4 cargols d'Arquímedes | 14. Dipòsit d'estabilització i postcloració |
| | 15. Bombament a xarxa: cota 10 (Cornellà); cota 50 (Relleu); cota 70 (zona Gavà) |

Figura 7.13. Esquema de les etapes del tractament de l'ETAP Sant Joan Despí (font: AMB)

A la partida Transport els elements principals que consumeixen energia són els bombaments de les centrals d'impulsió, aquests són els encarregats de transportar i proporcionar a l'aigua la cota necessària per poder donar resposta a la demanda de cada punt de l'àmbit. Addicionalment, també es calculen les pèrdues d'energia associades a les pèrdues d'aigua.

El potencial d'estalvi a la partida de Distribució es troba a la xarxa associada a l'energia que s'utilitza per impulsar l'aigua fins a la cota on aquesta es perd, és a dir, l'associada a les fuites de la xarxa de distribució.

Finalment, pel que fa a les partides transversals de Resta d'Àmbits, la partida de Gestió d'Edificis és la que consumeix energia, a causa de les necessitats de funcionament dels edificis dels quals disposa l'empresa.

A continuació, es detalla el càlcul de l'indicador pels diferents elements involucrats en el consum eficient d'energia descrits anteriorment. Existeix una gran diversitat d'actius no tots els elements a optimitzar són bombes d'impulsió instal·lades dins una central d'impulsió per elevar aigua d'una cota a una altra, sinó que existeixen bombes submergides, cargols d'Arquímedes i bombes que impulsen aigua de dins de pous. Per aquest motiu és necessari identificar quin paràmetre tècnic és el més adequat per poder definir el potencial consum a reduir.

Una de les ràtios més utilitzades per avaluar l'estat de les instal·lacions dins l'àmbit de la hidràulica és el rendiment. En el cas de l'*indicador de consum eficient d'energia* no és prou representatiu.

Els actius que consumeixen la major part de l'energia d'Aigües de Barcelona són les bombes d'impulsió i en les diferents partides d'inversió aquestes bombes tenen unes condicions de funcionament diverses que compliquen la necessària comparació d'eficiència de funcionament. Les condicions de funcionament de les bombes, entre d'altres, estan influenciades pel tipus d'aigua (crua, pretractada, post-tractada i potabilitzada), la seva procedència (riu, pou, abastament), el binomi cabal i alçada altimètrica d'impulsió i les característiques pròpies de la xarxa receptora d'aquest cabal; quelcom que fixa les pèrdues de càrrega a superar.

El tipus d'aigua i la seva procedència és quelcom que influeix definitivament en el potencial d'estalvi esperable, és per això que per poder calcular el potencial d'estalvi esperable a nivell de partida primer cal separar els bombaments de l'àmbit amb aquest criteri, seguidament és necessari analitzar el potencial d'estalvi per cadascun dels grups resultants per separat i finalment cal agrupar els estalvis estimats a nivell de partida.

Separant els bombaments per tipologies comparables entre elles, obtenim la següent relació de grups de bombaments:

1. Bombaments d'elevació d'aigua potable.
2. Pous de primera elevació d'aigua crua de l'ETAP de Sant Joan Despí.
3. Bombaments d'aigua d'aqüífer.
4. Cargols d'Arquímedes de segona elevació de l'aigua pretractada.

Per tal de poder determinar el grau d'optimització assolible en cada grup de bombaments d'una forma en què el binomi cabal i alçada altimètrica d'impulsió i les

característiques pròpies de la xarxa receptora, no desvirtuïn la necessària comparació, s'ha d'utilitzar el que a Aigües de Barcelona anomenen coeficient tècnic de les impulsions. El coeficient tècnic (CE), en $\text{wh/m}^3/\text{m}$, dona l'energia consumida (EC) per hora, per cada metre cúbic impulsat (Q_b) cada metre d'alçada manomètrica real (h_{mr}), calculat segons l'Eq. 7.29.

$$CE = EC/Q_b/h_{mr} \quad (\text{Eq. 7.29})$$

Aquest coeficient ja té en compte les pèrdues de càrrega degudes a un possible mal dimensionament de la xarxa receptora del cabal impulsat (per exemple: diàmetres insuficients o excés de consum directe de la canonada d'impulsió). Utilitzant aquest coeficient com a referència és possible comparar grups de bombaments que es troben en condicions similars

El coeficient tècnic obtingut per un bombament en condicions de laboratori és de $1,5 \text{ Whm}^3$, tot i que a la realitat aquest valor no és ni de bon tros assolible. És per aquest motiu que es realitza un estudi estadístic a partir dels paràmetres històrics de cada grup de bombaments a fi d'estimar un marge de millora realista i evitar sobreestimar l'estalvi potencial. Per realitzar l'estudi estadístic s'utilitzen les dades històriques dels darrers 3 anys dels bombaments de l'abastament que es troben en bon estat i no presenten cap anomalia. De fet, com es pot comprovar a continuació la complexitat de la tècnica estadística utilitzada a cada grup està molt condicionada per la població de bombaments disponible, la fiabilitat de les dades i l'històric disponible.

A grans trets el que es fa és netejar les dades de partida a cada grup de bombaments per tal de corregir o filtrar períodes concrets o bé bombaments amb un nombre de dades no fiables massa alt. Fet això es trien els bombaments representatius per cada interval de potències i s'utilitzen els valors dels seus coeficients tècnics mitjans per deduir el conjunt de coeficients tècnics teòrics que podrien arribar a tenir tots els bombaments amb dades fiables de cada grup en cas de renovació. Amb els coeficients tècnics teòrics és possible calcular l'energia consumida teòrica (EC_t), utilitzant també els cabals bombats del darrer any (Q_b) i l'alçada manomètrica real (h_{mr}).

A continuació, es detalla el càlcul de l'indicador per cadascun dels 4 grups de bombaments relacionats anteriorment:

Bombaments d'elevació d'aigua potable:

Primerament es classifiquen els bombaments segons les característiques següents:

- Sense anomalies i amb menys de 30 anys.
- Antics, si tenen més de 30 anys.
- D'aspiració negativa.
- Fora de servei.

- No fiables, a causa de les condicions d'exploració o diverses circumstàncies els responsables de les instal·lacions indiquen que els valors que s'han registrat no són fidels al normal funcionament.
- No renovables, d'instal·lació recent.
- Sense ús.
- Bombaments de sobrepressió.

Es calculen els coeficients tècnics de cadascuna de les bombes que es consideren representatives d'un bon funcionament: Els Bombaments sense anomalies i amb menys de 30 anys i els No renovables, d'instal·lació recent.

Amb els coeficients tècnics dels bombaments representatius i el detall de la seva potència nominal s'extreu la regressió que permet estimar el coeficient tècnic per tots els bombaments del grup que serveixen de base per al càlcul de l'estalvi potencial. Els bombaments que no s'han tingut en compte per calcular l'estalvi són: els bombaments de sobrepressió, els d'aspiració negativa i els no fiables.

A continuació, la Figura 7.14 mostra el coeficient tècnic segons la potència nominal mitjana dels bombaments representatius d'un bon funcionament.

S'utilitza una regressió logarítmica doncs és la que té un coeficient de correlació (R) més elevat. L'equació resultant s'aplica a la potència dels bombaments que serveixen de base per al càlcul de l'estalvi potencial per obtenir un el coeficient tècnic teòric en cas de renovació.

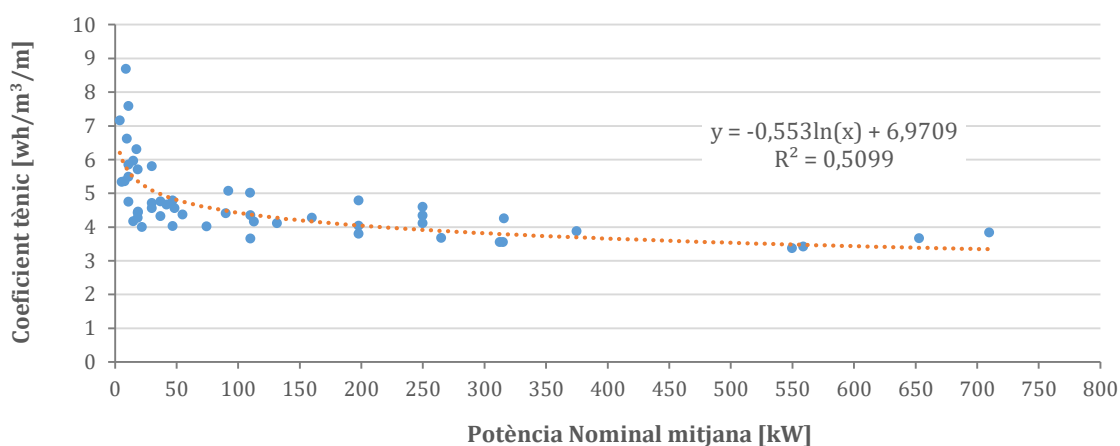


Figura 7.14. Coeficient tècnic dels bombaments seleccionats amb relació a la seva potència nominal mitjana

Concretament, es calcula el coeficient tècnic teòric (CTT) d'acord amb l'Eq. 7.30, amb els cabals bombats (Q_b) i l'altura elevada (h), s'obté l'energia consumida teòrica (EC_t), tal com es mostra a l'Eq. 7.31.

$$CTT = -0,553 \ln(PN) + 6,9709 \quad (\text{Eq. 7.30})$$

$$EC_t = CTT \cdot Q_b \cdot h \quad (\text{Eq. 7.31})$$

Pous de primera elevació d'aigua crua de l'ETAP de Sant Joan Despí

Els pous de primera elevació, a banda de ser els únics que bomben aigua crua, tenen un règim de funcionament molt variable a causa de la gran variabilitat del nivell d'aigua a la captació. Aquesta singularitat fa que només siguin comparables entre ells. És per aquest motiu que l'estudi s'ha limitat a escollir aquells que d'acord amb les dades històriques presenten la millor eficiència i aquesta és creïble. Concretament per cadascun dels 2 nivells de potència de les 12 bombes que integren aquest grup, s'ha calculat la mitjana dels coeficients tècnics calculats i aquesta ha servit per calcular el CTT de la resta de bombaments.

Com en el cas dels *Bombaments d'elevació d'aigua potable*, es calcula l'energia consumida teòrica (EC_t) segons l'Eq. 7.31, utilitzant la mitjana corresponent per nivell de potència del CTT dels bombaments de primera elevació, el cabal bombat (Q_b) i l'altura elevada (h).

Bombaments pous de captació aigua subterrània

Els pous de captació d'aigua subterrània possibiliten cobrir la demanda en el cas de manca d'altres recursos. En són exemples els períodes de sequera o les avingudes degudes a pluges. Durant aquestes avingudes no es pot captar aigua superficial del riu a causa de que paràmetres de qualitat de l'aigua, com la terbolesa, no ho permeten. Hi ha 26 pous de captació equipats amb bombes de diferents potències nominals.

A la Figura 7.15 apareixen dos dels pous que es troben dins del recinte de la central de Cornellà, el de l'esquerra és el primer pou construït, anomenat Fives-Lille, aquest data del 1905 i actualment encara extreu aigua a 34,35 metres de profunditat.

Per poder determinar el coeficient tècnic teòric (CTT) de cadascuna de les bombes, com per al grup *Pous de primera elevació d'aigua crua de l'ETAP de Sant Joan Despí*, s'utilitza la mitjana dels coeficients tècnics representatius per nivells de potència, per assignar els valors esperables en cas de renovació a la resta del parc. En aquest cas, com en el cas dels bombaments, hi ha pous que estan fora de servei o que no són fiables i per tant no s'utilitzen per a la determinació del CTT. Un cop determinat el CTT amb les dades mitjanes, es calcula l'energia consumida teòrica (EC_t) segons l'Eq. 7.31 per cadascun dels pous.



Figura 7.15. Pous de captació d'aigua subterrània aqüífer del riu Llobregat

Cargols d'Arquímedes de segona elevació de l'aigua pretractada

Els cargols 4 d'Arquímedes (Figura 7.16), s'encarreguen d'elevat l'aigua pretractada perquè aquesta pugui accedir als 2 postractaments possibles, el clàssic i la ultrafiltració més osmosis inversa per gravetat. Són bombaments únics i per tant només comprables entre ells. És per aquest motiu, que l'estudi s'ha limitat a escollir aquell cargol que d'acord amb l'històric presenta la millor eficiència i aquesta és creïble. De fet, molt recentment es va substituir un dels cargols i el rendiment observat per aquest és el que s'utilitza per obtenir el CTT esperable de la resta de cargols en cas de renovació. Un cop determinat el CTT, es calcula l'energia consumida teòrica (EC_t) segons l'Eq. 7.31 per cadascun dels cargols.



Figura 7.16. Cargols Arquímedes i cambra d'aspiració del bombament intermedi a la ETAP de Sant Joan Despí

Finalment, per totes les bombes, es determina el valor d'energia consumida estalvable (ECE), segons l'Eq. 7.32 com la diferència entre l'energia consumida enregistrada

(EC_{real}), corresponent al valor realment consumit, i l'energia consumida teòrica (EC_t) calculada segons l'Eq. 7.31 amb el coeficient tècnic teòric per cadascun dels grups anteriorment descrits.

$$ECE = EC_{real} - EC_t \quad (\text{Eq. 7.32})$$

Xarxa

Les pèrdues d'aigua de la xarxa tenen un cost energètic associat segons a la cota en que es perd l'aigua. Per quantificar el potencial d'estalvi d'energia associat a aquestes pèrdues cal multiplicar pel consum elèctric específic de la cota d'abastament on es produeixen aquestes.

Aquesta aproximació però, no és directament comparable amb els estalvis potencials de consum d'energia per inversió en altres partides. Recordem que l'objectiu de l'indicador és quantificar el potencial que té cada euro invertit de generar un estalvi en consum energètic. Si es mesura tot el potencial de la de recuperació d'energia associat a la renovació de la xarxa i es compara directament amb l'associat a bombaments i edificis no s'aconsegueix fer aquesta quantificació. Fet d'aquesta forma s'està obviant que ambdós estalvis impliquen volums d'inversió massa dispars: renovar tota la xarxa versus renovar tots els bombaments i tots els equips de climatització. És per això que per fer comparable l'estalvi potencial associat al conjunt de la xarxa cal aplicar un coeficient d'homogeneïtzació a l'energia associada a les pèrdues d'aigua, que simplement és la relació de l'estimació del valor dels actius bombaments + instal·lacions de climatització versus l'estimació del valor de la xarxa (5%).

L'indicador d'estalvi potencial d'energia (EPE) del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució (apartat 4.3.3), permet obtenir l'energia associada a les pèrdues estimades per la xarxa de distribució. Recordem que aquest indicador resulta d'aplicar el consum específic d'energia elèctrica de cada cota a les pèrdues estimades també a nivell de cota. Aquest detall per cotes només està disponible per la xarxa de Distribució perquè els models de renovació de les xarxa de Transport i Producció encara no s'han desenvolupat.

És per això que un cop obtingut la ràtio d'energia consumida (REC), resultat de la relació entre l'energia associada a les pèrdues estimades per la xarxa de distribució i el volum d'aigua perduda estimada de la xarxa de Distribució, aquest s'utilitza per quantificar l'energia consumida teòrica perduda associada al volum d'aigua perdut de totes les tipologies de xarxa.

Així, tal com es presenta a l'Eq. 7.33, l'Eq. 7.34 i l'Eq. 7.35 amb l'Aigua No Registrada (ANR) de cada tipus de xarxa i multiplicant pel REC s'obté l'energia consumida teòrica (EC) associat a les fuites de la xarxa de les tres tipologies de xarxa.

$$EC_{t_{xarxa}producció} = ANR_{producció} \cdot REC \quad (\text{Eq. 7.33})$$

$$EC_{t_{xarxa}transport} = ANR_{transport} \cdot REC \quad (\text{Eq. 7.34})$$

$$EC_{t_{xarxa}distribució} = ANR_{distribució} \cdot REC \quad (\text{Eq. 7.35})$$

Pel cas de la xarxa, aquest valor associat a l'energia consumida teòrica ($EC_{t_{xarxa}}$) perduda és igual al valor d'energia consumida estalvable (ECE).

Consum Edificis

Per determinar l'energia consumida estalvable (ECE) dels edificis s'estudia el consum energètic dels últims anys i es determina per cada any l'estalvi anual respecte l'any anterior. La Figura 7.17 presenta la diferència entre consums energètics respecte a l'any anterior i el valor predit d'energia consumida estalvable (ECE) pel 2018.

El valor negatiu de la Figura 7.17 reflecteix un major consum durant el 2015 que al 2014, en canvi a la resta d'anys, el 2016 i 2017, s'observa en ambdós casos una disminució del consum respecte a l'any anterior.

Aquests valors de consum d'energia estan estretament lligats a les temperatures enregistrades a l'àmbit on es troben aquests edificis durant l'any, ja que el consum energètic dels edificis és degut majoritàriament a l'ús dels sistemes de climatització. A la Figura 7.18 es mostren les temperatures mitjanes anuals a Barcelona entre l'any 1780 i el 2017, on s'observa que la temperatura mitjana més elevada es va produir durant el 2017. Aquest fet justifica l'increment de consum observat a la Figura 7.17 al 2017.

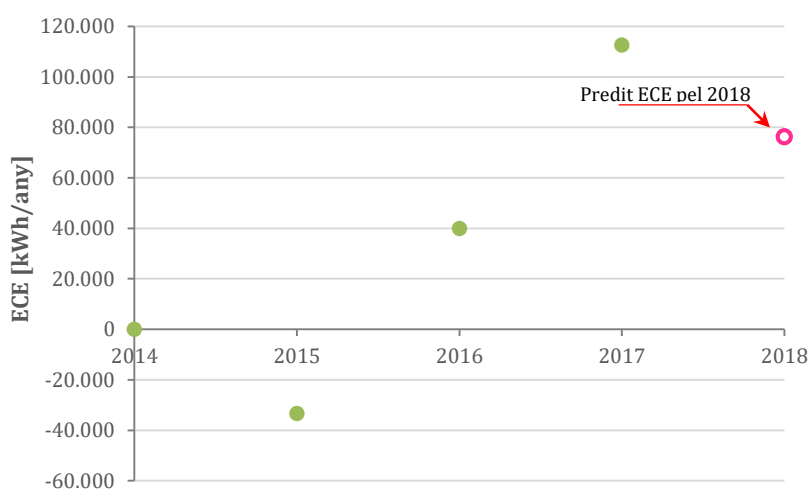


Figura 7.17. Estalvi anual respecte els anys anteriors, i predicció d'energia estalvable pel 2018

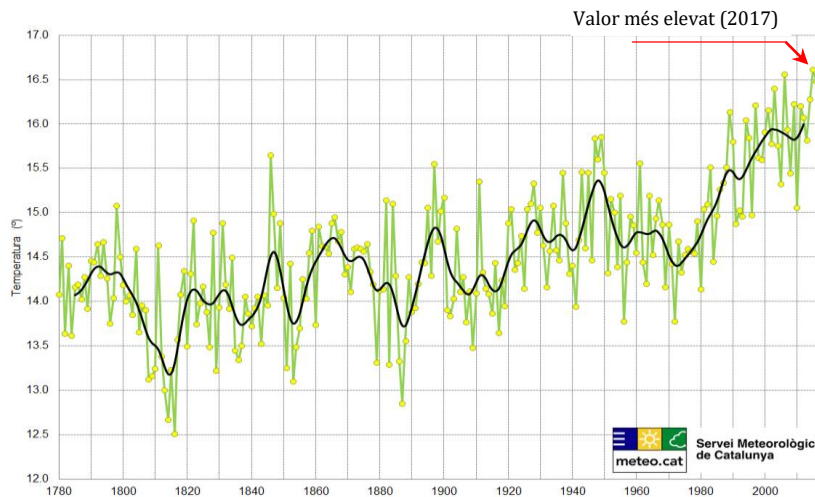


Figura 7.18. Registes històric de temperatures mitjanes anuals a Barcelona (1780 – 2017) (font: Servei Meteorològic de Catalunya)

Per determinar el valor d'energia consumida estalviable (ECE) pel 2018 que es presenta a la Figura 7.17, es realitza la mitjana entre els valors de disminució del consum observats durant el 2016 i el 2017.

Un cop definida l'energia consumida estalviable (ECE) per cadascun dels àmbits, aquests valors s'escalen de 0 – 1 utilitzant la funció de valor lineal de la Figura 7.19, on el valor màxim de les abscisses és la suma de l' ECE de totes les partides. A partir d'aquest resultat queda definida la funció de valor que escala l'indicador entre 0 i 1.

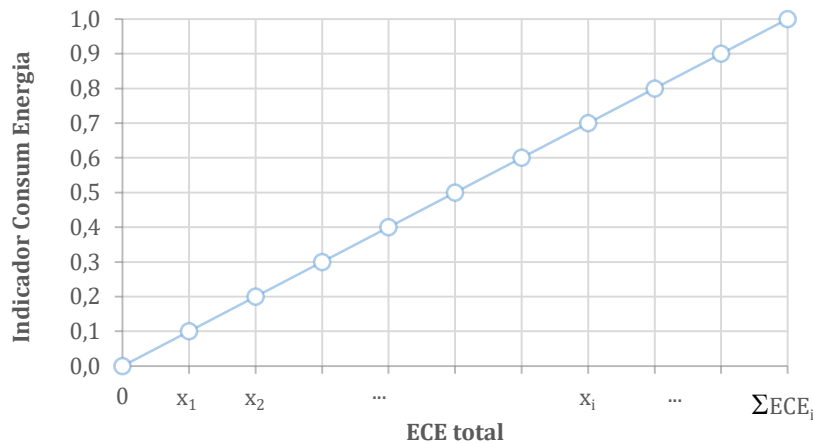


Figura 7.19. Funció de valor Indicador Consum Eficient d'Energia

Com a resum, la Taula 7.25 presenta, en primer lloc, els resultats de l'energia consumida teòrica (EC_t), l'energia consumida enregistrada (EC_{real}) i l'energia consumida estalviable (ECE) dels bombaments corresponents a la partida Producció i la partida Transport. Seguidament apareix l'energia consumida estalviable (ECE) associada a les fugites dels diferents tipus de xarxa, a les partides de Producció, Transport i Distribució, tal com

s'ha esmentat anteriorment aquestes fuites són ponderades pel coeficient d'homogeneïtzació (5%) per tenir en compte que caldria renovar tota la xarxa per poder estalviar tota aquesta energia. Així per obtenir les fuites ECE normalitzat només cal multiplicar la columna fuites ECE pel coeficient d'homogeneïtzació (5%). Finalment, amb la funció de valor presentada a la Figura 7.19 s'obté el valor normalitzat de l'indicador de Consum Eficient d'Energia.

Taula 7.25. Resultat paràmetres Indicador Consum Eficient d'Energia [kWh]

Partides	Bombaments			Fuites ECE	Fuites ECE normalitzat	ECE total	Indicador Energia
	EC_t	EC_{real}	ECE				
Producció	21.132.736	19.078.296	2.054.441	133.308	6.665	2.061.106	52,91%
Transport	15.573.481	14.218.050	1.355.431	3.582.627	179.131	1.534.562	39,39%
Distribució	-	-	-	4.475.666	223.783	223.783	5,74%
Resta d'Àmbits	-	-	-	-	-	-	-
Gestió Edificis	-	-	76.194,71	-	-	76.194,71	1,96%
Control Operatiu	-	-	-	-	-	-	-
Laboratori	-	-	-	-	-	-	-
Sistemes d'informació	-	-	-	-	-	-	-
Subministrament	-	-	-	-	-	-	-
Recursos Hídrics Alternatius	-	-	-	-	-	-	-
						3.895.646	

7.3.4 Petjada de CO₂

El canvi climàtic, cada cop més evident, representa un dels grans reptes de la societat actual, afectant directament la qualitat de vida de les persones i la disponibilitat de recursos. La reducció d'emissions de gasos d'efecte d'hivernacle (GEH) és una de les accions per combatre el canvi climàtic i minimitzar els seus efectes sobre la societat i el medi ambient.

L'indicador de petjada de CO₂ es basa en el càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle que es realitza seguint la *Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (Oficina Catalana del Canvi Climàtic)*.

La petjada de carboni és una mesura de la qualitat d'emissions de gasos d'efecte d'hivernacle associats a un producte o activitat. Les **categories d'emissions de GEH** associades a l'activitat d'una organització es poden classificar segons si són:

- **Emissions directes.** Són emissions de fonts que posseeix o controla el subjecte que genera l'activitat.
- **Emissions indirectes.** Són emissions conseqüència de les activitats que el subjecte realitza, però que tenen lloc en fonts que posseeix o controla un altre subjecte.

En concret, es poden definir en tres nivells d'abast segons les emissions a les quals es refereixen (Figura 7.20):

- **Abast 1.** Emissions directes.
Inclou les emissions directes que procedeixen de fonts que posseeix o controla el subjecte que genera l'activitat. En són exemple: la crema de combustible dels vehicles de flota, emissions de procés de les EDAR, els gasos fluorats...
- **Abast 2.** Emissions indirectes de la generació d'electricitat i de calor, vapor o fred.
Comprèn les emissions derivades del consum d'electricitat que no sigui d'origen renovable i de la calor, vapor o fred. Aquestes emissions es produeixen físicament en la instal·lació on l'electricitat o la calor, vapor o fred són generats. Aquestes instal·lacions productores són diferents de l'organització de la qual s'estimen les emissions. L'exemple en aquest abast és: l'electricitat consumida de la xarxa.
- **Abast 3.** Altres emissions indirectes.
Inclou tota la resta d'emissions indirectes, les emissions d'aquest abast 3 són conseqüència de les activitats del subjecte, però provenen de fonts que no són posseïdores o controlades pel subjecte. En són exemple: el consum de reactius; els viatges i desplaçaments d'empresa; el transport de materials, reactius i residus; la disposició final de residus; i, les emissions dels efluent de les depuradores.

Les emissions de procés de les EDAR i les emissions dels efluent de les depuradores, emissions de l'abast 1 i 3 respectivament, no apliquen en aquest cas ja que són emissions de les etapes de sanejament que no formen part de l'àmbit d'estudi. Per aquest motiu apareixen a la Figura 7.20 amb diferent tipografia.

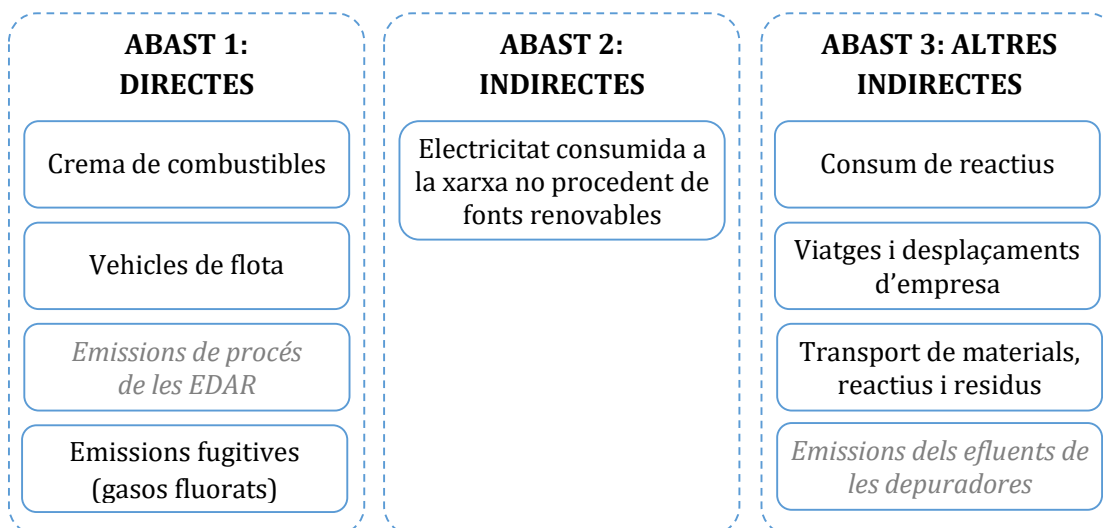


Figura 7.20. Classificació de les emissions de GEH amb exemples

Quan es parla de GEH es fa referència a CO₂ equivalent (CO₂ eq), que inclou els sis gasos amb efecte d'hivernacle que recull el Protocol de Kyoto: diòxid de carboni (CO₂), metà (CH₄), òxid de nitrogen (N₂O), hidrofluorcarburs (HFC), perfluorcarburs (PFC), i hexafluorur de sofre (SF₆).

La definició de diòxid de carboni equivalent (CO₂ eq) és la quantitat d'emissions de CO₂ que provocaria la mateixa intensitat radiant que una determinada quantitat emesa d'un gas amb efecte d'hivernacle o una mescla de gasos amb efecte d'hivernacle, multiplicada pel seu potencial d'escalfament global o GWP (de l'anglès *Global-Warming Potential*) respectiu per tenir en compte els diferents temps que es mantenen a l'atmosfera.

El càlcul de l'indicador s'ha realitzat utilitzant les dades del càlcul de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (obtinguts de l'*Informe Empremta Carboni* del qual disposa AB), a partir de l'anàlisi d'aquelles emissions dels tres abasts que es podrien reduir mitjançant una inversió. La Taula 7.26 detalla les emissions de l'abastament reduïbles o no reduïbles via inversió segons l'abast al qual pertanyen.

Taula 7.26. Capacitat de reducció de les emissions de l'abastament mitjançant inversió

Abast	Reduïbles via inversió	No reduïbles via inversió
1	<ul style="list-style-type: none"> Consum de gasoil Emissions fugitives dels gasos refrigerants 	<ul style="list-style-type: none"> Gas natural Vehicles de flota (elèctrics)
2		Consum d'energia verda (apartat 7.3.3)
3	<ul style="list-style-type: none"> Residus urbans 	<ul style="list-style-type: none"> Transport de materials, reactius i residus Consum de reactius

Segons la Taula 7.26 les emissions *reduïbles* via inversió són:

- Consum de gasoil, aquest consum es pot reduir utilitzant equips de baix consum.
- Emissions fugitives dels gasos refrigerants, aquestes poden ser reduïdes reemplaçant aquells equips que degut a l'estat en que es troben tenen pèrdues d'aquests gasos.
- Emissions degudes al tractament de residus urbans, aquestes poden ser reduïdes mitjançant inversions en digitalització, elements reutilitzables...

Per contra, les *no reduïbles* via inversió són:

- Gas natural, aquest combustible fòssil només es consumeix per l'atomització de fangs i s'estima que no es pot reduir aquest consum.
- Vehicles de flota, es podria reduir l'impacte dels vehicles adquirint vehicles elèctrics. En aquest cas, actualment molts dels vehicles són elèctrics com a mesura per reduir les emissions, tot i que realitzar aquest canvi no estaria inclòs dins de les inversions, doncs al ser de *Renting* financerament l'empresa no ho computa com inversió.
- El transport de materials, reactius i residus, tampoc es pot reduir mitjançant una inversió ja que les plantes de tractament de residus són alienes a l'empresa.
- Consum de reactius, el volum de reactius consumits no és un paràmetre que es pugui modificar realitzant una inversió. Una possibilitat per realitzar una reducció de les emissions que sí podria derivar en una inversió, és el canvi de reactiu per un altre

que tingui un factor d'emissió menor. Tot i que a priori, després de l'anàlisi, sembla que s'està utilitzat allò que és més idoni.

Aigües de Barcelona consumeix energia verda, i per tant d'origen renovable, pel que no computa per al càlcul de les emissions (*Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, 2019*).

Per altra banda, cal diferenciar les emissions segons la divisió on es produeixen, és a dir, quina part d'aquestes emissions s'originen a les diferents partides: Producció, Transport, Distribució o alguna de les divisions de Resta d'Àmbits. El càlcul de les emissions es realitza per cadascuna de les instal·lacions, així doncs a l'*Informe empremta Carboni* es pot identificar de forma directa les emissions de la partida Producció i les partides transversals de Resta d'Àmbits. Per contra, les emissions de la partida Distribució i Transport no estan segregades en el document. Al disposar de l'estimació d'emissions conjunta es realitza un repartiment d'aquestes emissions d'acord amb la següent proporció: 75% de les emissions degudes a accions a distribució i el 25% per accions a transport.

Sumats els kg de CO₂ estimats reduïbles per inversió corresponents a cada partida (Taula 7.27), es realitza una distribució proporcional segons el valor que representen els kg de CO₂ d'aquella partida sobre el total de kg de CO₂. Així, resulten valors escalats de 0 – 1 utilitzant la funció de valor lineal de la Figura 7.21, on el valor màxim de les abscisses és la suma dels kg de CO₂ millorables via inversió de totes les partides. A partir d'aquest valor queda definida la funció de valor que proporciona valors de l'indicador entre 0 i 1 com a resultat.

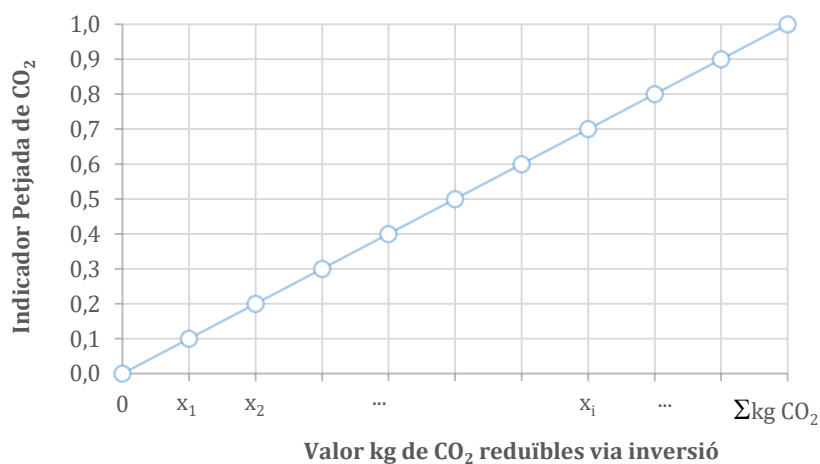


Figura 7.21. Funció de valor Indicador Petjada de CO₂

A la Taula 7.27 es presenta el resultat dels paràmetres de l'indicador petjada de CO₂. En primer lloc apareixen els kg de CO₂ reduïbles via inversió i finalment, amb la funció de valor presentada a la Figura 7.21 s'obté el valor normalitzat de l'indicador de petjada CO₂.

Taula 7.27. Resultat paràmetres de l'Indicador Petjada de CO₂

Partides	kg de CO ₂ reduïbles via inversió	Indicador petjada CO ₂
Producció	615.150	55,70%
Transport	17.950	1,63%
Distribució	53.849	4,88%
Resta d'Àmbits		
Gestió Edificis	417.389	37,80%
Control Operatiu		
Laboratori		
Sistemes d'informació		
Subministrament		
Recursos Hídrics Alternatius		
	1.104.337	100,00%

7.3.5 Biodiversitat

La Cimera de la Terra, celebrada per les Nacions Unides a Ríode Janeiro el 1992, reconeixia a nivell mundial la necessitat de buscar la conciliació entre la preservació de la biodiversitat i el progrés humà, segons els criteris de sostenibilitat ja promulgats al Conveni Internacional sobre la Diversitat Biològica, aprovat a Nairobi el 22 de maig de 1992, data posteriorment declarada per l'Assemblea General de la ONU com a Dia Internacional de la Biodiversitat (ONU, 1998).

El Conveni Internacional sobre la Diversitat Biològica defineix la **biodiversitat** com la variabilitat d'organismes vius de qualsevol font, inclosos, entre altres, els ecosistemes terrestres, marins, altres ecosistemes aquàtics i els complexos processos ecològics dels quals formen part. Comprèn la diversitat dins de cada espècie (genètica), entre les espècies i dels ecosistemes.

Una de les accions per afavorir la biodiversitat de l'entorn és la creació d'espais naturals on l'activitat humana ha construït superfícies dures. La naturalització de les instal·lacions aconsegueix la protecció i l'afavoriment de la biodiversitat de l'entorn. Hi ha diverses accions que es poden realitzar dins l'estratègia de biodiversitat:

- Restauració d'ecosistemes clau del cicle de l'aigua
- Educació i sensibilització
- Prevenció i control d'amenaques i impactes
- Potenciació dels serveis ecosistèmics en zones urbanes
- Naturalització d'infraestructures

De les accions esmentades anteriorment, mitjançant inversió l'acció principal que es pot dur a terme és la naturalització d'infraestructures. Les infraestructures susceptibles de ser naturalitzades són les ETAP dins la partida de Producció, les centrals i els dipòsits dins de la partida de Transport i producció, i els edificis dins la partida de Gestió Edificis. Cal

tenir en compte que en cap cas no es pot naturalitzar sobre un dipòsit per evitar problemes sanitaris (Reial decret 140/2003).

Una de les accions realitzades en aquesta línia, és la renaturalització d'una part de l'ETAP de Sant Joan Despí, on actualment hi ha un jardí de papallones que fomenta la biodiversitat de la zona, a la Figura 7.22 es mostra aquest jardí. El Parc de les Aigües de la Central Cornellà compta amb una façana verda al dipòsit d'equilibri i un jardí de papallones dins del recinte on es troben els pous. La Figura 7.23 il·lustra la zona de la Central Cornellà.



Figura 7.22. Jardí de Papallones de la ETAP Sant Joan Despí

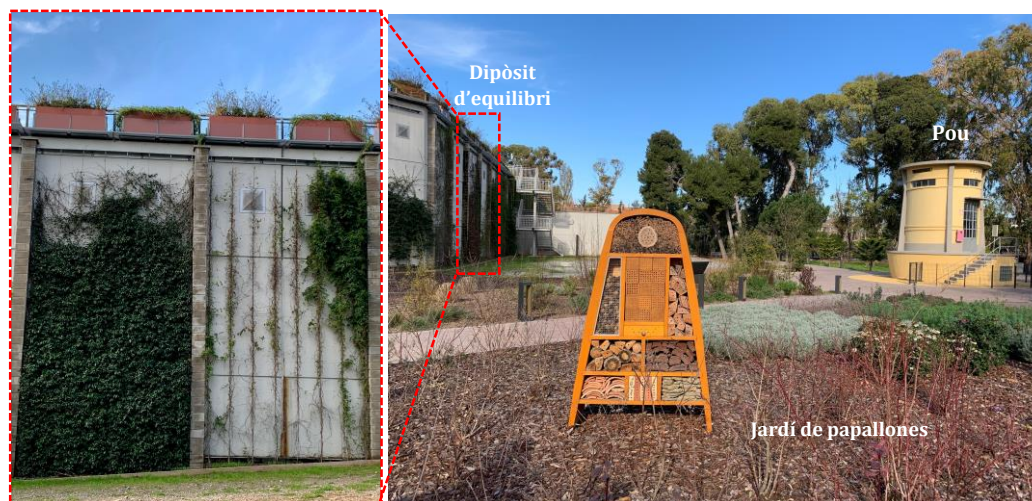


Figura 7.23. Dipòsit d'equilibri, jardí de papallones i pou del recinte de la Central Cornellà

És per aquest motiu que l'indicador de biodiversitat mesura el grau d'oportunitat que tenen cadascuna de les instal·lacions de l'empresa. Per determinar el grau d'oportunitat de les instal·lacions s'aplica l'Eq. 7.36, on cada paràmetre està ponderat per una importància relativa definida pel grup d'experts en biodiversitat d'AB:

$$\text{Oportunitat } BIO_i = f \cdot (GN \cdot 3 + IV \cdot 2 + V \cdot 2 + TV \cdot 1 + SN \cdot 1) \quad (\text{Eq. 7.36})$$

- on:
- f : és la factibilitat de l'actuació (segons Taula 7.28)
 - GN: és funció del grau de naturalització (segons Taula 7.28)
 - IV: és funció de l'impacte visual que té (segons Taula 7.28)
 - V: és funció del grau de viabilitat que té (segons Taula 7.28)
 - TV: és funció del tipus de vegetació (segons Taula 7.28)
 - SN: és funció de la superfície naturalitzable m^2 (segons Taula 7.28)

Taula 7.28. Definició dels camps per estimar el grau d'oportunitat de l'indicador de biodiversitat

Puntuació:	0	1	2	3
Grau de naturalització - GN	Molta vegetació i poc asfalt	50% asfalt 50% vegetació	75% asfalt 25% vegetació	Gairebé tot asfalt
Tipus de vegetació - TV	Vegetació molt desenvolupada (arbres adults, arbustos)	Vegetació desenvolupada (arbres joves i arbustos)	Poc desenvolupada (herbassars, gespa i sense arbres)	Sense vegetació o molt poca
Impacte visual - IV	Edifici completament integrat amb el medi	Edifici amb impacte visual només des d'una sola perspectiva de visió	Edifici parcialment integrat amb el paisatge	Edifici no integrat amb el paisatge
Visibilitat - V	Zona aïllada (només uns pocs excursionistes)	Poc concorreguda (només excursionistes)	En teixit urbà de mitjà mobilitat o amb visites freqüents	En teixit urbà de molt alta mobilitat dins del municipi que veu el centre
Superfície naturalitzable (m^2) - SN	Entorn a naturalitzar de menys de < 250 m^2	Entorn a naturalitzar >250 i <500 m^2	Entorn a naturalitzar >500 i <1000 m^2	Entorn a naturalitzar >1000 m^2
Factibilitat - f	Entorn a naturalitzar ≤ 25 anys i no hi ha sinergies possibles	Entorn a naturalitzar >25 i ≤ 50 anys i no hi ha sinergies possibles	Entorn a naturalitzar >50 anys i no hi ha sinergies possibles	Entorn a naturalitzar amb sinergies possibles

Un cop determinat el grau d'oportunitat de l'indicador de biodiversitat (BIO) per totes les instal·lacions ($Oportunitat BIO_i$), s'aplica la funció de valor presentada a la Figura 7.24 amb la qual s'obté el valor de l'indicador.

