



Escola de Camins

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

Anàlisi cost-benefici de tres alternatives de connexió de les xarxes de tramvia Trambaix i Trambesòs

Treball realitzat per:

Daniel Ruiz Palomo

Dirigit per:

Àlvar Garola Crespo

Grau en:

Enginyeria Civil

Barcelona, 23 de setembre de 2015

Departament d'Infraestructura del Transport i el Territori

TREBALL FINAL DE GRAU

ÍNDEX

<i>INTRODUCCIÓ</i>	6
<i>CAPÍTOL 1 MODEL DE DEMANDA</i>	10
1.1 Introducció	11
1.2 Tractament de les dades socioeconòmiques	14
1.3 Funció d'orígens	18
<i>CAPÍTOL 2 ANÀLISI COST-BENEFICI</i>	24
2.1 Introducció	25
2.2 Antecedents	27
2.3 Descripció de la situació de partida	29
2.4 Descripció del projectes	32
2.5 Paràmetres bàsics de l'avaluació	34
2.6 Demanda.....	37
La futura demanda de la xarxa de tramvia	37
Comparació dels resultats obtinguts	44
La demanda del tramvia desagregada	46
Hipòtesis de creixement de la demanda del transport públic	46
2.7 Esquema d'exploració	49
Intensitat d'ús actual.....	49
Esquema d'exploració futur	50
2.8 Costos dels projectes.....	53
Inversió	53
Cost de manteniment i explotació.....	57
2.9 Beneficis econòmics del projecte	60
Usuaris del transport públic	60
Usuaris captats.....	62
Usuaris induïts	63
2.10 Anàlisi d'externalitats	64

Variació en les emissions de gasos contaminants i gasos d'efecte hivernacle	64
Variació en la capacitat viària dels carrers on s'implanta el tramvia ..	68
Altres externalitats.....	76
2.11 Resultats de l'anàlisi socioeconòmic.....	78
Opció Diagonal.....	78
Opció Gran Via	78
Opció Provença	79
<i>CAPÍTOL 3 ANÀLISI DE SENSIBILITAT</i>	84
3.1 Introducció	85
3.2 Distribucions de probabilitat	86
Hipòtesis sobre la demanda	86
Hipòtesis sobre costos	87
Hipòtesis sobre l'estalvi de temps.....	88
Hipòtesis sobre les externalitats	89
3.3 Anàlisi sensibilitat sobre la demanda	90
Opció Diagonal.....	90
Opció Gran Via	92
Opció Provença	94
3.4 Anàlisi de sensibilitat sobre el VAN	97
Opció Diagonal.....	97
Opció Gran Via	99
Opció Provença	102
Comparació de resultats	104
<i>CONCLUSIONS</i>	106
<i>REFERÈNCIES</i>	110

INTRODUCCIÓ

Els Estats disposen de recursos econòmics limitats. Aquesta realitat és avui molt present en els mitjans de comunicació i en el debat públic: com i en què es gasten els diners dels ciutadans és un aspecte que cada vegada es troba sota major escrutini públic.

El sector de la construcció d'infraestructures, en particular, sembla ser un dels sectors amb què la societat està sent més crítica. Al llarg dels anys previs a la crisi econòmica es van construir una quantitat d'infraestructures que difícilment seran rendibles per a la societat. Exemples n'hi ha molts: els aeroports de Castelló o de Castella-La Manxa o el corredor d'alta velocitat Madrid-Nord (Betancor, O i Llobet, G., 2015).

Degut als errors del passat i degut a les restriccions pressupostàries del present són necessàries eines per establir quines infraestructures són importants per a la societat. Des del sector de l'Enginyeria Civil i l'Economia es proporciona l'anàlisi cost-benefici com a solució a aquesta qüestió.

Un anàlisi cost-benefici consisteix en detectar, quantificar i monetitzar tots els aspectes rellevants de la construcció d'una infraestructura des del punt de vista *social*. Això implica que en un anàlisi cost-benefici s'han de tenir en compte aspectes que no tenen un preu de mercat però que suposen un benefici o un cost per al conjunt de la societat. L'anàlisi cost-benefici requereix, per tant, d'un consens per determinar quins són els aspectes socials rellevants i com quantificar i monetitzar aquests aspectes.

Les infraestructures són projectes que tenen beneficis i costos associats al llarg del temps. Tanmateix, per a la societat no té el mateix valor un benefici o cost en l'actualitat que un benefici o cost en el futur. Es necessita, per tant, una eina capaç de fer homogeni aquesta diferència en els valor dels beneficis i costos. Aquesta eina és la taxa social de descompte. La taxa social de descompte intenta mesurar la diferència entre el valor d'una unitat monetària en el present i en el futur, és a dir, reflecteix la importància que una societat li dona a retardar en el temps el consum.

Una vegada s'ha triat el valor de la taxa social de descompte només cal aplicar-la als diferents aspectes de la infraestructura que es vol analitzar al llarg dels anys per trobar el valor actual net (VAN). El VAN és un indicador que reflecteix els guanys absoluts o pèrdues absolutes que una societat pateix pel fet de realitzar una infraestructura. Constitueix, per tant, un

primer tamís per decidir si una infraestructura ha de ser realitzada per la societat.

Tanmateix, el VAN no és un indicador ideal ja que presenta un inconvenient: no permet establir cardinalitat entre els projectes que la societat vulgui desenvolupar, és a dir, no permet la comparació entre infraestructures ja que les infraestructures amb un VAN més elevat només indiquen que aquell projecte és simplement de dimensions majors.

En una societat sense restriccions pressupostàries, totes les infraestructures amb un VAN positiu s'haurien de dur a terme. Tanmateix, no existeix tal societat i, en conseqüència, es necessita un indicador que indiqui quines infraestructures aporten més rendibilitat social per tal de prioritzar la seva realització. Aquest indicador és la taxa interna de rendibilitat (TIR).

La TIR, matemàticament, és el valor de la taxa social de descompte que fa el VAN igual a zero. Des d'un punt de vista econòmic, explica com d'atractiu és per una societat un projecte. Aquest paràmetre ens indica quant s'ha de devaluar una unitat monetària del futur relacionada amb el projecte que estem tractat per fer que el projecte acabi no sent rentable per a la societat. La TIR és, per tant, el paràmetre que ens permetrà prioritzar un projecte per sobre d'altres quan existeixin restriccions pressupostàries.

Aquests dos indicadors es faran servir per avaluar el projecte de connexió de les dues xarxes de tramvia de la ciutat de Barcelona, el Trambaix i el Trambesòs. Actualment, existeixen tres opcions sobre la taula per connectar la plaça de Francesc Macià i la plaça de les Glòries a través de la trama urbana de l'Eixample. La primera opció contempla la connexió a través de l'Avinguda Diagonal, la segona opció a través dels carrers Urgell i Gran Via de les Corts Catalanes i, finalment, la tercera opció recorreria els carrers Urgell, Provença, Passeig de Sant Joan i Gran Via de les Corts Catalanes.

La primera pregunta que es pretén respondre es si aquesta connexió té un benefici social. Per tal de fer això s'avaluarà el VAN de totes tres opcions per examinar si aquest és positiu. Les opcions, tal i com estan plantejades, són excloents entre sí i, per tant, només es considera la possibilitat de construir-ne una. En conseqüència, apareix una segona pregunta estretament relacionada amb la primera. En cas de que la connexió presenti

un resultat positiu per a més d'una opció de connexió, quina és la millor opció? La TIR, en aquest cas, ens servirà com a indicador ja que permet la comparació entre projectes d'una forma clara i entenedora.

El primer capítol d'aquest treball està dedicat a un dels aspectes fonamentals relacionat amb les infraestructures del transport: la quantificació de la demanda. Al llarg del capítol s'explicarà el mètode que s'ha desenvolupat per quantificar la demanda per a totes tres opcions de connexió.

El segon capítol està dedicat a l'anàlisi cost-benefici com a tal. En aquest capítol s'enunciaran tots els aspectes que es tindran en compte per a la realització de l'anàlisi cost-benefici i es farà referència a tots els mètodes emprats per a la quantificació i monetització dels costos i beneficis.

Finalment, el tercer capítol està dedicat a un anàlisi de sensibilitat sobre els resultats de l'anàlisi cost-benefici. L'anàlisi de sensibilitat consistirà en una variació dels paràmetres emprats al capítol 2 per examinar la versemblança i robustesa dels resultats obtinguts.

Una vegada tancat aquest darrer capítol, es realitzarà un breu resum dels resultats obtinguts a l'apartat de conclusions. En aquest apartat, a més a més, s'intentarà donar resposta a les dues preguntes plantejades durant aquesta introducció fent servir els resultats obtinguts al llarg de tot el treball.

CAPÍTOL 1
MODEL DE DEMANDA

1.1 Introducció

La quantificació de la demanda de la futura infraestructura és un dels aspectes claus per la realització d'un anàlisi cost-benefici versemblant. La "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" considera que un estudi de demanda és un dels documents previs imprescindibles per a l'avaluació correcta d'un projecte. Malauradament, aquests estudis de demanda detallat no existeixen per a totes les opcions considerades. Aquest capítol del treball pretén solucionar aquest problema desenvolupant un mètode capaç d'estimar la demanda de qualsevol de les opcions de connexió.

La metodologia tradicional per a realitzar un anàlisi de demanda és la coneguda com a "anàlisi de quatre passos". Com el seu nom indica, aquesta metodologia divideix el procés de modelització de la demanda en quatre passos clarament diferenciats: procés de generació de viatges, procés de distribució de viatges, procés de selecció modal i procés d'assignació de ruta.

A continuació, s'explicaran breument els processos que formen aquest tipus d'anàlisi de demanda:

- Generació de viatges

El primer pas d'aquest procés és la divisió de l'àrea a modelar en diferents zones que no se superposin entre si i de les quals es puguin trobar dades socioeconòmiques desagregades. A continuació, s'intenta trobar una funció de generació de viatges i una funció d'atracció de viatges.

L'objectiu de la funció de generació és intentar predir la quantitat de viatges que s'originaran a cada una de les zones a partir de les dades socioeconòmiques disponibles (per exemple, població de la zona o m^2 d'habitatge). L'objectiu de la funció d'atracció és intentar predir la quantitat de viatges que tindran com a destinació cada una de les zones a partir de les dades socioeconòmiques disponibles (per exemple, quantitat de gent que treballa a la zona o m^2 d'oficines).