Com es mostra a la Figura 7.24, es tracta d'una funció de valor per parts on s'han definit 4 trams. S'estudien les situacions més desfavorables que es poden donar, s'observa que en cap cas hi ha una instal·lació amb una puntuació igual a 3 a tots els paràmetres. Buscant una situació desfavorable possible podríem trobar una instal·lació amb puntuació igual a 2 a tots els paràmetres de l'Eq. 7.36, obtenint així una puntuació d' $Oportunitat BIO_i = 36$. És per aquest motiu que s'ha utilitzat com a llindas els valors 9, 18 i 27 resultat de realitzar quatre nivells.

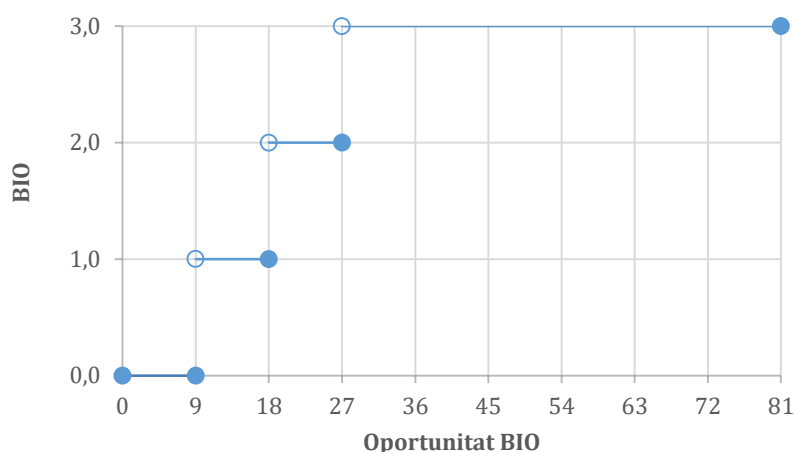


Figura 7.24. Funció de valor Indicador Biodiversitat

La Taula 7.29 presenta el valor normalitzat de l'indicador de Biodiversitat, d'on s'observa que la partida amb més oportunitat en aquest sentit és Producció en un (60,15%) i seguidament es troba la partida de Transport amb el 39,85% restant. La partida de Gestió Edificis obté un 0% ja que les seves instal·lacions actualment ja estan naturalitzades o no s'ha detectat la possibilitat de poder-les naturalitzar.

Taula 7.29. Resultat paràmetres Indicador Biodiversitat

Partides	Indicador normalitzat Biodiversitat
Producció	60,15%
Transport	39,85%
Distribució	-
Resta d'Àmbits	-
Gestió Edificis	0%
Control Operatiu	-
Laboratori	-
Sistemes d'informació	-
Subministrament	-
Recursos Hídrics Alternatius	-
	100,00%

7.4. REQUERIMENT ECONÒMIC

7.4.1 Introducció al Requeriment Econòmic

El requeriment econòmic té un únic indicador, l'índex econòmic (Taula 7.30), que resulta de la composició d'un paràmetre d'estimació del risc per obsolescència de cada partida i un altre de rendibilitat de les inversions a cada partida. És fàcil d'entendre que invertir només en actius més obsolets no té per què generar més rendiment financer a una empresa. Tanmateix, invertir en aquells actius que generen més rendiment tampoc

garanteix una renovació sostenible dels actius, quelcom amb gran rellevància per tota empresa de gestió d'un servei públic

Taula 7.30. Estructura Requeriment Econòmic

Requeriments	Criteris	Indicadors
Econòmic	Índex Econòmic	Índex Econòmic (7.4.2)

Les dades econòmiques d'un servei públic són molt sensibles perquè es poden interpretar malament i fer-ne un ús injust o interessat. En el cas d'una empresa mixta com Aigües de Barcelona la publicació d'aquestes no és responsabilitat exclusiva de la part gestora, sinó que la part pública també hi ha d'estar d'acord. Les dades utilitzades en aquest estudi sorgeixen d'un nivell de detall en el qual només treballa la part gestora i per tant demana un esforç de contextualització i interpretació molt important només per acordar la seva publicació. Per aquest motiu, totes les dades econòmiques s'han treballat directament des del departament d'Econòmic Financer, no podent tenir-hi accés ni l'equip de treball assignat a l'estudi ni els consultors financers contractats específicament per desenvolupar aquest indicador. L'equip de treball però, sí que ha pogut consultar una part de la informació econòmica com són l'històric recent dels comptes d'explotació i balanços de situació, alguns dels expedients de tarifes presentats, així com el detall de la massa salarial i de la pòlissa d'assegurances d'Aigües de Barcelona. Els consultors financers no han tingut accés a cap dada que no fos pública i justament, les eines clau d'aquest estudi, l'expedient de tarifes, el detall de la massa salarial i la pòlissa d'assegurances són documents a l'abast només de determinats departaments de l'empresa i d'algunes autoritats competents en cada matèria. És per aquest motiu que aquest estudi parteix d'un esforç d'abstracció tant per part de l'equip assignat a l'estudi, com per part dels consultors, que ha culminat en el desenvolupament d'una metodologia de determinació de l'índex econòmic només partint dels conceptes necessaris per fer el repartiment per partides. El detall d'aquests conceptes només els podia conèixer el personal assignat a la Direcció d'Econòmic Financer d'Aigües de Barcelona i han estat aquests el que han fet tots els càlculs que demana la metodologia dissenyada. És justament aquest esforç el que es descriu en aquest document.

7.4.2 Índex Econòmic

L'índex econòmic té com a objectiu garantir la sostenibilitat econòmica des d'un punt de vista de la renovació òptima d'aquells actius existents sense obviar la necessitat d'aflorar actuacions que milloraran el sistema d'abastament i per tant el rendiment econòmic de l'activitat.

Així doncs, per decidir si s'ha d'invertir en una partida determinada cal saber el grau d'obsolescència dels actius que la constitueixen i el rendiment financer que generen les inversions que s'hi realitzen.

És per aquest motiu que els indicadors econòmics que tenen en compte les partides de cost i el valor actual dels actius han d'estar completats amb indicadors que ens permetin

incorporar directa o indirectament els ingressos potencials derivats de la inversió. En conseqüència, tenir algun tipus de relació amb la rendibilitat econòmica de la inversió, construïnt un mixt entre indicadors de cost i indicadors d'ingrés.

Cal tenir en compte que gran part dels indicadors econòmics d'ús habitual, s'utilitzen per comparar projectes i destacar aquells que tenen major rendibilitat. En aquest no es vol saber la rendibilitat dels projectes, sinó repartir el volum d'inversió per partides i subpartides. Les actuacions que s'executarien en cada partida s'escullen quan ja s'ha assignat el pressupost disponible i fins a esgotar el pressupost.

La principal informació de base utilitzada per poder dissenyar la metodologia de càlcul de l'índex econòmic són l'històric recent dels comptes d'explotació i balanços de situació, alguns dels expedients de tarifes presentats, així com el detall de la massa salarial i de la pòlissa d'assegurances d'Aigües de Barcelona.

Els comptes d'explotació anuals per partides per a l'estudi s'han organitzat seguint l'esquema de la Taula 7.31. A diferència del balanç de situació, el compte d'explotació permet saber com s'ha arribat a obtenir un guany o una pèrdua al llarg del període analitzat. A la Taula 7.33 es presenta el resum dels criteris per a la construcció del compte d'explotació simplificat per partides, tot i que a continuació es detalla com obtenir els paràmetres per cadascuna de les partides.

Taula 7.31. Estructura teòric dels comptes d'explotació per partides

	Producció	Transport	Distribució	Resta d'Àmbits
(+) Ingressos d'explotació				
(-) Despeses d'explotació				
= Marge Brut d'explotació				
(-) Despeses Generals empresa				
= EBITDA (Earnings Before Interests, Taxes, Depreciations and Amortizations)				
(-) Dotacions per amortització immobilitzat				
= EBIT o BAIT (Earnings Before Interests and Taxes)				
(+) Ingrés financer				
(-) Despesa financera				
= Resultat econòmic activitats ordinàries				
(+) Ingressos extraordinaris				
(-) Despeses extraordinàries				
= EBT (Earnings Before Taxes)				
(-) Impost de Societats				
= BDI (Benefici Després d'Impostos)				
(+) Dotacions per amortització immobilitzat				
(-) Re inversió en actiu fix (CAPEX)				
(+/-) Variació Fons de Maniobra (Working Capital)				
= Free cash flow				

L'estructura dels comptes d'explotació descrita a la (Taula 7.31) segueix els criteris de costos i ingressos descrits a la *Guía de tarifas de los servicios de abastecimiento y saneamiento de agua* (AEAS, 2014). Aquesta guia neix d'un acord de col·laboració entre l'Associació Espanyola d'Abastament d'Aigua i Sanejament (AEAS) i la Federació Espanyola de Municipis i Províncies (FEMP) l'any 2010, degut a la necessitat d'actualitzar el *Manual para la confección de estudios de tarifas en los abastecimientos de agua* editat per l'AEAS al 1982 i posteriorment reeditat i actualitzat al 1997. El nou context caracteritzat per la importància de la legislació i la consciència ambiental, juntament amb l'entrada en vigor de la Directiva Marc de l'Aigua (Directiva 2000/60/CE) i el nou Pla General Comptable (RD 1514/2007) van fer necessari actualitzar el manual del 1997.

La Taula 7.32 il·lustra com s'organitza el repartiment de: *despeses d'explotació del cicle de l'aigua*, *despeses generals* i *ingressos del cicle de l'aigua*. A partir de l'expedient de tarifes d'Aigües de Barcelona del 2014 i els comptes d'explotació del mateix any, es dissenya el mètode de repartiment de despeses. Per fer-ho s'identifiquen els conceptes de despesa aplicables a nivell de partida i es calculen ràtios percentuals d'aquestes respecte els conceptes de despesa del compte d'explotació d'Aigües de Barcelona. Amb aquestes ràtios es reparteixen la major part dels conceptes de despesa del compte d'explotació més recent.

Taula 7.32. Detall despeses d'explotació i generals i ingressos del cicle de l'aigua

Despeses d'explotació del cicle de l'aigua	El personal
	L'energia elèctrica
	La compra d'aigua
	Els canons i les taxes
	Els materials de conservació i funcionament
	Els treballs per conservació de tercers
Despeses generals	Els productes de tractament
	Les despeses generals de gestió
	Les despeses generals en R+D+I
Ingressos del cicle de l'aigua	Ingressos en baixa
	Ingressos en alta

Per repartir les despeses de *personal de l'aigua* és necessari utilitzar una relació de llocs de feina d'Aigües de Barcelona, amb un detall de funcions suficient per obtenir el repartiment de persones a nivell de partides.

El repartiment d'ingressos és més complex. L'expedient de tarifes d'Aigües de Barcelona dona per una banda els ingressos de la venda en alta d'aigua (a Distribuïdors) i per l'altra els ingressos en baixa. Els primers s'han de repartir només entre Producció i Transport de forma proporcional al grau d'implicació que tenen els actius d'aquestes dues partides en aquesta venda i el segons s'ha de repartir entre totes les partides de Pla d'Inversions. Per fer aquest segon repartiment cal fer dos processos d'assignació: un primer que no té en compte cap de les partides de resta d'àmbits i un segon repartiment amb totes les partides i que parteix del repartiment previ.

A la Taula 7.33 es presenta un resum dels criteris utilitzats per a l'obtenció dels ingressos i les despeses del compte d'explotació per partides presentat a la Taula 7.31.

Taula 7.33. Resum dels criteris per a la construcció del compte d'exploració simplificat per partides

	PRODUCCIÓ	TRANSPORT	DISTRIBUCIÓ	Gestió Edificis	RHA Laboratori	SSII DSO	Telectura	Total
(-) Despeses d'exploració cycle de l'aigua								
Personal cycle de l'aigua	$\frac{P_{d+i} \text{ Producció}}{P_{\text{totals}}}$	$\frac{P_{d+i} \text{ Transport}}{P_{\text{totals}}}$	$\frac{P_{d+i} \text{ Distribució}}{P_{\text{totals}}}$					100%
Energia elèctrica	$\frac{kWh_{\text{producció}}}{kWh_{\text{totals}}}$	$\frac{kWh_{\text{transport}}}{kWh_{\text{totals}}}$	-	-	-	-	-	100%
Compra d'aigua	-	$\frac{m^3_{\text{transport}}}{m^3_{\text{totals}}}$	$\frac{m^3_{\text{distribució}}}{m^3_{\text{totals}}}$	-	-	-	-	100%
Cànon i taxes	%	%	%	%	%	%	%	100%
Materials de conservació i funcionament	%	%	%	%	%	%	%	100%
Treballs per conservació de tercer	%	%	%	%	%	%	%	100%
Productes de tractament	%	%	%	%	%	%	%	100%
(-) Despeses generals								
Despeses de gestió	%	%	%	%	%	%	%	100%
Despeses Generals SSII	%	%	%	%	%	%	%	100%
Despeses Generals R+D+I	%	%	%	%	%	%	%	100%
(+) Ingressos								
Ingressos en alta	%	%	%	%	%	%	%	100%
Ingressos en baixa	%	%	%	%	%	%	%	100%
1er repartiment d'ingressos	€	€	€	-	-	-	-	Total €
EBIT o BAIT	€	€	€	-	-	-	-	Total €
1era iteració: ROA provisional	$\frac{BAIT_{\text{producció}}}{VNC_{\text{actiu}}_{\text{producció}}}$	$\frac{BAIT_{\text{transport}}}{VNC_{\text{actiu}}_{\text{transport}}}$	$\frac{BAIT_{\text{distribució}}}{VNC_{\text{actiu}}_{\text{distribució}}}$	-	-	-	-	-
Càlcul BAIT Restat d'Àmbits				$BAIT_{RA} = ROA_{\min(P,T,D)} \cdot \text{Valor net comptable actiu}_{RA}$				
2na iteració: ROA definitiu	$\frac{BAIT_{\text{producció}}}{VNC_{\text{actiu}}_{\text{producció}}}$	$\frac{BAIT_{\text{transport}}}{VNC_{\text{actiu}}_{\text{transport}}}$	$\frac{BAIT_{\text{distribució}}}{VNC_{\text{actiu}}_{\text{distribució}}}$	$\frac{BAIT_{\text{restat d'Àmbits}}}{VNC_{\text{actiu}}_{\text{restat d'Àmbit}}}$				

Dins de les *despeses d'exploració del cicle de l'aigua* es troba:

El personal

Pel que fa a les despeses de personal, s'han considerat totes aquelles despeses de personal que directa o indirectament estan vinculades a cada partida. És a dir, al detall de la massa salarial que ha pogut consultar l'equip de l'estudi, té persones directament vinculades a cadascuna de les partides d'inversió però hi ha altres que pertanyen a departaments de suport que poden donar servei a més d'una partida. Els costos d'aquests persones s'han repartit segons el percentatge de temps estimat dedicat a cadascuna de les partides. En definitiva, s'obtenen els percentatges de persones vinculades a cadascuna de les partides com a resultat de la suma de les persones que directa i indirectament (P_{d+i}) hi contribueixen, entre el total de persones treballadores (P_{totals}), segons es detalla a la Taula 7.34.

Taula 7.34. Distribució del personal per partides d'inversió

Partides	Fórmula
% Producció	$\frac{P_{d+i} \text{Producció}}{P_{totals}}$
% Transport	$\frac{P_{d+i} \text{Transport}}{P_{totals}}$
% Distribució	$\frac{P_{d+i} \text{Distribució}}{P_{totals}}$
% Resta d'Àmbits	$\frac{P_{d+i} \text{Resta Àmbits}}{P_{totals}}$

L'energia elèctrica

La despesa d'energia elèctrica s'assigna a les partides de producció i transport, i aquestes rebran el percentatge de despesa corresponent al percentatge del seu consum (kWh_i) sobre el consum total (kWh_{totals}) segons es detalla a la Taula 7.35.

Taula 7.35. Distribució d'energia elèctrica per partides d'inversió

Partides	Fórmula
% Producció	$\frac{kWh_{producció}}{kWh_{totals}}$
% Transport	$\frac{kWh_{transport}}{kWh_{totals}}$

La compra d'aigua

Igual que en el cas de la despesa d'energia elèctrica, la despesa en compra d'aigua serà proporcional al volum transportat per cada partida (m^3_i) sobre el volum total (m^3_{totals}), en aquest cas entre la partida de Transport i la de Distribució (veure Taula 7.36).

Taula 7.36. Distribució compra d'aigua per partides d'inversió

Partides	Fórmula
% Transport	$\frac{m^3_{transport}}{m^3_{totals}}$
% Distribució	$\frac{m^3_{distribució}}{m^3_{totals}}$

Els cànon i les taxes

Els tipus de cànon i taxes definits a la *Guía de tarifas de los servicios de abastecimiento y saneamiento de agua* són:

- Cànon de Regulació, corresponents a les despeses fixes o variables associades al dret o concessió d'ús dels recursos hídrics.
- Cànon d'abocament, comprenen les despeses fixes o variables associades als abocaments realitzats directa o indirectament en aigües de domini públic.
- Altres cànon i taxes.

L'assignació a les partides d'aquests dos grups, els cànon i les taxes, és funció de la natura de cadascun dels conceptes de cànon o taxes que els componen. Més concretament, cada cànon i taxa es reparteix entre partides i per tant l'assignació a nivell de partida és la corresponent suma de repartiments a baix nivell.

Els Cànon de Regulació es reparteixen en funció del volum aprofitat per aquesta regulació entre Producció, Transport i Distribució. Donat que l'abastament d'Aigües de Barcelona no depèn en exclusiva de les ETAPS de gestió pròpia, és el grau de dependència de les fonts pròpies el que fixa el repartiment per Transport i Distribució (un 30%) i en el cas de l'activitat de Producció depèn al 100% de la funció de regulació.

Els Cànon d'abocament fan referència al cicle de l'aigua en el seu conjunt, és per això que es realitza un repartiment equitatiu entre les partides del cicle.

Dins d'"Altres cànon i taxes" trobem el que s'anomena "producte brut", una taxa municipal que grava l'existència d'infraestructures (xarxa sota terra). És per això que es reparteix entre les partides de Producció, Transport i Distribució en funció dels metres de xarxa que les componen.

També forma part del grup "Altres cànon i taxes" el Cànon de la AMB que afecta a l'activitat en el seu conjunt. En aquest cas s'ha optat per un repartiment equitatiu entre les 3 partides del cicle i la partida "agrupador" Resta d'àmbits.

Els materials de conservació i funcionament

El concepte de materials de conservació i manteniment corresponen als materials utilitzats per garantir el bon funcionament de l'abastament, quelcom que inclou productes i materials emprats per l'anàlisi de la qualitat d'aigua.

La despesa de manteniment considera materials i productes utilitzats tant en manteniments preventius com correctius.

El repartiment per partides ha utilitzat les proporcions obtingudes de l'estudi de l'expedient de tarifes de 2014 i aquestes proporcions les ha aplicat el departament d'econòmic financer sobre els valors més recents de la línia comptable de materials de conservació i funcionament.

Els treballs per conservació de tercers

En aquest apartat s'engloben aquelles subcontractacions a tercers relatives a manteniment i conservació, reparacions i substitucions d'elements hidràulics de la xarxa, així com al moviment de terres, obra civil i senyalització necessaris per la instal·lació d'aquests elements.

El repartiment per partides ha utilitzat les proporcions obtingudes de l'estudi de l'expedient de tarifes de 2014 i aquestes proporcions les ha aplicat el departament d'econòmic financer sobre els valors més recents de la línia comptable de treballs per conservació de tercers.

Els productes de tractament

Aquest apartat comptabilitza aquelles despeses de productes químics, processos i procediments incorreguts en el tractament i potabilització de l'aigua, que indica la legislació vigent.

El repartiment per partides ha utilitzat les proporcions obtingudes de l'estudi de l'expedient de tarifes de 2014 i aquestes proporcions les ha aplicat el departament d'econòmic financer sobre els valors més recents de la línia comptable de productes de tractament.

Dins de les *despeses generals* es troben:

Les despeses generals de gestió

Les despeses generals de gestió s'engloben en tres grups: despeses de transport, despeses de subministraments i serveis varis, i altres despeses generals com són les assegurances, assessories entre d'altres.

El repartiment per partides ha utilitzat les proporcions obtingudes de l'estudi de l'expedient de tarifes de 2014 i aquestes proporcions les ha aplicat el departament d'econòmic financer sobre els valors més recents de la línia comptable de despeses generals de gestió.

Les despeses generals en R+D+I (recerca, desenvolupament i innovació)

Les despeses vinculades a R+D+I són de caràcter divers, ja que aquestes poden venir de projectes on es pot determinar clarament quina és la partida a la qual contribueixen, com podria ser un projecte d'eficiència energètica de les centrals o d'altres més genèrics que impacten sobre varies partides.

El repartiment per partides ha utilitzat les proporcions obtingudes de l'estudi de l'expedient de tarifes de 2014 i aquestes proporcions les ha aplicat el departament d'econòmic financer sobre els valors més recents de la línia comptable de despeses generals en R+D+I.

Pel que fa als *ingressos del cicle de l'aigua* existeixen ingressos en alta i ingressos en baixa.

Ingressos en alta

Aquests ingressos són degut a vendes en alta a altres distribuïdors i aquesta aigua es ven des de la xarxa de transport. Com ja s'ha comentat, aquests ingressos es reparteixen entre Producció i Transport de forma proporcional al grau d'implicació que tenen els actius d'aquestes dues partides en aquesta aigua.

Ingressos en baixa

Pel que fa als ingressos en baixa per poder-los assignar a cadascuna de les partides s'ha seguit els següents criteris:

Primera iteració. En aquesta primera aproximació, s'estableix un primer repartiment dels ingressos a partir de les partides d'inversió que coincideixen amb el cicle integral de l'aigua (Producció, Transport i Distribució) deixant de banda les partides de Resta d'Àmbits. En aquest punt s'assumeix com a hipòtesis de partida que es dona el mateix pes relatiu a:

- La contribució que fa cada partida a l'abastament, és a dir, el total d'aigua produïda, el total d'aigua transportada i el total d'aigua distribuïda.
- El percentatge del Valor Net Comptable a cadascuna de les partides.
- El percentatge de costos que suposa mantenir en funcionament cada part del cicle de l'aigua

Tenint en compte aquest primer repartiment dels ingressos i les despeses tant d'explotació com les generals per les tres partides considerades (Producció, Transport i Distribució) s'obté el BAIT segons l'estructura dels comptes d'explotació (veure Taula 7.31). Amb aquest BAIT i el Valor Net Comptable es calcula el Return On Assets (ROA') de cadascuna d'aquestes tres partides segons l'Eq. 7.37.

$$ROA'_i = \frac{BAIT_i}{Valor\ net\ comptable\ actiu_i} \quad (Eq. 7.37)$$

Per al càlcul del ROA de les partides que componen Resta d'Àmbits, es considera que aquest ha de garantir un ROA com a mínim equivalent al mínim ROA assolit per les partides de producció, transport o distribució ($ROA'_{\min(P,T,D)}$). Amb aquesta suposició es calcula el BAIT de la Resta d'Àmbits ($BAIT_{RA}$) segons l'Eq. 7.38.

$$BAIT_{RA} = ROA'_{\min(P,T,D)} \cdot Valor\ net\ comptable\ actiu_{RA} \quad (Eq. 7.38)$$

Segona iteració. En aquesta segona etapa, les despeses per partides ja estan distribuïdes seguint els criteris presentats anteriorment. Aquesta informació s'utilitza per repartir els ingressos restants un cop deduïts els de la partida Resta d'Àmbits, entre les partides de Producció, Transport i Distribució, i aquesta deducció es fa de forma proporcional al resultat de la primera iteració.

Un cop identificades i repartides tant les despeses com els ingressos, es pot procedir al càlcul dels indicadors que s'utilitzen per definir l'índex econòmic.

L'indicador d'Oportunitat Econòmica ($Opor_{Eco}$) té per objectiu detectar aquelles partides on la inversió té major impacte sobre la millora en l'eficiència i el rendiment d'aquestes inversions. S'utilitza l'indicador ROA, de l'anglès *Return On Assets*, ja que il·lustra el rendiment econòmic dels actius i resulta un complement necessari a la mirada estricta de depreciació dels actius, tenint en compte conceptes d'eficiència i rendiment de les inversions.

Per calcular el ROA de cada partida es segueixen els següents passos:

- En primer lloc, es dedueix el grau de contribució al ROA de cadascuna de les partides, tal com s'expressa a l'equació segons l'Eq. 7.39.

$$ROA def_i = \frac{BAIT_i}{Valor net comptable actiu_i} \quad (\text{Eq. 7.39})$$

- Seguidament, el percentatge de contribució al ROA de cada partida, indica en quina mesura s'hauria d'incrementar la inversió històrica executada tenint en compte el rendiment econòmic observat sobre cadascuna de les partides. Aquesta relació entre el grau de contribució al ROA de cada partida i la inversió històrica mitjana proporciona un multiplicador que incrementa o disminueix el percentatge històric assignat a cada partida amb relació a la seva contribució al ROA.

L'**indicador de Risc Econòmic** ($Risc_{ECO}$) té per objectiu detectar els processos d'obsolescència o depreciació dels actius de cadascuna de les partides a fi d'aflorar la necessitat d'invertir i neutralitzar aquest nivell d'obsolescència. El $Risc_{ECO}$ es calcula per cada partida, segons l'Eq. 7.40 com el producte de la depreciació econòmica respecte a la mitjana d'aquella partida pel percentatge d'inversió anual teòrica ($\%IAT$) d'aquella partida.

$$Risc_{ECO_i} = Depreciació econòmica respecte a la mitjana_i \cdot \%IAT_i \quad (\text{Eq. 7.40})$$

Per poder estimar el nivell de depreciació econòmica dels actius s'utilitza el concepte econòmic Valor Net Actual Teòric ($VNAT$). El $VNAT$ té per objectiu comparar el grau de depreciació amb el preu d'adquisició a dia d'avui en cas de renovació, així el $VNAT$ representa el valor sense depreciació d'un actiu a partir d'un preu d'adquisició en cas de renovació a dia d'avui i una vida útil pràctica dels actius de cadascuna de les partides.

A partir d'aquesta comparativa es calcula la inversió anual teòrica o desitjable (IAT) per cadascuna de les partides amb el supòsit d'invariabilitat del preu d'adquisició amb els anys. Aquest supòsit d'invariabilitat de preu s'ha establert ja que cal decidir com repartir les partides d'inversió a data d'avui i, per tant, cal comprovar el valor econòmic de la depreciació dels actius amb el cost que tindria a data d'avui una possible renovació d'aquests. Així doncs, el $VNAT$ resulta del producte de la inversió anual multiplicada pels anys de vida que li queden a cadascun dels actius.

Per estimar el grau de depreciació econòmica és necessària la diferència entre el preu d'adquisició i el $VNAT$, és a dir, el valor econòmic que ja hem perdut, i la relació que aquest valor perdut té sobre el preu d'adquisició de l'actiu nou.

El preu d'adquisició per cada partida es basa en el valor d'assegurances, i s'ha realitzat una estimació per tots els actius de l'abastament.

La vida útil pràctica de cada partida es calcula ponderant la vida útil pel preu d'adquisició dels actius nous de cada tipologia d'instal·lació vinculada a cada partida.

El VNAT és el valor encara no depreciat a partir d'un preu d'adquisició en cas de renovació a dia d'avui i una vida útil pràctica corresponent als actius de cadascuna de les partides.

La depreciació econòmica calculada no és igual per a totes les partides, doncs hi ha partides amb edats estimades més properes a la seva vida útil pràctica que d'altres. Per tant, es calcula la mitjana ponderada per preu d'adquisició del grau de depreciació de cada partida per estimar el nivell relatiu de depreciació econòmica de totes les partides.

Són aquests factors relatius de depreciació respecte a la mitjana, els que serveixen per corregir els percentatges relatius a la inversió anual desitjada per cada partida. Així, aquelles partides amb una depreciació econòmica relativa major reben un percentatge d'inversió superior al que les hi pertoca per preu d'adquisició i vida útil pràctica.

L'índex econòmic ($IEco$) es calcula com la mitjana entre el màxim i la mitjana dels indicadors de Risc ($Risc_{Eco}$) i l'Oportunitat ($Opor_{Eco}$) econòmica (Eq. 7.41). Utilitzar el màxim i la mitjana per obtenir un valor representatiu de la contribució financera de cada partida, té la finalitat d'automatitzar el canvi de criteri que es donaria a la pràctica per aquelles partides on la desviació entre els dos indicadors, risc i oportunitat, fos màxima. Amb aquesta aproximació, per exemple, es dona més valor de contribució econòmica potencial a aquelles partides amb ROA baix però que evidencien una important necessitat de renovació, és a dir, a aquelles partides que tenen una magnitud de risc relatiu molt elevada, sobretot amb relació al valor d'oportunitat.

$$IEco = \frac{\max(Risc_{Eco}; Opor_{Eco}) + \frac{Risc_{Eco} + Opor_{Eco}}{2}}{2} \quad (\text{Eq. 7.41})$$

A la Taula 7.37 es presenten els resultats dels paràmetres de l'indicador econòmic, degut a la sensibilitat de les dades d'aquest indicador només es mostren els percentatges finals de l'indicador Econòmic. Les partides que reben més inversió en aquest sentit són: la partida de Distribució i la de Transport. Aquests corresponen a les partides on es concentra el major valor dels actius dels sistemes d'abastament.

Taula 7.37. Resultat paràmetres Indicador Econòmic

Partides				Indicador econòmic
Producció				5,60%
Transport				32,75%
Distribució				56,09%
Resta d'Àmbits				5,55%
Gestió Edificis	15,91%	$5,55 \cdot 15,91 =$		0,88%
Control Operatiu	9,99%	$5,55 \cdot 9,99 =$		0,55%
Laboratori	9,09%	$5,55 \cdot 9,09 =$		0,50%
Sistemes d'informació	63,91%	$5,55 \cdot 63,91 =$		3,55%
Subministrament	0,87%	$5,55 \cdot 0,87 =$		0,05%
Recursos Hídrics Alternatius	0,23%	$5,55 \cdot 0,23 =$		0,01%
	100,00%			100,00%

CAPÍTOL 8

RESULTATS DEL MODEL DE PRIORITZACIÓ D'INVERSIONS PER PARTIDES

8.1. INTRODUCCIÓ

Per mantenir el grau d'obsolescència dels actius i per tant, la qualitat del servei, cal que les inversions es reparteixin de forma adequada segons l'estat i les necessitats dels actius i del sistema actual, així com de les condicions de demanda.

Aquest capítol s'engloba dins del tercer bloc de la tesi (BLOC III), corresponent al Model de Priorització d'Inversions per Partides. El Capítol 6 conté la introducció i la metodologia de generació del model i el Capítol 7 el detall dels indicadors que configuren l'arbre de decisió.

L'objectiu principal del present capítol és mostrar exemples de repartiment de la inversió que s'obté amb el Model de Priorització d'Inversions per Partides desenvolupat, realitzant una anàlisi de sensibilitat en funció de les contribucions dels grups de relació en l'assignació d'importàncies relatives.

Val a dir que el moment de l'estudi no va ser possible portar a terme la necessària tasca de recollida de pesos de l'arbre de decisió entre els grups de relació d'Aigües de Barcelona. En conseqüència cap dels exemples de repartiment ha estat d'aplicació efectiva.

L'estructura que es segueix a fi de donar resposta als objectius anteriorment presentats és la següent:

- En primer lloc, es presenta com s'estructura el Pla d'Inversions anual i quina ha estat la tendència d'inversió històrica utilitzant el percentatge mig històric dels darrers anys 2017, 2018 i 2019 (apartat 8.2).
- Posteriorment, es descriuen els escenaris que seran analitzats, on els escenaris representen cadascuna de les visions que podrien arribar a tenir els grups de relació de diferent caire polític (apartat 8.3).
- Seguidament descriu l'anàlisi de sensibilitat (apartat 8.4).
- Es presenten els resultats de l'anàlisi de sensibilitat pel que fa al repartiment per les grans partides d'inversió (apartat 8.5).
- Es presenten els resultats de l'anàlisi de sensibilitat pel que fa al repartiment per les subpartides d'inversió de Producció, Transport i Distribució (apartat 8.6).
- Es presenten els resultats de l'anàlisi de sensibilitat organitzats segons tipologia d'infraestructura, segons finalitat i agrupat per vectors de contribució al DS (apartat 8.7).
- Finalment, s'extreuen les conclusions específiques del capítol (apartat 8.8).

8.2. PLA D'INVERSIONS ANUAL

El Pla d'Inversions anual és el recull de la planificació prevista per dur a terme durant l'any en qüestió, aquest està compost per la llista d'inversions a realitzar. Les inversions que conformen el pla d'inversions s'organitzen en subpartides segons la finalitat per la qual s'executen, i aquestes al seu torn s'agrupen en partides. Les partides, Producció, Transport, Distribució i Resta d'Àmbits, corresponen a divisions de l'empresa, en alguns casos (Producció, Transport i Distribució) aquestes coincideixen en les diferents etapes del cicle integral de l'aigua que són necessàries per poder prestar el servei.

El volum d'inversió anual destinat a cadascuna de les partides ha anat variant lleugerament. La Figura 8.1.a mostra els valors percentuals dels últims 3 Plans d'Inversions (PI '17, '18, '19) i es pot observar com aquests valors són força similars al llarg dels 3 anys analitzats.

La Figura 8.1.b i la Figura 8.2 mostren la mitjana percentual dels últims tres anys (PI '17, '18, '19) per les diferents partides que componen el pla d'inversions. En primer lloc, a la Figura 8.1.b es mostra el percentatge per les grans partides i l'agrupat de resta d'àmbits, seguidament, a la Figura 8.2 es detalla el percentatge de cada partida d'aquesta darrera agrupació.

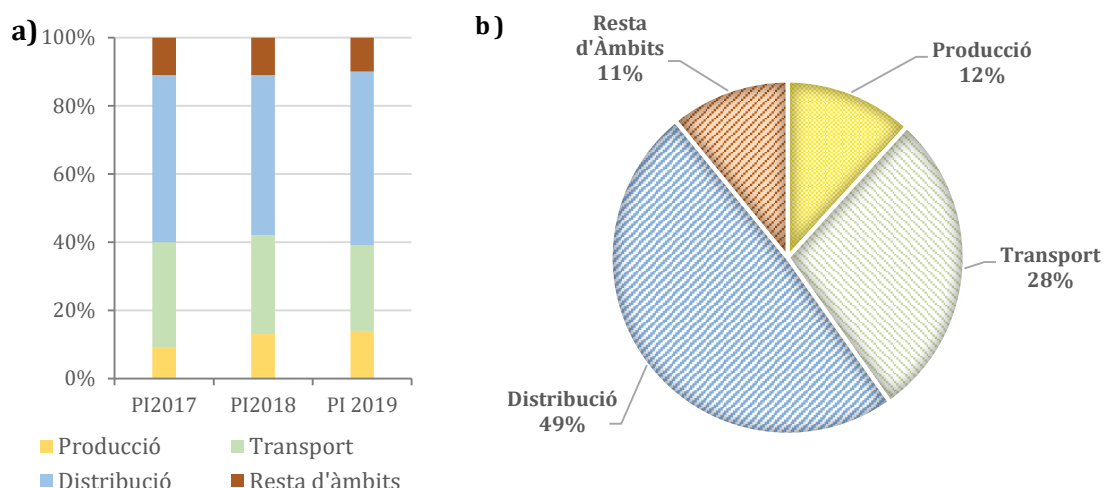


Figura 8.1. Repartiment històric partides pla d'inversió: a) percentatge PI '17, PI '18 i PI '19; b) mitjana últims anys PI '17, '18 i '19 (font: Pla d'Inversions d'AB anys '17, '18, '19)

El Repartiment històric (Figura 8.1.b) mostra que gairebé el 50% de la inversió es destina als actius de Distribució, seguida per la destinada a Transport (28%), la destinada a Producció (12%) i finalment, la inversió de les partides de Resta d'Àmbits que representa un 11%. Com s'ha presentat a la Taula 6.1 la xarxa de distribució representa un volum en infraestructures molt elevat, si només es consideren els actius de la xarxa, aquesta representa un 88% de la xarxa, mantenir aquestes infraestructures en bon estat requereix d'un volum d'inversió molt elevada que queda visible en el repartiment històric de les partides del PI.

L'11% d'inversió de Resta d'Àmbits s'inverteix segons la Figura 8.2, on la inversió en Sistemes d'Informació s'endú el 57% d'aquest 11%, mentre que la resta de partides són minoritàries.

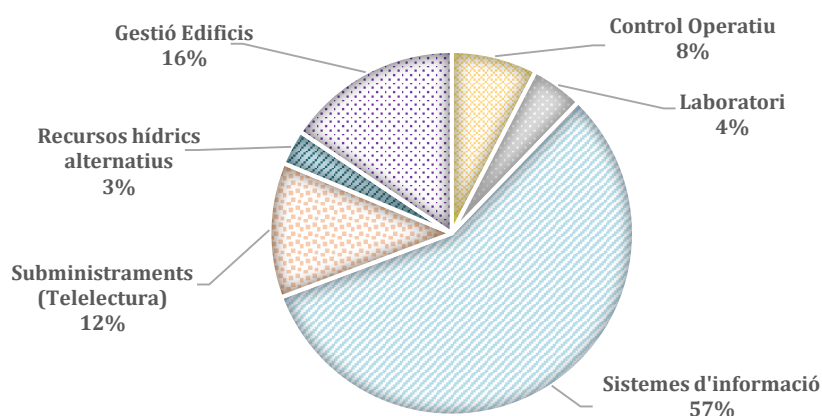


Figura 8.2. Repartiment històric partides Resta d'Àmbits pla d'inversió (PI '17, '18, '19) (font: Pla d'Inversions d'AB anys '17, '18, '19)

La Figura 8.3 i Figura 8.4 mostren segons la mitjana històrica del pla d'inversions dels últims tres anys (PI '17, '18, '19) el percentatge d'inversió destinat a cada tipus d'actiu i el percentatge d'inversió segons si la finalitat és *ampliació* o *adequació i renovació*. És mostra per les subpartides de Transport a la Figura 8.3 i per les de Distribució a la Figura 8.4, en el cas de les de Producció al no disposar de l'històric en aquests termes no es mostra.

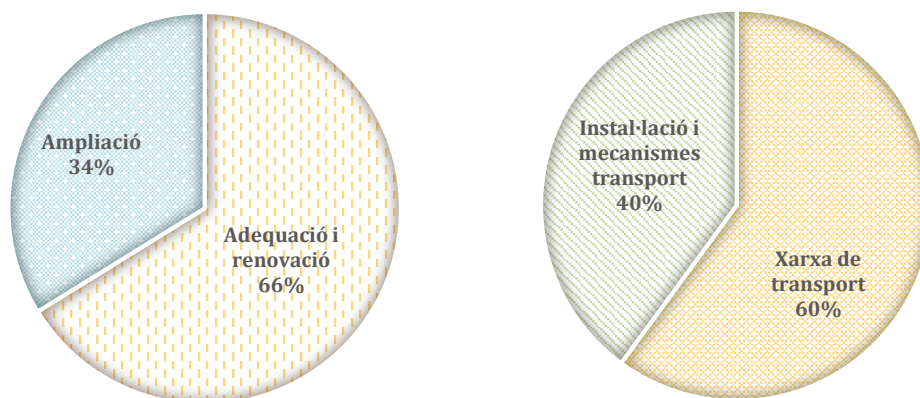


Figura 8.3. Repartiment històric subpartides Transport, segons: finalitat i tipus d'infraestructura

Segons la finalitat de la inversió, les inversions poden ser de *millorar* si la seva missió és ampliar, reforçar o realitzar un pla de millor de les infraestructures, o inversions destinades a *reduir el risc* ja sigui mitjançant una adequació o renovació de les infraestructures. Si s'observa la Figura 8.3 i la Figura 8.4 que presenten el percentatge de Transport i Distribució segons la finalitat, es pot concloure que s'inverteix més a reduir risc que en realitzar ampliacions, a relació de 2/3 i 1/3 respectivament.