Una vegada aquestes dues funcions han sigut trobades es pot continuar amb el segon pas de la modelització.

- Distribució de viatges
L'objectiu d'aquest segon pas es predir el nombre de viatges de zona a zona. El resultat d'això és una matriu origen-destinació on apareixen explícitament la quantitat de gent que viatja d'una zona a una altra.

Existeixen diferents algoritmes per a l'obtenció d'aquesta matriu. A tall d'exemple es poden citar el model gravitacional o el model fratar.

- Selecció modal
Una vegada s'ha obtingut la matriu d'origen-destinació global, el següent pas és quantificar la distribució modal de cada casella. Generalment, aquesta selecció modal es fa mitjançant els anomenats models d'utilitat. Aquests models reflecteixen els costos i beneficis de cada viatge per a tots els modes de transport.

El resultat d'aquesta assignació modal són diferents matrius d'origen-destinació (una per a cada mode de transport) que es faran servir en l'últim pas de la modelització.

- Assignació de ruta
Una vegada sabem quanta gent viatja d'una zona a una altra i quanta gent ho fa amb cada mitja de transport només falta saber a través de quina ruta (quina combinació de carrers, quina sèrie de transbordaments de metro, etc.). Existeixen models més o menys complexos per a la realització d'aquesta assignació.

Tanmateix, la metodologia que aquest treball realitzarà per la seva aproximació a la demanda serà considerablement diferent a l'exposada ja que no es disposava de les eines necessàries per a l'aplicació d'aquest model.

En primer lloc, es va considerar que la demanda de la nova xarxa de tramvia es pot dividir en dues components:

- Demanda generada a les noves parades. Com el seu nom indica, aquesta demanda és la directament atribuïble al fet de perllongar la xarxa de tramvies.

- Demanda de transvasament. Aquesta demanda es generaria a les parades de tramvia ja existents pel fet de millorar la connectivitat entre la pròpia xarxa de tramvies.

L'objectiu que ens proposem en aquest capítol del treball és quantificar la demanda generada a les noves parades que s'instal·larien degut a la connexió entre les dues xarxes de tramvia, independentment de l'opció de connexió considerada. La demanda de transvasament s'estimarà en capítols posteriors del treball.

Així, la hipòtesi fonamental que farem per tal d'estimar la demanda generada a les noves parades és suposar que la futura demanda d'aquestes parades es pot explicar amb les mateixes variables que la demanda de les parades de la xarxa actual.

Matemàticament això es tradueix en que necessitem trobar una funció capaç d'explicar els orígens de les parades actuals de les xarxes de tramvia a partir d'una sèrie de variables socioeconòmiques i, posteriorment, assumirem que aquesta mateixa funció explicarà els orígens a les futures parades.

Per tant, els dos ingredients fonamentals per tal de trobar la funció que ens permetrà estimar la demanda generada a les noves parades seran les dades socioeconòmiques de les zones properes a l'actual xarxa de tramvia i la demanda actual desagregada per parades. Pel que fa al primer ingredient, al web de l'Ajuntament de Barcelona existeix un apartat dedicat exclusivament a estadístiques desagregades per districtes i barris (Ajuntament de Barcelona, 2015). Tota la informació socioeconòmica va ser extreta d'allà. Pel que fa a les dades d'orígens, en aquest cas es va comptar amb la col·laboració de l'empresa gestora de l'actual xarxa de tramvies, TRAM, que molt amablement va posar en la nostra disposició les dades que necessitàvem.

1.2 Tractament de les dades socioeconòmiques

L'objectiu d'aquest apartat és exposar el tractament de les dades socioeconòmiques per tal de poder obtenir la funció que proporcioni els orígens a cada parada. Com s'ha indicat a l'apartat anterior, aquestes dades va ser obtingudes al web de l'Ajuntament de Barcelona i es troben desagregades per districtes o barris. Tanmateix, no existeix una correspondència biunívoca entre parada i barri, és a dir, generalment una parada dona servei a més d'un barri i normalment un barri està servit per més d'una parada. Cal, per tant, associar dades socioeconòmiques a cada parada en funció dels barris als que doni servei. L'eina amb la qual es va fer tot aquest procés és ArcGis, reconegut software dins del camp dels sistemes d'informació geogràfica.

El primer pas a realitzar va ser la creació de zones d'influència no sobreposades de cada parada. La magnitud de la zona d'influència es va estimar en 400 m ja que és una longitud que dona un temps d'accés a la parada raonable (6 min de temps d'accés màxim suposant una velocitat al caminar de 4 km/h).

Una vegada les zones d'influència van ser creades, es va sobreposar aquest mapa amb el mapa de barris de la ciutat de Barcelona. El resultat obtingut es pot veure a la figura 1.1. En aquesta figura es pot veure clarament quines parades donen servei a cada barri i quins barris són servits per cada parada. Així, a tall d'exemple, es pot veure la parada del Trambaix Maria Cristina dóna servei als barris de la Maternitat i Sant Ramón, Pedralbes i les Corts.