Pel que fa al tipus d'infraestructura renovada, la xarxa s'endú en ambdós casos tant per Transport com per Distribució més d'un 60% del volum de la inversió de la partida. En el cas de Transport (Figura 8.3) la resta de la inversió es destina a instal·lacions i mecanismes, en el cas de Distribució (Figura 8.4) la resta de la inversió es destina a escomeses i infraestructura per millorar el rendiment.

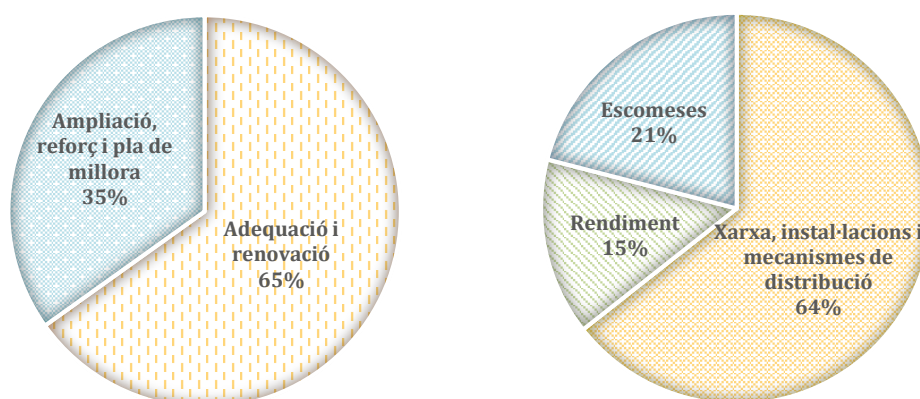


Figura 8.4. Repartiment històric subpartides Distribució, segons: finalitat i tipus d'infraestructura

En el cas de la partida de Distribució s'inclouen les instal·lacions i mecanismes amb la xarxa ja que aquests estan estretament lligats a la xarxa, oposadament, a Transport les instal·lacions i mecanismes no només pertanyen a la xarxa sinó que també pertanyen a les centrals o als dipòsits, és a dir, aquests mecanismes no necessàriament estan vinculats a la xarxa.

8.3. ESCENARIS ANALITZATS

A fi d'il·lustrar els diferents punts de vista sobre què representa el desenvolupament sostenible segons la vessant política que poden tenir els diferents actors s'intenta definir uns escenaris que considerin aquestes diferents visions.

Les principals tendències dels escenaris analitzats es presenten a la Taula 8.1, on es mostren les importàncies relatives assignades als tres vectors de desenvolupament sostenible, que corresponen als requeriments (econòmic, social i ambiental).

Taula 8.1. Pesos en % utilitzats en els diferents escenaris de participació

ESCENARI:		1	2	3 $\left(\frac{E1+E2}{2}\right)$	4
Requeriment DS	ECONÒMIC (w_{R_E})	50,00	14,00	32,00	0,00
	SOCIAL (w_{R_S})	30,00	47,00	38,50	50,00
	AMBIENTAL (w_{R_A})	20,00	39,00	29,50	50,00

Si s'analitza la Taula 8.1 s'observa que:

L'**escenari 1** correspon a una assignació de pesos on la major importància s'ha dipositat en la conservació econòmica, és a dir, en mantenir una rendibilitat. Aquest primer escenari representaria uns decisors amb ideals més conservadors on la part econòmica és altament valorada.

En canvi, l'**escenari 2** representa un decisor més preocupat per l'impacte sobre la societat i el medi ambient, deixant de banda la part econòmica. Pot correspondre a un decisor amb idees socialdemòcrates on es prioritza sobretot la societat i el futur d'aquesta, per aquest motiu s'assigna una puntuació elevada sobre la part ambiental ja que té un impacte directe sobre com s'afecta el medi on vivim.

L'**escenari 3** correspon a la mitjana aritmètica dels dos primers escenaris, simula la participació de dos grups de relació, el que ha assignat els pesos de l'escenari 1 i el que ha assignat els de l'escenari 2. Tal com es mostra a la Taula 8.1, el pes assignat als diferents requeriments és el valor entre els assignats a l'escenari 1 i 2. Aquest escenari encaixaria en la visió que pot expressar un decisor amb ideals socialdemòcrates doncs, representa un equilibri entre els diversos elements considerats.

Finalment, l'**escenari 4** correspon a un grup de relació encara més extrem, on s'ha cregut convenient deixar sense pes un dels requeriments. El darrer escenari, ideològicament parlant encaixa amb un decisor més anarquista/comunista on la societat i tot allò que l'envolta pren tota la importància, i es deixa de banda la part més econòmica. Cal destacar que aquest escenari no assoliria un repartiment seguint criteris DS, ja que un dels vectors, l'econòmic, no forma part de la decisió i per tant, en una situació límit podria deixar de banda aspectes importants que recull el requeriment econòmic i que a llarg termini podrien afectar el nivell de servei.

8.4. ANÀLISI DE SENSIBILITAT

Índex de contribució per partides (P_x), corresponent a la contribució final de cada partida, presentat a l'Eq. 8.1, resulta del sumatori de la multiplicació de tots els indicadors $IV_j(P_x)$ pel pes assignat a l'indicador w_{I_j} , al criteri w_{C_y} i al requeriment w_{R_t} que correspongui en cada cas.

$$\text{Índex contribució partides } (P_x) = \sum w_{R_t} \cdot w_{C_y} \cdot w_{I_j} \cdot IV_j(P_x) \quad (\text{Eq. 8.1})$$

Els diferents pesos de la Taula 8.2 corresponen: en un primer lloc, als pesos dels requeriments relatius als tres vectors del desenvolupament sostenible ($w_{R_E}, w_{R_S}, w_{R_A}$), seguidament als pesos dels criteris socials ($w_{C_P}, w_{C_C}, w_{C_{PT}}$), als pesos dels criteris ambientals ($w_{C_{CEA}}, w_{C_{CEE}}, w_{C_{CO2}}, w_{C_{BIO}}$), i finalment, als pesos dels indicadors del criteri persones ($w_{I_{GS}}, w_{I_{PS}}, w_{I_{EP}}$), de l'indicador del criteri ciutat (w_{I_M}) i de l'indicador del criteri persones treballadores ($w_{I_{SSL}}$).

Taula 8.2. Pesos en % utilitzats en els diferents escenaris de participació

ESCENARI:		1	2	3 $\left(\frac{E1+E2}{2}\right)$	4
Requeriment DS	ECONÒMIC (w_{R_E})	50,00	14,00	32,00	0,00
	SOCIAL (w_{R_S})	30,00	47,00	38,50	50,00
	AMBIENTAL (w_{R_A})	20,00	39,00	29,50	50,00
Criteris SOCIALS	PERSONES (w_{C_P})	50,00	40,00	45,00	50,00
	CIUTAT (w_{C_C})	48,00	55,00	51,50	48,00
	PERSONES TREBALLADORES ($w_{C_{PT}}$)	2,00	5,00	3,50	2,00
Criteris AMBIENTALS	CONSUM EFICIENT D'AIGUA ($w_{C_{CEA}}$)	67,00	25,00	46,00	67,00
	CONSUM EFICIENT D'ENERGIA ($w_{C_{CEE}}$)	30,00	25,00	27,50	30,00
	PETJADA DE CO ₂ ($w_{C_{CO2}}$)	2,00	25,00	13,50	2,00
	BIODIVERSITAT ($w_{C_{BIO}}$)	1,00	25,00	13,00	1,00
Indicadors criteri Persones	Garantia de Subministrament ($w_{I_{GS}}$)	80,00	34,00	57,00	80,00
	Percepció del Servei ($w_{I_{PS}}$)	5,00	33,00	19,00	5,00
	Eficiència de la Prestació ($w_{I_{EP}}$)	15,00	33,00	24,00	15,00
Indicadors criteri ciutat	Mobilitat (w_{I_M})	100,00	100,00	100,00	100,00
Indicadors criteri persones treballadores	Seguretat i Salut Laboral ($w_{I_{SSL}}$)	100,00	100,00	100,00	100,00

Addicionalment, a la Taula 8.3 es presenten els valors finals del pes pels que es multiplicarà el valor de l'indicador. Aquest valor és el producte dels tres primers termes de l'Eq. 8.1, ($w_{R_t} \cdot w_{C_y} \cdot w_{I_j}$). La importància relativa final que té cadascun dels indicadors permet analitzar l'efecte sobre els resultats del repartiment que es presenten als apartats 8.5 i 8.6. La Taula 8.3 destaca aquells indicadors que representen més del 20% per cadascun dels escenaris.

Taula 8.3. Pesos en % utilitzats en els diferents escenaris de participació

Indicadors/Esценaris	1	2	3	4
Índex Econòmic	50	14	32	0
Garantia de Subministrament	12	6	10	20
Percepció del servei	1	6	3	1
Eficiència de la prestació	2	6	4	4
Mobilitat	14	26	20	24
Seguretat i Salut Laboral	1	2	1	1
Consum eficient d'Aigua	13	10	14	33,5
Consum eficient d'Energia	6	10	8	15
Petjada de CO ₂	0	10	4	1
Biodiversitat	0	10	4	0,5

L'**escenari 1**, proporciona el 50% de la importància a l'índex econòmic, seguidament amb més d'un 10% d'importància es troben: l'indicador de garantia de subministrament, el de mobilitat i el de consum eficient d'aigua. Com ja s'ha apuntat, la tendència més conservadora es posa en relleu, ja que a banda de l'índex econòmic, apareixen altament puntuats els indicadors que tenen un efecte més directe sobre el que representa un servei més clàssic (garantia de subministrament, mobilitat, consum eficient d'aigua).

Pel que fa a l'**escenari 2**, la mobilitat s'endú la importància relativa màxima seguit de l'índex econòmic amb un 14% i els 4 indicadors ambientals (consum eficient d'aigua i d'energia, petjada de CO₂ i biodiversitat), amb una mateixa importància. Tot i que, en conjunt la part ambiental i social és la que pren més importància.

L'**escenari 3** dona la major importància als mateixos indicadors dels escenaris anteriors (l'índex econòmic i la mobilitat) i per altra banda, el consum eficient d'aigua rep més importància que la resta d'indicadors. En aquest repartiment, s'observa un cert equilibri ja que es prioritza tant elements socials, ambientals com econòmics.

L'**escenari 4** prioritza segons els indicadors de garantia de subministrament, el de mobilitat, el de consum eficient d'aigua, i en menor mesura, el de consum eficient d'energia. En aquest cas, com s'ha apuntat anteriorment, també es posa en relleu la prioritat per allò que no fa referència a cap tema econòmic. Sovint s'associa econòmic només al terme guanys,

tot i que cal destacar que la renovació inadequada pot produir una obsolescència d'un grup d'actius que dificultin posteriorment brindar un servei adequat.

Cal destacar que tots els escenaris atorguen un pes petit a l'indicador de Seguretat i Salut Laboral (SiSL) (menor o igual al 2%). El motiu és que, tot i la importància d'aquest aspecte, cal tenir en compte que el volum d'inversió destinat a SiSL, en comparació amb inversions sobre infraestructures del sistema d'abastament són reduïdes i totes les noves inversions que poden realitzar-se atenent altres indicadors contempen aquests temes.

Els següents apartats presenten, en primer lloc, els resultats del repartiment de les grans partides d'inversió obtinguts amb els 4 escenaris presentats (apartat 8.5), corresponent als resultats obtinguts de la Fase II presentada a l'apartat 6.5.2. Seguidament, es mostren els resultats del repartiment de les subpartides d'inversió pels mateixos escenaris (apartat 8.6), corresponent als resultats obtinguts de la Fase III presentada a l'apartat 6.5.3.

8.5. RESULTAT REPARTIMENT GRANS PARTIDES INVERSIÓ

El repartiment d'inversió que es presenta a continuació s'ha obtingut partint d'un volum d'inversió corresponent a 40 M€ per tots els escenaris. La comparativa dels resultats es realitza amb la mitjana històrica dels pressupostos dels últims tres Plans d'Inversions, aquests s'han reescalat proporcionalment per ajustar-los a una inversió de 40 M€ anuals per fer l'exercici comparable. Aquest primer apartat pretén mostrar a grans trets els increments i decrements que proposa el repartiment del pressupost a nivell de partides:

- Grans partides (apartat 8.5.1)
- Detall partides Resta d'Àmbits (apartat 8.5.2)

8.5.1 Grans partides

La Taula 8.4 i a la Figura 8.5 mostren els resultats del repartiment d'inversió per les grans partides d'inversió (Producció, Transport, Distribució i Resta d'Àmbits) segons la prioritització dels escenaris anteriors. També es presenta el valor agrupat de la partida Resta d'Àmbits tot i que, cadascun dels àmbits que integren aquesta partida són considerats com una partida en si mateix, el detall de la prioritització s'adjunta a l'apartat 8.5.2.

Taula 8.4. M€ del pressupost assignats a cada partida

	PI Històric	1	2	3	4
Producció	4,70	3,97	8,08	5,62	5,92
Transport	11,37	13,34	11,41	12,66	14,48
Distribució	19,55	19,96	14,64	17,57	16,22
Resta d'Àmbits	4,37	2,72	5,87	4,15	3,38
Pressupost total	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00

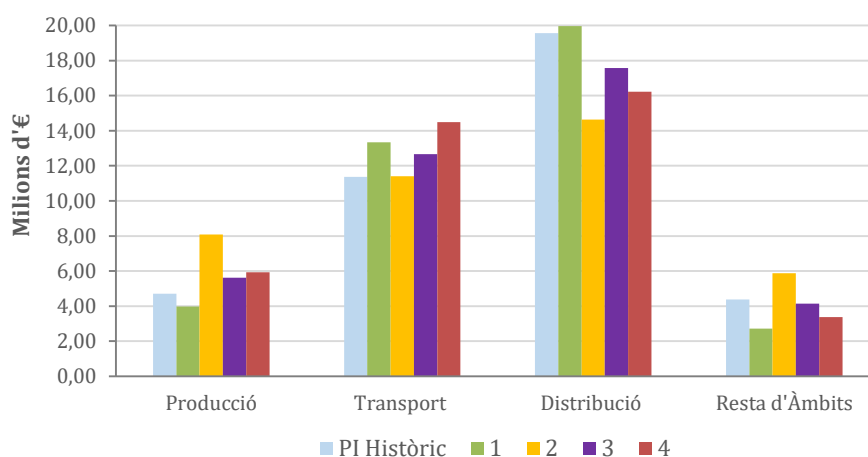


Figura 8.5. Pressupost assignat a cada partida

Comparant els resultats obtinguts per les grans partides d'inversió amb l'històric s'observa (Figura 8.5) que, l'**escenari 1** proporciona resultats molt similars als històrics ja que els pesos utilitzats pretenen representar la filosofia que s'estava utilitzant fins al moment per part de l'empresa. Per la partida de Transport apareix un valor més elevat que l'històric el motiu d'aquest increment es justifica pel conegut dèficit d'inversió en aquest sentit, doncs les inversions en actius de transport (principalment en les canonades de gran diàmetre) són difícils d'executar ja que la urbanització de la ciutat en dificulta molt la intervenció.

L'**escenari 2**, on la importància del requeriment social i ambiental són les predominants, proporciona més inversió a les partides de Producció i Resta d'Àmbits. La partida de Producció es veu afavorida pels indicadors ambientals, ja que és on hi ha més capacitat tant pel que fa a realitzar un consum eficient d'energia, reduir la petjada de CO₂ i naturalitzar espais, encara que la capacitat pel que fa al consum eficient d'aigua és nul. Les partides de Resta d'Àmbits mostren aquest increment ja que la inversió en aquestes partides contribueix a la millora tant de la percepció com de l'eficiència de la prestació pel que fa a temes socials, en relació als temes ambientals el potencial de reduir la petjada de CO₂ invertint en les partides de Resta d'Àmbits. Tot i que al proper apartat es presenta el detall d'aquestes subpartides, un exemple d'inversió que contribuiria a millorar la petjada de CO₂ es troba a les instal·lacions que gestiona la partida Gestió Edificis.

L'**escenari 3**, proposa un increment en la inversió de la partida de Producció i Transport a costa de disminuir la partida de Distribució i deixar pràcticament igual les partides de Resta d'Àmbits. Com era d'esperar la inversió és un valor intermediari entre l'escenari 1 i el 2. En aquest escenari, la contribució ve marcada per part dels indicadors de garantia subministrament, mobilitat, consum eficient d'aigua i energia i l'índex econòmic.

L'**escenari 4**, proposa un increment més significatiu per la partida de Transport, i una reducció significativa de la partida de Distribució. Per altra banda, s'observa un

augmentant lleugerament la partida de Producció i una lleugera reducció de les partides de Resta d'Àmbits, sempre comparant amb la mitjana històrica (PI).

A la Taula 8.5, a la Taula 8.6, a la Taula 8.7 i a la Taula 8.8 es presenta per cada escenari de quins indicadors li arriba inversió a cadascuna de les partides. Addicionalment, s'ha destacat per cada partida els indicadors a través dels quals li arriba un major volum d'inversió. Aquests valors són els que posteriorment proporcionen una referència sobre la tipologia d'inversions que haurien d'omplir aquests volums de diners assignats a cadascuna de les partides.

Taula 8.5. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida de Producció

	1	2	3	4
Índex Econòmic	1.120,93	313,86	717,40	0,00
Garantia de Subministrament	1.292,66	688,56	1.063,78	2.154,44
Percepció del servei	7,15	59,18	31,40	11,92
Eficiència de la prestació	51,19	141,16	94,61	85,32
Mobilitat	29,42	52,82	40,51	49,04
Seguretat i Salut Laboral	62,80	245,95	141,03	104,66
Consum eficient d'Aigua	0,00	0,00	0,00	0,00
Consum eficient d'Energia	1.269,79	2.063,41	1.716,86	3.174,48
Petjada de CO ₂	44,56	2.172,42	854,49	222,81
Biodiversitat	96,23	2.345,69	958,13	120,29
Producció	3.974,75	8.083,05	5.618,20	5.922,96

Si s'analitza la Taula 8.5, s'observa que principalment les inversions en Producció tenen un impacte elevat en la millora dels indicadors de garantia de subministrament, consum eficient d'energia, petjada de CO₂ i biodiversitat. Majoritàriament, la partida Producció capta un volum d'inversió més elevat quan l'escenari prioritza aquests indicadors (escenari 2).

Pel que fa als indicadors de percepció del servei, eficiència de la prestació i mobilitat, el volum d'inversió que li arriba a la partida Producció és reduït, doncs segons el càlcul d'aquests indicadors invertir en actius de l'àmbit producció no aporta una millora sobre aquests aspectes. Pel que fa a l'indicador de mobilitat, com que el volum d'inversió pretén reduir l'impacte a la mobilitat per avaria de la xarxa, i producció té pocs kilòmetres de xarxa que es trobin en zones urbanitzades. Habitualment, la xarxa de producció es troba dins de recintes de l'empresa o en zones poc urbanitzades.

Per altra banda, com que els experts de l'àmbit de producció no han detectat un potencial pel que fa a la reducció de fuites mitjançant inversió sobre els seus actius, aquesta partida no rep en cap escenari inversió a través de l'indicador de consum eficient d'aigua, doncs l'indicador per l'àmbit de producció té un valor nul.

Taula 8.6. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida de Transport

	1	2	3	4
Índex Econòmic	6.550,29	1.834,08	4.192,18	0,00
Garantia de Subministrament	1.324,47	705,50	1.089,95	2.207,44
Percepció del servei	50,87	420,83	223,29	84,79
Eficiència de la prestació	95,40	263,06	176,30	159,00
Mobilitat	1.269,30	2.278,57	1.747,71	2.115,50
Seguretat i Salut Laboral	168,26	659,02	377,89	280,43
Consum eficient d'Aigua	2.874,52	2.091,53	2.910,99	7.186,29
Consum eficient d'Energia	945,40	1.536,28	1.278,26	2.363,50
Petjada de CO ₂	1,30	63,39	24,93	6,50
Biodiversitat	63,77	1.554,31	634,87	79,71
Transport	13.343,58	11.406,56	12.656,38	14.483,18

La partida de Transport, majoritàriament li arriba inversió a través dels indicadors de (Taula 8.6): garantia de subministrament, mobilitat, consum eficient d'aigua i d'energia, i, biodiversitat.

Tot i que en menor mesura que les canonades de distribució (per la seva proximitat als clients), les canonades de transport juguen un paper important pel que fa a la garantia del subministrament. Un mal funcionament d'una canonada de gran diàmetre pot tenir efectes importants sobre el subministrament ja que la seva reparació requereix un temps més elevat. En aquesta mateixa línia, degut al gran volum d'aigua que transporten, una avaria té una gran afectació sobre la mobilitat, doncs l'esvoranc que pot causar i el binomi espai-temps necessari per poder fer aquesta reparació són factors que queden reflectits en l'alt volum d'inversió que arriba a la partida de Producció per reduir el risc en aquest sentit.

Ambientalment, la inversió sobre els actius de la partida de Transport queda emmarcada en aquells actius que permeten millorar les fuites, les canonades, i el consum eficient d'energia, els bombaments. Els dipòsits i les centrals, instal·lacions que requereixen un espai ampli sovint situat en zones rurals, són un espai amb un potencial de naturalització elevat. Motiu pel qual la partida de Transport també es veu incrementada pel volum d'inversió que li arriba d'aquest indicador.

Taula 8.7. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida de Distribució

	1	2	3	4
Índex Econòmic	11.218,62	3.141,21	7.179,92	0,00
Garantia de Subministrament	2.182,87	1.162,74	1.796,37	3.638,12
Percepció del servei	41,56	343,76	182,39	69,26
Eficiència de la prestació	88,38	243,68	163,32	147,29
Mobilitat	4.461,28	8.008,61	6.142,78	7.435,46
Seguretat i Salut Laboral	0,00	0,00	0,00	0,00
Consum eficient d'Aigua	1.825,62	1.328,34	1.848,78	4.564,06
Consum eficient d'Energia	137,87	224,03	186,41	344,67
Petjada de CO ₂	3,90	190,17	74,80	19,50
Biodiversitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Distribució	19.960,09	14.642,55	17.574,76	16.218,36

La partida Distribució rep inversió majoritàriament dels indicadors de (Taula 8.7): garantia de subministrament, mobilitat, consum eficient d'aigua i d'energia.

La xarxa i les escomeses són fonamentalment els elements que conformen la partida de Distribució. Motiu pel qual es la partida que rep més volum d'inversió de l'indicador de garantia de subministrament, la proximitat d'aquests actius amb el client fa que qualsevol mal funcionament tingui un impacte gairebé directe.

Per altra banda, l'extensió de la xarxa de distribució (4.133 km) juntament amb la proximitat als clients, fa que qualsevol avaria tingui un impacte sobre la mobilitat ja que la xarxa està present a pràcticament tots els carrers de les zones urbanes.

La seva extensió també té conseqüències sobre el consum eficient d'aigua, doncs a més kilòmetres de xarxa, el nombre de connexions i els potencials punts on hi hagin fuites és major. El potencial estalvi d'energia rau en el mateix origen, les fuites, doncs l'aigua ha requerit energia per ser impulsada fins aquell punt on es perd.

Taula 8.8. k€ provinents de cadascun dels indicadors per les partides de Resta d'Àmbits

	1	2	3	4
Índex Econòmic	1.110,16	310,84	710,50	0,00
Garantia de Subministrament	0,00	0,00	0,00	0,00
Percepció del servei	200,42	1.657,84	879,62	334,03
Eficiència de la prestació	665,03	1.833,70	1.228,97	1.108,38
Mobilitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguretat i Salut Laboral	8,94	35,03	20,08	14,90
Consum eficient d'Aigua	659,86	480,12	668,23	1.649,65
Consum eficient d'Energia	46,94	76,28	63,47	117,35
Petjada de CO ₂	30,24	1.474,02	579,78	151,18
Biodiversitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Resta d'Àmbits	2.721,58	5.867,84	4.150,66	3.375,50

Els indicadors de percepció del servei, eficiència de la prestació, consum eficient d'aigua i petjada de CO₂ són els indicadors que proporcionen en major mesura el volum d'inversió de les partides transversals de Resta d'Àmbits (Taula 8.8).

Destaquen per aportació nul·la els indicadors de garantia de subministrament, mobilitat i biodiversitat. Doncs no s'observa una millora sobre aquests aspectes realitzant inversió sobre els actius de les partides de Resta d'Àmbits. Els edificis (partida Gestió Edificis) poden ser objecte de naturalització (indicador biodiversitat) tot i que l'actual estudi realitzat sobre les instal·lacions ha conclòs que els potencials espais a naturalitzar en gran mesura ja ho estan i per tant, la capacitat d'actuar és nul·la.

8.5.2 Detall partides Resta d'Àmbits

Totes les partides transversals que integren l'agrupació Resta d'Àmbits es presenten a la Figura 8.6 i a la Taula 8.9. Les partides corresponents a Resta d'Àmbits són: Gestió

Edificis, Control Operatiu, Laboratori, Sistemes d'Informació, Subministrament i Recursos Hídrics Alternatius.

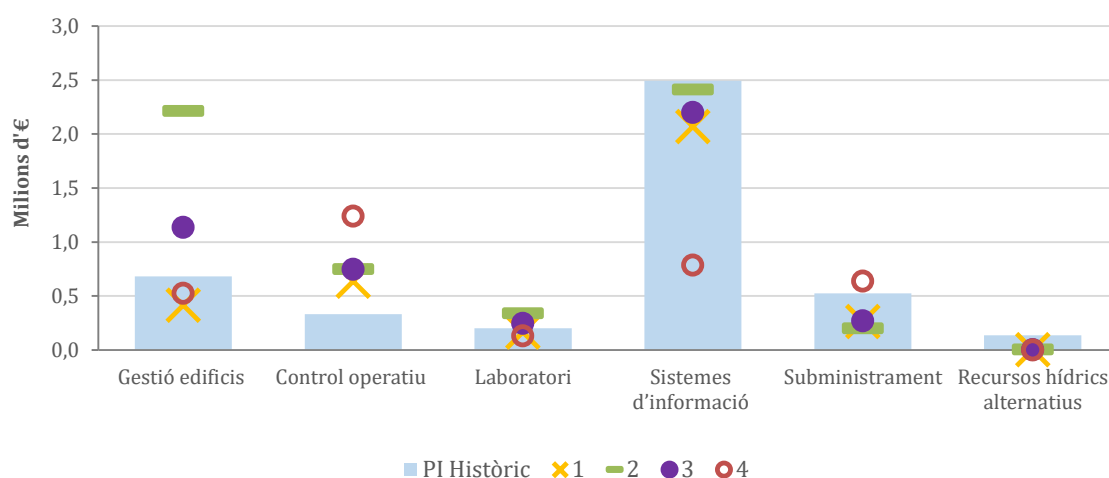


Figura 8.6. Estudi sensibilitat partides Resta d'Àmbits

Taula 8.9. M€ del pressupost assignats a cadascuna de les partides de Resta d'Àmbits

	PI Històric	1	2	3	4
Gestió edificis	0,68	0,39	2,14	1,09	0,50
Control operatiu	0,33	0,64	0,71	0,73	1,22
Laboratori	0,20	0,17	0,32	0,24	0,12
Sistemes d'informació	2,49	1,24	2,46	1,80	0,89
Subministrament	0,52	0,26	0,20	0,27	0,64
Recursos hídrics alternatius	0,14	0,01	0,04	0,02	0,01
Resta d'Àmbits	4,37	2,72	5,87	4,15	3,38

L'**escenari 1**, proposa més inversió només a la partida de Control Operatiu, a costa de reduir la inversió a la resta de partides. Cal destacar que juntament amb l'escenari 4 són els escenaris que proposen menys inversions de les partides transversals corresponents a Resta d'Àmbits.

L'**escenari 2**, que prioritza els indicadors socials relatius a la percepció i l'eficiència, i els indicadors ambientals, proporciona un increment de la inversió pel que fa a les partides de gestió edificis, control operatiu i laboratori. Sense deixar de banda els sistemes d'informació, que tot i obtenir un valor lleugerament inferior a l'històric, segueix tenint un valor elevat. La part de gestió edificis percep un increment notori degut en gran part a la capacitat de reducció de la petjada de CO₂. Aquest escenari és el que més importància dona als indicadors de percepció i eficiència, indicadors molt relacionats amb les partides transversals (Resta d'Àmbits) principalment partides de suport.

L'**escenari 3**, maximitza l'índex econòmic, la mobilitat i el consum eficient d'aigua proposa invertir més en gestió edificis i control operatiu, pel que fa a la inversió en sistemes d'informació i subministrament proposa un lleuger decrement de la inversió.

Finalment, l'**escenari 4** amb la maximització de l'indicador de garantia de subministrament, el de consum eficient i el de mobilitat, proposa un increment de la inversió en control operatiu per tal de realitzar una millor gestió i del subministrament, en canvi, proposa un decrement en la partida de Gestió Edificis i Sistemes d'Informació.

A continuació, es presenta el detall del volum d'inversió provinent de cadascun dels indicadors per les partides de Resta d'Àmbits: Gestió Edificis (Taula 8.10), Control Operatiu (Taula 8.11), Laboratori (Taula 8.12), Sistemes d'Informació (Taula 8.13), Subministrament (Taula 8.14) i Recursos Hídrics Alternatius (Taula 8.15).

Gairebé en totes les partides que es presenten a continuació, s'observa una contribució al volum d'inversió petit provinent de l'índex econòmic comparat amb les grans partides. El cost dels actius d'aquestes partides transversals és més econòmic si es compara amb el cost que tenen els actius de les grans partides, habitualment actius amb un component molt important d'obra civil. Un altre factor que influeix és la vida comptable, els actius que conformen aquestes partides tenen una vida comptable molt menor que la resta d'actius, ja que molts cops són actius tecnològics que queden obsolets ràpidament. Comparat amb la resta de partides, com ja s'ha comentat, majoritàriament compostades per actius d'obra civil on tant la seva vida útil com la vida comptable és molt més llarga.

Taula 8.10. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida Gestió Edificis

	1	2	3	4
Índex Econòmic	176,67	49,47	113,07	0,00
Garantia de Subministrament	0,00	0,00	0,00	0,00
Percepció del servei	28,78	238,04	126,30	47,96
Eficiència de la prestació	107,82	297,31	199,26	179,71
Mobilitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguretat i Salut Laboral	2,21	8,64	4,95	3,68
Consum eficient d'Aigua	0,00	0,00	0,00	0,00
Consum eficient d'Energia	46,94	76,28	63,47	117,35
Petjada de CO ₂	30,24	1.474,02	579,78	151,18
Biodiversitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Gestió Edificis	392,66	2.143,76	1.086,84	499,88

La partida Gestió Edificis rep inversió dels indicadors de percepció del servei, eficiència de la prestació, seguretat i salut laboral, consum eficient d'energia i petjada de CO₂ apart de l'índex econòmic (Taula 8.10).

Els indicadors socials de percepció del servei i eficiència de la prestació proporcionen inversió a fi de millorar les oficines d'atenció al client. Pel que fa a la millora de les oficines l'indicador de seguretat i salut laboral també proporciona a la partida de

Gestió Edificis un volum d'inversió, en aquest cas però tenint en compte les persones treballadores.

S'observa un potencial de millor pel que fa al consum d'energia, un exemple seria la utilització d'equips més eficients de clima o il·luminació LED. Les inversions per reduir la petjada de CO₂ dels edificis majoritàriament haurien d'anar amb la línia d'evitar el consum de paper i altres residus que es generen a les oficines.

Taula 8.11. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida Control Operatiu

	1	2	3	4
Índex Econòmic	110,86	31,04	70,95	0,00
Garantia de Subministrament	0,00	0,00	0,00	0,00
Percepció del servei	8,89	73,51	39,00	14,81
Eficiència de la prestació	113,01	311,62	208,85	188,36
Mobilitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguretat i Salut Laboral	0,00	0,00	0,00	0,00
Consum eficient d'Aigua	406,47	295,75	411,63	1.016,18
Consum eficient d'Energia	0,00	0,00	0,00	0,00
Petjada de CO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
Biodiversitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Control Operatiu	639,24	711,92	730,43	1.219,35

La inversió provinent dels indicadors de percepció del servei, eficiència de la prestació i consum eficient d'aigua (Taula 8.11) pretén dota a la partida de Control Operatiu d'inversions per millorar aquells sistemes d'informació com són: els sistemes SCADA (de l'anglès *Supervisory Control And Data Acquisition*) o sistemes d'alarma per detectar fuites.

Taula 8.12. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida Laboratori

	1	2	3	4
Índex Econòmic	100,91	28,25	64,58	0,00
Garantia de Subministrament	0,00	0,00	0,00	0,00
Percepció del servei	15,32	126,72	67,24	25,53
Eficiència de la prestació	51,20	141,16	94,61	85,33
Mobilitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguretat i Salut Laboral	6,74	26,39	15,13	11,23
Consum eficient d'Aigua	0,00	0,00	0,00	0,00
Consum eficient d'Energia	0,00	0,00	0,00	0,00
Petjada de CO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
Biodiversitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Laboratori	174,16	322,53	241,56	122,09

A la partida Laboratori (Taula 8.12) li arriba inversió només d'aspectes socials i econòmics. La seva contribució és concentra als indicadors socials de percepció del servei, eficiència de la prestació i Seguretat i Salut Laboral. La qualitat de l'aigua està estretament lligada amb la percepció del servei fet que justifica el volum d'inversió en aquest sentit. Per altra banda, l'indicador eficiència de la prestació pretén recollir totes aquelles inversions destinades a la millora continuada a la cerca de l'excel·lència, sempre intentant ser més

exigents que les normatives vigents i buscant paràmetres nous que permetin millorar el servei. Finalment, la Seguretat i Salut Laboral en un espai on s'utilitza productes químics, biològics, entre d'altres, així com instruments que poden posar en risc la seguretat de les persones que hi treballen, cal realitzar inversions per adequar l'espai i prevenir possibles accidents.

Taula 8.13. k€ provinents de cadascun dels indicadors per la partida Sistemes d'Informació

	1	2	3	4
Índex Econòmic	709,54	198,67	454,11	0,00
Garantia de Subministrament	0,00	0,00	0,00	0,00
Percepció del servei	142,42	1.178,07	625,07	237,36
Eficiència de la prestació	392,30	1.081,71	724,98	653,84
Mobilitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguretat i Salut Laboral	0,00	0,00	0,00	0,00
Consum eficient d'Aigua	0,00	0,00	0,00	0,00
Consum eficient d'Energia	0,00	0,00	0,00	0,00
Petjada de CO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
Biodiversitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Sistemes d'Informació	1.244,26	2.458,46	1.804,15	891,20

La partida de Sistemes d'Informació agrupa totes aquelles actuacions sobre actius que tenen com a objectiu fer més eficient o automatitzar tasques. És per aquest motiu que la inversió a la partida de Sistemes d'Informació (Taula 8.13) prové bàsicament dels indicadors de percepció del servei i eficiència de la prestació. Actualment i cada cop més, els sistemes d'informació prenen una importància molt elevada tant en l'àmbit d'operacions com en la gestió. És per aquest motiu, degut a la seva rellevància en el funcionament de l'empresa que aquesta partida és la que rep més volum d'inversió de les partides transversals de Resta d'Àmbits.

Taula 8.14. k€ provinents de cadascun dels indicadors per les partides de Subministrament

	1	2	3	4
Índex Econòmic	9,64	2,70	6,17	0,00
Garantia de Subministrament	0,00	0,00	0,00	0,00
Percepció del servei	0,78	6,48	3,44	1,31
Eficiència de la prestació	0,69	1,90	1,27	1,15
Mobilitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguretat i Salut Laboral	0,00	0,00	0,00	0,00
Consum eficient d'Aigua	253,39	184,37	256,60	633,47
Consum eficient d'Energia	0,00	0,00	0,00	0,00
Petjada de CO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
Biodiversitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Subministrament	264,50	195,45	267,49	635,93

El volum d'inversió de la partida de Subministrament (Taula 8.14), contribueix a la millora de la percepció del servei i l'eficiència de la prestació a través de les possibilitats de prestar un millor servei als clients. Un exemple en aquest sentit seria el sistema d'avís als clients de possibles fuites, al disposar d'informació horària del consum es pot detectar un

consum anòmal i avisar al client. Per tant, aquesta funcionalitat també permet una millora en la detecció de fuites i per tant en el consum eficient d'aigua.

Taula 8.15. k€ provinents de cadascun dels indicadors per les partides de Recursos Hídrics Alternatius

	1	2	3	4
Índex Econòmic	2,54	0,71	1,62	0,00
Garantia de Subministrament	0,00	0,00	0,00	0,00
Percepció del servei	4,23	35,00	18,57	7,05
Eficiència de la prestació	0,00	0,00	0,00	0,00
Mobilitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguretat i Salut Laboral	0,00	0,00	0,00	0,00
Consum eficient d'Aigua	0,00	0,00	0,00	0,00
Consum eficient d'Energia	0,00	0,00	0,00	0,00
Petjada de CO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
Biodiversitat	0,00	0,00	0,00	0,00
Recursos Hídrics Alternatius	6,77	35,71	20,20	7,05

El volum d'inversió de la partida de Recursos Hídrics Alternatius (Taula 8.15) prové bàsicament de l'indicador de percepció del servei, addicionalment a l'índex econòmic. L'avaluació dels indicadors referents a la partida de Recursos Hídrics Alternatius s'ha realitzat en un moment en que es desconeixia si l'empresa, finalment seria autoritzada a realitzar inversió en aquest sentit.

8.6. RESULTAT REPARTIMENT SUBPARTIDES INVERSIÓ

Un cop realitzat el repartiment a nivell de partides i subpartides, en aquest apartat s'analitzen els resultats obtinguts per les diferents subpartides. Com s'ha apuntat anteriorment, aquests valors són resultat del repartiment que es realitza amb les matrius de contribució (Annex D) de les diferents subpartides (Fase III). Es presenta la comparativa entre:

- Les subpartides de Producció (apartat 8.6.1)
- Les subpartides de Transport (apartat 8.6.2)
- Les subpartides de Distribució (apartat 8.6.3)
- De les subpartides segons la tipologia d'infraestructura (apartat 8.7.1)
- De les subpartides segons la finalitat de la inversió (apartat 8.7.2)

8.6.1 Subpartides de Producció

Les subpartides de Producció es presenten a la Figura 8.7 i a la Taula 8.16: Ampliació xarxa; Renovació xarxa; Ampliació d'instal·lacions i elements electromecànics; Adequació i renovació d'instal·lacions i elements electromecànics; Ampliació del tractament; Renovació del tractament; i, Control Operatiu.

En el cas de les subpartides de Producció, ni la gràfica de la Figura 8.7 ni la Taula 8.16 presenten l'històric del Pla d'Inversions com a referència, ja que en aquest cas, com s'ha comentat al Capítol 6 aquestes han anat canviant al llarg del temps i per tant, no existeix referència per poder determinar quin ha estat l'històric de les subpartides que es presenten.