Cadascuna de les zones amb que queden dividides les zones d'influència de cada parada té associades les dades socioeconòmiques del barri a la qual pertany. Així, les quatre zones en que queda dividida la zona d'influència de la parada de Francesc Macià, tenen associades dades socioeconòmiques diferents ja que pertanyen a barris diferents.

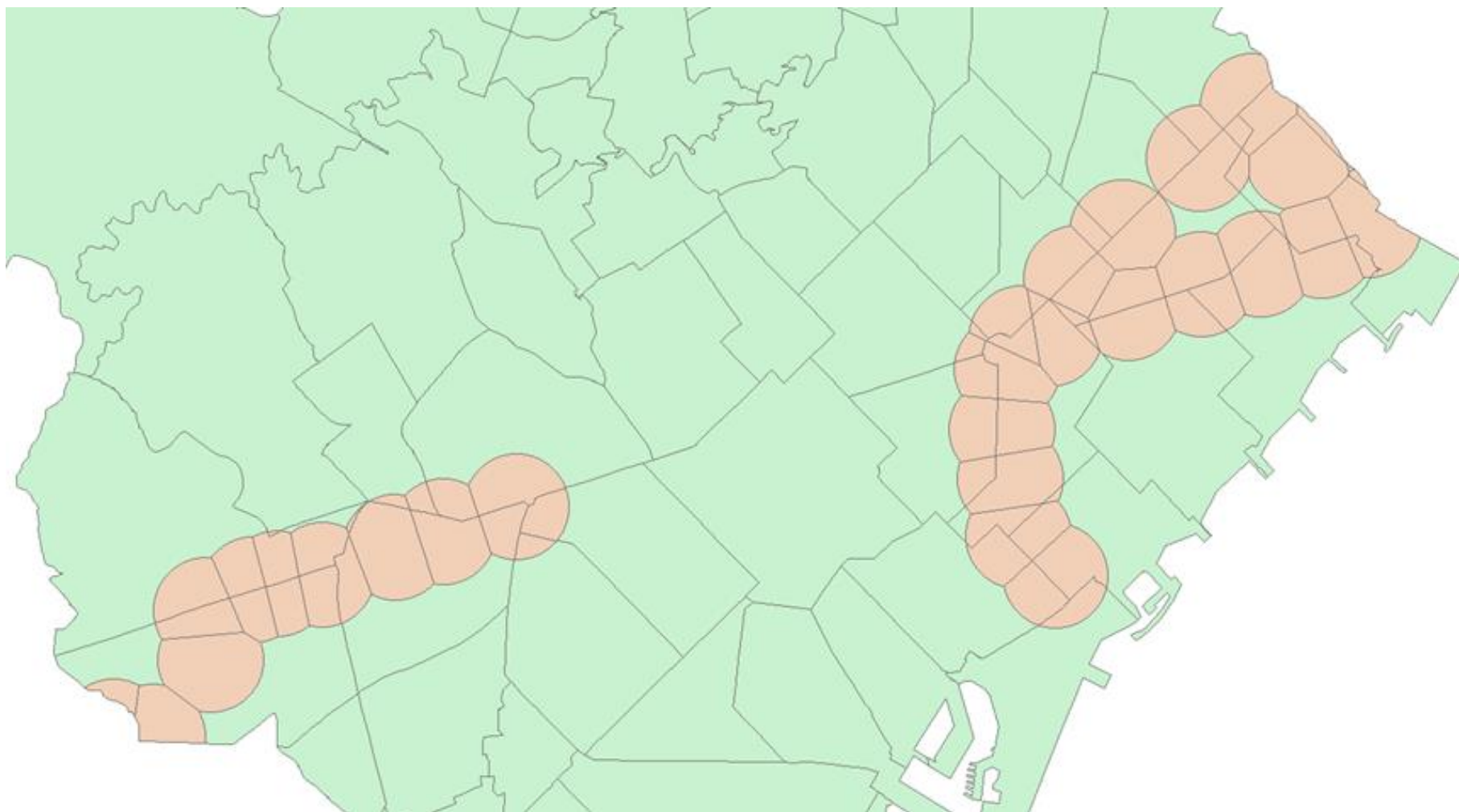


Figura 1.1 Zones d'influència de les parades de l'actual xarxa de tramvia dividides pels barris de la ciutat de Barcelona.

Les dades socioeconòmiques que es va considerar que podien arribar a explicar els orígens i les destinacions són:

- Població.
- Població major de 14 anys.
- Població entre 16 i 64 anys.
- Població aturada.
- Metres quadrats de sòl dedicat a habitatge.
- Metres quadrats de sòl dedicat a aparcament.
- Metres quadrats de sòl dedicat a indústria
- Metres quadrats de sòl dedicat a oficines.
- Metres quadrats de sòl dedicat a comerç.
- Metres quadrats de sòl dedicat a ensenyament.

Aquestes dades, com s'ha indicat anteriorment, estan disponibles per cada barri i, per tant, cal associar-les a cada una de les zones en que es divideix les zones d'influència de cada parada.

Per tal de fer això es va suposar una distribució uniforme al llarg de l'àrea de cadascuna de les variables anteriorment anomenades. Això implica que, una vegada coneguda l'àrea del barri i l'àrea de cadascuna de les zones, es podia trobar mitjançant una simple regla de tres quina quantitat de cada variable corresponia a cada zona.