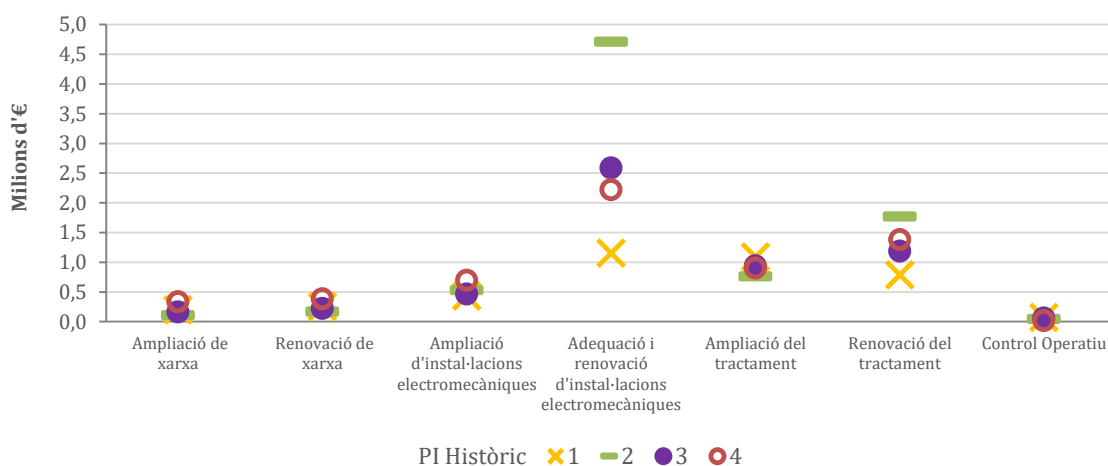


Figura 8.7. Estudi sensibilitat subpartides Producció

Taula 8.16. M€ del pressupost assignats a cada subpartida de Producció

	1	2	3	4
Ampliació de xarxa	0,20	0,11	0,16	0,33
Renovació de xarxa	0,25	0,17	0,22	0,38
Ampliació d'instal·lacions electromecàniques	0,43	0,53	0,46	0,69
Adequació i renovació d'instal·lacions electromecàniques	1,15	4,71	2,58	2,22
Ampliació del tractament	1,09	0,76	0,94	0,90
Renovació del tractament	0,78	1,77	1,19	1,38
Control Operatiu	0,07	0,05	0,06	0,02
Producció	3,97	8,08	5,62	5,92

Tal com s'observa a la Figura 8.7 i Taula 8.16 els resultats d'inversió són similars per tots els escenaris pel cas d'ampliació i renovació de la xarxa, ampliació de les instal·lacions electromecàniques, l'ampliació del tractament i el control operatiu de producció. Les subpartides que tenen més variabilitat segons l'escenari que s'estudia són l'adequació i renovació d'instal·lacions electromecàniques i la renovació del tractament.

La subpartida d'adequació i renovació d'instal·lacions electromecàniques engloba totes aquelles inversions per tal d'adequar les instal·lacions i assegurar que tinguin la millor integració al medi, i per tant, totes les inversions en biodiversitat quedarien emmarcades dins d'aquesta subpartida. Fet que justifica que l'escenari 2 sigui el que li proporciona més inversió (Figura 8.7 i Taula 8.16).

La renovació del tractament rep més inversió segons la importància dels indicadors de garantia del subministrament, els ambientals i l'índex econòmic. Aquests són màxims per l'escenari 2 i mínims per l'escenari 1, obtenint valors similars per l'escenari 3 i 4.

8.6.2 Subpartides de Transport

La Figura 8.8 i la Taula 8.17 presenten les subpartides de Transport: Adequació i renovació de la xarxa de transport; adequació i renovació d'instal·lacions i mecanismes de transport; Ampliació de la xarxa de transport; i, Ampliació de les instal·lacions i mecanismes de transport.

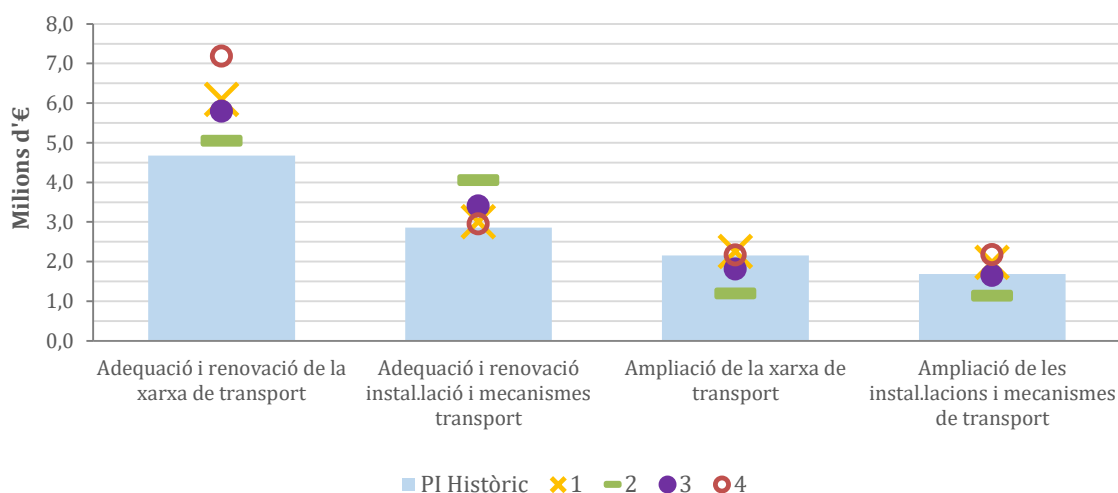


Figura 8.8. Estudi sensibilitat subpartides Transport

Taula 8.17. M€ del pressupost assignats a cada subpartida de Transport

	PI Històric	1	2	3	4
Adequació i renovació de la xarxa	4,67	6,10	5,04	5,80	7,19
Adequació i renovació instal·lació i mecanismes	2,86	3,01	4,05	3,40	2,95
Ampliació de la xarxa	2,16	2,25	1,19	1,81	2,17
Ampliació de les instal·lacions i mecanismes	1,69	1,98	1,13	1,65	2,17
Transport	11,37	13,34	11,41	12,66	14,48

Pel que fa a les subpartides de Transport, la Figura 8.8 i la Taula 8.17 mostren que tots els escenaris proposen un increment en la inversió per adequació i renovació de la xarxa de transport, un increment que resulta coincident amb el dèficit d'inversió en aquest sentit. Sovint degut condicionants territorials que dificulten l'execució d'aquesta renovació s'han prioritzat altres actuacions on aquesta dificultat és menor o té menys afectació sobre l'entorn. Destacar però que tal com apunta el model cal actuar en aquest sentit, a fi d'evitar un envelliment excessiu dels actius i els problemes que aquest deteriorament produiria.

Pel que fa a la resta de partides, els escenaris 1, 3 i 4 proposen valors força similars a l'històric, i l'escenari 2 és el que discrepa més en resultats. Proporcionant major inversió en l'adequació i la renovació d'instal·lacions i mecanismes de transport i menys en les dues subpartides d'ampliació.

8.6.3 Subpartides de Distribució

La Figura 8.9 i la Taula 8.18 mostren les subpartides de Distribució: Ampliació i reforç de la xarxa, instal·lacions i mecanismes de distribució; Pla de millora del rendiment de distribució; Renovació de vàlvules, mecanismes i dataloggers; Ampliació escomeses; Renovació escomeses; i, Renovació de la xarxa de distribució.

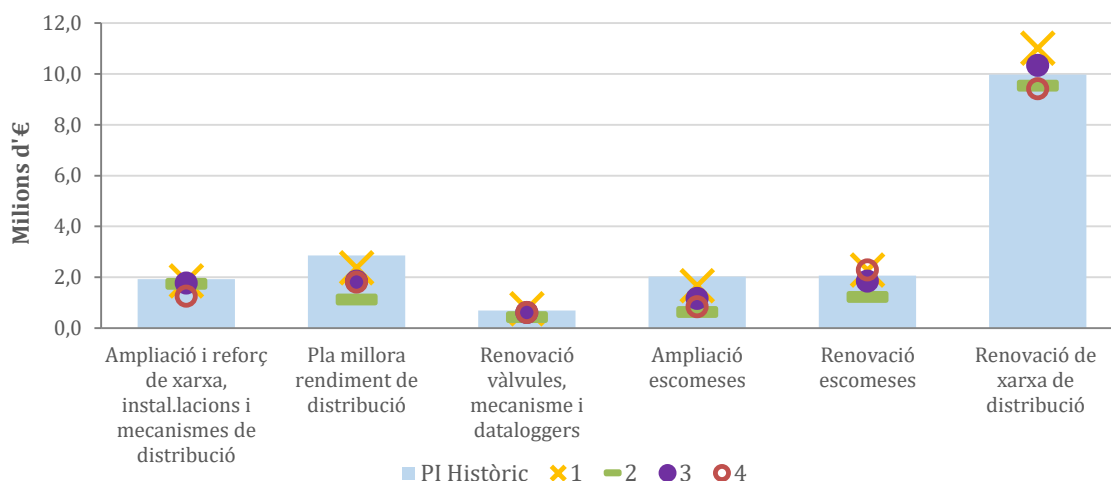


Figura 8.9. Estudi sensibilitat subpartides Distribució

Taula 8.18. M€ del pressupost assignats a cada subpartida de Distribució

	PI Històric	1	2	3	4
<i>Ampliació i reforç de xarxa, instal·lacions i mecanismes</i>	1,92	1,86	1,73	1,78	1,26
<i>Pla millora rendiment</i>	2,87	2,38	1,12	1,84	1,81
<i>Renovació vàlvules, mecanisme i dataloggers</i>	0,70	0,76	0,43	0,61	0,61
<i>Ampliació escomeses</i>	2,03	1,67	0,62	1,17	0,84
<i>Renovació escomeses</i>	2,07	2,28	1,21	1,85	2,29
<i>Renovació de xarxa</i>	9,97	11,01	9,52	10,33	9,41
Distribució	19,55	19,96	14,64	17,57	16,22

De la Figura 8.9 i la Taula 8.18 s'observa que hi ha un increment d'inversió d'aproximadament 1 M€ en el cas de la subpartida de renovació de la xarxa de distribució (escenari 1), els escenaris 1 i 4 també proporcionen un lleuger increment de la renovació d'escomeses on el criteri econòmic té un pes molt petit.

Per la resta de subpartides, la tendència és a obtenir valors inferiors als que s'estan pressuposant històricament. Aquest fet passa a les subpartides: d'ampliació i reforç de xarxa, instal·lacions i mecanismes, pla de millora del rendiment, renovació de vàlvules mecanismes i dataloggers, i ampliació escomeses. El motiu d'aquesta davallada és que després de molts anys invertint amb millorar el rendiment de la xarxa de distribució sembla coherent que cada cop hi hagi menys camí a recórrer en aquest sentit, i que la inversió i els esforços hagi d'anar disminuint, un cop el pla està arribant al grau màxim d'assoliment. Per

altra banda, i per evitar que aquest rendiment disminueixi cal realitzar una renovació de la xarxa de forma adequada evitant que el nivell d'obsolescència de la xarxa augmenti, seguint aquesta lògica es justifica també l'increment d'inversió en la renovació de la xarxa de distribució.

8.7. REPARTIMENT SEGONS TIPOLOGIA I FINALITAT

8.7.1 Volum inversió segons tipologia d'infraestructura

Les inversions es poden agrupar segons la *tipologia d'infraestructura*, aquestes depenen de l'àmbit en el que es troben aquestes infraestructures. Dins la partida de Producció trobem les següents tipologies: xarxa; instal·lacions i mecanismes; control operatiu; i, tractament. A la partida de Transport només hi ha: xarxa i instal·lacions i mecanismes. A la partida de Distribució hi ha les tipologies: xarxa, instal·lacions i mecanismes; escomeses; i, rendiment. Dins la partida de Distribució s'uneix la part de xarxa amb instal·lacions i mecanismes ja que són elements que estan molt vinculats a les canonades.

A la Taula 8.19 es presenta la relació entre les tipologies d'infraestructures i les subpartides, per obtenir aquests valors agregats per les partides de Producció, Transport i Distribució.

Taula 8.19. Relació tipologia d'infraestructures i subpartides

Tipologies d'infraestructures	Subpartides
Producció	
	Ampliació de xarxa Renovació de xarxa
Instal·lació i mecanismes	Ampliació d'instal·lacions electro-mecàniques Adequació i renovació d'instal·lacions electro-mecàniques
Control Operatiu	Control Operatiu
Tractament	Ampliació de tractament Renovació de tractament
Transport	
Xarxa de transport	Ampliació de la xarxa de transport Adequació i renovació de la xarxa de transport
Instal·lació i mecanismes	Adequació i renovació instal·lació i mecanismes transport Ampliació de les instal·lacions i mecanismes de transport
Distribució	
Xarxa, instal·lacions i mecanismes	Renovació de xarxa de distribució Ampliació i reforç de xarxa, instal·lacions i mecanismes de distribució Renovació vàlvules, mecanisme i dataloggers
Rendiment	Pla millora rendiment de distribució
Escomeses	Ampliació escomeses - Renovació escomeses

A la Figura 8.10 es presenten les agrupacions segons la tipologia d'infraestructura de la partida de Producció. En aquest cas, tampoc s'ha presentat l'històric del Pla d'Inversions com a referència, el canvi d'aquestes al llarg del temps fa que no hagi estat possible realitzar aquests agrupats.

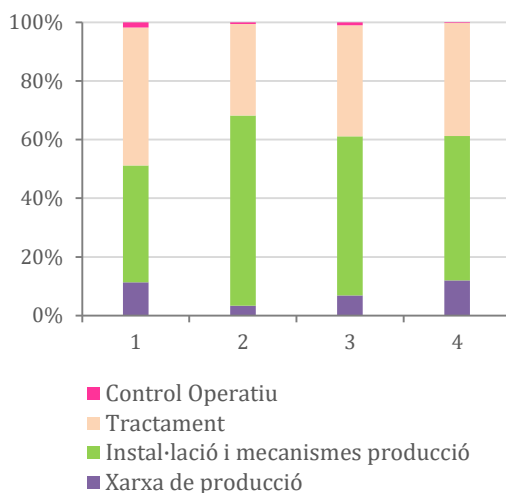


Figura 8.10. Repartiment per tipologia d'infraestructura de la partida de Producció

Les inversions segons la tipologia d'infraestructura a la qual fan referència, a la partida de Producció són majoritàriament per tots els escenaris d'inversions en instal·lacions i mecanismes, i inversions sobre els actius del tractament (Figura 8.10). Aquestes dues tipologies d'inversions en tots els escenaris s'enduen més del 80% del volum de la inversió.

A la Figura 8.11 es presenten les agrupacions segons la tipologia d'infraestructura de la partida de Transport.

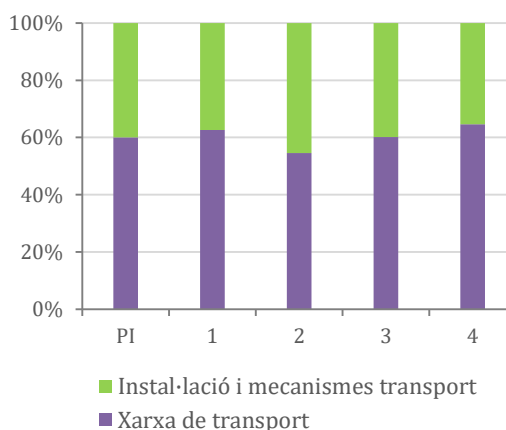


Figura 8.11. Repartiment per tipologia d'infraestructura de la partida de Transport

Les inversions en infraestructures de transport es reparteixen per tots els escenaris aportant un 60% del volum de la inversió a la xarxa i el 40% restant a les instal·lacions i mecanismes. Posant novament en relleu la necessitat d'invertir en la xarxa de transport.

A la Figura 8.12 es presenten les agrupacions de la partida de Distribució segons la tipologia d'infraestructura.

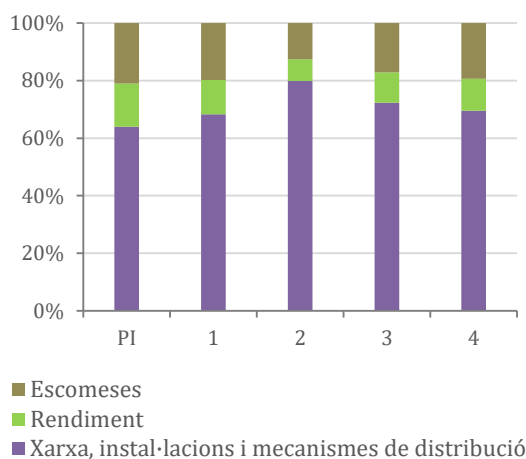


Figura 8.12. Repartiment per tipologia d'infraestructura de la partida de Distribució

Dins la partida de Distribució, el volum d'inversió majoritari va destinat a la xarxa (més d'un 60%) per tots els escenaris. Seguidament les escomeses s'enduen partiment en tots els escenaris un 20% de la inversió, menys a l'escenari 2 on la xarxa captura gairebé el 80% d'aquesta. Finalment, les inversions de rendiment obtenen en tots els casos menys inversió que la històrica (PI), novament posant en relleu una saturació sobre les actuacions que milloren el rendiment.

8.7.2 Volum inversió segons finalitat

Una altra forma d'agrupar les inversions és segons *la seva finalitat*. A la partida de Producció hi ha inversions que tenen per finalitat: el control operatiu; l'adequació i renovació; i, l'ampliació. A la partida de Transport hi ha inversions amb la finalitat d': adequació i renovació; i, ampliació. A la partida de Distribució hi ha inversions amb la finalitat d': adequació i renovació; i, ampliació, reforç i pla de millora.

A la Taula 8.20 es presenta la relació entre la finalitat de la inversió i les subpartides considerades dins de cadascuna de les finalitats identificades, aquestes permeten fer el sumatori dels volums d'inversió per obtenir les dades de la Figura 8.13, la Figura 8.14 i la Figura 8.15.

Taula 8.20. Relació finalitat inversió i subpartides

Finalitat inversió	Subpartides
Producció	
Adequació i renovació	Renovació de xarxa Adequació i renovació d'instal·lacions electro-mecàniques Renovació de tractament
Ampliació	Ampliació de xarxa Ampliació de tractament Ampliació d'instal·lacions electro-mecàniques
Control Operatiu	Control Operatiu
Transport	
Adequació i renovació	Adequació i renovació de la xarxa de transport Adequació i renovació instal·lació i mecanismes transport
Ampliació	Ampliació de la xarxa de transport Ampliació de les instal·lacions i mecanismes de transport
Distribució	
Adequació i renovació	Renovació vàlvules, mecanisme i dataloggers Renovació escomeses Renovació de xarxa de distribució
Ampliació, reforç i pla de millora	Ampliació i reforç de xarxa, instal·lacions i mecanismes de distribució Pla millora rendiment de distribució Ampliació escomeses

A la Figura 8.13 es presenten les agrupacions de la partida de Producció segons la finalitat de la inversió.

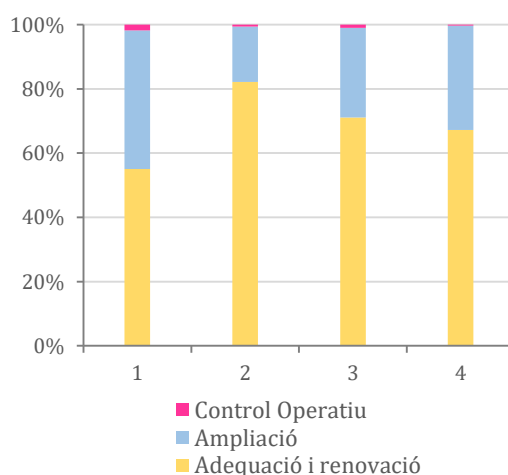


Figura 8.13. Repartiment segons finalitat inversió de la partida de Producció

Com es pot observa a la Figura 8.13, en tots els escenaris les partides d'adequació i renovació sempre s'enduen un gran volum d'inversió (entre el 55% i el 82%). Seguidament, les inversions per ampliació s'enduen entre un 43% i un 17%. Finalment, les inversions en Control Operatiu resulten una part molt petita de la inversió (menys d'un 2%). Es pot concloure que la reducció del risc (adequació i renovació) a les partides de Producció sempre passa per davant a les actuacions per oportunitat (ampliació). Un dels motius és que

la part de producció va construir-se entre els anys 50 i 60, fet que fa que gran part de les infraestructures requereixin una renovació o adequació.

A la Figura 8.14 es presenten les agrupacions de la partida de Transport segons la finalitat de la inversió.

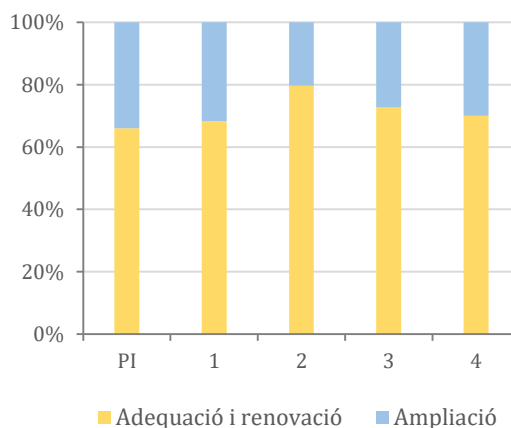


Figura 8.14. Repartiment segons finalitat inversió de la partida de Transport

En el cas de les inversions en infraestructures de Transport, històricament (PI) a la Figura 8.14 s'observa una major inversió en adequació i renovació (inversions per reduir el risc). Els diferents escenaris que s'han utilitzat per obtenir els resultats del model també proporcionen un major volum d'inversió en adequació i renovació variant entre un 80% i un 68%. Mentre que les inversions d'ampliació (inversions d'oportunitat) s'enduen un volum d'inversió entre el 32% i el 20%.

A la Figura 8.15 es presenten les agrupacions de la partida de Distribució segons la finalitat de la inversió.

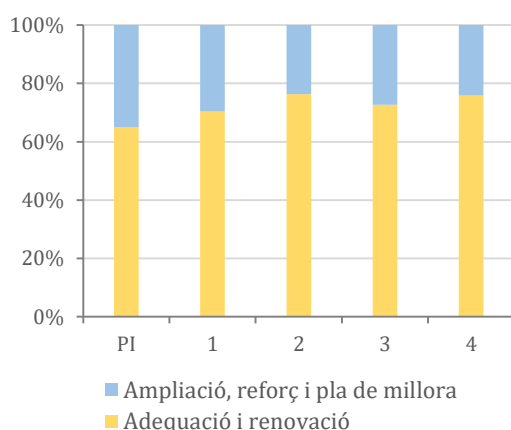


Figura 8.15. Repartiment segons finalitat inversió de la partida de Distribució

En el cas de les inversions de la partida Distribució, segueixen la mateixa tendència (Figura 8.15). Històricament (PI) ja s'invertia més d'un 60% en adequació i renovació, els

escenaris estudiats amb el nou model també segueixen aquesta filosofia, proporcionant un volum d'inversió entre el 70% i el 76% en inversions d'adequació i renovació. Pel que fa a les inversions d'ampliació, reforç i pla de millora, aquestes reben menys inversió que la que s'invertia històricament en el cas de les partides de Distribució. Aquest fet apunta que els últims anys ja s'han realitzat grans esforços per millorar aspectes del rendiment (pla de millora).

8.7.3 Volum inversió per vectors de contribució al DS

Aquest apartat pretén observar el volum d'inversió que prové de cadascun dels vectors de DS (social, ambiental i econòmic). Per observar aquesta contribució s'ha utilitzat el resultat de l'escenari 3 (el que reparteix més equitativament els pesos, veure Taula 8.1), al vector social s'assigna un 38,50%, al vector ambiental un 29,50% i a l'econòmic un 32,00%.

A la Figura 8.16 es presenta el percentatge de volum d'inversió que arriba a cadascuna de les grans partides en funció del vector al quals pertanyen els indicadors que proporcionen aquest volum d'inversió.

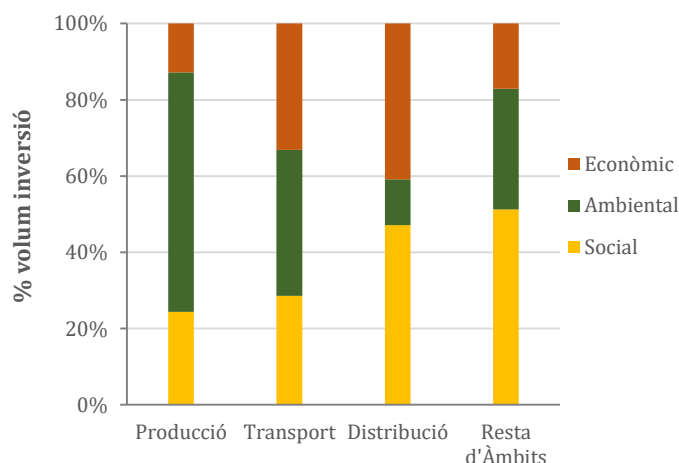


Figura 8.16. Volum d'inversió de cada vector (resultats obtinguts amb l'escenari 3)

La **partida de Producció** rep majoritàriament inversió via els indicadors ambientals (Figura 8.16), aquestes infraestructures es troben estretament lligades amb el medi ambient i el recurs natural fet que explica aquest fet predominant.

El volum d'inversió de la **partida de Transport** resulta més equitatiu, ja que tot i que no és exactament així, perquè el volum ambiental és superior al 33% i el social lleugerament inferior, gairebé es podria dir que arriba 1/3 de la inversió de cadascun dels vectors.

Pel que fa a la **partida de Distribució i Resta d'Àmbits**, la major part del volum d'inversió arriba pel vector social, fet que posa en relleu la seva proximitat amb la societat,

concretament, la importància d'aquests actius sobre les persones, la ciutat i les persones treballadors.

8.8. CONCLUSIONS

Les conclusions extretes d'aquest capítol s'organitzen segons l'anàlisi de sensibilitat realitzada a nivell de grans partides d'inversió: Producció, Transport, Distribució i Resta d'Àmbits (Gestió Edificis, Control Operatiu, Laboratori, Sistemes d'Informació, Subministrament i Recursos Hídrics Alternatius). Per altra banda, es presenten les conclusions extretes a nivell de subpartides. Finalment, també es presenten les conclusions dels resultats agrupats per tipologia d'infraestructura i segons la seva finalitat.

Conclusions de l'anàlisi de sensibilitat a **nivell de grans partides** d'inversió:

- Comparant l'escenari 1 amb el PI Històric, s'observa que l'empresa històricament de manera implícita seguia criteris no només econòmics sinó també criteris socials i ambientals. Aquest repartiment però mancava de traçabilitat i per tant, de transparència de cara als grups de relació, ja que es realitzava amb criteris més introspectius.
- La metodologia a priori sembla prou robusta a nivell de partides d'inversió, ja que no s'observen grans salts en les diverses propostes i quan aquests salts apareixen són fàcilment justificables per manca històrica d'inversió o per haver arribat al límit màxim de capacitat tecnològica.
- Amb un repartiment de pesos compostat per dos grups de relació (escenari 1 i 2) on la mitjana dels pesos resulta amb l'escenari 3, sembla que els resultats responen a un comportament esperable. Un transvasament d'inversió de la partida de Distribució cap a la partida Transport i molt més lleugerament cap a la partida de Producció. Sembla encaixar amb les necessitats de renovar els actius de la partida de Transport.
- El model sembla apuntar un dèficit d'inversió "històric" a les infraestructures de Transport.
- La inversió històrica de la partida de Distribució posiciona aquesta partida en millor estat respecte a les altres, aquest fet s'observa amb tots els escenaris. Aquests redueixen el volum d'inversió de la partida Distribució per repartir-la a la resta de partides. Aquestes partides d'inversió es poden veure sensiblement incrementades i/o disminuïdes en funció de les prioritats dels grups de relació.

Conclusions de l'anàlisi de sensibilitat a **nivell de subpartides**:

- Les subpartides més importants en volum d'inversió històric no pateixen variacions significatives respecte a l'històric planificat. Sembla doncs constatar que són aquelles on hi ha els actius més importants per garantir un bon servei d'abastament.

- S'observa una disminució d'aquelles subpartides que semblen haver arribat al límit de la seva capacitat tecnològica, demostrant la saturació del sistema i la dificultat d'obtenir una bona resposta amb les inversions.

Conclusions segons tipologia d'infraestructura:

- Els volums d'inversió obtinguts responen a aquells actius majoritaris en cadascuna de les partides.
- En el cas de les inversions en xarxa, per la partida de Producció com que aquesta té pocs kilòmetres no rep un volum elevat d'inversió, en canvi, per les partides de transport i distribució el volum d'inversió en xarxa és el més elevat. En el cas de transport gairebé un 60%, i en el cas de distribució la xarxa sempre rep més del 60% de la inversió.
- Pel que fa als percentatges d'inversió segons la tipologia d'infraestructura es segueix la mateixa tendència que la que s'estava invertint històricament (PI).

Conclusions segons finalitat de la inversió:

- Les inversions destinades a la reducció del risc (adequació i renovació) per tots els escenaris analitzats són més elevades que les inversions en assolir oportunitats (ampliació). Gairebé per tots els escenaris s'obté un volum d'inversió aproximadament de 2/3 destinat a la reducció del risc i un volum d'1/3 destinat a oportunitats.

CAPÍTOL 9

CONCLUSIONS I FUTURES LÍNIES D'INVESTIGACIÓ

9.1. INTRODUCCIÓ

El principal objectiu d'aquest capítol, que forma el BLOC IV d'aquest document és esposar les conclusions dels diferents models realitzats al llarg de la present Tesi Doctoral. El present capítol es divideix en conclusions generals i conclusions específiques.

Les *conclusions generals*, presentades a l'apartat 9.2, descriuen l'acompliment dels objectius principals presentats al Capítol 1. Aquestes conclusions s'extreuen del conjunt de capítols centrals que formen el cos del document (del Capítol 3 al 8).

Les *conclusions específiques*, presentades a l'apartat 9.3, descriuen l'acompliment dels objectius específics presentats al Capítol 1. Més concretament, l'apartat 9.3.1 descriu l'acompliment dels objectius específics comuns als dos Models desenvolupats, l'apartat 9.3.2 descriu l'acompliment dels objectius específics del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució i per últim, l'apartat 9.3.3 descriu l'acompliment dels objectius específics del Model de Priorització d'Inversions per Partides.

Finalment, a l'apartat 9.4 es presenten les *futures línies d'investigació* que s'extreuen del present treball i que donen continuïtat a l'estudi realitzat en aquest document.

9.2. CONCLUSIONS GENERALS

L'estudi objecte de la present Tesi Doctoral ha assolit tots els objectius presentats al Capítol 1.

Amb el desenvolupament d'aquesta nova metodologia de priorització, Aigües de Barcelona, ha guanyat en objectivitat, transparència i proximitat amb els grups de relació.

En el desenvolupament d'aquesta nova metodologia s'ha involucrat a tots els departaments de l'empresa i alhora s'ha consultat i finalment incorporat les sensibilitats dels grups de relació d'Aigües de Barcelona, fent-los partícips del procés de decisió en matèria d'inversió.

Per últim, destacar dos grans avantatges dels Models no previstes a l'origen del seu disseny:

- El procés participatiu ha permès tenir un diàleg enriquidor amb els grups de relació en el que Aigües ha posat en valor el servei desgranant, en un llenguatge entenedor, la complexitat d'aquest.
- El resultat dels Models és possible gràcies al processament i la generació de molta nova informació, una informació que ha estat molt útil en la presentació i justificació dels Plans d'Inversions davant de les administracions reguladores.

9.3. CONCLUSIONS ESPECÍFIQUES

9.3.1 Conclusions comunes dels dos Models desenvolupats

El concepte "desenvolupament sostenible" és molt interpretable i depèn del punt de vista dels possibles implicats. És per això que el primer objectiu, "*Determinar que implica el desenvolupament sostenible del servei des d'una òptica que incorpori la sensibilitat dels grups de relació d'Aigües de Barcelona*", era especialment complicat. En primer lloc, la visió que tenen del servei els diferents grups de relació depèn del nivell coneixement que en tinguin i aquest està restringit al seu àmbit d'implicació o responsabilitat.

Aquesta gran diferència de coneixement de detall del servei entre Aigües de Barcelona i els seus grups de relació, a priori podria semblar una amenaça, però finalment es va comprovar que l'esforç d'empatia i de simplificació del llenguatge era en realitat una oportunitat immillorable per entendre allò que valoren els grups de relació, al mateix temps que es transmetien d'altres aspectes del servei desconeguts per aquests. Va originar doncs un aprenentatge en els dos sentits.

El que va fer possible aquest diàleg amb els grups de relació entorn del desenvolupament sostenible del servei, justament va ser el mateix que feia possible assolir l'objectiu d'"Estudiar i implementar una metodologia per condensar en un sol indicador de

contribució al desenvolupament sostenible els beneficis Socials, Ambientals i Econòmics estimats". La metodologia d'anàlisi multicriteri MIVES es basa en arbre de decisió que obliga a reflexionar, simplificar i ordenar allò que ha de ser objecte de la decisió, en aquest cas invertir en allò que garanteix més contribució al desenvolupament sostenible.

Es va triar la metodologia d'anàlisi multicriteri MIVES justament perquè era simple i permetia resumir les característiques de contribució de les inversions a la millora del servei d'una forma entenedora. El fet d'haver d'explicar i fer participar els grups de relació va implicar un canvi d'enfocament en la gestió tradicional, ja que els requeriments i els indicadors corresponents havien de ser comprensibles per a no experts. Per exemple, Aigües de Barcelona porta treballant activament en la reducció de les fuites a la xarxa des del 1999 però el seu indicador de referència sempre havia estat el rendiment perquè el rendiment, tot i que no ens indica exclusivament el nivell de fuites, és mesurable. Amb el mètode de MIVES i una vegada consultats els grups de relació es va veure que, per primera vegada calia començar treballar amb la millor estimació possible de les fuites a la xarxa, doncs és aquest l'objecte final de les inversions, reduir fuites, i és sobre les fuites que els grups de relació volien parlar.

En definitiva el mètode MIVES, descrita a l'apartat 2.6.2, ha estat l'escollida per a la consecució dels dos objectius esmentats. Amb aquest s'ha aconseguit treballar amb una visió compartida del desenvolupament sostenible, s'han incorporat els grups de relació en la decisió i per últim s'ha concentrat en un sol indicador de contribució al desenvolupament sostenible la multitud d'indicadors necessaris.

D'altra banda, el coneixement expert és la base del disseny de tots els indicadors, però aquest coneixement de gestió està disseminat a l'empresa i molt sovint ha estat objecte de debat entre diferents experts. Calia tenir una metodologia prou àgil per poder culminar amb èxit les reunions de treball necessàries i sobretot per garantir la revisió final de l'aplicació del criteri una vegada incorporat al Model. La metodologia finalment utilitzada per capturar i objectivar el coneixement dels experts d'Aigües de Barcelona es presenta al **Capítol 4**, concretament a la Figura 4.1 i Figura 4.2.

Per últim, per ambdós Models ha estat necessari dissenyar les corresponents eines de comprovació dels resultats. En el cas del Model de Renovació de la xarxa de Distribució s'utilitzen 3 eines, els corresponents workflows d'avaluació fets sobre el mateix arxiu de l'eina KNIME de mineria de dades (**Annex A**), uns excels de comprovació de resultats per superar la rigidesa del KNIME i finalment el Visor del Model de Renovació presentat a l'apartat 3.6 del **Capítol 3**. Per al Model de Priorització d'Inversions per Partides es va desenvolupar un Excel que executa el Model i n'avalua els resultats.

9.3.2 Conclusions del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució

El present apartat recull les conclusions relatives al **Model de Renovació de la Xarxa de Distribució**, extretes dels capítols del BLOC II (Capítols 3, 4 i 5). Tot i que aquestes conclusions es podrien fer extensives als models d'ordenació.

El Model de Renovació de la Xarxa de Distribució per a la seva execució requereix de la quantificació de 8 contribucions al desenvolupament sostenible en la forma dels indicadors respectius. Tots els indicadors són de naturalesa quantitativa, alguns d'ells dimensionals (m^3/any , $kWh/\text{any}, \dots$) i d'altres adimensionals ("índex de mobilitat",...), presentats a la Taula 3.3. Tots els indicadors calculats són d'estimació de risc i per tant requereixen de l'estimació del dany i d'una estimació del potencial de fallada, segons l'Eq. 3.3. Així, la consecució de l'objectiu "Disseny d'una metodologia per quantificar totes les tipologies de beneficis Socials, Ambientals i Econòmics de cadascun dels trams de distribució en cas de renovació" ha demanat desenvolupar una lògica genèrica d'estimació de risc i l'estudi de detall de la natura del dany associat a cada indicador (**Capítol 4**). La metodologia MIVES per la seva banda incorpora l'ús de funcions de valor que tenen com a finalitat fer comparables els resultats d'aquests indicadors tan diversos.

El procés de digitalització del coneixement d'Aigües de Barcelona en matèria de renovació de la xarxa ha resultat molt feixuc per la gran quantitat d'informació que cal consultar per calcular tots els indicadors. Aquesta dificultat primerament es va superar utilitzant diversos excel·ls i bases de dades que estaven relacionats i que sovint requerien feines de programació específiques. La solució final va sorgir de la necessitat que l'eina que definitiva permetés fos fàcilment actualitzable, ja que es van preveure millores durant la implantació de la primera versió. L'aplicació KNIME és una eina de mineria de dades molt visual que justament permet introduir millores sense els inconvenients associats a canviar els codis dels excel·ls i base de dades d'origen, veure **Annex A**.

Les conclusions de l'**anàlisi de sensibilitat (Capítol 5)** realitzada són les següents:

- En cas que es realitzés una assignació de pesos dels requeriments igualment repartida, és a dir, que donés la mateixa importància a tots ells, resultaria en una preselecció de trams a renovar que en cas de ser executada, proporcionaria uns beneficis per als clients, la ciutat i el medi ambient molt elevats amb un retorn econòmic considerable.
- El valor màxim per cada requeriment, com s'esperava, s'assoleix per una assignació polaritzada que només doni pes al requeriment en qüestió. Així, donar el pes màxim al vector social, afavoreix "el blindatge" del subministrament a més persones i clients sensibles, també a la mobilitat de la ciutat i contribueix a renovar trams de fosa grisa. Fer el mateix amb el vector ambiental, afavoreix la recuperació d'aigua perduda per fuites i la minimització del consum energètic associat al transport de l'aigua perduda. En el cas del vector econòmic, la màxima importància relativa decanta la renovació cap als trams més curts i de menor diàmetre, així com els trams de polietilè de baixa densitat (PEB), amb una major taxa d'avaries prevista per edats menors que la resta de materials.

A més a més, el primer any d'execució de les inversions utilitzant la prioritització del Model proporciona les següents conclusions (**Capítol 5**):

- Després de la renovació del 2018 utilitzant el resultat del nou Model de Renovació de la Xarxa de Distribució, s'observa una reducció d'aquells materials considerats com "dolents" (principalment fibrociment i fosa grisa).
- Aquelles direccions de zona que han pogut ajustar més el seu Pla de renovació als trams prioritzats pel Model, han pogut comprovar una major contribució social, ambiental i econòmica respecte la renovació executada l'any anterior (renovació any 2017).
- Per contra, aquelles direccions que s'han ajustat poc al resultat del Model, sovint degut a condicionants territorials, han pogut comprovar una contribució nul·la per gairebé tots els paràmetres analitzats respecte a l'any anterior. El paràmetre nombre de persones ha estat l'únic que ha presentat un increment significatiu. Per altra banda, coincideix que aquestes direccions de zones han tingut un pitjor comportament pel que fa a les avaries.

Finalment, es va utilitzar el nou Model de renovació per contribuir a tangibilitzar el canvi de forma de gestió en matèria d'inversions davant dels principals grups de relació d'Aigües de Barcelona. Per fer-ho possible es va dissenyar i implementar un nou Visor (presentat a l'apartat 3.6 del **Capítol 3**) que de forma entenedora posa en un mateix àmbit geogràfic la informació de base proporcionada pels ajuntaments, la xarxa d'Aigües de Barcelona i la major part de la informació generada que ajuda a comprendre la natura de les contribucions al desenvolupament sostenible en cas de renovació de cadascun dels trams que conformen la xarxa de Distribució d'Aigües de Barcelona. A banda, aquest Visor permet aprofundir en la millora de la gestió de l'explotació, permet contribuir a la traçabilitat del model i és de gran ajuda per justificar davant de tercers les inversions realitzades.

9.3.3 Conclusions del Model de Priorització d'Inversions per Partides

El present apartat recull les conclusions relatives al **Model de Priorització d'Inversions per Partides**, extretes dels capítols del BLOC III (Capítols 6, 7 i 8).

Com a primer pas per superar la dificultat associada a un conjunt de partides i subpartides d'inversió molt heterogènies, va ser estandarditzar el Pla d'Inversions. Més concretament es va dur a terme l'anàlisi de l'estructura del Pla d'Inversions original per identificar, modificar i/o redefinir aquelles subpartides tals que la seva definició original no era compatible amb un Model estable de repartiment, que contemples totes les tipologies i finalitats d'inversió actuals i futures (**Capítols 6**).

En segon lloc es va estructurar l'àmbit de decisió per tal d'assegurar que l'heterogeneïtat existent dins de les subpartides i entre subpartides fos gestionada pels tècnics d'Aigües de Barcelona experts en la matèria. A la metodologia desenvolupada mentre els grups de relació externs proporcionen la seva sensibilitat pel que fa al que representa per ells el desenvolupament sostenible (Fase II descrita al **Capítol 6**), els tècnics experts (grups de relació interns) són els encarregats de conèixer les necessitats d'inversió dins del seu àmbit i fer servir aquest coneixement per realitzar un repartiment entre

subpartides que maximitzi la contribució a cadascun dels indicadors, per mitjà de les matrius de contribució (Fase III descrita al **Capítol 6**). Aquesta metodologia d'estructuració de l'àmbit de decisió agafa tot el sentit quan els mateixos tècnics que han decidit el repartiment percentual per subpartides partint del coneixement dels indicadors de desenvolupament sostenible, són també els que finalment han de completar el Pla d'Inversions en actuacions concretes vetllant per maximitzar la contribució al DS.

Per tal de quantificar totes les tipologies de beneficis Socials, Ambientals i Econòmics de cada partida d'inversió calia estudiar primer els impactes associats. Fet això es detecten tant riscos com oportunitats associades a cada partida. És a dir, hi havia partides que tenien indicadors de risc i també indicadors d'oportunitat (**Capítol 6**). El fet d'haver d'utilitzar dos indicadors per quantificar un sol tipus de contribució, va demanar dues coses: estudiar bé el concepte "d'oportunitat" en genèric per tal de facilitar el càlcul d'aquests tipus d'indicador (Figura 6.6) i en segon lloc establir una metodologia per concentrar en un sol indicador els dos conceptes esmentats.

No tots els indicadors es poden quantificar, és per això que va ser necessari dissenyar una metodologia *d'estimació de risc per als indicadors qualitatius* que ha permès objectivar la seva subjectivitat calculant un nivell de contribució molt robust (**Capítol 6**). Addicionalment, i amb relació amb els *indicadors qualitatius* també s'ha desenvolupat una metodologia per poder estimar *l'estat dels principals agrupadors d'actius* de la xarxa d'abastament (descrita a **Annex C**), necessari per calcular el risc associat a cada indicador.

Les dades econòmiques d'un servei públic són molt sensibles perquè es poden mal interpretar i fer-ne un ús injust o interessat. En el cas d'una empresa mixta com Aigües de Barcelona la publicació d'aquestes no és responsabilitat exclusiva de la part gestora, sinó que la part pública també hi ha d'estar d'acord. Així, totes les dades econòmic-financeres s'han treballat directament des del departament d'Econòmic Financer. És per aquest motiu que aquest estudi parteix d'un esforç d'abstracció que ha culminat en el desenvolupament d'una metodologia de determinació de l'índex econòmic només partint dels conceptes financers necessaris per fer el repartiment per partides (que es detalla a l'apartat 7.4.2) i l'aplicació d'aquesta metodologia ha quedat en mans del departament d'Econòmic Financer.

Al llarg del desenvolupament de l'eina del Model de quantificació de la contribució al desenvolupament sostenible de cada partida i subpartida del Pla d'Inversions es va concloure que cada càlcul de cada indicador del repartiment a nivell de partides requeria un full de càlcul o un KNIME propi. El resultat d'aquests arxius de càlcul serveix per carregar un Excel d'execució del Model de repartiment per partides que, per funcionar correctament, també necessita les matrius de contribució complimentades pels experts en cada àmbit d'inversió d'Aigües de Barcelona.

S'ha realitzat una **anàlisi de sensibilitat (Capítol 8)** a fi d'estudiar els resultats que s'obtenen amb el Model de Priorització d'Inversions per Partides, les conclusions del qual es presenten a continuació. En primer lloc es presenten les conclusions a *nivell de partides*

d'inversió, seguidament a nivell de subpartides, finalment segons l'agrupador tipologia d'inversió i segons la finalitat de la inversió.

Conclusions de l'anàlisi de sensibilitat a **nivell de partides** d'inversió (apartat 8.5):

- Comparant l'escenari 1 amb el PI Històric, s'observa que l'empresa històricament de manera implícita seguia criteris no només econòmics sinó també criteris socials i ambientals. Aquest repartiment històric però mancava de traçabilitat i per tant, de transparència de cara als grups de relació, ja que es realitzava amb criteris més introspectius.
- La metodologia a priori sembla prou robusta a nivell de partides d'inversió, ja que no s'observen grans salts en les diverses propostes i quan aquests salts apareixen són fàcilment justificables per manca històrica concreta d'inversió o per estar al límit màxim de capacitat tecnològica.
- El model sembla apuntar a un dèficit d'inversió "històric" a les infraestructures de Transport.

Conclusions de l'anàlisi de sensibilitat a **nivell de subpartides** (apartat 8.6):

- Les subpartides més importants en volum d'inversió històric no pateixen variacions significatives respecte a l'històric planificat, constatant que impliquen els actius més importants per l'abastament.
- S'observa una disminució d'aquelles subpartides que semblen haver arribat al límit de la seva capacitat tecnològica, demostrant la saturació del sistema i la dificultat d'obtenir una bona resposta amb les inversions.

Conclusions **segons tipologia d'infraestructura** (apartat 8.7.1):

- Els actius més importants en cadascuna de les partides aglutinen els volums d'inversió més alts.
- Pel que fa als percentatges d'inversió segons la tipologia d'infraestructura aquests són similars als històrics (PI).

Conclusions **segons finalitat de la inversió** (apartat 8.7.2):

- Les inversions destinades a la reducció del risc (adequació i renovació) són majors que les d'oportunitat (ampliació). Gairebé en tots els escenaris 2/3 de la inversió es destinen a la reducció del risc i la resta a oportunitats.

Per últim, la metodologia desenvolupada per al repartiment de la inversió (**Capítols 6**) permet la millora continuada de la qualitat de les inversions en curs i futures, ja que fer intervenir els tècnics experts en cada àmbit, sovint explotadors dels actius planificats, tanca el cicle de vida de les inversions presentat a la Figura 6.1. Aquesta possibilita comprovar si els resultats dels indicadors milloren i per tant s'està invertint en aquelles actuacions que

maximitzen la contribució al desenvolupament sostenible en el sentit que han expressat els grups de relació d'Aigües de Barcelona.

9.4. FUTURES LÍNIES D'INVESTIGACIÓ

El resultat dels models realitzats en aquesta Tesi Doctoral representen un important avenç en el repartiment i la prioritització de les inversions amb criteris de desenvolupament sostenible utilitzant la metodologia objectiva i traçable que permet incorporar la participació dels grups de relació. A continuació es presenten les possibles línies d'investigació que es deriven de l'estudi realitzat.

En quant al desenvolupament de *models d'ordenació* que prioritzen cadascun dels agrupadors d'actius de l'abastament:

- En la mateixa línia que el Model de Renovació de la Xarxa de Distribució, seguir desenvolupant models de renovació per a la resta d'agrupadors d'actius que permetin realitzar una selecció de les actuacions que compondran les subpartides.
- Desenvolupar un model de predicció de probabilitat d'avaría de les canonades de la xarxa per substituir l'aproximació utilitzada als indicadors d'aquest document a partir de la freqüència d'avaría. (El darrer any, 2019, l'empresa ja ha disposat d'una probabilitat utilitzant una probabilitat d'avaría obtinguda a partir d'una anàlisi Machine Learning).
- Estudiar si la renovació és sostenible mitjançant l'aplicació de la teoria de jocs de Nash (equilibri de Nash).
- Disseny d'una metodologia de càlcul de la reducció del risc i la idoneïtat de les inversions.
- Incorporar la part de la freqüència de la fórmula del risc utilitzada als indicadors del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució.

Pel que fa al *model de repartiment* del volum total d'inversió:

- Determinar el volum òptim d'inversió que garanteix un nivell d'obsolescència dels actius raonable. El model presentat al BLOC III, concretament introduït al **Capítol 6**, parteix d'un volum d'inversió que ve fixat per l'acord marc que té l'empresa amb els seus reguladors, actualment l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) i l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA).
- Aprofundir en el desenvolupament de l'indicador d'oportunitat que parteix de la funció d'oportunitat presentada a la Figura 6.6.

Definir una metodologia de prioritització d'inversions de millora. El models d'ordenació parteixen d'un inventari d'actius existents que cal renovar, en aquest cas el que es proposa desenvolupar una metodologia que prioritzi actuacions de millora que prèviament el model ha de ser capaç d'identificar.

BIBLIOGRAFIA

(2000/60/CE) Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas DO L 327 22/12/2000.

(Directiva 2004/18/CE). Directiva 2004/18/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 31 de marzo de 2004, sobre coordinación de los procedimientos de adjudicación de los contratos públicos de obras, de suministro y de Servicios. «D.O.U.E.L.» núm. 134.

(Llei 31/1995) Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. «BOE» núm. 269, de 10/11/1995.

(RD 140/2003) Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. «BOE» núm. 45, de 21/02/2003.

(RD 1514/2007) Real Decreto 1514/2007, de 16 de noviembre, por el que se aprueba el Plan General de Contabilidad. «BOE» núm. 278, de 20 de noviembre de 2007, páginas 47402 a 47407 (6 págs.)

(RD 39/1997) Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. «BOE» núm. 27, de 31/01/1997.

“Casses” software User Manual: Casses Manual 2.0.0 (2010)
<https://casses.inrae.fr/en/documentation/>

AENOR (2003). *UNE-EN 1990. Eurocódigos. Bases de calculo de estructuras*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR (2011). *UNE-EN 31010. Gestión del riesgo. Técnicas de apreciación del riesgo*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación.

Aguado A., del Caño A., de la Cruz P., Gómez P.J., Josa A. (2012) Sustainability assessment of concrete structures within the Spanish structural concrete code. *J ConstrEng M ASCE* 2012; 138(2):268–76.

Aguado, A., Cavalaro, S., i Pujadas, P. (2017). *Definició de la vida útil de les canonades de la xarxa de distribució d'Aigües de Barcelona. Projecte VU2017_Aigües de Barcelona*. Barcelona: Smart Engineering.

AICCP-IC (2019). *Las Obras y Servicios Públicos a Examen*. España, Informe 2019

Aigües de Barcelona (2018). *Resum executiu. Memòria de sostenibilitat 2017*. Aigües de Barcelona.

Aigües de Barcelona (2018). *Informe Empremta carboni 2017. DR-248. Rev. N°7*. Barcelona: Aigües de Barcelona.

Alarcón, B., Aguado, A., Manga, R. and Josa, A. (2011) A Value Function for Assessing Sustainability: Application to Industrial Buildings. *Sustainability*, 3(1), 35-50; Doi:10.3390/su3010035

Alegre, H. (2009) Drivers, challenges and trends in infrastructure asset management. *Keynote paper*, Japan 2009.

Alegre, H.; Hirner, W.; Baptista, J.M. i Parena. (2000) Performance indicators for water supply services - Manual of Best Practice Series, *IWA Publishing*, London, ISBN 1 900222 27 2, 160 pp., 2000.

AMB i AB (2014). *Acord Marc 2014/2018*. Barcelona: Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) i Aigües de Barcelona (AB).

Ana, E. i Bauwens, W. (2007) Sewer Network Asset Management Decision-Support Tools: A Review. *International Symposium on New Directions in Urban Water Management*. 2-14 September 2017, UNESCO Paris

Andreou, S. (1986) *Predictive models for pipe break failures and their implications on maintenance planning strategies for water distribution systems*. PhD thesis, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1985.

Ariaratnam, S.T. i MacLeod C.W. (2002) Financial Outlay modeling for Local Rehabilitation Strategy. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(6): 486-496.

AWARE-P. (2012) El proyecto AWARE-P: gestión de activos de infraestructura de servicios urbanos de agua

Baik, H.S., Jeong, H.S. i Abraham, D.M. (2006) Estimating Transition Probabilities in Markov Chain-Based Deterioration Models for Management of Wastewater Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(1): 15-24.

Baur, R. i Herz, R. (2001) Selective inspection planning with aging forecast for sewer types. *Proceedings IWA 2nd World Water Congress: Efficient Water Management – Making it Happen*, Berlin, Germany, 15-19 Oct 2001. 8pp.

Bengassem, J. i Bennis, S. (2000) Fuzzy Expert System for Sewer Networks Diagnosis. *Proceedings International Conference on Decision Making in Urban and Civil Engineering*. Lyon, France. 18pp.

Burn, L.S., Tucker, S.N., Rahilly, M., Davis, P., Jarrett, R. i Po, M. (2003) Asset planning for water reticulation Systems - the PARMS model. *Water Science & Technology: Water Supply*, Vol. 3. pp 55-62.

Casanovas-Rubio, M. M. i Armengou, J. (2018) Decision-making tool for the optimal selection of a domestic water-heating system considering economic, environmental and social criteria: Application to Barcelona (Spain), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 91(C), pages 741-753.

Casanovas-Rubio, M. M., Pujadas, P., Pardo-Bosch, F., Blanco, A. i Aguado, A. (2019) Sustainability assessment of trenches including the new eco-trench: A multi-criteria decision-making tool. *Journal of Cleaner Production*. 238. 117957. 10.1016/j.jclepro.2019.117957.

Cemagref (2008), « Casses » User Manual. <https://casses.cemagref.fr/>

Davis, P., Dhammika, S., Marlow, D., Mogolia, M., Gould, S., i Burn, S. (2008) Failure Prediction and Optimal Scheduling of Replacements in Asbestos Cement Water Pipes. *Australia: IWA Publishing*. 15 pp.

Dawood, T., Elwakil, E., Novoa, H. i Delgado, J. (2019) Water Pipe Failure Prediction and Risk Models: State-of-the-Art Review. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 10.1139/cjce-2019-0481.

de la Fuente, A., Armengou, J., Pons, O. i Aguado, A. (2016). Multi-criteria decision-making model for assessing the sustainability index of wind-turbine support systems: application to a new precast concrete alternative. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(2), 194-203.

de la Fuente, A., Blanco, A., Armengou, J. and Aguado, A. (2017) Sustainability based-approach to determine the concrete type and reinforcement configuration of TBM tunnels linings. Case study: Extension line to Barcelona Airport T1. *Tunnelling & Underground Space Technology* Vol 61, January 2017. 179-188. doi. 10.1016/j.tust.2016.10.008

De la Fuente, A., Casanovas-Rubio, M. M., Pons, O. i Armengou, J. (2019). Sustainability of Column-Supported RC Slabs: Fiber Reinforcement as an Alternative. *Journal of Construction Engineering and Management*. 145. 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001667.

DECRET 152/2007, de 10 de juliol, d'aprovació del Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire als municipis declarats zones de protecció especial de l'ambient atmosfèric mitjançant el Decret 226/2006, de 23 de maig.

Decret 344/2006, de 19 de setembre, de regulació dels estudis d'avaluació de la mobilitat generada. «D.O.G.C.» núm. 4723

Dunning, D.J., Ross, Q.E. i Merkhofer, M.W. (2000) Multiattribute utility analysis; best technology available; adverse environmental impact; *Clean Water Act*; Section 316 (b). *Environmental Science and Policy*, 3(1), 7 – 14.

Eisenbeis, P. (1994) Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d'eau potable. *Université Louis Pasteur Strasbourg*, 190.

Encinas Malagón, M.D., Gómez de Baluguera López de Alda, Z. (2011). *Evaluación de impacto ambiental. Aspectos teóricos*. Vitoria-Gasteiz: Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz. Ingeniería Química y del Medio Ambiente.

Environmental Protection Agency, US-EPA. (2003) Asset Management: A Handbook for Small Water Systems One of the Simple Tools for Effective Performance (STEP) *Guide Series*. EPA /816/R-03/016

EurEau (2017). *Europe's water in figures. An overview of the European drinking water and waste water sectors*. Edition 2017

Fine, W.T. (1971). Mathematical evaluation for controlling hazards. *Journal of Safety Research*, 3(4), 157-166.

- Folke, C.** (2006) Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16 (3), 253–267
- Freeman, R. i Reed, D.I.** (1983) Stockholders and Stakeholders: A New Perspective on Corporate Governance. *California Management Review*. 25. 10.2307/41165018.
- GEHO** (1993). *Recomendaciones y manuales técnicos. Estructuras y Edificación (E - 2). Durabilidad de estructuras de hormigón. Guía de diseño CEB.* Grupo Español del Hormigón.
- Gómez, D.** (1999). *Evaluación del Impacto Ambiental: un instrumento preventivo para la gestión ambiental.* Madrid: Ediciones Mundi-Prensa y Editorial Agrícola Española.
- Gonzalez Herrero, E.** (2015) El agua en la industria: crece la demanda frente a un recurso más escaso. *iAgua Magazine* 7. Agua e Industria: una alianza necesaria (<https://www.iagua.es/noticias/eva-gonzalez-herrero/15/07/27/agua-industria-crece-demanda-frente-recurso-mas-escaso>)
- Goulter, A. C., i A. V. Coals.** (1986) Quantitative approaches to reliability assessment in pipe networks, *J. Transp. Eng.*, 112(3), 287–301.
- Greyvenstein, B i Van Zyl, J.** An experimental investigation into the pressure - Leakage relationship of some failed water pipes. *Journal of Water Supply Research and Technology-aqua*. 56. (2007) doi:10.2166/aqua.2007.065.
- Hadzilacos, T., Kalles, D., Preston, N., Melbourne, P., Camarinopoulos, L.,**
- Eimermacher, M. i Daegrov, S.** (2000) “Utilets: a water mains rehabilitation decision-support system”. *Computers, environment and urban systems*, No 24, 215-232.
- Hasegawa, K., Wada, Y. i Miura, H.** (1999) New Assessment System for Premeditated Management and Maintenance of Sewer Pipe Network. *Proceedings 8th International Conference on Urban Storm Drainage*, 30 Aug – 3 Sep 1999, Sydney, Australia: 586-593.
- Herz, R.** (1996) Ageing processes and rehabilitation needs of drinking water distribution works Exploring rehabilitation needs and strategies for water distribution networks. *Journal of Water SRT - Aqua*, Vol. 47, pp 275-283.
- Herz, R.** (2002) Developing rehab strategies for drinking water networks. *Proc., 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components DBMC*, Dresden, Germany. 11
- Hoskins, R.P. Brint, A.T. i Strbac, G.** (1998). A structured approach to asset management within the electricity industry, *Utilities Policy*, n° 7. pp 221-232.

Hosseini, S.M.A., de la Fuente, A. i Pons, O. (2016). Multicriteria decision-making method for sustainable site location of post-disaster temporary housing in urban areas. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(9), 04016036-1 – 04016036-13. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/02/07/140/con>

IPWEA (2015). *International Infrastructure Management Manual*.

ISO (2006). ISO 15686-7. *Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice*. Geneva, Switzerland: International Standard Organisation.

ISO (2008). ISO 15686-8. *Buildings and constructed assets – Service-life planning – Part 8: Reference service life and service-life estimation*. Geneva, Switzerland: International Standard Organisation.

ISO (2011). ISO 15686-1. *Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework*. Geneva, Switzerland: International Standard Organisation.

ISO (2012). ISO 15686-2. *Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 2: Service life prediction procedures*. Geneva, Switzerland: International Standard Organisation.

ISO (2015). ISO 9001:2015. *Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos*.

ISO (2018). ISO 50001:2018. *Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso*.

Jordan, L. (2006) Model per a la renovació òptima de canonades de distribució d'aigua potable. Trabajo final de carrera, ETSEIB. <http://hdl.handle.net/2099.1/3640>

Kabir, G., Sadiq, R. i Tesfamariam, S. (2014) A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering* 10(9), 1176–1210.

Kabir, G., Sadiq, R., i Tesfamariam, S. (2014) A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10 (9), 1176-1210. doi:10.1080/15732479.2013.795978

Kearney, A.T. (2015) Áreas prioritarias para una inversión sostenida en infraestructuras en España, A.T. Kearney, Madrid.

Lambert, A. i Hirner, W. (2000) Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. *IWA Blue Pages*.

Large, A., Le Gat, Y., Elachachi, M., Renaud, E., Breysse, D. and Tomasian, M. (2015) Decision support tools: Review of risk models in drinking water network asset management. *Water Utility Journal*; 10: 45-53.

Le Gat, Y. (2002) Evaluation de la performance d'un modèle de prévision de casses en réseau d'adduction d'eau potable (Performance evaluation of a break prediction model for drinking water networks) *Mémoire de DEA*, Université de Bordeaux 2.

Le Gat, Y.(2009) Une extension du processus de Yule pour la modélisation stochastique des évènements récurrents. Application aux défaillances de canalisations d'eau sous pression. *Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech)*, 121.

LLEI 9/2003, de 13 de juny, de la mobilitat. «D.O.G.C.» núm. 3913

Malandain, J. (1999) Modélisation de l'état de sante des réseaux de distribution d'eau pour l'organisation de la maintenance : étude du patrimoine de l'agglomération de Lyon. *Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon*, 206.

Malandain, J., Le Gauffre, P. i Miramond, M. (1999). Organizing a decision support system for infrastructure maintenance: Application to water supply systems. *Journal of Decision*, Vol 8, n° 2, 203-222.

Mcneill, L., i Edwards, M. (2001) Iron Pipe Corrosion In Distribution Systems. *Journal (American Water Works Association)*, 93(7), 88-100. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/41297605>

Mogolia, M. Burn, S. i Meddings, S. (2006) Decision support system for water pipeline renewal Prioritisation. *CSIRO BCE*, Melbourne, Australia. ITcon Vol. 11, pp 237-256.

Molina Arce, S i Aguilar, A. (2020). Metodología Para Reducción De Pérdidas Técnicas En El Sistema De Distribución De Aa.Pp. Del Suburbio Oeste De La Ciudad De Guayaquil.

Naciones Unidas (1998). «Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático»

Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2019). Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.

Osgood, C.E., Suci, G.J i Tannenbaum, P.H. (1957) *The Measurement of Meaning*. Urbana: University of Illinois Press.

Pardo-Bosch, F. i Aguado, A. (2015). Investment priorities for the management of hydraulic structures. *Structure and Infrastructure Engineering*, 11(10), 1338-1351. DOI: 10.1080/15732479.2014.964267

Parrot, J. (2008). Estudio de sostenibilidad en tuberías de saneamiento. URI: <http://hdl.handle.net/2099.1/5657>

Penadés-Plà, V., García-Segura, T., Martí, J.V. i Yepes, V. (2016) A review of multi-criteria decision making methods applied to the sustainable bridge design. *Sustainability*, 8(12):1295.

Pons O., i Aguado A. (2012) Integrated value model for sustainable assessment applied to technologies used to build schools in Catalonia, Spain. *Build Environ* 2012;53:49–58.

Pujadas, P., Pardo-Bosch, F., Aguado-Renter, A. i Aguado, A. (2017). MIVES multi-criteria approach for the evaluation, prioritization, and selection of public investment projects. A case study in the city of Barcelona. *Land Use Policy*, 64, 29-37.

Pujadas, P., Pardo-Bosch, F., Aguado-Renter, A., i Aguado, A. (2017) MIVES multi-criteria approach for the evaluation, prioritization, and selection of public investment projects. A case study in the city of Barcelona. *Land Use Policy*, 64, 29-37.

Pérez-García, R. García Maset, E. González Parra, C. Solozábal Campos, R. Ramírez Chamon, P. Martín-Rabadán, et al. (2016) Guía de gestión de calidad del líquido de diálisis (LD) (segunda edición, 2015). *Nefrología*. Dic 2017, vol.37, no.6, p.630-637. ISSN 0211-6995 Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE núm. 45, de 21/02/2003. (Reglament General del Servei Metropolità d'Abastament Domiciliari d'aigua en l'Àmbit Metropolità (2010). Article 16.

Renaud, E., Demassiac, J. C., Bremond, B. i Laplaud, C. (2007) SIROCO, a decision support system for rehabilitation adapted for small and medium size water distribution companies. *IWA Conf. on Leading-Edge Asset Management*, IWA, London, 15.

Renaud, E., Le Gat, Y. i Poulton, M. (2012) Using a break prediction model for drinking water networks asset management: From research to practice. *Water Science & Technology: Water Supply*. 12. 674. 10.2166/ws.2012.040.

Rommel, Y., Bouyssou, D. i MacGilchrist, R. (1989) Planning Rehabilitation Works on a Sewer Network. *Computing in Civil Engineering: Computers in Engineering*: 108-115.

Rostum, J. (2000) Statistical Modelling of Pipe Failures in Water Networks Norwegian University of Science and Technology, *Department of Hydraulic and Environmental Engineering*, Trondheim, Norway, 132.

Rostum, J. i Schilling, W. (1999) Predictive service-life models used for water network management. *14th EJSW*. Dresden, 8-12 September 1999.

Ruwanpura, J., Ariaratnam, S.T. i El-Assaly, A. (2004) Prediction Models for Sewer Infrastructure Utilizing Rule-Based Simulation. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 21(3): 169-185.

- Saaty, T.** (1980) *The Analytical Hierarchy Process*, John Wiley, New York.
- Saegrov, S.** (ed.). (2006) *CARE-S: Computer Aided Rehabilitation of Sewer and Storm Water Networks*. IWA Publishing, London, UK. 140pp.
- San-José J. T. i Cuadrado J.** (2010) Industrial building design stage based on a system approach to their environmental sustainability. *Constr Build Mater* 2010;24(4):438–47
- Sattar, A.M.A., Ertuğrul, Ö., Gharabaghi, B. et al.** (2019) Extreme learning machine model for water network management. *Neural Comput & Applic* 31, 157–169 doi:10.1007/s00521-017-2987-7
- Shamir, U. i Howard, C. D. D.** (1979) An analytic approach to scheduling pipe replacement. *J. AWWA*. 117 (5), 248–258.
- Singh, A. i Adachi, S.** (2013) Bathtub curves and pipe prioritization based on failure rate. *Built Environment Project and Asset Management*, 3(1), 105-122.
- Skipworth, P. J., Engelhardt, M. O., Cashman, A., Savic, D. A., Saul, A. J., i Walters, G. A.** (2002) Whole life costing for water distribution network management, *Thomas Telford*, London.
- STIGA** (2017a). Estudio de satisfacción de los clientes de Aigües de Barcelona con el Centro de Atención Telefónico. Contacto recinto. Informe de resultados 2º semestre de 2017. Barcelona: STIGA.
- STIGA** (2017b). Estudi de satisfacció d'usuaris domèstics d'Aigües de Barcelona. Informe de resultats 2017. Barcelona: STIGA.
- Stone, S., Dzuray, E.J., Meisegeir, D., Dahlborg, A.S. i Erickson, M.** (2002) Decision-Support Tools for Predicting the Performance of Water Distribution and Wastewater Collection Systems. *US EPA*. 97pp
- Su Y. C., Mays L. W., Duan N., E. Lansay K.** (1987) Reliability-Based Optimization Model For Water Distribution Systems. *Journal of Hydraulic Engineering*, 113(12), 1539-1556.
- Tardelli, F.J.** (2006). Control of e Redução Perdas. In *Abastecimento de Água*, 3rd ed. São Paulo: Departamento de Engenharia e Hidráulica Sanitária, Polytechnic School of the University of São Paulo.
- Torterotot, J.P., Werey, C., Rebelo, M. i Craveiro, J.** (2005). Rehabilitation of water networks : Decision making processes of the Care-W Project. 56-64.

Tscheikner-Gratl, F., Egger, P., Rauch, W. i Kleidorfer, M. (2017) Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods for Integrated Rehabilitation Prioritization. *Water*. 9. 68. 10.3390/w9020068.

Van Herzeele, F., Boonen, I., Van Assel, J., De Gueldre, G., Thoeye, C. i Vojinovic, Z. (2006) Hydroplan-EU Knowledge Management Framework for Urban Water Asset Management. *Proceedings 7th International Conference on Hydroinformatics, HIC 2006, Nice, France*.

Van Zyl, J.E. i Clayton, C.R.I. (2005). The effect of pressure on leakage in water distribution systems. In: *Proceedings of CCWI2005 Water Management for the 21st Century*, University of Exeter, UK

Voogd, Henk (1983) Multicriteria evaluation for urban and regional planning. London: Pion Limited.

Werey, C. (2000) *Politiques de renouvellement des réseaux d'eau potable*. Ph.D. thesis. Université Louis-Pasteur, Strasbourg, France.

Winkler, D., Haltmeier, M., Kleidorfer, M., Rauch, W. i Tscheikner-Gratl, F. (2018) Pipe failure modelling for water distribution networks using boosted decision trees. *Structure and Infrastructure Engineering*, 1-10. DOI: 10.1080 / 15732479.2018. 1443145

World resources institute. <https://wri.org/applications/aqueduct/country-rankings/> (Consultat: 29 d'agost del 2019)

Zavadskas, E. K., Turskis, Z. i Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20, 165–179

ANNEX A

Implementació del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució amb el Software KNIME

A.1. INTRODUCCIÓ

La implementació del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució s'ha fet utilitzant el software KNIME (*Konstanz Information Miner*), una eina de mineria de dades que permet el desenvolupament de models en un entorn visual, construïda sota la plataforma *Eclipse*.

L'objectiu d'aquest annex es recollir les principals passes necessàries per a l'obtenció dels resultats del model, presentades a la Figura A.1, així com mostrar tal com s'ha implementat el model a l'eina KNIME.

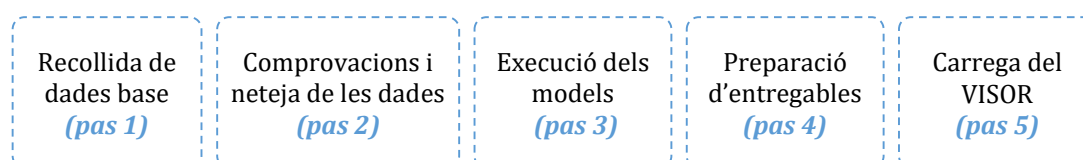


Figura A.1. Diagrama de passes per a l'execució del Model de Renovació de la Xarxa de Distribució

A.2. RECOLLIDA DE DADES BASE

Tal com s'ha detallat al Capítol 7, les dades base necessàries pel model poden ser d'origen intern (pròpies de l'empresa) o d'origen extern (proporcionades per tercers). Cal descarregar aquestes dades dels sistemes d'informació corresponents cada any per obtenir les dades base.

Taula A.1. Sistemes d'informació d'on provenen les dades base i format

Origen intern	Origen extern
FME (dades vectorials .shp)	Dades base de mobilitat:
Business objects	- En format vectorial
SAP (.xlsx; .txt)	- En format paper
LIMS (.xlsx)	
SIEBEL	
SIMULACIÓ TANCAMENTS (procés massiu)	
BBDD avaries (.accdb)	
Sinistres (.xlsx)	
GeoSpatial (.shp)	
OPTINET (.xlsx)	
Software R	
Dades mobilitat resultat de processar dades proporcionades per tercers	

A.3. COMPROVACIÓ I NETEJA DE DADES

Es desenvolupa un Workflow (flux de treball), presentat a la Figura A.2, amb l'objectiu d'adaptar els diferents formats de dades base. En aquest pas, es llegeixen els fitxers, es selecciona la última versió d'aquests i es neteja el fitxer per finalment escriure un arxiu CSV (*comma-separated value*).

La neteja dels fitxers consisteix en llegir les diferents tipologies de fitxers (.txt, .xlsx, .csv, .dbf, ...) i extreure tots aquells elements innecessaris que generen els diferents sistemes d'informació (com per exemple: les capçaleres que extreu el SAP per cadascuna de les pàgines de dades) i preparar les dades per ser escrites en un fitxer CSV que s'utilitza com entrada del model.

Adicionalment, es realitzen aquells càlculs previs que són necessaris per deixar les dades el màxim preparades per a la posterior execució del model. Es calculen els codis de l'entitat fictícia tancament, la freqüència d'avaries o el filtratge d'aquells paràmetres que no són necessaris.

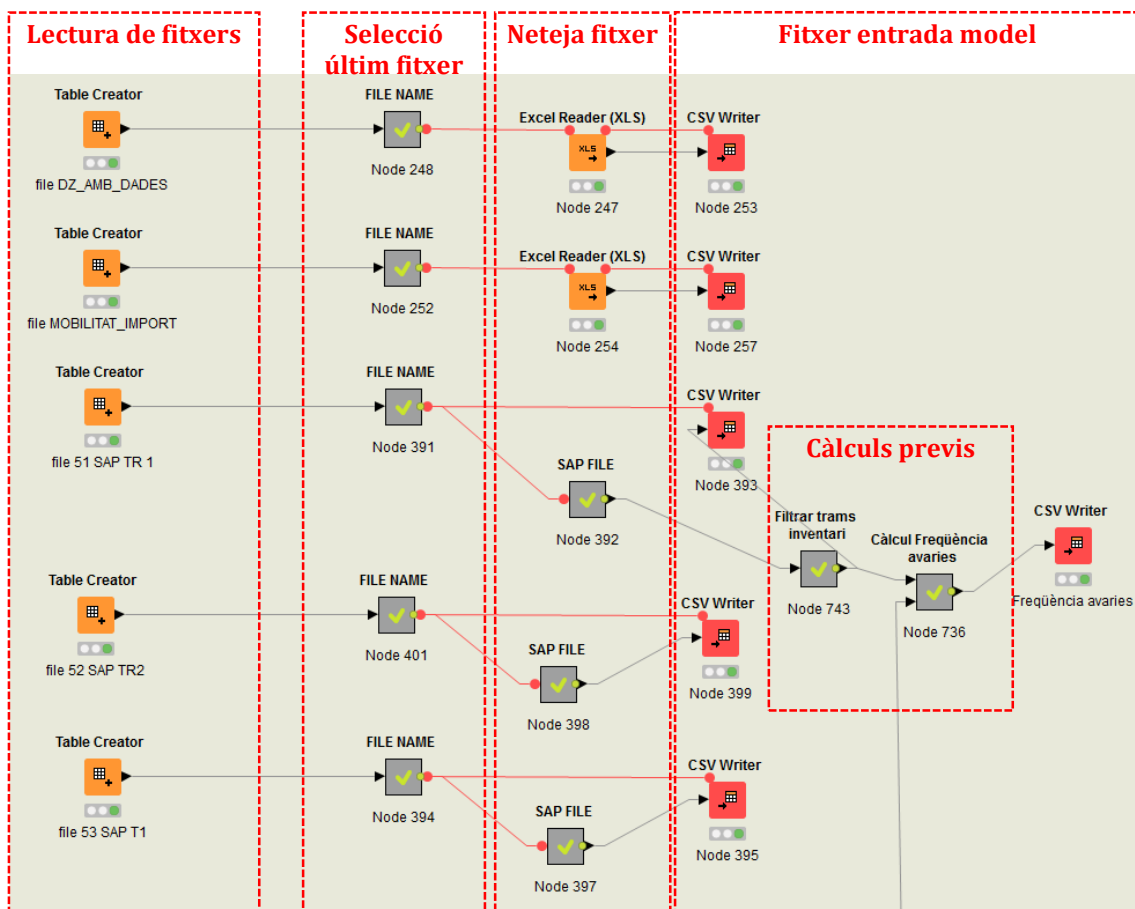


Figura A.2. Comprovació i neteja de dades

A.4. EXECUCIÓ DELS MODELS

Per aquest tercer pas, l'execució del model, s'ha dissenyat una sèrie de workflows amb l'eina KNIME a fi transformar les dades base per finalment obtenir el valor dels indicadors.

A la Figura A.3 es presenta la capa més superficial, on apareixen una sèrie de nodes (caixetes grises) i cadascun d'aquests nodes recull un workflow de nivell inferior. L'organització de la capa més superficial consta d'una zona on es calculen els **models tècnics** (l'*estat del tub* on s'estima la probabilitat, el model de pressions i les reclamacions que coincideixen en avaries). En aquesta primer zona també hi ha els **paràmetres** del model, en aquest cas el resultat de les importàncies relatives proporcionades pels grups de relació.

En un segon nivell apareix el **calcula dels indicadors, els criteris i els requeriments** (Figura A.3). El calcula de cadascun dels indicadors requereix tant de la lectura dels arxius procedents del pas comprovació i neteja de les dades com de l'entrada dels resultats d'altres

models, tal com es mostra a la Figura A.5. La Figura A.4 mostra el detall d'interacció dels diferents nodes que apareixen a les dues primeres parts de la Figura A.3.

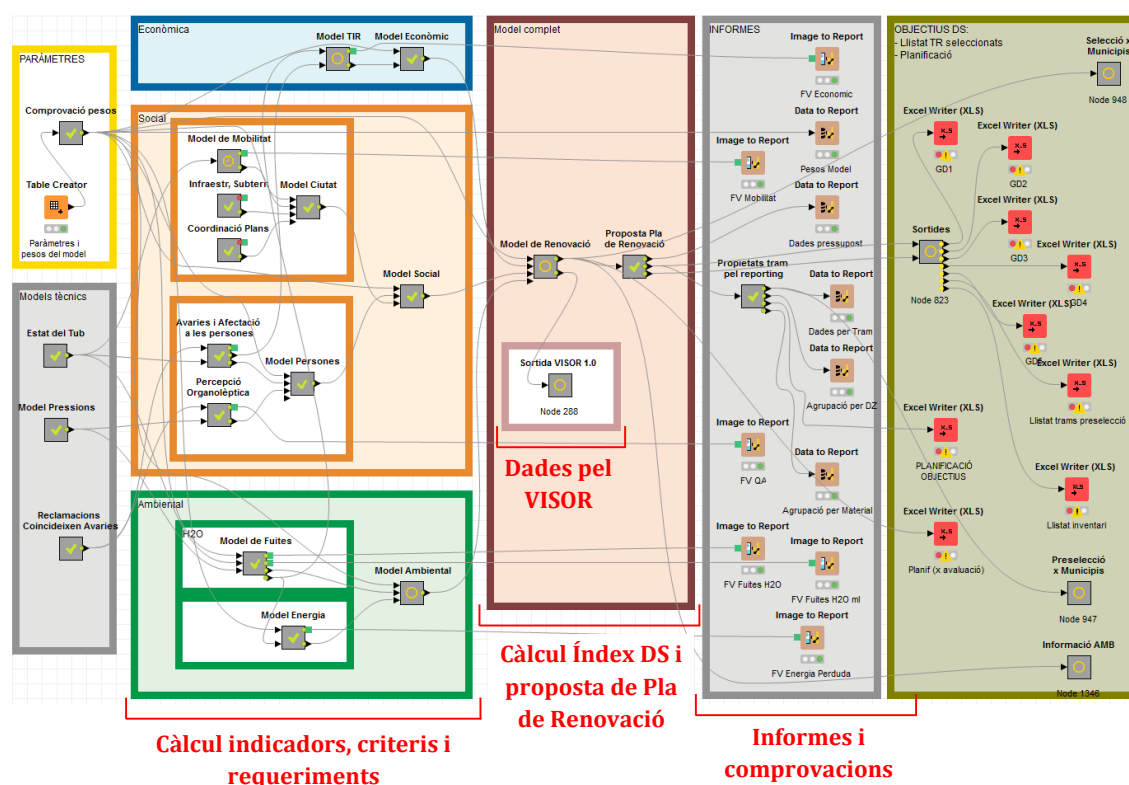


Figura A.3. Estructura Model de Renovació de la Xarxa de Distribució a l'eina KNIME

Aquestes dades són transformades a coneixement per finalment poder calcular el valor de l'indicador, aplicar la funció de valor, validar els resultats i proporcionar una sortida per seguir amb la resta de càlculs, tal com s'il·lustra a la Figura A.6.

Un cop s'han calculat els indicadors, els criteris i els requeriments, es calcula l'**Índex de contribució al DS** i es realitza la **proposta de Pla de Renovació**. L'índex de contribució és el resultat del producte del valor dels indicadors, criteris i requeriments pels pesos assignats. Seguidament amb el valor de referència del pressupost a utilitzar es realitza una proposta de repartiment, on s'obté per cada direcció de zona (GD1, GD2, GD3, GD4 i GD5) un llistat dels trams més prioritaris fins a esgotar el pressupost de referència.

En aquesta tercera part de la Figura A.3, apareix també un node amb les dades de sortida que seran utilitzades com a entrada del Visor geogràfic presentat al Capítol 3. Seguidament, a la part quarta de la Figura A.3 es mostra la part d'informes i comprovacions, on s'ha dissenyat el càlcul d'aquells paràmetres més importants per direccions de zona a fi de poder comprovar els beneficis de la renovació proposada.