Com a exemple, es calcula a continuació el nombre de metres quadrats de sòl dedicat a habitatge associat a la zona del barri de Pedralbes de la zona d'influència de la parada de Zona Universitària. El barri de Pedralbes té una àrea total de 2.702.379 m² i una àrea de sòl dedicat a habitatge igual a 788.891 m². A més, l'àrea de la zona que cau dins d'aquest barri és de 151.200 m². Per tant, el nombre de metres quadrats dedicats a habitatge de la zona pot calcular-se de la manera següent:

$$m^2 \text{ d'habitatge a la zona} = \frac{788.891 \cdot 151.200}{2.702.379} \approx 44.139 m^2$$

Aquest mateix càlcul s'hauria de realitzar per a la zona associada al barri de la Maternitat i Sant Ramón per poder trobar el nombre total de metres quadrats d'habitatge associats a la parada de Zona Universitària. Posteriorment, s'ha de repetir aquest procés per a cadascuna de les variables.

La pregunta que cal fer-se a continuació és si la hipòtesi de distribució uniforme de cadascuna de les variables considerades és certa. La resposta és que generalment aquesta hipòtesi és certa però existeixen zones on aquesta hipòtesi és clarament errònia i, per tant, s'hauran d'introduir lleugeres modificacions. Aquestes modificacions s'explicaran i es justificaran al proper apartat.

El resultat de tots aquests càlculs és una taula on cada parada té associades les dades econòmiques que es creuen que poden ser significatives. S'ha aconseguit, per tant, passar de dades associades a barris a dades associades per parades mitjançant la hipòtesi d'uniformitat en les dades al llarg del barri.

Amb aquestes dades per parada encara s'hi pot anar una mica més lluny i trobar dades derivades, és a dir, combinacions matemàtiques de les dades socioeconòmiques considerades. Les dades derivades més interessants que es van trobar van ser les diferents densitats de població (densitat de població total, densitat de població de major de 14 anys, densitat de població de persones entre 16 i 64 anys i densitat de població de persones aturades) i les densitats netes de població (exactament els mateixos tipus que en el cas anterior). La diferència fonamental entre la densitat i la densitat neta és que en el primer cas es divideix per l'àrea total de la zona d'influència de la parada i en el segon cas es divideix pel nombre total de metres quadrats dedicats a habitatge de la zona d'influència de la parada.

El conjunt d'aquestes dades socioeconòmiques, desagregades per parades, apareix a l'annex I. Les dades sobre els orígens de cada parada amb els que es va treballar també apareixen a aquest annex.

1.3 Funció d'orígens

Una vegada es va disposar de totes les dades (primàries i derivades) per parades, el següent pas va consistir en trobar per regressió les funcions capaces d'explicar els orígens.

El resultat pels orígens és la funció:

$$\text{Orígens} = 923.4 + 0.0065882 \cdot m^2 \text{ d'habitatge} - 88.858 \cdot \text{densitat d'aturats} + \\ + 44.810 \cdot \% \text{ de transbordament}$$

Com es pot veure, a la funció hi ha una variable que encara no havia estat introduïda i que s'anomena percentatge de transbordament.

Dins de la informació proporcionada per la gestora TRAM, hi ha un estudi (CLAU CONSULTORS, 2011) on apareix explícitament el percentatge de gent que realitza un transbordament sobre el total d'usuaris, ja sigui en origen o ja sigui en destinació. Durant el tractament estadístic, que s'exposarà a continuació, per trobar la funció d'orígens desagregats va resultar que aquesta variable era molt significativa i es va decidir incloure-la a les funcions. Tot i que, com veure'm en el proper capítol, tindrem greus problemes per estimar els seus valors en les futures parades.

En general, es pot afirmar que els orígens a una parada es poden explicar a partir de la gent que hi viu al seu voltant. Per tant, com a variables explicatives es van considerar:

- Variables relacionades amb la població (població total, població major de 14 anys i població entre 16 i 64 anys).
- Variables relacionades amb la densitat.
- Variables relacionades amb la densitat neta.
- Metres quadrats d'habitatge.

A més, els orígens també es poden veure influenciats per la quantitat de gent que es troba ocupada a la zona. Així, es van tenir en compte també les variables població aturada i taxa d'atur. Finalment, també es va considerar com a variable explicativa el percentatge de gent que té origen a la parada perquè realitza un transbordament des del metro. Les dades relacionades amb aquest percentatges poden trobar-se a la taula 2.1.