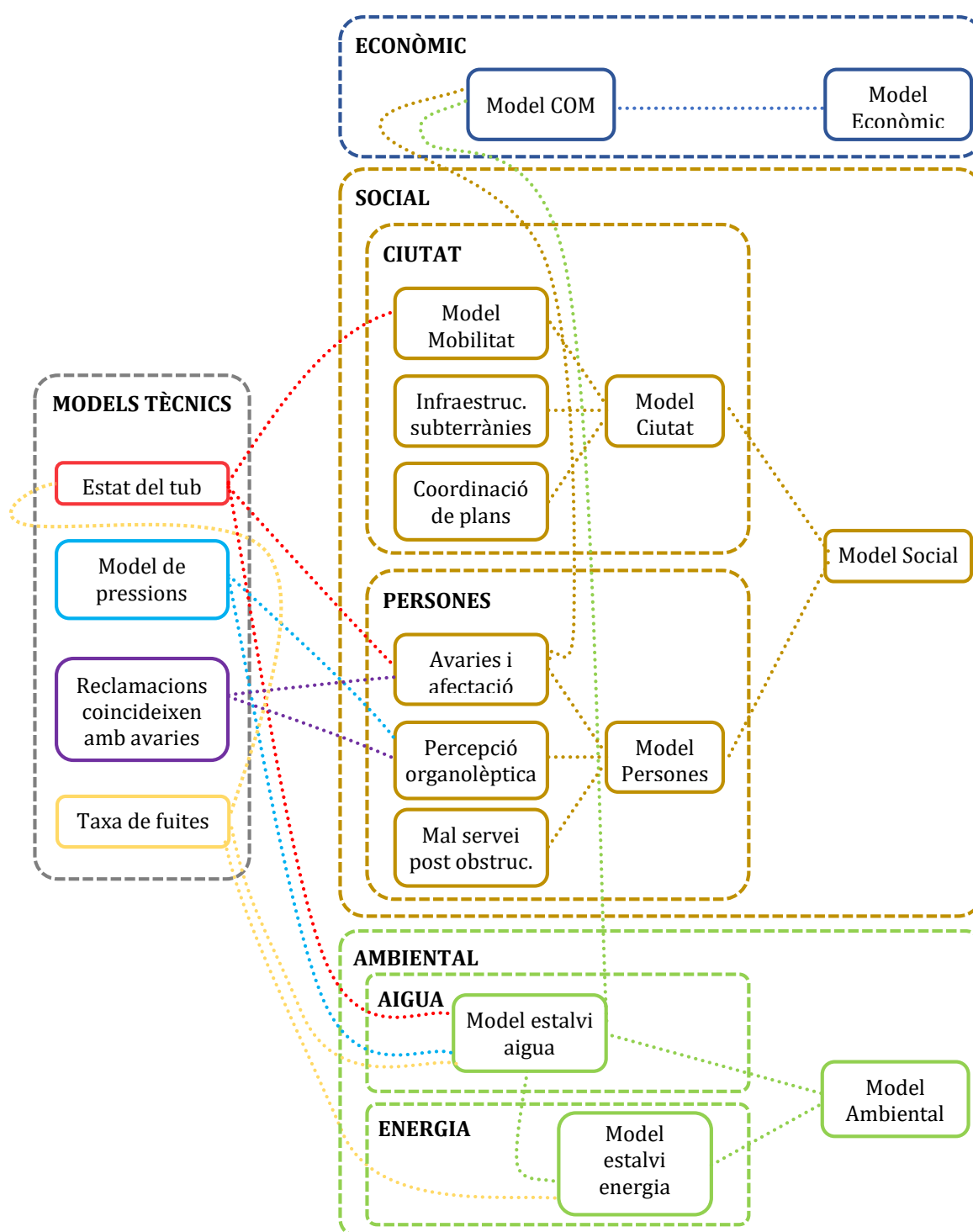


Figura A.4. Diagrama d'interacció dels diversos models

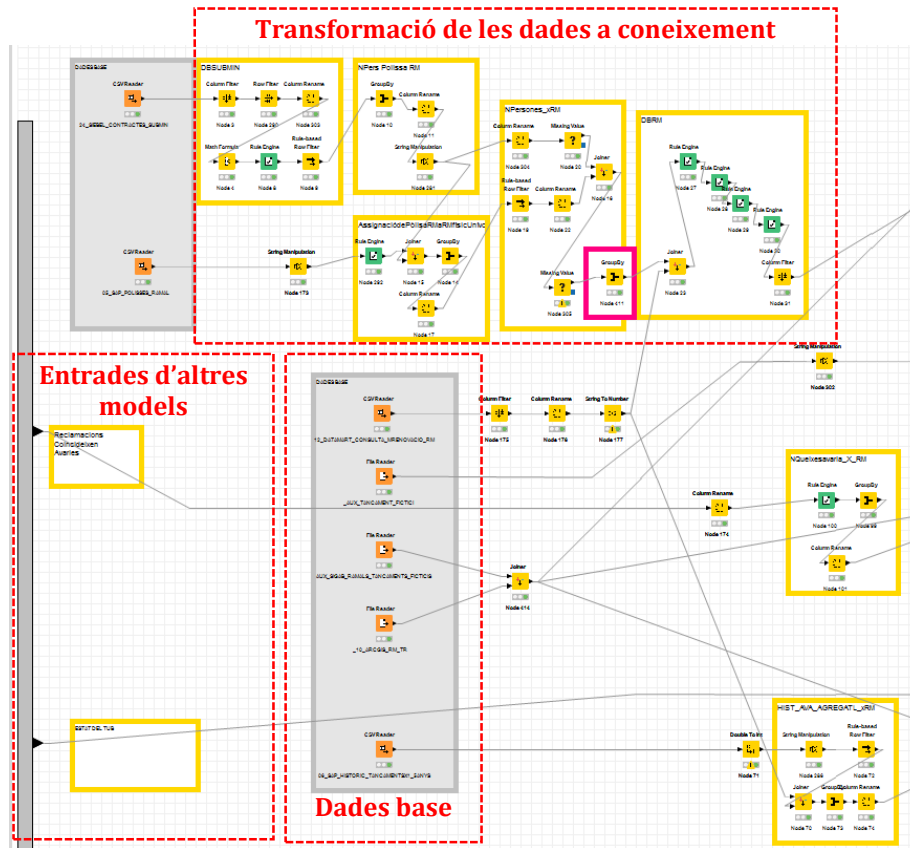


Figura A.5. Part inicial d'un model: entrada dades i transformació a coneixement

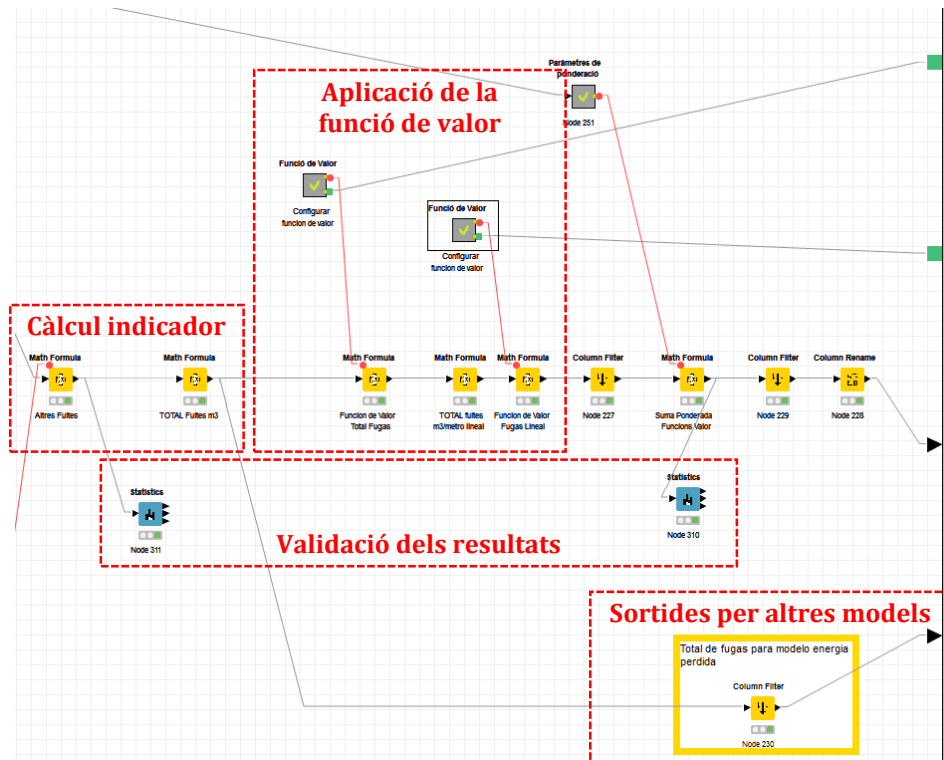


Figura A.6. Part final d'un model: càlcul dels indicadors, aplicació de les funcions de valor i validació dels resultats

A.5. PREPARACIÓ D'ENTREGABLES

Aquesta darrera part del la implementació en KNIME (Figura A.7) s'ha dissenyat amb l'objectiu d'obtenir uns fitxers per entregar els resultats del model a les direccions de zona (responsables de seleccionar aquells trams de l'inventari que formaran el pla d'inversions) com a l'AMB (reguladors del servei). Aquest disseny s'assegura que anualment aquestes dades siguin les mateixes.

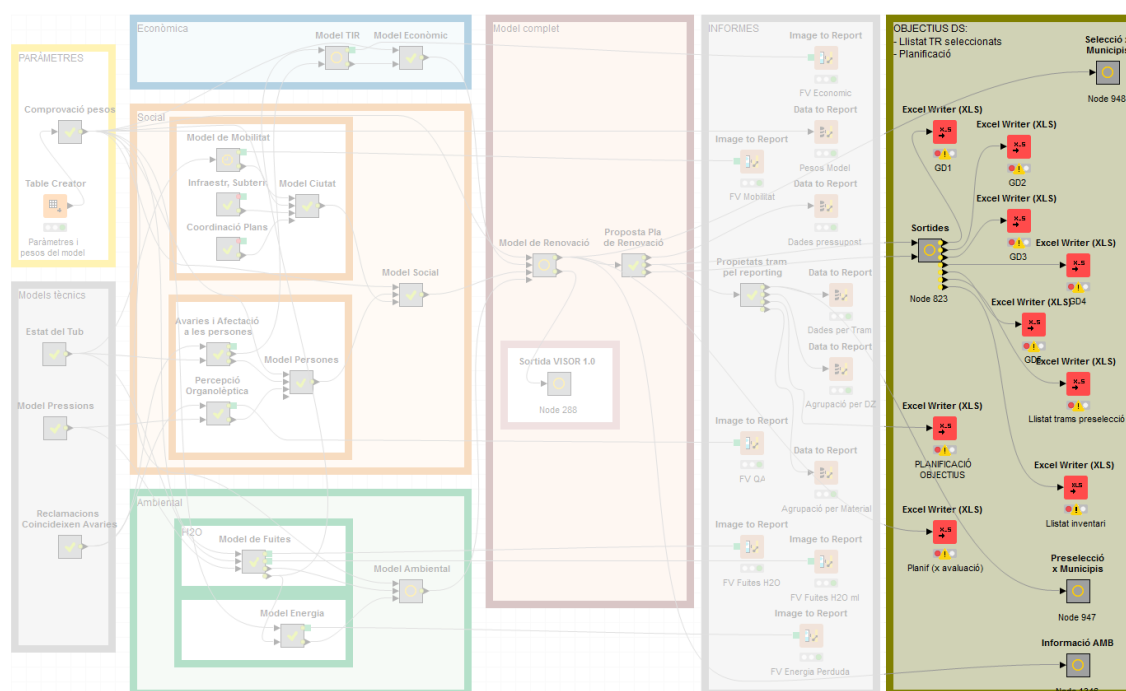


Figura A.7. Preparació d'entregables

A.6. CARREGA DEL VISOR

Amb la sortida de dades que s'obté del KNIME i la resta de dades base corresponents, els vectorials de tots les dades de la xarxa d'abastament i els vectorials de mobilitat es carrega el Visor geogràfic.

A.7. AVANTAGES DEL KNIME

Les principals avantatges de l'eina KNIME és la seva flexibilitat a l'hora de realitzar les millores identificades. De la resta d'avantatges que té, cal destacar la capacitat de lectura i transformació de fitxers que contenen un gran volum d'informació, com és el cas del fitxer de pòlisses de subministrament on hi ha 1.437.610 files i 13 columnes, tal com s'il·lustra a la Figura A.8.

File Table - 0:231:1 - CSV Reader (24_SIEBEL_CONTRACTES... - □ ×

File

Properties		Flow Variables			
Table "_24_SIEBEL_CONTRACTES_SUBMIN.txt.csv"		Rows: 1437610	Spec - Columns: 13		
Row ID	S POLISS...	S TIP_SU...	I SIT_SU...	S DATA_...	S DATA_.
Row0	000001BE	G	2	01/01/1993	01/01/1993 ^
Row1	000001CS	G	2	01/04/1987	01/04/1987
Row2	000001EV	G	2	22/04/1986	22/04/1986
Row3	000001HB	D	2	03/10/1983	03/10/1983
Row4	000001MC	G	2	01/04/1987	01/04/1987
Row5	000001MCB	G	2	04/01/2002	04/01/2002
Row6	000001SV	G	2	22/04/1986	22/04/1986
Row7	000001TV	G	2	22/04/1986	22/04/1986
Row8	000001VL	G	2	29/08/1966	17/04/1986

Figura A.8. Capacitat de lectura i transformació de gran volums d'informació

ANNEX B

Taules dades Capítol 5

B.1. INTRODUCCIÓ

El present annex recull les taules que contenen els valors utilitzats per representar les gràfiques del Capítol 5. L'annex segueix l'organització del capítol:

- En primer lloc, es presenten les taules de les característiques principals de la xarxa de distribució.
- Seguidament, es mostren les taules de l'anàlisi de sensibilitat de cada escenari. Els resultats dels impactes globals,

B.2. TAULES CARACTERÍSTIQUES PRINCIPALS DE LA XARXA DE DISTRIBUCIÓ

La Taula B.1 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.3.a i la Figura 5.3.b per cadascun de les direccions de zona (GD1, GD2, GD3, GD4 i GD5).

Per altra banda, la Taula B.2 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.4.a, la Figura 5.4.b i la Figura 5.4.c per cadascun de les direccions de zona (GD1, GD2, GD3, GD4 i GD5).

Taula B.1. Kilòmetres de xarxa de distribució per material instal·lada a cada Direcció de Zona

		GD1	GD2	GD3	GD4	GD5	AB
<i>Materials principals</i>	FD	353,52	386,37	305,03	334,75	376,12	1755,80
	FG	241,06	240,35	58,83	33,98	72,52	646,74
	PEA	134,39	102,14	135,39	275,96	153,25	801,12
	PEB	7,89	24,20	6,62	115,99	13,34	168,04
	FC	114,02	127,15	128,68	121,98	166,07	657,89
<i>Materials minoritaris</i>	A	0,59	0,29	0,15	1,73	0,47	3,23
	B	15,32	15,36	2,89	0,00	7,03	40,60
	BS	5,86	12,08	5,21	0,61	1,12	24,88
	GALV	0,00	0,00	0,00	1,70	0,00	1,70
	INOX	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
	PEM	5,77	1,02	1,02	9,55	5,09	22,45
	PRFV	0,00	0,00	0,00	1,26	0,00	1,26
	PVC	0,01	0,00	0,16	4,01	1,30	5,48
	PVCO	0,45	3,03	0,00	0,00	0,89	4,37
			878,42	908,97	644,02	901,52	796,32

Taula B.2. Nombre de clients sensibles (CS), grans consumidors (GC) i nombre de persones que hi ha a cada Direcció de Zona

Direcció de zona	Clients sensibles (CS)	Grans consumidors (GC)	Nº persones
GD1	25	13	868.486
GD2	36	44	859.342
GD3	10	4	463.288
GD4	8	37	289.403
GD5	9	3	448.354
AB	88	101	2.928.873

B.3. TAULES ANÀLISI DE SENSIBILITAT DE CADA ESCENARI

B.3.1 Resultat dels impactes globals

La Taula B.3 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.5 i la Figura 5.8 per cadascun dels escenaris analitzats.

Taula B.3. Nombre de trams, kilòmetres de xarxa i paràmetres de l'indicador econòmic de Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM)

Escenari		km de xarxa	Nº de trams	%COM	%COM _{bloc}
Bloc 1	1	141,99	2.833	10,06%	10,07%
	2	148,95	3.136	11,40%	
	3	137,16	2.476	8,75%	
Bloc 2	3	137,16	2.476	8,75%	8,98%
	4	136,98	2.386	8,38%	
	5	139,93	2.669	9,81%	
Bloc 3	6	176,18	4.246	12,41%	9,02%
	7	138,99	3.078	8,37%	
	8	121,97	1.181	6,28%	

La Taula B.4 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.6.a i la Figura 5.6.b per cadascun dels escenaris analitzats.

Taula B.4. Paràmetres dels indicadors socials

Escenari		CS	GC	Nº persones	km PO	km IMP alta	km IMD alta
Bloc 1	1	12	27	489.274	4,8	13,4	10,0
	2	8	32	464.749	5,5	13,5	10,7
	3	12	20	469.810	3,5	13,5	10,4
Bloc 2	3	12	20	469.810	3,5	13,5	10,4
	4	13	22	462.862	3,3	13,6	10,2
	5	12	25	469.882	4,7	13,3	10,3
Bloc 3	6	4	38	402.340	4,0	10,1	10,1
	7	20	22	552.212	9,7	12,3	10,3
	8	5	24	213.309	2,0	11,9	9,8

La Taula B.5 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.7.a i la Figura 5.7.b per cadascun dels escenaris analitzats.

Taula B.5. Paràmetres dels indicadors ambientals

Escenari		EPA' m³/any	EPA' m³/ml/any	EPE' kWh/any	EPE' kWh/ml/any
Bloc 1	1	1.803.005	36.440	1.249.640	24.536
	2	1.567.875	34.111	1.103.294	23.096
	3	1.888.710	35.314	1.320.208	24.078
Bloc 2	3	1.888.710	35.314	1.320.208	24.078
	4	1.893.067	34.493	1.325.211	23.586
	5	1.844.553	36.370	1.288.222	24.668
Bloc 3	6	842.631	23.352	622.515	16.043
	7	1.662.505	31.674	1.152.926	21.399
	8	2.005.857	22.694	1.405.653	16.001

B.3.2 Resultats agrupats per DZ

La Taula B.6 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.9.a i la Figura 5.9.b per cadascun dels escenaris analitzats i per les diferents direccions de zona que conformen l'àmbit d'estudi.

La Taula B.7 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.10.a, la Figura 5.10.b i Figura 5.10.c per cadascun dels escenaris analitzats i per les diferents direccions de zona que conformen l'àmbit d'estudi.

Taula B.6. Kilòmetres de xarxa i N^o de trams per Direcció de Zona i escenari

		1	2	3	4	5	6	7	8
km xarxa	GD1	25,39	24,04	25,18	25,03	24,40	25,90	27,25	21,80
	GD2	48,25	53,37	45,55	45,08	48,09	42,28	43,31	37,39
	GD3	18,52	16,94	19,40	20,03	18,35	16,49	21,11	17,28
	GD4	30,20	34,43	27,83	27,61	29,90	68,75	27,08	23,86
	GD5	19,63	20,16	19,20	19,22	19,19	22,76	20,24	21,64
	Total	141,99	148,95	137,16	136,98	139,93	176,18	138,99	121,97
N^o de trams	GD1	525	562	449	424	467	822	666	199
	GD2	936	1.053	794	759	882	984	873	349
	GD3	486	506	471	468	466	672	665	212
	GD4	423	526	368	356	407	1.160	430	220
	GD5	463	489	394	379	447	608	444	201
	Total	2.833	3.136	2.476	2.386	2.669	4.246	3.078	1.181

Taula B.7. Nombre de clients sensibles (CS), grans consumidors (GS) i nombre de persones blindades per Direcció de Zona i escenari

		1	2	3	4	5	6	7	8
Clients Sensibles (CS)	GD1	7	4	7	7	7	1	13	3
	GD2	3	3	3	4	3	3	5	1
	GD3	0	0	0	0	0	0	0	0
	GD4	1	1	1	1	1	0	1	1
	GD5	1	0	1	1	1	0	1	0
	Total	12	8	12	13	12	4	20	5
Grans Consumidors (GC)	GD1	8	9	6	6	7	10	8	3
	GD2	15	18	12	12	15	18	10	9
	GD3	0	0	0	1	0	3	1	6
	GD4	3	4	1	2	2	3	2	3
	GD5	1	1	1	1	1	4	1	3
	Total	27	32	20	22	25	38	22	24
N^o persones	GD1	107.670	98.426	106.575	102.434	101.175	103.228	145.626	48.069
	GD2	197.571	191.587	191.977	192.137	190.824	110.019	208.963	68.985
	GD3	91.335	88.087	88.641	89.180	87.856	92.778	109.010	39.591
	GD4	33.582	34.930	30.298	30.512	32.939	41.160	35.742	22.468
	GD5	59.116	51.719	52.319	48.599	57.088	55.155	52.871	34.196
	Total	489.274	464.749	469.810	462.862	469.882	402.340	552.212	213.309

La Taula B.8 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.11.a i la Figura 5.10.b per cadascun dels escenaris analitzats i per les diferents direccions de zona que conformen l'àmbit d'estudi.

La Taula B.9 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.12.a i la Figura 5.12.b per cadascun dels escenaris analitzats i per les diferents direccions de zona que conformen l'àmbit d'estudi.

Taula B.8. Kilòmetres de xarxa amb: afectació a la percepció organolèptica (PO), kilòmetres amb IMP alta i kilòmetres amb IMD alta per Direcció de Zona i escenari

		1	2	3	4	5	6	7	8
km PO	GD1	3,65	4,05	2,44	2,30	3,51	2,63	5,01	1,51
	GD2	0,42	0,66	0,40	0,30	0,49	0,27	1,38	0,08
	GD3	0,20	0,27	0,20	0,20	0,20	0,39	2,63	0,00
	GD4	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,21	0,42	0,39
	GD5	0,15	0,15	0,08	0,06	0,09	0,45	0,27	0,00
	Total	4,81	5,51	3,51	3,26	4,68	3,95	9,72	1,98
km IMP alta	GD1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00
	GD2	8,41	8,69	7,50	6,93	8,50	5,55	5,18	8,27
	GD3	2,51	2,35	2,74	2,98	2,52	1,63	2,92	1,89
	GD4	1,04	1,36	0,71	0,71	0,76	2,34	1,15	0,16
	GD5	1,39	1,03	2,47	2,89	1,45	0,51	2,96	1,59
	Total	13,41	13,47	13,48	13,56	13,29	10,09	12,26	11,91
km IMD alta	GD1	1,70	1,66	1,70	1,70	1,97	1,41	1,66	1,33
	GD2	3,60	4,30	3,56	3,10	3,54	3,91	3,37	3,70
	GD3	3,54	3,26	3,63	3,83	3,61	2,54	3,53	4,16
	GD4	0,68	0,92	0,67	0,67	0,61	1,90	0,82	0,32
	GD5	0,45	0,52	0,86	0,91	0,62	0,39	0,91	0,30
	Total	9,98	10,66	10,41	10,22	10,34	10,14	10,30	9,81

Taula B.9. Estalvis del requeriment ambiental per Direccions de Zona i escenaris

		1	2	3	4	5	6	7	8
EPA' m3/ml/any	GD1	5.884	5.311	5.918	5.738	5.701	4.210	5.998	3.433
	GD2	14.162	13.662	13.280	13.083	14.035	7.624	11.130	7.917
	GD3	6.856	6.538	7.083	7.058	6.950	5.110	6.443	4.321
	GD4	3.556	3.273	3.833	3.780	3.725	2.218	3.431	3.227
	GD5	5.983	5.327	5.200	4.833	5.960	4.189	4.672	3.796
	Total	36.440	34.111	35.314	34.493	36.370	23.352	31.674	22.694
EPA' m3/any	GD1	288.608	235.608	322.586	326.709	291.042	141.802	309.673	328.370
	GD2	781.416	720.238	794.005	793.336	793.822	327.805	668.290	776.609
	GD3	263.117	228.469	286.253	293.725	271.826	131.605	259.107	287.847
	GD4	219.977	191.637	245.218	245.066	233.730	118.662	204.898	283.269
	GD5	249.887	191.923	240.647	234.231	254.132	122.755	220.538	329.762
	Total	1.803.005	1.567.875	1.888.710	1.893.067	1.844.553	842.631	1.662.505	2.005.857
EPE' kWh/ml/any	GD1	3.193	2.884	3.286	3.162	3.118	2.232	3.288	2.069
	GD2	8.933	8.700	8.362	8.257	8.893	4.987	6.954	5.386
	GD3	5.146	4.911	5.302	5.282	5.210	3.855	4.815	3.208
	GD4	3.505	3.261	3.745	3.724	3.691	2.388	3.300	2.901
	GD5	3.758	3.341	3.383	3.161	3.756	2.581	3.042	2.437
	Total	24.536	23.096	24.078	23.586	24.668	16.043	21.399	16.001
EPE' kWh/any	GD1	155.929	128.597	179.238	180.930	158.450	76.227	169.524	193.851
	GD2	497.538	477.509	500.974	501.042	509.954	236.031	420.141	520.973
	GD3	196.873	170.941	213.196	218.818	203.157	99.487	192.981	213.550
	GD4	241.150	205.070	270.219	271.699	255.453	136.008	226.352	268.704
	GD5	158.150	121.177	156.581	152.722	161.208	74.762	143.928	208.574
	Total	1.249.640	1.103.294	1.320.208	1.325.211	1.288.222	622.515	1.152.926	1.405.653

La Taula B.6 presenta els valors per cadascun dels escenaris analitzats i per les diferents direccions de zona que conformen l'àmbit d'estudi.

Taula B.10. Cost d'Oportunitat del Manteniment (COM) per Direcció de Zona i escenari

		1	2	3	4	5	6	7	8
COM	GD1	9,15%	10,69%	7,63%	7,29%	8,77%	11,57%	7,27%	5,33%
	GD2	11,03%	12,21%	10,07%	9,68%	10,91%	14,39%	9,54%	8,44%
	GD3	8,53%	9,59%	7,76%	7,52%	8,36%	10,98%	7,67%	5,66%
	GD4	11,41%	12,46%	9,66%	9,37%	11,07%	12,50%	9,37%	7,03%
	GD5	10,18%	12,03%	8,62%	8,05%	9,96%	12,64%	7,97%	4,92%
	Mitjana	10,06%	11,40%	8,75%	8,38%	9,81%	12,41%	8,37%	6,28%

B.3.3 Resultat agrupats per Materials i Diàmetres

La Taula B.11 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.14.a i la Figura 5.14.b per cadascun dels escenaris analitzats.

Taula B.11. Kilòmetres de xarxa de cada material pels 8 escenaris

		1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Materials principals</i>	FG	54,87	56,25	48,03	45,09	54,62	40,82	45,92	30,03
	PEA	0,50	0,18	3,09	3,19	0,69	0,02	3,50	3,26
	PEB	17,21	38,56	8,34	7,49	14,27	105,49	12,06	1,62
	FC	59,24	44,40	65,04	66,77	60,20	22,33	63,88	66,26
	FD	0,76	0,26	3,38	4,61	0,63	0,25	6,06	4,64
<i>Materials minoritaris</i>	A	1,44	1,34	1,32	1,32	1,64	0,85	0,80	0,57
	B	2,33	1,79	3,56	4,24	2,67	0,22	3,36	10,35
	BS	0,63	0,47	0,67	0,67	0,66	0,38	0,61	4,73
	GALV	0,07	0,05	0,07	0,07	0,07	0,00	0,07	0,00
	PEM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
	PVC	4,95	5,64	3,66	3,53	4,49	5,83	2,66	0,50
Total	141,99	148,95	137,16	136,98	139,93	176,18	138,99	121,97	

La Taula B.12 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.15 per cadascun dels escenaris analitzats.

Taula B.12. Percentatge de kilòmetres de xarxa seleccionada per grups de diàmetres de cada escenari

Grups diàmetres	1	2	3	4	5	6	7	8
20-80	30,65%	43,17%	22,10%	20,93%	28,55%	74,76%	22,01%	11,97%
81-100	41,02%	31,86%	46,72%	48,17%	41,56%	10,31%	50,45%	33,54%
101-150	15,01%	13,56%	16,45%	16,32%	15,61%	6,81%	15,51%	19,83%
151-250	9,59%	7,76%	10,57%	10,36%	10,13%	3,70%	9,09%	20,60%
251-400	3,72%	3,64%	4,17%	4,22%	4,16%	4,39%	2,95%	13,10%
401-700	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,96%

B.3.4 Resultats de la distribució del pressupost

La Taula B.13 recull els valors utilitzats per representar la Figura 5.16, Figura 5.17 i la Figura 5.18 per cadascun dels escenaris analitzats i per les diferents direccions de zona que conformen l'àmbit d'estudi.

Taula B.13. Distribució del pressupost per Direcció de Zona i escenari

		GD1	GD2	GD3	GD4	GD5	Total
1	% P	14,50%	57,43%	9,76%	11,08%	7,24%	100,00%
	% PX	21,39%	26,25%	15,75%	18,22%	18,40%	100,00%
	% PF	17,94%	41,84%	12,75%	14,65%	12,82%	100,00%
2	% P	10,42%	61,79%	7,20%	14,04%	6,54%	100,00%
	% PX	21,39%	26,25%	15,75%	18,22%	18,40%	100,00%
	% PF	15,91%	44,02%	11,48%	16,13%	12,47%	100,00%
3	% P	16,35%	54,20%	11,89%	10,30%	7,26%	100,00%
	% PX	21,39%	26,25%	15,75%	18,22%	18,40%	100,00%
	% PF	18,87%	40,22%	13,82%	14,26%	12,83%	100,00%
4	% P	16,68%	52,88%	12,79%	10,19%	7,46%	100,00%
	% PX	21,39%	26,25%	15,75%	18,22%	18,40%	100,00%
	% PF	19,03%	39,56%	14,27%	14,20%	12,93%	100,00%
5	% P	13,96%	58,13%	10,00%	11,13%	6,79%	100,00%
	% PX	21,39%	26,25%	15,75%	18,22%	18,40%	100,00%
	% PF	17,67%	42,19%	12,87%	14,67%	12,59%	100,00%
6	% P	5,51%	38,16%	4,63%	43,56%	8,15%	100,00%
	% PX	21,39%	26,25%	15,75%	18,22%	18,40%	100,00%
	% PF	13,45%	32,20%	10,19%	30,89%	13,27%	100,00%
7	% P	20,20%	48,36%	13,99%	9,44%	8,00%	100,00%
	% PX	21,39%	26,25%	15,75%	18,22%	18,40%	100,00%
	% PF	20,80%	37,30%	14,87%	13,83%	13,20%	100,00%
8	% P	16,31%	48,46%	11,58%	8,95%	14,70%	100,00%
	% PX	21,39%	26,25%	15,75%	18,22%	18,40%	100,00%
	% PF	18,85%	37,36%	13,67%	13,58%	16,55%	100,00%

ANNEX C

Estat dels actius

C.1. INTRODUCCIÓ

Com s'ha presentat al Capítol 6, els indicadors de risc es calculen com el producte de les conseqüències o el dany associat a una fallada per la probabilitat de fallada. Degut a la manca de dades per aplicar models estadístics que permetin determinar aquesta probabilitat de fallada, per al càlcul dels indicadors de risc utilitzats al Model de Priorització d'Inversions per Partides s'utilitza l'estat de l'actiu (EA). A fi de representar la probabilitat de fallada que tenen cadascuna de les tipologies d'actius del sistema d'abastament.

L'objectiu d'aquest annex és presentar la metodologia dissenyada per al càlcul de l'estat dels actius (EA) que conformen el sistema d'abastament. Una metodologia que permet comparar l'estat dels diferents actius ja que es defineix una estructura homogènia de càlcul d'aquest EA per tots els actius a avaluar.

Per poder donar resposta a aquest objectiu l'annex s'estructura, presentant en primer lloc la metodologia genèrica desenvolupada per al càlcul de l'estat, i seguidament, es presenta l'aplicació d'aquesta metodologia a cadascun dels grups dels actius de l'abastament (instal·lacions de producció, dipòsits, centrals, xarxa, edificis, laboratori i sistemes d'informació).

C.2. METODOLOGIA DE CÀLCUL DE L'ESTAT

La metodologia desenvolupada per al càlcul de l'estat dels actius (EA) consta de 5 passos i es presenta a la Figura C.1. Aquesta metodologia ha estat utilitzada sempre que les dades ho han permès, és el cas de les instal·lacions de producció, les centrals, la xarxa i els edificis.

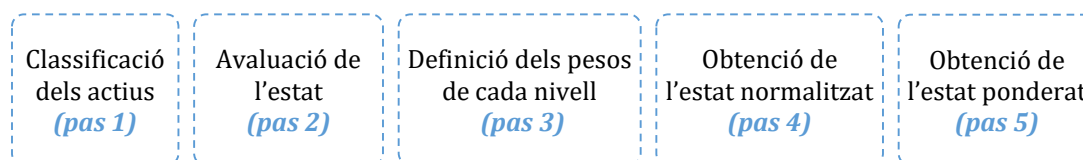


Figura C.1. Metodologia per a l'estimació de l'estat dels actius (EA)

Pas 1. Classificació dels actius

En primer lloc, cal identificar les tipologies d'actius o sistemes de cada partida d'inversió. Sovint aquestes tipologies d'actius o sistemes estan formades per subsistemes, que a la seva vegada els formen elements. En aquest pas cal identificar totes aquestes agrupacions.

Pas 2. Avaluació de l'estat

Un cop identificats tots els elements s'avalua l'estat d'aquests, en aquest pas, es demana als experts que donin una puntuació entre 0 – 3 segons l'estat en que es troba cadascun dels elements que formen la tipologia d'actius. Per sistematitzar l'avaluació anual i que cada any es realitzi seguint els mateixos criteris, es defineixen unes taules on per cada element s'assigna un estat en funció d'uns paràmetres a comprovar anualment.

Taula C.1. Nivells de l'estat

Descripció	Bon Estat	Estat Acceptable	Mal Estat	Molt mal estat
Puntuació	0	1	2	3

Pas 3. Definició dels pesos de cada nivell

El tercer pas a realitzar, juntament amb l'avaluació de l'estat, és definir els pesos de cada nivell, dels elements que formen els subsistemes i dels subsistemes que formen els sistemes. Ja que només s'avalua l'estat dels elements i és la suma ponderada de l'estat dels elements pel pes que se li assigna en aquest pas el que proporciona el valor d'estat als subsistemes i als sistemes. Els pesos de cada nivell són proporcionats pels experts de cada àrea.

Pas 4. Obtenció de l'estat normalitzat

En aquest pas, cal determinar un estat normalitzat que permeti transformar els valors obtinguts per cadascun dels sistemes en un valor entre 0 i 3. Cada tipologia d'actius té definits uns llindars que permeten obtenir aquest estat normalitzat.

Pas 5. Obtenció de l'estat ponderat de l'actiu

Per tal d'identificar l'estat global de les diferents tipologies d'actius, es pondera cadascun dels estats dels diferents sistemes per una dimensió que tingui sentit en aquell conjunt d'actius. Seguint amb el mateix exemple de les centrals, cadascuna de les centrals té una importància dins de l'abastament segons el volum d'aigua que bomba, doncs l'estat dels actius centrals serà igual a la suma ponderada de l'estat normalitzat de cadascuna de les centrals pel volum que impulsa entre el volum total impulsat de totes les centrals (Eq. C.13).

Taula C.2. Magnitud ponderadora utilitzades per ponderar l'estat global del agrupadors d'actius

Partida	Agrupadors d'actius	Magnitud representativa
Producció	Captació ETAP	
Producció	Pous Llobregat	
Producció	Pous Besòs	
Producció	ETAP Sant Joan Despí	Volum anual produït i cabal nominal de gestió
Producció	ETAP Besòs	
Producció	Central Cornellà	
Producció	Laboratori Sant Joan Despí	
Transport	Centrals impulsió	Volum impulsat
Producció/Transport	Dipòsits	Volum emmagatzemat
Producció/Transport/Distribució	Xarxa	Volum canonada
Resta d'Àmbits	Edificis	Nombre de treballadors
Resta d'Àmbits	Laboratori Collblanc	-
Resta d'Àmbits	Sistemes d'informació	-

C.3. INSTAL·LACIONS DE PRODUCCIÓ

Les instal·lacions de producció d'aigua potable agrupen un gran nombre de tipologies d'actius. En aquest cas, al tractar-se de tipologies d'actius molt més complexes que la resta s'analitzen de forma més detallada. Les tipologies d'actius a analitzar de les instal·lacions de producció són:

- Instal·lacions de captació (detall Taula C.3).
- Estacions de Tractament d'Aigua Potable (ETAP), de les 6 ETAP que explota Aigües de Barcelona (l'ETAP de Sant Joan Despí, ETAP de les Estrelles (composada per

dues), ETAP del Papiol, ETAP del Besòs i ETAP de la Llagosta) només s'analitza l'estat de 5, ja que l'ETAP del Papiol actualment no es troba en funcionament (detall Taula C.4, Taula C.5, Taula C.6 i Taula C.7).

- Central Cornellà, correspon a la central d'impulsió més important de l'àmbit i el seu funcionament és tant diferenciat a la resta de les centrals d'impulsió que s'analitza separatament, apart de formar part de les instal·lacions de producció (detall Taula C.8).
- Laboratori producció (detall Taula C.9).

Així doncs, un cop identificats els elements i els subsistemes del sistema instal·lacions de captació, s'assigna pesos als elements (β) i als subsistemes (α). Aquests es presenten a la Taula C.3.

Taula C.3. Detall elements del sistema i pesos assignats: Instal·lacions de captació

Sistemes	Subsistemes	Elements subsistemes	Pes dels subsistemes (α)	Pes dels elements (β)
INSTAL·LACIONS CAPTACIÓ				
Instal·lacions Captació ETAP			20%	
	Reixes			0%
	Comportes			100%
Pous Llobregat			60%	
	Pous ETAP			70%
	Pous Estrelles			20%
	Pous Radials			10%
Pous Besòs			10%	
	Pous Besos			100%
Derivo Anoia-Rubí			5%	
	Derivo Anoia-Rubí			100%
Dos Rius			2,5%	
	Dos Rius			100%
Pous Garraf			2,5%	
	Pous Garraf			100%

Identificats els elements i els subsistemes (quan s'escau) dels diversos sistemes d'Estacions de Tractament d'Aigua Potable (ETAP), s'assigna pesos als elements (β) i als subsistemes (α) quan aquests disposen d'aquesta classificació. Aquests es presenten a les següents taules: Taula C.4, Taula C.5, Taula C.6 i Taula C.7.

Taula C.4. Detall elements del sistema i pesos assignats: ETAP Sant Joan Despí

Sistemes	Subsistemes	Elements	Pes dels subsistemes (α)	Pes dels elements (β)
ETAP SJD				
Pretractament			15%	
		Estació alerta		2,5%
		Clor		5%
		Pous elevació		40%
		Coagulants		10%
		Decantació		2,5%
		Filtres de sorra		20%
		Bombament intermedi		20%
Postractament convencional:			15%	
		Ozó		50%
		Filtració de carbó		50%
Postractament avançat:			30%	
		Ultrafiltració		50%
		Osmosis		50%
Fangs:			30%	
		Instal·lació Fangs		85%
		Arqueta de fangs		15%
Instal·lacions generals			7,5%	
		Plataformes elevadores		0%
		Bascules		5%
		Asfalt, voreres, tancament, jardí		0%
		Il·luminació		10%
		Xarxa Alta tensió (AT)		50%
		Xarxa Gas Natural		15%
		Xarxa aigua auxiliar		20%
Impulsions			20%	
		Impulsió cota 10		60%
		Impulsió cota 50		30%
		Impulsió cota 70		10%

Taula C.5. Detall elements del sistema i pesos assignats: ETAP Besòs

Sistemes	Elements	Pes dels elements (β)
ETAP BESÒS		
	Impulsions	20%
	Bastidors	40%
	Nano filtració	10%
	Ultrafiltració	20%
	Serveis Generals	10%

Taula C.6. Detall elements del sistema i pesos assignats: ETAP la Llagosta

Sistemes	Elements	Pes dels elements (β)
ETAP LA LLAGOSTA		
	Impulsions	20%
	Tractament	60%
	Serveis Generals	10%
	Pous captació	10%

Taula C.7. Detall elements del sistema i pesos assignats: ETAP les Estrelles (les dues de Sant Feliu de Llobregat)

Sistemes	Elements	Pes dels elements (β)
ETAP LES ESTRELLES		
	Impulsions	60%
	Pous captació	20%
	Tractament	15%
	Serveis Generals	5%

Identificats els elements del sistema central cornella, s'assigna pesos als elements (β). Aquests es presenten a la Taula C.8.