PARADA	<i>% de transbordament</i>
Av. Xile	0
Zona Universitària	1,9
Palau Reial	34,9
Pius XII	2
Maria Cristina	28
Numància	1,7
L'Illa	0
Francesc Macià	0
Glòries	81,1
Ca l'Aranyó	5,1
Pere IV	2,5
Fluvià	0
Selva de Mar	4,4
El Maresme	2
Fòrum	3,6
Ciudadella Vila Olímpica	9,1
Wellington	4,3
Marina	21,2
Auditori Teatre Nacional	3,6
La Farinera	2
Can Jaumandreu	26,8
Espronceda	0
Sant Martí Provençals	2,7
Besòs	4
Alfons el Magnànim	16,5

Taula 2.1 Percentatge de transbordament en origen

Les variables que millor expliquen els orígens per parada van resultar ser la quantitat de metres quadrats de sòl dedicat a l'habitatge a la zona d'influència de la parada, la densitat de persones aturades a la zona d'influència de la parada i el percentatge de viatgers que té origen a la parada perquè realitza un transbordament des del metro. Com es pot veure a la taula 2.2, els coeficients de la regressió són considerablement significatius. El coeficient més significatiu sembla ser la quantitat de metres quadrats dedicats a l'habitatge, seguit del percentatge de gent que realitza un transbordament a la parada. És interessant destacar que l'error típic a totes les variables és un ordre de magnitud més petit que el coeficient de la variable.

	<i>Coeficients</i>	<i>Error típic</i>	<i>Estadístic t</i>	<i>Probabilitat</i>
Intercepció	1233,01176	489,805338	2,5173506	0,02001289
m² habitatge	0,00613669	0,00119172	5,1494543	4,215E-05
Densitat aturats	-130,878331	38,1471692	-3,43087926	0,00250926
% transbordament	44,7195804	9,47288859	4,72079661	0,00011617

Taula 2.2 Coeficients, error típic i versemblança dels coeficients de la funció d'origens.

La qualitat de la regressió es pot mesurar mitjançant el coeficient de correlació múltiple i el coeficient R^2 . Aquests resultats apareixen a la taula 2.3. Com es pot veure, el coeficient de correlació múltiple té un valor força acceptable però el valor de R^2 sembla més aviat baix. Això essencialment vol dir que les variables que s'han triat són les adequades però insuficients per explicar correctament tots els orígens. Un altre problema que té la correlació és que el seu error típic és massa alt. De fet, l'error típic té un valor més gran que el nombre de persones que tenen origen a parades com ara La Farinera o Can Jaumandreu.

Coeficient de correlació múltiple	0,82831629
Coeficient de determinació R^2	0,68610787
R^2 ajustat	0,64126614
Error típic	820,20891
Observacions	25

Taula 2.3 Resum estadístic sobre la regressió respecte els orígens

Tanmateix, els coeficients que apareixen a la taula 2.2 no són els que apareixen a la funció presentada al començament d'aquest capítol. Això és degut al fet que es van introduir petites modificacions a la hipòtesi d'uniformitat en la distribució de les variables, és a dir, es van ajustar lleugerament les dades socioeconòmiques per tal de millorar l'error típic i el coeficient R^2 de la regressió.

Les hipòtesis de no uniformitat que es van realitzar són les següents:

- Les zones de les parades Ciutadella | Vila Olímpica i Wellington que cau dins del barri Sant Pere, Santa Caterina i la Ribera no

influeixen en la generació de viatges. Això és degut a que aquesta zona està ocupada pel parc de la Ciutadella.

- Igual que en el cas anterior, les parades Palau Reial i Selva de Mar tenen una important part de la seva àrea d'influència dins d'un parc de la ciutat. Tanmateix, en aquest cas no hi ha una correlació clara amb un barri. Per tant, es va decidir multiplicar per un factor 0,75 les àrees que queien dins dels barris Pedralbes i Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou.
- La situació urbanística al voltant de les parades Glòries i La Farinera fa que els barris del nord de la Gran Via no tinguin influència en els orígens d'aquestes parades. Això és degut a que a l'any 2011 la zona estava ocupada per l'anomenat anell de les Glòries i la permeabilitat amb els barris es veia clarament afectada.
- Similarment a la hipòtesi anterior, a les parades Can Jaumandreu, Espronceda, Sant Martí de Provençals i Besòs, es va suposar que l'àrea de la zona d'influència dels barris situats al nord de la Gran Via era realment la meitat de la calculada originàriament. A més a més, les zones de les parades Espronceda i Sant Martí de Provençals situades al sud de la Gran Via es van multiplicar per un factor 0,75 per tenir en compte que l'ús d'habitatge es troba essencialment als primers metres paral·lels a la Gran Via.
- El cas de les parades Marina i Auditori | Teatre Nacional també necessita ser tractat amb peculiaritat. Totes dues parades tenen les seves zones d'influència en barris amb un nombre alt de metres quadrats dedicats a l'habitatge. Tanmateix, al seu voltant hi ha una sèrie de problemes importants en relació amb permeabilitat o usos clarament diferents als d'habitatge (parc de l'Estació del Nord, àrea del Teatre Nacional i de l'Auditori, etc.) Per tal de tenir això en compte es va dividir la zona d'influència d'aquestes dues parades per 4.
- Un problema similar al anterior té lloc a la parada de Zona Universitària. En aquest cas, aquesta parada està principalment rodejada d'equipaments esportius. Per tal de reflectir això es va decidir multiplicar la zona d'influència d'aquesta parada per 0,75.

Tenint en compte les hipòtesis anteriors es van repetir els càlculs i es va obtenir una regressió on totes les variables continuaven sent clarament significatives però on s'havia aconseguit augmentar el coeficient de correlació múltiple i el coeficient R^2 . Així, Els resultats obtinguts per aquesta regressió es poden trobar a la taula 2.4 i a la taula 2.5.