Taula C.8. Detall elements del sistema i pesos assignats: Central Cornellà

Sistemes	Elements	Pes dels elements (β)
CENTRAL CORNELLÀ		
	Impulsió C100	80%
	Impulsió C70	10%
	Impulsió C50	5%
	Serveis Generals	5%

Identificats els elements del sistema laboratori producció, s'assigna pesos als elements (β). Aquests es presenten a la Taula C.9.

Taula C.9. Detall elements del sistema i pesos assignats: Laboratori Producció

Sistemes	Elements	Pes dels elements (β)
LABORATORI		
	Laboratori	100%

Els sistemes anteriorment mencionats: les instal·lacions de captació, les ETAPs, la central Cornellà i el Laboratori, es subdivideixen en subsistemes (quan s'escau) i elements dels subsistemes. El nivell de detall subsistema només s'ha utilitzat per les instal·lacions de captació d'aigua i l'ETAP de Sant Joan Despí, ja que són sistemes més complexos que han requerit d'aquesta classificació per poder realitzar l'anàlisi de l'estat.

De cadascun d'aquests elements mencionats a la Taula C.3, Taula C.4, Taula C.5, Taula C.6, Taula C.7, Taula C.8 i Taula C.9, s'avalua l'estat de: l'alta tensió, la baixa tensió, la caldereria i la valvuleria, l'obra civil, els grups impulsors i els equips de tractament (veure exemple Taula C.10). Amb la finalitat d'obtenir la puntuació d'aquests (segons les Eq. C.1, Eq. C.2, Eq. C.3, Eq. C.4, Eq. C.5 i Eq. C.6).

$$P_{AT} = \sum \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \text{Estat } AT_i \quad (\text{Eq. C.1})$$

$$P_{BT} = \sum \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \text{Estat } BT_i \quad (\text{Eq. C.2})$$

$$P_{CV} = \sum \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \text{Estat } CV_i \quad (\text{Eq. C.3})$$

$$P_{OC} = \sum \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \text{Estat } OC_i \quad (\text{Eq. C.4})$$

$$P_{GI} = \sum \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \text{Estat } GI_i \quad (\text{Eq. C.5})$$

$$P_{ET} = \sum \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \text{Estat } ET_i \quad (\text{Eq. C.6})$$

Taula C.10. Exemple avaluació Estat BT del subsistema Pretractament de l'ETAP Sant Joan Despí

Sistemes	Subsistemes	Elements	(α)	(β)	Puntuació BT
ETAP SJD					$\sum \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \text{Estat } BT_i$
Pretractament			15%		$\sum \beta_i \cdot \text{Estat } BT_i = 1,4$
		Estació alerta		2,5%	0
		Clor		5%	0
		Pous elevació		40%	2
		Coagulants		10%	0
		Decantació		2,5%	0
		Filtres de sorra		20%	2
		Bombament intermedi		20%	1

L'estat dels sistemes de producció ($E_{Sist.Prod}$) es calcula com la suma del producte del pes dels diferents element per la puntuació d'aquests obtinguda segons les Eq. C.1 a l'Eq. C.6 respectivament, tal com s'indica a l'Eq. C.7, on les puntuacions de cada element s'obté de la Taula C.11.

$$E_{Sist.Prod_i} = \rho_1 \cdot P_{AT} + \rho_2 \cdot P_{BT} + \rho_3 \cdot P_{CV} + \rho_4 \cdot P_{OC} + \rho_5 \cdot P_{GI} + \rho_5 \cdot P_{ET} \quad (\text{Eq. C.7})$$

On:

ρ_1 : Taula C.11	P_{AT} : Puntuació Alta Tensió (Eq. C.1)
ρ_2 : Taula C.11	P_{BT} : Puntuació Baixa Tensió (Eq. C.2)
ρ_3 : Taula C.11	P_{CV} : Puntuació Caldereria i Valvuleria (Eq. C.3)
ρ_4 : Taula C.11	P_{OC} : Puntuació Obra Civil (Eq. C.4)
ρ_5 : Taula C.11	P_{GI} : Puntuació Grups Impulsió (Eq. C.5)
ρ_6 : Taula C.11	P_{ET} : Puntuació Equips Tractament (Eq. C.6)

Taula C.11. Detall elements del sistema i pesos assignats: Instal·lacions de producció

Sistemes Producció / Pesos	Alta tensió (ρ_1)	Baixa tensió (ρ_2)	Caldereria i valvuleria (ρ_3)	Obra civil (ρ_4)	Grups impulsors (ρ_5)	Equips tractament (ρ_6)
Instal·lacions Captació	20%	15%	15%	35%	15%	0%
ETAP SJD	18%	15%	5%	25%	18%	20%
ETAP Besòs	20%	10%	10%	15%	15%	30%
ETAP la Llagosta	20%	10%	10%	10%	15%	35%
ETAP les Estrelles	20%	20%	15%	10%	30%	5%
CENTRAL Cornellà	20%	15%	10%	10%	45%	0%
Laboratori	10%	30%	0%	20%	0%	40%

En aquest cas, l'estat normalitzat ($ENor$) coincideix amb el resultat de l'estat del sistema ($E_{Sist.Prod}$) ja que els valors de puntuació dels elements són valors entre (0 - 3). L'estat dels actius de producció ($EA_{producció}$) és la relació entre la suma ponderada de l'estat de cada sistema ($E_{Sist.Prod}$) per la importància relativa ($\%IR$) del sistema dins la partida de producció.

$$EA_{producció} = \frac{\sum E_{Sist.Prod_i} \cdot \%IR_i}{\sum \%IR_i} \quad (\text{Eq. C.8})$$

On la importància relativa $\%IR$ es calcula com:

$$\%IR_i = \frac{\max(\%QN_{gestió_i}; \%V_{AP_i}) + \frac{\%QN_{gestió_i} + \%V_{AP_i}}{2}}{2} \quad (\text{Eq. C.9})$$

$$\%QN_{gestió_i} = \frac{QN_{gestió_i}}{\sum QN_{gestió_i}} \quad (\text{Eq. C.10})$$

$$\%V_{AP_i} = \frac{V_{AP_i}}{\sum V_{AP_i}} \quad (\text{Eq. C.11})$$

C.4. CENTRALS

Les centrals estan compostades principalment per 5 elements, els grups impulsors, la caldereria i valvuleria, l'obra civil, l'alta tensió i la baixa tensió.

Cal establir els pesos que tenen cadascun dels subsistemes, doncs aquest pes representa quins són aquests subsistemes més crítics per al funcionament de les centrals, aquests es presenten a la Taula C.12.

Taula C.12. Detall elements del sistema i pesos assignats: Centrals

Sistemes	Elements	Pes dels elements (ρ)
Centrals		
	Alta tensió (ρ_1)	2,0
	Baixa tensió (ρ_2)	1,5
	Caldereria i valvuleria (ρ_3)	1,5
	Obra civil (ρ_4)	0,8
	Grups impulsors (ρ_5)	1,0

Un cop establerts els pesos, s'avalua l'estat dels elements que componen el sistema centrals utilitzant la Taula C.13. D'on s'obté l'estat parcial dels subsistemes que formen les centrals: els grups impulsors, la caldereria i valvuleria, l'obra civil, l'alta tensió i la baixa tensió. Aquesta avaluació és la que caldrà realitzar anualment per actualitzar l'estat de les centrals.

Amb tots aquests paràmetres s'aplica l'Eq. C.12 i s'obté l'estat de cadascuna de les centrals de l'àmbit ($E_{central}$).

$$E_{central_i} = \rho_1 \cdot P AT + \rho_2 \cdot P BT + \rho_3 \cdot P CV + \rho_4 \cdot P OC + \rho_5 \cdot P GI \quad (\text{Eq. C.12})$$

On:

ρ_1 :	Taula C.12	$P AT$: Puntuació Alta Tensió
ρ_2 :	Taula C.12	$P BT$: Puntuació Baixa Tensió
ρ_3 :	Taula C.12	$P CV$: Puntuació Caldereria i Valvuleria
ρ_4 :	Taula C.12	$P OC$: Puntuació Obra Civil
ρ_5 :	Taula C.12	$P GI$: Puntuació Grups Impulsió

Els elements que conformen el sistema central són necessàriament els grups d'impulsors, la caldereria i valvuleria, l'obra civil i la baixa tensió, l'alta tensió és un element que no és imprescindible i per tant, algunes centrals no disposen d'alta tensió. És per aquest motiu que s'ha definit un risc límit màxim (RLM) per les centrals amb alta tensió i un per les centrals sense alta tensió. Així és possible comparar aquestes dues tipologies de centrals, sense penalitzar a aquelles que tenen un element addicional, l'alta tensió.

El Risc Límit Màxim (RLM) de les centrals **amb** alta tensió és el següent: $RLM = 10$

El Risc Límit Màxim (RLM) de les centrals **sense** alta tensió és el següent: $RLM = 6$

Per determinar l'estat normalitzat (ENor) de les centrals, es compara l'estat de la central que s'està avaluant obtingut segons l'Eq. C.12 amb un percentatge del Risc Límit Màxim (RLM) definit segons la Taula C.14.

Taula C.13. Nivells d'estat dels elements de les centrals

Descripció	Bon Estat	Estat Acceptable	Mal Estat	Molt mal estat	
Puntuació	0	1	2	3	
Qualificació de l'estat de les instal·lacions	No presenta deteriorament significatiu. Es preveu que necessitarà una renovació a molt llarg termini.	Indicis d'envelliment. Es preveu que necessitarà una renovació a mig/llarg termini.	Es preveu que necessitarà una renovació a mig/curt termini.	Es troba en molt mal estat. És necessària la renovació immediata o a curt termini.	
NATURA DE LA INSTAL·LACIÓ	Grups d'Impulsió	Amb una degradació màxima de rendiment del 2% i nivell de vibracions normal i temps des de l'últim manteniment general < 50% de l'esperat.	Amb una degradació màxima de rendiment del 3% i nivell de Vibracions normal. O temps des de l'últim manteniment general > 50% de l'esperat.	Amb una degradació del rendiment màxima <5% i nivell de Vibracions màx. moderat i temps des de l'últim manteniment general <100% de l'esperat.	Amb una degradació superior de rendiment del >5% o nivell de Vibracions crític o temps des de l'últim manteniment General >100% de l'esperat.
	Caldereria i valvuleria	Nova o en bon estat de manteniment i antiguitat mitjana (< 25 anys).	Indicis de possible pèrdua o amb certa corrosió i sense històric d'avaries representatives. O antiguitat superior a 25 anys.	Pèrdua parcial del recobriments i corrosió evident. Amb alguna avaria o probabilitat modera que passi.	Pèrdua parcial del recobriments i corrosió evident. Envelliment generalitzat de la instal·lació. Amb avaries o altra probabilitat que passi.
	Obra Civil	Nova o en bon estat de manteniment i antiguitat mitjana (< 25 anys).	Incipients moviments o amb danys que si persisteixen podrien danyar greument a la instal·lació a llarg termini. O antiguitat superior a 25 anys.	Petits moviments o danys que si persisteixen podrien danyar greument la instal·lació a mitjà termini.	Esquerdes o moviments en l'estructura que amenaça seriosament la integritat de la instal·lació hidràulica o elèctrica.
	Alta Tensió	Nova o en bon estat de manteniment i antiguitat mitjana (< 15 anys).	Amb cert desgast però sense deteriorament important o amb indicis de corrosió. O antiguitat superior a 15 anys.	Deteriorament important a tota la instal·lació: moderada corrosió o degradació de materials i aparellatge instal·lada obsoleta però amb recanvis disponibles.	Deteriorament important a tota la instal·lació: corrosió o degradació acusada de materials, aparellatge obsolet i sense recanvis disponibles.
	Baixa Tensió	Nova o en bon estat de manteniment i antiguitat mitjana (< 10 anys)	Amb cert desgast però sense deteriorament important o amb indicis de corrosió. O antiguitat superior a 10 anys.	Deteriorament important a tota la instal·lació: moderada corrosió o degradació de materials i aparellatge instal·lada obsoleta.	Deteriorament important a tota la instal·lació: corrosió o degradació acusada de materials, aparellatge obsolet i sense recanvis disponibles. Possible falta d'aïllament elèctric (PRL).

Taula C.14. Taula Estat de les centrals ($E_{central}$) a Estat normalitzat de la central ($ENor$)

Límits Estat Central ($E_{central}$)	Estat Normalitzat Central ($ENor$)
$E_{central} < 0,3 \cdot RLM$	0
$E_{central} < 0,6 \cdot RLM$	1
$E_{central} < 0,9 \cdot RLM$	2
$E_{central} \geq 0,9 \cdot RLM$	3

Obtingut l'estat normalitzat de cadascuna de les centrals avaluades, s'obté el valor global de l'estat de l'actiu centrals corresponent a les centrals de producció i les centrals de transport. L'estat de l'actiu centrals ($EA_{centrals}$) és la relació entre la suma ponderada de l'estat de cadascuna de les centrals de la divisió que s'està calculant ($E_{central}$) pel volum que impulsa ($Vimp$) entre el volum total impulsat per totes les centrals de l'àmbit ($\sum Vimp$).

$$EA_{centrals_j} = \frac{\sum E_{central_i} \cdot Vimp_i}{\sum Vimp_i} \quad (\text{Eq. C.13})$$

C.5. DIPÒSITS

Els dipòsits estan compostats principalment per 5 elements que cal avaluar per determinar l'estat d'aquests. Els elements que s'avaluen són: la pintura interior del dipòsit, la caldereria interior (canonades d'entrada i sortida de dipòsit,...), l'obra civil i el recinte (tanques i casetes auxiliars). L'avaluació d'aquests elements permet determinar l'estat de manteniment general dels dipòsits.

Per altra banda, també es disposa de la següent informació relativa a cadascun dels dipòsits, el material de construcció (pedra, totxo, metall, formigó armat o formigó pretensat), la cota on està situat (en altura, superficial, semienterrat o enterrat), la data de posada en servei de la instal·lació i la seva capacitat.

En aquest cas, per determinar l'estat de manteniment general dels dipòsits, també cal establir els pesos que tenen cadascun elements, aquest pes representa quins són els elements més crítics per al funcionament dels dipòsits, aquests es presenten a la Taula C.15.

Taula C.15. Detall elements del sistema i pesos assignats: Dipòsits

Sistemes	Elements	Pes dels elements (ρ)
Dipòsits		
	Pintura interior del dipòsit	5%
	Caldereria interior	15%
	Obra civil	75%
	Recinte (tanques i casetes auxiliars)	5%

L'avaluació de l'estat dels elements es realitza seguint la mateixa lògica que en el cas de les centrals, assignant una puntuació 0 si l'element es troba en un estat de conservació bo i un 3 si es troba en molt mal estat segons els nivells definits a la Taula C.1.

L'estat global de manteniment dels dipòsits ($EM_{dipòsit}$) es calcula com la suma ponderada de les puntuacions d'estat obtingudes per cadascun dels elements avaluats pel pes que se li ha assignat a la Taula C.15, tal com es mostra a l'Eq. C.14.

$$EM_{dipòsit_i} = \rho_1 \cdot P \text{ Pint} + \rho_2 \cdot P C + \rho_3 \cdot P OC + \rho_4 \cdot P Res \quad (\text{Eq. C.14})$$

On:

ρ_1 :	Taula C.15	$P \text{ Pint}$:	Puntuació Pintura interior
ρ_2 :	Taula C.15	$P C$:	Puntuació Caldereria interior
ρ_3 :	Taula C.15	$P OC$:	Puntuació Obra Civil
ρ_4 :	Taula C.15	$P Res$:	Puntuació Recinte

Per determinar l'estat dels dipòsits no només cal tenir en compte l'estat de manteniment en que estan aquests, sinó que cal avaluar si les seves prestacions un cop passada la seva vida útil seran prou bones per continuar prestant servei sense fallar.

Les prestacions d'una estructura evolucionen al llarg del temps, com es pot veure a la Figura C.2 (GEHO, 1993), les prestacions inicials van disminuint a mesura que passa el temps. Al principi d'aquesta disminució és més lenta, com representa la pendent més suau de la corba. A mesura que passa el temps, va augmentant la velocitat de degradació i la pèrdua de prestacions, com es mostra a la Figura C.2 aquesta corba cada vegada és més pronunciada. Finalment, s'arriba a un mínim de prestacions que delimiten el final de la vida útil de l'estructura. Partint d'un t_{VUR} , i donades unes condicions específiques de projecte es pot donar que $t_{VUE} > t_{VUR}$ si les condicions són favorables (Figura C.2.a) o bé que $t_{VUE} < t_{VUR}$ si les condicions són desfavorables (Figura C.2.b). en aquest darrer cas, es pot realitzar una reparació que augmenti el t_{VUE} per sobre del t_{VUR} com es mostra a la Figura C.2.b.

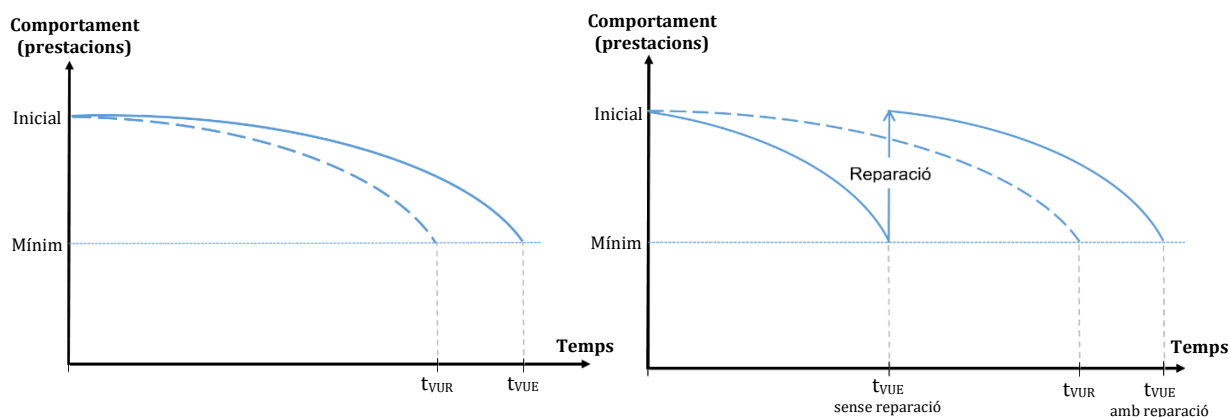


Figura C.2. Comportament en funció del temps per a) $t_{VUE} > t_{VUR}$ i b) t_{VUE} sense reparació $< t_{VUR}$ (adaptat GEHO, 1993)

A la Taula C.16 es mostren uns valors de t_{VUR} definits d'acord a l'Eurocodi (Figura C.3), aquests valors depenen del material i la capacitat del dipòsit. Ja que l'obsolescència pot venir determinada per un deteriorament del material. Per altra banda, la capacitat també pot ser un factor que afecta a la seva obsolescència: els dipòsits de poca capacitat poden quedar obsolets quan creix la població i aquests no disposen de suficient capacitat, en aquest cas la obsolescència arriba abans que el material s'hagi deteriorat.

Taula C.16. Temps de vida útil de referència (t_{VUR}) dels dipòsits

Material	Volum emmagatzemat pel dipòsit (m ³)	t_{VUR} (any)
Pedra i totxo	≤ 1.000	50
	1.000 – 8.000	75
	> 8.000	100
Metall	< 1.000	50
Formigó armat i formigó pretensat	< 4.000	50
	4.000 – 40.000	75
	> 40.000	100

Figura C.3. Vida útil de càlcul indicativa d'acord a les Bases de càlcul dels Eurocodis (AENOR, 2003)

Categoría de vida útil de cálculo	Vida útil de cálculo indicativa	Ejemplos
1	10	Estructuras temporales (1)
2	10 a 50	Partes de estructuras reemplazables, por ejemplo: vigas de rodadura, aparatos de apoyo
3	15 a 30	Estructuras agrícolas y similares
4	50	Estructuras de edificios y otras estructuras comunes
5	100	Estructuras de edificios monumentales, puentes y otras estructuras de ingeniería civil.

(1) Estructuras o partes de estructuras que puedan desmontarse con la intención de volver a usarse no deberían considerarse como estructuras temporales.

Com s'observa de la Taula C.16 s'ha definit tres nivells de capacitat segons el material dels dipòsits:

- Els dipòsits de *pedra i totxo* solen ser e construcció més antiga i abasteixen petites poblacions.
- Els dipòsits *metàl·lics* solen ser petits, pel cas d'Aigües de Barcelona sempre inferiors a 1.000 m³.
- Els dipòsits de *formigó armat o pretensat* tenen un rang més ampli de capacitats. Els tres nivells de capacitats que s'han establert corresponen als rangs usuals de població: poblacions petites, ciutats mitjanes i ciutats grans.

Prenent com a referència el càlcul del t_{VUE} de la ISO 15686 (Eq. C.15) s'adapta el càlcul a fi de tenir en compte aquells paràmetres disponibles i significatius per Aigües de Barcelona, a l'Eq. C.16 es presenta l'equació adaptada.

$$t_{VUE} = t_{VUR} \cdot \varphi_A \cdot \varphi_B \cdot \varphi_C \cdot \varphi_D \cdot \varphi_E \cdot \varphi_F \cdot \varphi_G \quad (\text{Eq. C.15})$$

On:

- φ_A : Representa la qualitat del material utilitzat
- φ_B : Reflecteix el nivell de refugi i protecció enfront agents meteorològics
- φ_C : Considera el nivell de destresa de les obres, nivell de control a l'obra
- φ_D : Considera l'exposició interior a agents de degradació i la seva severitat
- φ_E : Considera l'exposició exterior a agents de degradació i la seva severitat
- φ_F : Representa els efectes d'ús de la construcció que produeixen desgast
- φ_G : Reflecteix el nivell de manteniment

Així el càlcul del temps de vida útil estimat (t_{VUE}) dels dipòsits, com el temps de vida útil de referència (t_{VUR}) multiplicat a quatre factors φ_1 , φ_2 , φ_3 i φ_4 presentats a l'Eq. C.16.

$$t_{VUE} = t_{VUR} \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \varphi_4 \quad (\text{Eq. C.16})$$

On:

- φ_1 : Factor d'exposició exterior (segons la Taula C.17)
- φ_2 : Factor de tipus de terreny (segons la Taula C.17)
- φ_3 : Factor de nivell d'execució (segons la Taula C.17)
- φ_4 : Factor de nivell de manteniment (segons la Taula C.17)

Taula C.17. Valor numèric dels factors d'acord a la categoria i nivell del factor

Categoria factor / valor numèric	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
Exposició exterior φ_1		En altura	Superficial	Semi enterrat	Enterrat
Tipus de terreny φ_2	Mig vessant	Terraplè	Terreny natural diferent a roca	Roca excavada	-
Nivell d'execució φ_3	-	1936 - 1950	Resta d'anys	-	-
Manteniment φ_4	3 - Molt estat	2 - Mal estat	1 - Estat acceptable	0 - Bon estat	-

Els quatre factors considerats són: l'exposició exterior, el tipus de terreny, el nivell d'execució i el nivell de manteniment.

- El factor *exposició exterior* (φ_1), reflecteix els atacs externs que poden sofrir els dipòsits en funció de la seva posició relativa a la cota del terreny. Els diferents nivells de factors s'han definit segons la situació de la cota del dipòsit.

- El factor *tipus de terreny* (φ_2), té en compte la qualitat del terreny sobre el que es fonamenta el dipòsit i si el dipòsit està en una situació simètrica o asimètrica (a mig vessant). Es considera que la situació de forma asimètrica és la més desfavorable ja que pot donar lloc a assentaments diferencials.
- El factor *nivell d'execució* (φ_3), té en compte la qualitat en l'execució durant la construcció: en l'època de guerra civil espanyola i postguerra es considera que la qualitat en l'execució era més baixa a causa de l'escassetat de recursos. Segons les dades analitzades, Aigües de Barcelona no disposa de dipòsits construïts durant aquest període.
- El factor *manteniment* (φ_4), considera el nivell de manteniment real de l'estructura. Per tal d'aprofitar les dades disponibles, s'utilitzen els nivells definits a la Taula C.1 com a resultat de l'Eq. C.14.

Un cop determinat el temps de vida útil estimat (t_{VUE}), és possible conèixer quants dipòsits tenen l'edat per sobre d'aquest t_{VUE} . Es tracta de 14 dipòsits sobre un total de 86, tal com es mostra a la Taula C.18.

Taula C.18. Dipòsits amb edat per sobre de (t_{VUE})

Material	Volum emmagatzemat pel dipòsit (m ³)	Nº dipòsits	Nº dipòsits per sobre de t_{VUE}	t_{VUE} (anys)	Edat (anys)	Percentatge d'edat per sobre de t_{VUE}
Pedra i totxo	≤ 1.000	4	2	50	92	84,0%
	1.000 – 8.000	3	1	45	49	8,9%
	> 8.000	0	0	75	92	22,7%
Metall	< 1.000	2	0	-	-	-
				45	48	6,7%
Formigó armat i pretensat	< 4.000	46	8	45	54	20,0%
				45	88	85,6%
				45	48	6,7%
				45	49	8,9%
				50	58	16,0%
				45	50	11,1%
				45	50	11,1%
				4.000 – 40.000	12	0
> 40.000	1	0	-	-	-	
Per determinar	Tots	18	3	45	52	15,6%
				45	53	17,8%
				45	48	6,7%
Totals		86	14			

Quan l'edat és superior al t_{VUE} no significa que el dipòsit deixa de funcionar immediatament, sinó que pot seguir en funcionament i pot anar fallant al llarg del temps amb una determinada probabilitat.

Aquesta probabilitat de fallada es pot estimar a partir d'una sèrie d'hipòtesis:

- Hipòtesi 1: la funció distribució de probabilitat de fallada dels dipòsits d'aigua potable segons l'edat és una distribució normal. Això implica que es compleixen les següents característiques de les funcions normals, incloent:
 - La mitjana és igual a la mediana i a la moda
 - Aproximadament un 68% de les observacions es troben dins d'una desviació estàndard respecte a la mitjana ($\mu - 1\sigma$ a $\mu + 1\sigma$)
 - Aproximadament un 95% de les observacions es troben dins de dues desviacions estàndard ($\mu - 2\sigma$ a $\mu + 2\sigma$) (el 95% entre $\mu - 1,96\sigma$ a $\mu + 1,96\sigma$)
 - Aproximadament un 99,7% de les observacions es troben dins de tres desviacions estàndard ($\mu - 3\sigma$ a $\mu + 3\sigma$)
- Hipòtesi 2: Es considera que **als 200 anys d'edat hauran fallat tots els dipòsits**. Al tractar-se d'una distribució normal, això implica que l'edat mitjana de fallada és de 100 anys. ($\mu = 100$)
- Hipòtesi 3: Es considera que la probabilitat de fallada abans de finalitzar el t_{VUE} és del 1,16%. Aquesta probabilitat s'ha obtingut de la següent manera:
 - N° de dipòsits totals = 86
 - N° de dipòsits que han fallat abans de finalitzar el $t_{VUE} = 1 = n^{\circ}$ de dipòsits que han fallat abans i després de finalitzar la t_{VUE} . (nota: Existeix un altre dipòsit al qual es van fer actuacions rellevants degut a moviments del sòl causats per fenòmens geològics durant més de 30 anys que no s'han considerat. Si es considerés, el resultat serien diferents.)
 - La Probabilitat de fallada abans de finalitzar el $t_{VUE} \geq 1/86 \cdot 100 = 1,16\%$ (és una cota inferior ja que, com s'ha vist, la majoria de dipòsits no han arribat al t_{VUE} i, per tant, el número de dipòsits que fallen abans d'arribar a t_{VUE} podria augmentar si, en un futur, en falla algun més). En el cas que no en falla cap més durant el t_{VUE} , la cota inferior és la probabilitat.

La mitjana del t_{VUE} dels dipòsits és 57,20 anys calculat utilitzant φ_1 (exposició exterior), φ_2 (tipus de terreny) = φ_3 (nivell d'execució) = 1 i φ_4 (manteniment). Com a conseqüència d'aquesta dada i per tal que la funció distribució compleixi la hipòtesi 3 (probabilitat acumulada als 57 anys = 1,16%), es necessita una desviació estàndard (σ) d'uns 19 anys aproximadament.

Aquestes tres hipòtesis permeten definir la funció distribució mitjana amb els paràmetres que s'indiquen a continuació:

- mitjana (μ) = 100 anys

- desviació estàndard (σ) = 19 anys
- variància (σ^2) = 361 anys²

Amb aquestes dades es pot calcular la funció de densitat de la probabilitat (Eq. C.17).

$$probabilitat = f(x|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi 361}} e^{-\frac{(x-100)^2}{2 \cdot 361}} \quad (\text{Eq. C.17})$$

Finalment, un cop determinada la probabilitat de cadascun dels dipòsits i amb l'edat actual es normalitza l'estat segons l'Eq. C.18.

$$E_{dipòsit_i} = \frac{\text{edat actual}}{\text{probabilitat}} \quad (\text{Eq. C.18})$$

Taula C.19. Taula Estat del dipòsit ($E_{dipòsit}$) a Estat normalitzat del dipòsit ($ENor$)

Límits Estat dipòsit ($E_{dipòsit}$)	Estat Normalitzat dipòsit ($ENor$)
$E_{dipòsit} < 0,3$	0
$E_{dipòsit} < 0,6$	1
$E_{dipòsit} < 0,9$	2
$E_{dipòsit} \geq 0,9$	3

Obtingut l'estat normalitzat de cadascuna dels dipòsits avaluats, s'obté el valor global de l'estat de l'actiu dipòsits corresponent als dipòsits de producció i els dipòsits de transport. L'estat de l'actiu dipòsits ($EA_{dipòsits}$), segons l'Eq. C.19, és la relació entre la suma ponderada de l'estat de cadascuna dels dipòsits de la divisió que s'està calculant ($E_{dipòsit}$) pel volum emmagatzemat d'aquest ($Vemm$) entre el volum emmagatzemat total dels dipòsits de l'àmbit ($\sum Vemm$).

$$EA_{dipòsits} = \frac{\sum E_{dipòsit_i} \cdot Vemm_i}{\sum Vemm_i} \quad (\text{Eq. C.19})$$

C.6. XARXA

Es considera que la xarxa de producció, transport i distribució està composta principalment per les canonades que són les que seran avaluades per determinar l'estat de la xarxa. Al estar compostat per un únic element aquest compta amb el 100% del pes, tal com es mostra a la Taula C.20.

Taula C.20. Detall elements del sistema i pesos assignats: Xarxa

Sistemes	Elements	Pes dels elements (ρ)
Xarxa		
	Trams de la xarxa	100%

Per determinar l'estat de la xarxa en primer lloc, s'avalua l'estat de cadascun dels trams de la xarxa (E_{Tram_j}) utilitzant l'Eq. C.20. L'Estat del tram (E_{Tram_j}) és funció de l'antiguitat d'aquest tram i la vida útil (VU) de referència presentada a la Taula C.21 que depèn del material que compona aquest tram que s'està avaluant.

$$E_{Tram_j} = \frac{\text{Antiguitat tram}_j}{VU_j} \quad (\text{Eq. C.20})$$

Taula C.21. Vida útil de referència (font: Aguado et al., 2017)

Material	Vida útil (VU)
Acer (A)	75
Acer inoxidable (INOX)	85
Ferro galvanitzat (GALV)	75
Fibrociment (U)	70
Formigó armat amb junta retacada (B)	75
Formigó armat amb junta soldada (BS)	80
Fosa dúctil (FD)	100
Fosa gris (FG)	75
Obra de fàbrica (MINA)	75
Palosca (PAL)	75
Policlorur de vinil (PVC)	50
Policlorur de vinil orientat (PVCO)	50
Polièster reforçat amb fibra de vidre (PRFV)	50
Polietilè d'alta densitat (PEA)	50
Polietilè de baixa densitat (PEB)	45
Polietilè de mitja densitat (PEM)	50

Determinat l'Estat del tram aquest es normalitza ($ENor$) segons l'escala de nivells d'estat (0 – 3) presentada a la Taula C.22.

Taula C.22. Taula Estat del tram (E_{Tram}) a Estat normalitzat del tram ($ENor$)

Límits Estat Tram (E_{Tram})	Estat Normalitzat tram ($ENor$)
$E_{Tram} < 0,3$	0
$E_{Tram} < 0,6$	1
$E_{Tram} < 0,9$	2
$E_{Tram} \geq 0,9$	3

Un cop s'ha normalitzat l'estat de cadascun dels trams de l'inventari, s'obté l'estat de la xarxa de producció (Eq. C.21), la de transport (Eq. C.22) i la de distribució (Eq. C.23) ponderant l'estat dels trams que pertanyen a les divisions esmentades pel volum d'aigua que aquestes canonades poden transportar. On l'ENor és l'estat normalitzat obtingut segons els criteris definits a la Taula C.22 de cada tram de la xarxa; V_p, V_t, V_d és el volum de cadascun dels trams de la xarxa de producció, transport i distribució, respectivament.

$$EA_{xarxa_{producció}} = \frac{\sum ENor_p \cdot V_p}{\sum V_p + \sum V_t + \sum V_d} \quad (\text{Eq. C.21})$$

$$EA_{xarxa_{transport}} = \frac{\sum ENor_t \cdot V_t}{\sum V_p + \sum V_t + \sum V_d} \quad (\text{Eq. C.22})$$

$$EA_{xarxa_{distribució}} = \frac{\sum ENor_d \cdot V_d}{\sum V_p + \sum V_t + \sum V_d} \quad (\text{Eq. C.23})$$

C.7. EDIFICIS

Les instal·lacions que es troben dins de la partida gestió edificis són edificis tant administratius com comercials (d'atenció als clients). Els edificis que són sensibles de rebre inversió i que es troben dins de l'àmbit d'abastament són: el de Collblanc, el de Badalona, el de Consell de Cents, el de Gavà, el d'Hospitalet i el de Pallars, addicionalment, hi ha els edificis de l'ETAP de Sant Joan Despí i els de la central Cornellà.

Per al càlcul de l'estat dels actius edificis, s'analitzen els diferents elements identificats que componen principalment aquesta tipologia d'actius: infraestructures bàsiques, instal·lacions de climatització, obra civil i equipaments interiors. El resultat de l'avaluació de l'estat d'aquests elements juntament amb els pesos assignats a cadascun d'ells permeten obtenir el valor d'estat dels edificis. La Taula C.23 presenta els elements i els pesos que s'ha assignat a cadascun d'aquests elements.

Taula C.23. Detall elements del sistema i pesos assignats: Edificis

Sistemes	Elements	Pes dels elements (ρ)
Edificis		
	Infraestructures bàsiques (electricitat, aigua, ACS,...)	$\rho_1 = 25\%$
	Instal·lacions de climatització	$\rho_2 = 25\%$
	Obra Civil (estructures...)	$\rho_3 = 20\%$
	Equipament Interior	$\rho_4 = 30\%$

Per avaluar cadascun dels elements definits a la Taula C.23 s'utilitzen els criteris de nivell d'estat que es presenten a la Taula C.24.

Taula C.24. Nivells d'estat dels elements dels edificis

Puntuació i descripció	Descripció de l'estat
0 – Bon Estat	No presenta deteriorament significatiu. No es preveu una renovació a curt termini.
1 – Necessitat de Millora	Indicis de deteriorament o envelliment. Es preveu que necessitarà una renovació a mig termini. Es detecten oportunitats de millora (eficiència, costos, ús, confort,...)
2 – Mal Estat	S'identifica una necessitat de renovació a curt termini.
3 – Molt Mal Estat	Presenta problemes i necessita una actuació urgent. S'identifica una necessitat de renovació immediata.

L'estat dels edificis ($E_{edifici}$), segons l'Eq. C.24, és la suma ponderada de la puntuació de cadascun dels elements que componen els edificis pel pes que tenen aquests elements (ρ_i), segons la Taula C.23.

$$E_{edifici} = \frac{\rho_1 \cdot P IB + \rho_2 \cdot P IC + \rho_3 \cdot P OC + \rho_4 \cdot P EI}{100} \quad (\text{Eq. C.24})$$

On:

- $P IB$: és la puntuació Infraestructures bàsiques
- $P IC$: és la puntuació Instal·lacions de climatització
- $P OC$: és la puntuació Obra civil
- $P EI$: és la puntuació Equipament interior

En aquest cas, el pas de normalització d'estat no és necessari ja que l'estat obtingut segons l'Eq. C.24 ja és un valor entre 0 – 3. Així doncs, l'estat dels actius edificis com que tots pertanyen a la mateixa divisió, gestió edificis, és el resultat d'aplicar l'Eq. C.25 realitzant una suma ponderada de cada estat dels edificis pel nombre de treballadors ($N^{\circ}Treb$) d'aquell edifici i entre el nombre total de treballadors.

$$EA_{edificis} = \frac{\sum E_{edifici} \cdot N^{\circ}Treb_i}{\sum N^{\circ}Treb_i} \quad (\text{Eq. C.25})$$

C.8. SISTEMES D'INFORMACIÓ

C.8.1 Introducció

A continuació es detalla la metodologia desenvolupada per a l'avaluació de l'estat dels sistemes d'informació, incloent el software, el hardware i les comunicacions. Així calcular el Nivell d'Obsolescència Global (NOG) dels sistemes d'informació, segons l'Eq. C.26, cal estimar el Nivell d'Obsolescència estructural (NOE), el Nivell d'Obsolescència funcional (NOF) i el Nivell d'Obsolescència tecnològic (NOT).

$$NOG = 0,5 \cdot NOE + 0,3 \cdot NOF + 0,2 \cdot NOT \quad (\text{Eq. C.26})$$

El NOG es calcula com la mitjana ponderada entre NOE, el NOF i el NOT. Tant el NOG com el NOE, el NOF i el NOT poden adoptar valors entre 0 i 3. On el 0 representa un molt bon estat dels sistemes i el 3 uns sistemes molt obsolets. El NOE, el NOF i el NOT es determinen com la mitjana de les puntuacions (nivells d'obsolescència) obtingudes a les preguntes referents al NOE, NOF i NOT respectivament.

A continuació es presenten les preguntes proposades per a avaluar l'estat dels sistemes d'informació. La l'apartat C.8.2 es presenten les preguntes que fan referència als softwares, a l'apartat C.8.3 es recullen les preguntes que fan referència als hardwares i a l'apartat C.8.3 les preguntes referents a les comunicacions.

C.8.2 Preguntes referents als softwares

A continuació s'inclouen les 11 preguntes per avaluar l'estat dels softwares d'Aigües de Barcelona, amb les possibles respostes i els valors del NOE, NOF i NOT corresponents.

1. Temps aproximat de funcionament restant <NOE> referència 4 anys

Taula C.25. Resposta pregunta 1 softwares

Resposta	NOE
≥ 90% de la referència (3,6 anys)	0
≥ 30% (1,2 anys) i < 90% (3,6 anys)	1
< 30% (1,2 anys)	2
0	3

2. Necessitat d'adaptació a nous entorns hardware o sistemes o desenvolupaments d'interfases <NOT>

Taula C.26. Resposta pregunta 2 softwares

Resposta	NOT
No es detecta	0
Baixa	1
Mitja	2
Alta	3

3. Existeix alternativa que millora prestacions <NOT>

Taula C.27. Resposta pregunta 3 softwares

Resposta	NOT
No existeix alternativa o és equivalent a l'actual	0
Arriscat o solució bastant més cara que cost actual	1
Millora lleugerament les prestacions	2
Millora notablement les prestacions	3

4. Temps de vigència del manteniment de SOFT <NOF> referència 4 anys

Taula C.28. Resposta pregunta 4 softwares

Resposta	NOF
≥ 90% de la referència (3,6 anys)	0
≥ 30% (1,2 anys) i < 90% (3,6 anys)	1
< 30% (1,2 anys)	2
0	3

5. Temps de resposta del manteniment <NOF> referència 12 hores

Taula C.29. Resposta pregunta 5 softwares

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (3,6 h)	1
≥ 30% (3,6 h) i < 90% (10,8 h)	2
≥ 90% (10,8 h)	3

6. Freqüència d'actuacions de manteniment <NOF> referència 5 al mes

Taula C.30. Resposta pregunta 6 softwares

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (1,5 al mes)	1
≥ 30% (1,5 al mes) i < 90% (4,5 al mes)	2
≥ 90% (4,5 al mes)	3

7. Freqüència dels "no funcionaments" <NOF> referència 9 cada any

Taula C.31. Resposta pregunta 7 softwares

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (2,7 a l'any)	1
≥ 30% (2,7 a l'any) i < 90% (8,1 a l'any)	2
≥ 90% (8,1 a l'any)	3

8. Durada dels "no funcionaments" <NOF> referència 12 hores

Taula C.32. Resposta pregunta 8 softwares

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (3,6 h)	1
≥ 30% (3,6 h) i < 90% (10,8 h)	2
≥ 90% (10,8 h)	3

9. Nombre d'entrades al log d'errors <NOF> referència 6 per usuari i mes

Taula C.33. Resposta pregunta 9 softwares

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (1,8 per usuari i mes)	1
≥ 30% (1,8 per usuari i mes) i < 90% (5,4 per usuari i mes)	2
≥ 90% (5,4 per usuari i mes)	3

10. Tendència de les incidències de funcionament <NOF>

Taula C.34. Resposta pregunta 10 softwares

Resposta	NOF
Reducció	0
Pla	1
Pujada moderada	2
Pujada important	3

11. Necessitats d'accés a dades <NOF>

Taula C.35. Resposta pregunta 4 softwares

Resposta	NOF
Resident client	0
Intranet	1
Internet	2
Recepció o enviament de dades on-line	3

C.8.3 Preguntes referents als hardwares

A continuació s'inclouen les 13 preguntes per avaluar l'estat dels hardwares d'Aigües de Barcelona, amb les possibles respostes i els valors del NOE, NOF i NOT corresponents.

1. Temps aproximat de funcionament restant <NOE> referència 5 anys

Taula C.36. Resposta pregunta 1 hardwares

Resposta	NOE
≥ 4,5 anys	0
≥ 1,5 anys i < 4,5 anys	1
< 1,5 anys	2
0	3

2. Vulnerabilitat en cas d'atac <NOF>

Taula C.37. Resposta pregunta 2 hardwares

Resposta	NOF
No es detecta	0
Baixa	1
Mitja	2
Alta	3

3. Existeix alternativa que millora prestacions <NOT>. Percentatge de millora respecte a l'actual:

Taula C.38. Resposta pregunta 3 hardwares

Resposta	NOT
No es detecta	0
Baixa	1
Mitja	2
Alta	3

4. Temps restant de vigència del manteniment de SOFT <NOF> referència 4 anys

Taula C.39. Resposta pregunta 4 hardwares

Resposta	NOF
≥ 90% de la referència (3,6 anys)	0
≥ 30% (1,2 anys) i < 90% (3,6 anys)	1
< 30% (1,2 anys)	2
0	3

5. Temps de resposta del manteniment <NOF> referència 12 hores

Taula C.40. Resposta pregunta 5 hardwares

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (3,6 h)	1
≥ 30% (3,6 h) i < 90% (10,8 h)	2
≥ 90% (10,8 h)	3

6. Freqüència d'actuacions de manteniment <NOF> referència 5 al mes

Taula C.41. Resposta pregunta 6 hardwares

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (1,5 al mes)	1
≥ 30% (1,5 al mes) i < 90% (4,5 al mes)	2
≥ 90% (4,5 al mes)	3

7. Freqüència dels "no funcionaments" <NOF> referència 9 cada any

Taula C.42. Resposta pregunta 7 hardwares

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (2,7 a l'any)	1
≥ 30% (2,7 a l'any) i < 90% (8,1 a l'any)	2
≥ 90% (8,1 a l'any)	3

8. Durada dels “no funcionaments” <NOF> referència 12 hores

Taula C.43. Resposta pregunta 8 hardwares

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (3,6 h)	1
≥ 30% (3,6 h) i < 90% (10,8 h)	2
≥ 90% (10,8 h)	3

9. Nombre d'entrades al log d'errors <NOF> referència 6 per usuari i mes

Taula C.44. Resposta pregunta 9 hardwares

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (1,8 per usuari i mes)	1
≥ 30% (1,8 per usuari i mes) i < 90% (5,4 per usuari i mes)	2
≥ 90% (5,4 per usuari i mes)	3

10. Tendència de les incidències de funcionament <NOF>

Taula C.45. Resposta pregunta 10 hardwares

Resposta	NOF
Reducció	0
Pla	1
Pujada moderada	2
Pujada important	3

11. Necessitats d'accés a dades <NOF>

Taula C.46. Resposta pregunta 11 hardwares

Resposta	NOF
Resident client	0
Intranet	1
Internet	2
Recepció o enviament de dades on-line	3

12. Grau d'adequació de les redundàncies a la criticitat dels SOFTS associats <NOF>

Taula C.47. Resposta pregunta 12 hardwares

Resposta	NOF
Alt	0
Mig	1
Baix	2
Inadequat	3

13. Relació entre ús i capacitat <NOF>

Taula C.48. Resposta pregunta 13 hardwares

Resposta	NOF
0	0
< 30%	1
≥ 30% i < 90%	2
≥ 90%	3

C.8.4 Preguntes referents a les comunicacions

A continuació s'inclouen les 6 preguntes per avaluar l'estat dels softwares d'Aigües de Barcelona, amb les possibles respostes i els valors del NOE, NOF i NOT corresponents.

1. Temps aproximat de funcionament restant <NOE>

Taula C.49. Resposta pregunta 1 comunicacions

Resposta	NOE
≥ 4,5 anys	0
≥ 1,5 anys i < 4,5 anys	1
< 1,5 anys	2
0	3

2. Microtalls de comunicació <NOF> referència 5 al mes

Taula C.50. Resposta pregunta 2 comunicacions

Resposta	NOF
No es detecta	0
Baixa	1
Mitja	2
Alta	3

3. Durada dels talls <NOF> resposta referència 3 hores

Taula C.51. Resposta pregunta 3 comunicacions

Resposta	NOF
0	0
< 30% de la referència (0,9 h)	1
≥ 30% (0,9 h) i < 90% (2,7 h)	2
≥ 90% (2,7 h)	3

4. Relació entre demanda i capacitat <NOF> referència 100%

Taula C.52. Resposta pregunta 4 comunicacions

Resposta	NOF
0	0
< 30%	1
≥ 30% i < 90%	2
≥ 90%	3

5. Grau d'adequació de la qualitat i la garantia de les comunicacions a la criticitat dels Softwares i usuaris <NOF>

Taula C.53. Resposta pregunta 5 comunicacions

Resposta	NOF
Alt	0
Mig	1
Baix	2
Inadequat	3

6. Grau d'adequació de la qualitat i la garantia de les comunicacions a la criticitat dels Softwares i usuaris

Taula C.54. Resposta pregunta 6 comunicacions

Resposta	NOF
Alt	0
Mig	1
Baix	2
Inadequat	3

C.9. LABORATORI

Per avaluar l'estat dels actius del laboratori de Collblanc, s'utilitza l'inventari dels equips i instruments necessaris per poder dur a terme la seva activitat. L'inventari consisteix en disposar del llistat de tots els equips i instruments amb la següent informació:

- Any instal·lació (A Inst)
- Vida útil estimada en anys (VUE): és la vida útil ideal que hauria de durar cadascun dels aparells, durant la qual no s'espera canviar l'equip o l'instrument.

- Recurrència (R): nombre d'equips disponibles capaços de fer la mateixa feina
- Freqüència d'ús (F): el percentatge de temps que s'utilitza l'equip o l'instrument, s'utilitza una escala de 5 valors (0%; 25%; 50%; 75%; 100%).
- Criticitat (C): l'escala utilitzada pels experts es presenta a la Taula C.55.

Taula C.55. Nivells de criticitat (C)

Descripció	No crític	Lleugerament crític	Molt crític
Puntuació	0	1	2

En primer lloc, es calcula el romanent de vida útil pràctica (RVUP) per cada equip i instrument segons l'Eq. C.27:

$$RVUP_i = (A_{Inst_i} + VUE_i) - any\ actual \quad (Eq. C.27)$$

Seguidament, es calcula l'estat dels equips i els instruments (EE_{Equi_i}) del laboratori segons l'Eq. C.28:

$$EE_{Equi_i} = \frac{C_i}{2} \cdot \left(\frac{1}{\max(1; RVUP_i)} + \frac{1}{R_i} + F_i \right) \quad (Eq. C.28)$$

En aquest cas, degut a la curta vida útil, s'ha estimat necessari calcular el nivell d'obsolescència dels equips. Aquests $NObsol$ es calcula com l'any actual (*any actual*) menys l'any d'instal·lació (A_{Inst}) entre l'any actual (*any actual*) més la vida útil estimada (VUE) segons l'Eq. C.29 on i és cadascun dels equips.

$$NObsol_i = \frac{any\ actual - A_{Inst_i}}{any\ actual + VUE_i} \quad (Eq. C.29)$$

Taula C.56. Taula Estat de les centrals ($E_{central}$) a Estat normalitzat de la central ($ENor$)

Límits $NObsol$	Estat Normalitzat Central (ENor)
$NObsol_i < 0,3$	0
$NObsol_i < 0,6$	1
$NObsol_i < 0,9$	2
$NObsol_i \geq 0,9$	3

El nivell de risc per obsolescència ($NRiscObsol$) depèn de la recurrència (R), de la freqüència d'ús (F) i de la criticitat (C) i es calcula segons l'Eq. C.30 on i és cadascun dels equips.

$$NRiscObsol_i = \left(\frac{5 - R_i}{4} \right) \cdot F_i \cdot C_i \quad (Eq. C.30)$$

L'estat del sistema laboratorí (EA_{lab}), segons l'Eq. C.31, resulta de la suma ponderada entre el nivell d'obsolescència ($NObsol$) i nivell de risc per obsolescència ($NRiscObsol$).

$$EA_{lab} = \frac{\sum NObsol_i \cdot NRiscObsol_i}{\sum NRiscObsol_i} \quad (\text{Eq. C.31})$$

ANNEX D

Matrius de contribució Subpartides

D.1. INTRODUCCIÓ

El present annex conté les matrius de contribució per les subpartides de Producció, Transport i Distribució. Aquestes estan degudament complimentades (amb la versió que correspondria al PI2020) pels responsables de cada àrea que han estat els encarregats d'avaluar el grau de contribució que té invertir en cada subpartida sobre els indicadors de l'arbre de decisió. També es presenten els arguments que justifiquen els valors presentats. L'escala del 0 – 5 utilitzada per a l'avaluació d'aquestes subpartides s'ha presentat a la Taula 6.9.

Per altra banda, també es presenta la taula que recull el resum dels resultats obtinguts a l'anàlisi de sensibilitat del Capítol 8.

D.2. MATRIUS SUBPARTIDES

Aquesta apartat conte les tres matrius de contribució on es mostra pels 12 indicadors la contribució que els tècnics experts (grups de relació interns de l'empresa) han complimentat tenint en compte la repercussió que tindria una inversió en cadascuna de les subpartides sobre els indicadors.

En aquest cas, es presenten les matrius amb els indicadors d'*Infraestructures subterrànies* i *Coordinació de Plans* degudament complimentades, tot i que actualment no

s'han pogut calcular, s'ha demanat avaluar el grau de contribució per tenir-los disponibles en el moment en que es disposi d'aquesta informació per poder calcular l'indicador.

Per altra banda, l'indicador *Índex Econòmic* enlloc de ser avaluat segons el grau de contribució s'estima com la mitjana percentual dels tres últims plans d'Inversions.

En primer lloc, a la Taula D.1 es presenta la matriu de contribució de les subpartides de Producció a la Taula D.2 la matriu de contribució de les subpartides de Transport i finalment, a la Taula D.3 es presenta la matriu de contribució de les subpartides de Distribució.

Taula D.1. Matriu de contribució de les subpartides de Producció (versió PI2020)

Indicadors	Partida Producció						
	Ampliació de xarxa	Renovació de xarxa	Ampliació d'instal·lacions electro-mecàniques	Adequació i renovació d'instal·lacions electró-mecàniques	Ampliació de tractament	Renovació de tractament	Control Operatiu
Garantia de Subministrament	2	2	4	1	1	3	0
Percepció del servei	0	0	0	4	2	2	0
Eficiència de la prestació	0	0	0	2	3	3	2
Mobilitat	0	1	0	0	0	0	0
Infraestructures subterrànies	0	0	0	0	0	0	0
Coordinació de Plans	1	1	0	0	0	0	0
Seguretat i Salut Laboral	0	0	0	5	0	5	0
Consum eficient d'Aigua	0	1	0	0	1	2	1
Consum eficient d'Energia	0	0	0	5	2	2	0
Petjada de CO ₂	0	0	1	3	0	3	0
Biodiversitat	0	0	0	5	0	0	0
Índex Econòmic	% Històric Pla Inversions (mitjana dels últims 3 anys)						

A la Taula D.1 s'observa una contribució màxima per aquelles inversions realitzades a la subpartida d'adequació i renovació d'instal·lacions electró-mecàniques sobre els

indicadors de seguretat i salut laboral, consum eficient d'energia i biodiversitat. Les inversions en aquest sentit es realitzen per actualitzar les instal·lacions fent que aquestes siguin més segures i el seu rendiment sigui millor per tant hi ha un impacte sobre el consum eficient d'energia. Per altra banda, al renovar les instal·lacions hi ha un potencial elevat de realitzar una naturalització de l'espai. Els tècnics experts també han assignat una puntuació màxima (5) de contribució de la inversió en renovació del tractament sobre l'indicador de seguretat i salut laboral. Les automatitzacions que s'implanten en aquestes renovacions eviten que els operaris hagin de realitzar moltes tasques fent que aquestes siguin més segures.

Taula D.2. Matriu de contribució de les subpartides de Transport (versió PI2020)

Indicadors	Partida Transport			
	Renovació Xarxa	Renovació instal·lacions	Ampliació Xarxa	Ampliació instal·lacions
Garantia de Subministrament	3	3	5	5
Percepció del servei	5	2	0	0
Eficiència de la prestació	5	4	2	2
Mobilitat	5	0	0	0
Infraestructures subterrànies	5	0	0	0
Coordinació de Plans	5	0	0	0
Seguretat i Salut Laboral	0	5	0	0
Consum eficient d'Aigua	4	1	1	1
Consum eficient d'Energia	2	5	2	2
Petjada de CO ₂	0	4	0	2
Biodiversitat	0	5	0	0
Índex Econòmic	% Històric Pla Inversions (mitjana dels últims 3 anys)			

A la Taula D.2 s'observa una contribució màxima de la inversió en renovació de la xarxa sobre els indicadors de: percepció del servei, eficiència de la prestació, mobilitat, infraestructures subterrànies i coordinació de plans. La inversió en renovació de xarxa fa que aquesta sigui més fiable i per tant, té un impacte sobre els indicadors que tenen un efecte directe sobre les persones i la ciutat. Per altra banda, també hi ha consum eficient

d'aigua al realitzar aquesta renovació les fuites es veuen reduïdes. Invertir en renovació d'instal·lacions, com en el cas de producció, té un impacte sobre l'indicador de seguretat i salut laboral, l'eficiència d'energia i la biodiversitat. Aprofitant la renovació per instal·lar equips més eficients i a la vegada naturalitzar l'espai. Per altra banda, la inversió en ampliació tant de xarxa com d'instal·lacions té un impacte màxim sobre la garantia de subministrament, proporcionant més alternatives i fiabilitat sobre el sistema d'abastament.

Taula D.3. Matriu de contribució de les subpartides de Distribució (versió PI2020)

Indicadors	Partida Distribució					
	Ampliació i reforç de xarxa, instal·lacions i mecanismes de distribució	Pla millora rendiment de distribució	Renovació vàlvules, mecanisme i dataloggers	Ampliació escomeses	Renovació escomeses	Renovació de xarxa de distribució
Garantia de Subministrament	0	0	0	0	0	0
Percepció del servei	0	0	2	3	3	5
Eficiència de la prestació	3	0	3	0	3	5
Mobilitat	0	5	3	0	3	3
Infraestructures subterrànies	1	0	0	0	0	5
Coordinació de Plans	0	0	0	0	0	5
Seguretat i Salut Laboral	4	4	0	0	0	4
Consum eficient d'Aigua	0	0	1	0	1	1
Consum eficient d'Energia	0	5	0	0	4	5
Petjada de CO ₂	0	5	0	0	4	5
Biodiversitat	1	1	1	2	3	5
Índex Econòmic	% Històric Pla Inversions (mitjana dels últims 3 anys)					

A la Taula D.3 s'observa una contribució màxima quan s'inverteix en pla de millora del rendiment sobre els indicadors de: mobilitat, consum eficient d'energia i petjada de CO₂. Per altra banda, la inversió en renovació de la xarxa també té un impacte màxim sobre els

indicadors de: percepció del servei, eficiència de la prestació, infraestructures subterrànies, coordinació de plans, consum eficient d'energia, petjada de CO₂ i biodiversitat.

D.3. REPARTIMENT INVERSIÓ ANÀLISI SENSIBILITAT

La Taula D.4 recull la proposta de repartiment d'una inversió de 40 milions d'euros que s'obtidria utilitzant les importàncies relatives obtingudes per cadascun dels escenaris plantejats al Capítol 8.

Taula D.4. Proposta repartiment de la inversió (40M€) per partides i subpartides dels diferents escenaris

Partides i Subpartides	1	2	3	4
<i>Ampliació de xarxa</i>	198.871	105.932	163.659	331.452
<i>Renovació de xarxa</i>	253.720	165.870	220.444	380.490
<i>Ampliació d'instal·lacions electro-mecàniques</i>	434.035	528.807	469.160	694.735
<i>Adequació i renovació d'instal·lacions electro-mecàniques</i>	1.118.555	4.707.225	2.560.041	2.221.310
<i>Ampliació de tractament</i>	1.072.736	759.151	931.832	901.578
<i>Renovació de tractament</i>	802.203	1.768.176	1.201.339	1.380.851
<i>Control Operatiu</i>	70.900	47.315	58.767	18.476
Producció	3.951.021	8.082.477	5.605.242	5.928.894
<i>Adequació i renovació de la xarxa de transport</i>	6.059.227	5.101.328	5.807.305	7.205.611
<i>Adequació i renovació instal·lació i mecanismes transport</i>	2.955.164	4.071.377	3.377.899	2.961.806
<i>Ampliació de la xarxa de transport</i>	2.233.223	1.184.252	1.799.619	2.172.654
<i>Ampliació de les instal·lacions i mecanismes de transport</i>	1.967.615	1.130.769	1.637.706	2.174.821
Transport	13.215.228	11.487.726	12.622.530	14.514.892
<i>Ampliació i reforç de xarxa, instal·lacions i mecanismes de distribució</i>	1.066.711	417.117	737.358	51.418
<i>Pla millora rendiment de distribució</i>	2.180.128	1.023.009	1.683.059	1.566.136
<i>Renovació vàlvules, mecanisme i dataloggers</i>	573.750	293.443	439.729	333.330
<i>Ampliació escomeses</i>	1.649.881	715.398	1.207.892	930.999
<i>Renovació escomeses</i>	2.284.035	1.217.257	1.861.013	2.452.007
<i>Renovació de xarxa de distribució</i>	11.533.409	10.865.108	11.252.859	10.909.161
Distribució	19.287.915	14.531.332	17.181.910	16.243.051
<i>Control Operatiu</i>	634.878	746.687	744.954	1.237.602
<i>Laboratori</i>	165.214	336.567	243.788	130.409
<i>Sistemes d'informació</i>	2.066.962	2.408.577	2.197.295	784.458
<i>Subministraments (Telelectura)</i>	263.369	196.411	267.363	636.259
<i>Recursos hídrics alternatius</i>	2.186	612	1.399	0
<i>Facility</i>	413.228	2.209.612	1.135.519	524.435
Resta d'Àmbits	3.545.836	5.898.466	4.590.318	3.313.164
	40.000.000	40.000.000	40.000.000	40.000.000

GLOSSARI

Boca d'aire: element puntual instal·lat a la xarxa, la funció principal del qual és la introducció o extracció d'aire durant les operacions de buidat o ompliment de les canonades. També s'utilitza per mesurar la pressió de la xarxa. Aquest element porta implícita la instal·lació d'una vàlvula de seccionament.

Cap extrem: element puntual instal·lat a la xarxa que determina el final d'una canonada.

Central d'elevació: edifici que allotja al seu interior una o més impulsions.

Descàrrega: element lineal instal·lat a la xarxa i utilitzat per a buidar la canonada. Porta implícita la instal·lació d'una vàlvula de seccionament. La descàrrega ha d'estar, obligatòriament, connectada a una canalització. Si la funció de la canalització a la qual està connectada la descàrrega és, exclusivament, conduir l'aigua des de la xarxa des distribució fins a la canalització, la canalització en la seva totalitat serà considerada com a descàrrega.

Dipòsit: element de la xarxa que permet emmagatzemar aigua per a la seva posterior distribució. Segons la seva funció pot ser de:

- *Dipòsit de Capçalera:* quan constitueix el punt d'origen de l'alimentació d'aigua del consum que regula. Conseqüentment, el dipòsit tindrà una conducció d'entrada i una conducció de sortida independents.
- *Dipòsit de Cua:* quan el consum que regula està situat entre el mateix dipòsit i el punt d'origen de l'alimentació d'aigua. El dipòsit tindrà una única conducció d'entrada i sortida.

- **Dipòsit de Capçalera i Cua:** quan el dipòsit regula dos consums, un en situació de capçalera i l'altre en situació de cua. Conseqüentment, la conducció d'entrada serà també de sortida pel primer consum, metre que hi haurà una altra conducció de sortida exclusivament pel segon consum.

Element de reducció: element puntual instal·lat a la xarxa que redueix la pressió, mantenint constant el valor aigües avall, independentment del cabal circulant.

Hidrant: element puntual instal·lat a la xarxa, la funció principal del qual és l'extracció d'aigua per a l'extinció d'incendis o càrrega de vehicles de bombers. Es caracteritza per estar equipat amb un ràcord estàndard tipus "Barcelona" i estar ubicat en la via pública, en un pou amb tapa vermella amb la inscripció "INCENDIS". En cas de necessitat, també pot ser utilitzat per a l'extracció d'aire de les canonades. Porta implícita la instal·lació d'una vàlvula de seccionament.

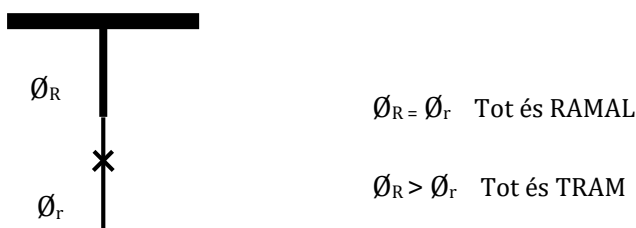
Impulsió: element puntual que representa la instal·lació formada per un o més grups de bombes, amb l'objectiu d'augmentar la pressió de l'aigua, generalment, per fer-la arribar fins a un dipòsit.

Macrosector: superfície corresponent a una part de la xarxa de distribució, perfectament delimitada, de la que es coneixen i es controlen totes les seves entrades i sortides. Un macrosector pot incloure un o més **sectors**, és a dir, es pot donar el fet que algun sector coincideixi amb el **macrosector** prèviament definit.

Pis de pressió: superfície que representa una subdivisió compacta i connexa del sistema d'abastament, on l'aigua circula amb una única cota piezomètrica de referència. En conseqüència, els límits d'un pis de pressió són, per una banda, les vàlvules separadores (per tant, segellades i tancades) i, per l'altra, aportacions, pous, dipòsits, centrals d'impulsió, reductors de pressió, arquetes trencadores de càrrega i/o vàlvules reguladores de pressió, que imposen una cota piezomètrica coherent.

Ramal o escomesa: element lineal instal·lat a la xarxa mitjançant el qual es subministra aigua al client, i que enllaça la canonada de la xarxa de distribució amb la instal·lació general del client, entenent aquesta a partir de la sortida de la clau de pas. El ramal ha d'estar, obligatòriament, connectat a una canalització. Si la funció de la canalització a la qual està connectat el ramal és exclusivament conduir l'aigua des de la xarxa de distribució fins al ramal, llavors:

- Si el diàmetre de la canalització coincideix amb el diàmetre del ramal, la canalització, en la seva totalitat, serà considerada com a *ramal*.
- Si el diàmetre de la canalització és superior al diàmetre del ramal, la canalització, en la seva totalitat, serà considerada com a **tram**.



El ramal es divideix en dos trams:

- *Tram 1:* és la part del ramal compresa entre la presa i la clau de registre inclosa.
- *Tram 2:* és la part del ramal compresa des de la sortida de la clau de registre fins a la clau de pas inclosa.

En el cas de que sobre un ramal hi hagués més d'una clau de registre, únicament es considerarà com a clau de registre la situada més a prop del client, ja que qualsevol altra realitzaria funcions similars a una vàlvula de xarxa. En aquest cas, es consideraria com a tram 1 del ramal, la part compresa entre la canonada de xarxa, i la última clau de registre.

Sector o sector hidràulic: superfície corresponent a una part de la xarxa de distribució, perfectament delimitada, de la que es coneixen i es controlen totes les seves entrades i sortides.

Sector arterial: superfície corresponent a una part de la xarxa de transport, perfectament delimitada, de la que es coneixen i es l'entrada i sortida d'aigua.

Subtram: element fictici no inventariat que correspon a un segment d'un tram delimitat per l'inici i/o el final d'aquest i/o amb una vàlvula de seccionament.

Tram: canalització que connecta dos elements de la xarxa. Es tracta d'un element d'inventari de longitud variable, compost pel mateix material i diàmetre en tota la seva longitud i amb una data d'instal·lació determinada.

Tancament: element fictici no inventariat que correspon a la zona que queda aïllada quan un tram s'avaria, i és composta per un conjunt de trams i vàlvules que queden aïllades.

Vàlvula: element puntual instal·lat a la xarxa que permet interrompre, total o parcialment, el pas de l'aigua per les canonades. Els tipus de vàlvules que es poden trobar a la xarxa són: comporta, papallona i antiretorn. Segons el seu estat pot estar: oberta, tancada o regulant. Per altra banda, segons la seva funció poden ser:

- *Vàlvula separadora.* És aquella que determina el límit d'un pis de pressió, o un sector de la xarxa.

- *Vàlvula reguladora.* Té com a funció: mantenir el cabal o la pressió aigües avall dins d'uns marges, produir una pèrdua de pressió constant independentment del cabal circulat o de la pressió existent aigües amunt, i, incloure les vàlvules telecomandades des de control centralitzat.
- *Vàlvula de retenció.* És aquella que només permet la circulació de l'aigua en un sentit.
- *Vàlvula de seccionament.* És aquella vàlvula que aïlla un tram o un element de la xarxa, permetent o interrompent el pas de l'aigua.

NOTACIÓ I SÍMBOLS

Símbols	Nomenclatura
$\%IAT$	Percentatge d'inversió anual teòrica
$\%IR$	Percentatge importància relativa
$\%P$	Percentatge pressupost consumit
$\%PF$	Percentatge pressupost final
$\%PX$	Percentatge de xarxa
$\%QN_{gestió}$	Percentatge Cabal nominal de gestió
$\%V_{AP}$	Percentatge Volum aigua produïda
V_d	Volum interior dels trams xarxa distribució
V_p	Volum interior dels trams xarxa producció
V_t	Volum interior dels trams xarxa transport
φ_1	Factor d'exposició exterior
φ_2	Factor de tipus de terreny
φ_3	Factor de nivell d'execució
φ_4	Factor de nivell de manteniment
φ_A	Representa la qualitat del material utilitzat
φ_B	Reflecteix el nivell de refugi i protecció enfront agents meteorològics
φ_C	Considera el nivell de destresa de les obres, nivell de control a l'obra
φ_D	Considera l'exposició interior a agents de degradació i la seva severitat
φ_E	Considera l'exposició exterior a agents de degradació i la seva severitat
φ_F	Representa els efectes d'ús de la construcció que produeixen desgast
φ_G	Reflecteix el nivell de manteniment
A	Acer
AB	Aigües de Barcelona
ACA	Agència Catalana de l'Aigua
ACB	Anàlisi Cost Benefici

<i>AEAS</i>	Associació Espanyola d'Abastament d'Aigua i Sanejament
<i>AISA</i>	Afectació a les infraestructures subterrànies per avaria
<i>AMA</i>	Afectació a la Mobilitat per Avaria
<i>AMB</i>	Àrea Metropolitana de Barcelona
<i>ANR</i>	Aigua No Registrada
<i>AP</i>	Aigua perduda estimada
<i>APH</i>	Procés Analític de Jerarquia
<i>APO</i>	Afectació a la Percepció Organolèptica
<i>ASA</i>	Afectació al Servei per Avaria
<i>ATL</i>	Ens d'Abastament d'Aigua Ter-Llobregat
<i>AVR</i>	Avaluació de riscos
<i>AWARE-P</i>	Advanced Water Asset Rehabilitation in Portugal
<i>B</i>	Formigó armat amb junta retacada
<i>BDI</i>	Benefici Després d'Impostos
<i>BIO</i>	Indicador de Biodiversitat
<i>BS</i>	Formigó armat amb junta soldada
<i>BSC</i>	Barcelona Supercomputing Center
<i>C</i>	Conseqüències o el dany associat
<i>Ca</i>	Capacitat actual
<i>CAPEX</i>	CApital EXpenditure
<i>CARE-W</i>	Computer Aided Rehabilitation of Water Networks
<i>CCTV</i>	Circuit tancat de televisió
<i>Ce</i>	Consum específic
<i>C_{eq}</i>	Consumidors equivalents
<i>CI</i>	Consistency Index
<i>CO₂</i>	Diòxid de carboni
<i>CO₂ eq</i>	Diòxid de carboni equivalent
<i>COM</i>	Cost d'Oportunitat del Manteniment
<i>CP</i>	Coordinació de plans
<i>CR</i>	Consistency Ratio
<i>CS</i>	Clients sensibles
<i>CSIRO</i>	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
<i>CTT</i>	Coeficient Tècnic Teòric
<i>Dany_{MOB}</i>	Dany sobre la mobilitat
<i>dB</i>	Decibels
<i>DPA</i>	Dany Potencial d'Afectació
<i>DS</i>	Desenvolupament Sostenible
<i>DSO</i>	Direcció de Suport Operatiu
<i>Dur</i>	Durada mitjana
<i>DZ</i>	Direcció de Zona
<i>E</i>	Freqüència en que es presenta una situació
<i>EA</i>	Estat actius
<i>EAA</i>	Estimació d'Aigua Anual
<i>EBIT o BAIT</i>	Earnings Before Interests and Taxes

<i>EBITDA</i>	Earnings Before Interests, Taxes, Depreciations and Amortizations
<i>EBT</i>	Earnings Before Taxes
<i>EC</i>	Energia Consumida
<i>ECE</i>	Energia Consumida Estalviable
<i>ECt</i>	Energia Consumida Teòrica
<i>EDAR</i>	Estació Depuradora d'Aigua Residual
<i>EE</i>	Estimació d'Energia
<i>Ef</i>	Efectivitat
<i>ELM</i>	Extreme Learning Machine
<i>EM</i>	Estat global de manteniment dels dipòsits
<i>EMAESA</i>	Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla S.A
<i>EMU</i>	Estudis de Mobilitat Urbana
<i>ENor</i>	Estat normalitzat
<i>EPA</i>	Estalvi Potencial d'Aigua
<i>EPE</i>	Estalvi Potencial d'Energia
<i>ERSAR</i>	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
<i>ESRI</i>	Environmental Systems Research Institute
<i>ETAP</i>	Estació de Tractament d'Aigua Potable
<i>Ex</i>	Exposició
<i>f</i>	Factibilitat de l'actuació
<i>FD</i>	Fosa dúctil
<i>FEMP</i>	Federació Espanyola de Municipis i Províncies
<i>FG</i>	Fosa grisa
<i>GALV</i>	Ferro Galvanitzat
<i>GarSub</i>	Indicador d'efectes sobre la garantia de subministrament
<i>GC</i>	Grans consumidors
<i>GD 1</i>	Direcció de Zona 1 – Barcelona nord
<i>GD 2</i>	Direcció de Zona 2 – Barcelona sud
<i>GD 3</i>	Direcció de Zona 3 – Llobregat nord
<i>GD 4</i>	Direcció de Zona 4 – Llobregat sud
<i>GD 5</i>	Direcció de Zona 5 – Besòs
<i>GEH</i>	Gasos d'Efecte d'Hivernacle
<i>GIS</i>	Geographic Information System
<i>GN</i>	Grau de Naturalització
<i>GP</i>	Grau de Perillositat
<i>GVAP</i>	Grau de Vinculació de l'Actiu al Procés
<i>GWP</i>	Global-Warming Potential
<i>HabCap</i>	Nombre d'habitants captius
<i>Habitants_{Seq}</i>	Habitants equivalents
<i>HFC</i>	Hidrofluorocarburs
<i>h_{mr}</i>	Alçada manometrica real
<i>IA</i>	Índex d'avaries
<i>IAE</i>	Índex d'avaries estimat
<i>IAM</i>	Institute of Asset Management

<i>IAR</i>	Índex d'avaries real
<i>IAT</i>	inversió anual teòrica o desitjable
<i>ICob</i>	Índex de cobertura
<i>IComercial</i>	Índex comercial
<i>ICS</i>	Índex de Continuitat del Servei
<i>IE</i>	Índex Estratègic
<i>IM</i>	Índex/indicador Mobilitat
<i>IMD</i>	Índex mobilitat trànsit
<i>IMP</i>	Índex mobilitat vianants
<i>Imp A</i>	Impacte associat a l'agrupador d'actius sobre el procés/subprocés
<i>Imp P</i>	Impacte del procés/subprocés sobre l'indicador
<i>INE</i>	Instituto Nacional de Estadística
<i>INOX</i>	Acer inoxidable
<i>INT</i>	Nº d'interrupcions
<i>Ires</i>	Riscos resiliència PDAB26 corresponents als actius de cada partida
<i>IServeis</i>	Índex serveis
<i>ISingulars</i>	Índex singulars
<i>ISiSL</i>	Indicador Seguretat i Salut laboral
<i>ISO</i>	International Organization for Standardization
<i>ITAM</i>	Instal·lació Tractament Aigua Marina
<i>ITurístic</i>	Índex turístic
<i>IV</i>	Impacte Visual
<i>KIT</i>	Karlsruhe Institute of Technology
<i>KPIs</i>	Key Performance Indicators
<i>LEYP</i>	Linear Extension of the Yule Process
<i>LNEC</i>	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
<i>LPIC</i>	Llei de Protecció d'Infraestructures Crítiques
<i>MAUT</i>	Teoria de utilitat multiatribut
<i>MCDM</i>	Mètodes d'anàlisi multicriteri
<i>MImp</i>	Magnitud de l'impacte
<i>MINA</i>	Obra de fàbrica
<i>MIVES</i>	Modelo Integrado de Valor para una Evaluación Sostenible
<i>N₂O</i>	Òxid de nitrogen
<i>NHPP</i>	No Homogeni de Poisson
<i>NOE</i>	Nivell d'Obsolescència Estructural
<i>NOF</i>	Nivell d'Obsolescència Funcional
<i>NOG</i>	Nivell d'Obsolescència Global
<i>NOT</i>	Nivell d'Obsolescència Tecnològic
<i>ODM</i>	Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni
<i>ODS o SDG</i>	Objectius de Desenvolupament Sostenible
<i>OFEX</i>	OFicina En Xarxa d'Aigües de Barcelona
<i>OMS</i>	Organització Mundial de la Salut
<i>ONEMA</i>	Office national de l'eau et des milieux aquatiques
<i>ONU</i>	Organización de las Naciones Unidas

<i>OPEX</i>	Operational Expenditures
<i>Opor_{Eco}</i>	Indicadors d'oportunitat Econòmic
<i>P</i>	Probabilitat
<i>P AT</i>	Puntuació Alta Tensió
<i>P BT</i>	Puntuació Baixa Tensió
<i>P C</i>	Puntuació Caldereria inferior
<i>P CV</i>	Puntuació Caldereria i Valvuleria
<i>P ET</i>	Puntuació Equips Tractament
<i>P GI</i>	Puntuació Grups Impulsió
<i>P OC</i>	Puntuació Obra Civil
<i>P Pint</i>	Puntuació Pintura interior
<i>P Res</i>	Puntuació Recinte
<i>PA</i>	Probabilitat d'Avaria
<i>PAL</i>	Palosca
<i>PARMS</i>	Pipeline Asset And Risk Management System
<i>PDAB26</i>	Pla Director d'Aigües de Barcelona per a l'horitzó de l'any 2026
<i>PDCA</i>	Plan-Do-Check-Act
<i>PDH</i>	Puntuació de Dany Històric
<i>PDM</i>	Pla director de mobilitat
<i>PEA</i>	Polietilè d'alta densitat
<i>PEB</i>	Polietilè de baixa densitat
<i>PEM</i>	Polietilè de mitja densitat
<i>PF</i>	Potencial final
<i>PFC</i>	Perfluorocarbur
<i>PGC</i>	Pla General Comptable
<i>PGx</i>	Potencial Global de la xarxa
<i>PI</i>	Pla d'inversions o Plans d'inversions
<i>PI</i>	Pla d'Inversions
<i>PImp</i>	Potencial de l'impacte
<i>PMH</i>	Model de risc proporcional
<i>PMU o PMUS</i>	Plans de Mobilitat Urbana Sostenible
<i>PNUMA</i>	Programa de Nacions Unides per al Medi Ambient
<i>PO</i>	Percepció Organolèptica
<i>PPO</i>	Puntuació de Percepció Organolèptica
<i>PRFV</i>	Polièster Reforçat amb Fibra de Vidre
<i>PRL</i>	Prevenició de Riscos Laborals
<i>PVC</i>	Policlorur de vinil
<i>PVCO</i>	Policlorur de vinil orientat
<i>Q_b</i>	Cabals bombats
<i>QN_{gestió}</i>	Cabal nominal de gestió
<i>R</i>	Risc
<i>RD</i>	Real decret
<i>REC</i>	Nº de reclamacions
<i>RHA</i>	Risc Històric Avaria

<i>RI</i>	Random Index
<i>RISC_{Cont}</i>	Risc Continuitat
<i>Risc_{Eco}</i>	Indicadors de Risc Econòmic
<i>Risc_{Eficiència}</i>	Risc sobre l'eficiència
<i>RISC_{MOB}</i>	Risc sobre la mobilitat
<i>Risc_{Percepció}</i>	Risc sobre la percepció
<i>RISC_{Res}</i>	Risc Resiliència
<i>RLM</i>	Risc límit màxim
<i>RM</i>	Ramal o escomesa
<i>ROA</i>	Return On Assets
<i>RPA</i>	Risc Potencial Avaria
<i>RPAAM</i>	Risc potencial d'afectació per avaria a la mobilitat
<i>RSSL</i>	Risc de l'indicador de seguretat i salut laboral
<i>SCADA</i>	Supervisory Control And Data Acquisition
<i>SF₆</i>	Hexafluorur de sofre
<i>SIROCO</i>	Système Intégré d'aide au Renouvellement Optimisé des Conduites
<i>SN</i>	Superfície naturalitzable
<i>TDR</i>	Temps de reacció
<i>TIR</i>	Taxa Interna de Rendibilitat
<i>Tm</i>	Tendència de millora
<i>TMR</i>	Temps Mig de Reparació
<i>TRC</i>	Taxa de Rendiment Comptable
<i>TSS</i>	Temps Total Sense Servei
<i>TV</i>	Tipus de Vegetació
<i>t_{VUE}</i>	Temps de vida útil estimada
<i>t_{VUR}</i>	Temps de vida útil de referència
<i>U</i>	Fibrociment
<i>UKWIR</i>	United Kingdom Water Industry Research
<i>V</i>	Grau de Visibilitat
<i>V_{AP}</i>	Volum aigua produïda
<i>VAZ</i>	Valor d'Adquisició de l'actiu a temps Zero
<i>VDH</i>	Valor de Dany Històric
<i>VNAT</i>	Valor Net Actual Teòric
<i>VNC</i>	Valor Net Comptable
<i>VRM</i>	Valor Residual de Mercat
<i>VU</i>	Vida útil
<i>WAM</i>	Water Asset Management
<i>Z</i>	Índex d'avaries
Δkm	Increment o decrement de longitud
μ	Edat mitjana de fallada
σ	Desviació estàndard
σ^2	Variància
<i>N^oTreb</i>	Nombre de treballadors

<i>P EI</i>	Puntuació Equipament interior
<i>P IB</i>	Puntuació Infraestructures bàsiques
<i>P IC</i>	Puntuació Instal·lacions de climatització
<i>P OC</i>	Puntuació Obra civil
<i>Vemm</i>	Volum emmagatzemat
<i>Vimp</i>	Volum impulsat per les centrals
<i>f</i>	Funció de probabilitat
α	Pes dels sistemes
β	Pes dels elements