	<i>Coeficients</i>	<i>Error típic</i>	<i>Estadístic t</i>	<i>Probabilitat</i>
Intercepció	913,612404	409,977646	2,22844443	0,03690952
m² habitatge	0,00630747	0,00086504	7,29150447	3,523E-07
Densitat aturats	-90,1509171	32,6947443	-2,75735195	0,01180369
% transbordament	50,5445623	8,12643205	6,21977296	3,6037E-06

Taula 2.4 Coeficients, error típic i versemblança dels coeficients de la funció d'origens sota les hipòtesis de no uniformitat.

Coeficient de correlació múltiple	0,89029744
Coeficient de determinació R^2	0,79262953
R^2 ajustat	0,76300518
Error típic	666,665109
Observacions	25

Taula 2.5 Resum estadístic de la regressió respecte els orígens sota les hipòtesis de no uniformitat.

Per finalitzar aquest apartat, caldria afegir un últim comentari. En un primer moment, es va voler obtenir una funció d'origens (la funció explicada fins ara) i també una funció de destinacions. La funció de destinacions, com el seu nom indica, pretenia explicar les destinacions de cada parada de forma desagregada.

Les variables que es van considerar per generar la funció de destinacions són:

- Metres quadrats de sòl dedicat a oficines.
- Metres quadrats de sòl dedicat a indústria.
- Metres quadrats de sòl dedicat a comerç.
- Metres quadrats de sòl dedicat a ensenyament.

- Metres quadrats de sòl dedicat a aparcament.

D'entre totes les variables, cal fer un comentari a la relacionada amb la quantitat de sòl dedicat a aparcament. La idea darrera d'aquesta variable és que la quantitat d'aparcament al voltant de la parada pot afectar les destinacions degut a que hi ha una probabilitat més o menys elevada de que un potencial usuari de tramvia decideixi fer servir el transport privat. Malgrat que aquesta idea pot semblar raonable, l'anàlisi estadístic no va trobar cap mena de significança entre aquesta variable i el nombre de destinacions.

Així, la idea inicial era calcular el nombre de viatges generats per les noves parades cap a una parada antiga i, a la vegada, calcular el nombre de viatges atrets per les noves parades i generat per una parada antiga. Evidentment, aquests números haurien de ser del mateix ordre de magnitud ja que no seria cap bogeria pensar que és el mateix usuari el que realitza aquests viatges. Els resultats obtinguts al realitzar el càlcul d'aquesta manera, però, apuntaven en una altra direcció: la funció de destinacions proporcionava quantitat de viatgers considerablement més elevades que la funció d'orígens. A més a més, a l'hora de realitzar la regressió per aquesta funció no es va poder obtenir una regressió on totes les variables fossin significatives. La combinació d'aquests dos motius va fer que es decidís prescindir d'aquesta funció en el càlcul de la demanda. Per tal de solucionar aquest problema, en el posterior càlcul de demanda, es va suposar que existeix simetria total en la cadena de viatges d'un usuari de les noves parades de tramvia. Així, el resultat obtingut mitjançant la funció d'orígens s'ha de multiplicar per 2 per tal de trobar la demanda total generada per les noves parades.

	<i>Coefficients</i>	<i>Error típic</i>	<i>Estadístic t</i>	<i>Probabilitat</i>
Intercepció	248,650922	215,034198	1,15633199	0,25994834
m² d'oficines	0,02957355	0,00452088	6,54155444	1,4025E-06
% transbordament	134,859167	19,8498113	6,79397729	7,9455E-07

Taula 2.6 Coeficients, error típic i versemblança dels coeficients de la funció de destinacions sota les hipòtesis de no uniformitat.

CAPÍTOL 2
ANÀLISI COST-BENEFICI

2.1 Introducció

Aquest capítol constitueix l'anàlisi cost-benefici com a tal d'aquest treball. Al llarg d'aquest capítol s'explicaran els projectes que es volen analitzar, es calcularan les seves respectives demandes, s'analitzaran els seus respectius costos i beneficis i es quantificaran les externalitats. Finalment, es presentaran els resultats socioeconòmics de cada projecte.

Els projectes que es volen analitzar, però, estan plens d'incògnites i hi ha pocs (o nuls) estudis previs. Realment, la única informació de la qual es disposava era el recorregut de cada opció. Això fa que al llarg d'aquest capítol s'hagin fet nombroses hipòtesis que poden resultar més o menys versemblants a ulls del lector. En molts casos, la única opció que s'ha trobat per disminuir la incertesa respecte d'aquestes hipòtesis ha sigut la realització d'un anàlisi de sensibilitat. Aquest anàlisi de sensibilitat està recollit al proper capítol del treball. Així, les dades presentades en aquest capítol es poden prendre com un "escenari central" on s'ha intentat no ser ni massa conservador ni massa optimista en les hipòtesis fetes.

Tot aquest anàlisi cost-benefici se suporta en una sèrie de documents que es mencionen al llarg de tot el capítol. S'ha considerat, per garantir un nivell de claredat òptim, fer una referència a tots ells en la introducció del capítol.

El document cabdal dins d'aquest anàlisi cost-benefici és la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" desenvolupada pel Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Catalunya (Col·legi de Camins, Canals i Ports de Catalunya, 2010). Una gran quantitat de paràmetres i mètodes de càlcul han sigut extrets d'allà.

Els estudis realitzats per la consultora Mcrit titulats *Aproximació a la demanda de la connexió dels tramvies Trambaix i Trambesòs a través de l'Avinguda Diagonal de Barcelona* (MCrit, 2009) i *Connexió de les xarxes de tramvia de Barcelona* (MCrit, 2010) també tenen una gran importància dins d'aquest capítol. En especial, el segon document conté referències a altres estudis que també han estat de vital importància: l'estudi sobre costos que la gestora TRAM va realitzar a l'any 2010 en cas de que hagués d'assumir la gestió unificada de la xarxa (TRAM, 2010) i l'anàlisi cost-benefici que la consultora SENER va realitzar per la implantació del Trambesòs a l'any 2001 (SENER, 2001).

Un altre estudi molt import per a la realització d'aquest capítol és l'estudi d'origen – destinació realitzat per Clau Consultors per a la gestora de les actuals xarxes de tramvia (CLAU CONSULTORS, 2011). Sense la col·laboració de TRAM, permeten l'accés a aquest document així com les dades de validacions de l'any 2014, aquest treball no hauria estat possible.

Finalment, cal fer una menció a l'article titulat *Paris: a Desire Named Streetcar* (Martin Koning, Rémy Prud'Homme, Pierre Kopp, 2010) i a la guia *External Costs of Transport in Europe* (CE DELFT, INFRAS, FRAUNHOFER, 2011). El capítol dedicat a l'anàlisi d'externalitats està totalment basat en aquests dos documents.

2.2 Antecedents

Al llarg de l'any 2004 es van inaugurar les noves línies de tramvia a la ciutat de Barcelona. El 3 d'abril de l'any 2004 s'inaugurava la línia del Trambaix mentre que la línia del Trambesòs hauria d'esperar un mes més (fins al 8 de maig del mateix any). Fins a l'any 2008 les dues xarxes es van anar ampliant progressivament: l'abril de 2007 el tramvia arribava a la ciutat de Sant Feliu de Llobregat, el setembre del mateix any a la ciutat de Badalona i durant el juny del 2008 es construïa un nou tram per connectar el barri de la Mina amb la xarxa de tramvia .

L'èxit de les dues xarxes de tramvia i les seves posteriors ampliacions van portar a l'Ajuntament de Barcelona a realitzar estudis sobre la seva possible connexió a través de la Diagonal. Aquesta connexió també s'entenia com una oportunitat per una reforma urbanística del propi carrer. Dels estudis realitzats per l'Ajuntament van sorgir dues alternatives: l'opció "bulevard" i l'opció "rambla". L'opció "bulevard" deixava al tramvia el tram central de la Diagonal mentre que l'opció "rambla" el tram central l'ocupava una gran rambla per als vianants flanquejada pel tramvia. Des de l'Ajuntament, Jordi Hereu, l'alcalde del moment, va decidir engegar un procés participatiu perquè la ciutadania decidís quina era la millor opció. Les friccions amb l'oposició, però, van forçar que dins del procés participatiu s'inclogués la resposta "Cap de les anteriors".

Des del dia 10 de maig del 2010 fins al 15 de maig del mateix any els barcelonins majors de 16 anys van poder triar una de les tres opcions. Prop del 80% de les persones que van votar va decantar-se per l'opció "Cap de les anteriors". La polèmica, però, va caracteritzar aquests dies degut a l'alt cost del sistema de votació que es va decidir triar, els problemes que van haver-hi durant els primers dies de votació i la pròpia conjuntura econòmica i social del moment. La primera consulta popular a la ciutat de Barcelona va ser un fracàs rotund per la seva baixa participació (van votar al voltant del 13% de les persones que tenien dret a fer-ho), pel seu resultat i pel seu propi sistema de funcionament. En paraules del propi alcalde: "un instrument d'acostament s'ha convertit en el símbol de l'allunyament de les preocupacions dels ciutadans".

Les eleccions del maig del 2011 van suposar un canvi de color de l'Ajuntament de Barcelona i, com és evident, un canvi d'enfoc en la connexió de les dues xarxes de tramvies. El nou alcalde de Barcelona, Xavier

Trias, va rebutjar taxativament la possible connexió mitjançant la Diagonal a la vegada que va proposar-ne de noves. Així, es van posar sobre la taula les opcions de connexió a través del carrer Provença i a través de la Gran Via. Tanmateix, la connexió de les dues xarxes de tramvia mai va ser una obra prioritària de l'equip de govern. La reforma urbanística del tram central de la Diagonal, una obra estretament lligada a la connexió de les dues xarxes de tramvia, també es va considerar una obra poc prioritària i, en un primer moment, es va decidir que era una actuació que es tractaria en un hipotètic segons mandat. L'aritmètica d'edils, però, va forçar un pacte amb l'oposició que obligava a l'alcalde a realitzar una reforma de la Diagonal entre Plaça Francesc Macià i Passeig de Gràcia. Aquesta reforma va ser durament criticada per dos motius: tendia a afavorir un únic col·lectiu ciutadà (els comerciants de la Diagonal) i impossibilitava (o com a mínim dificultava) la futura connexió a través de la Diagonal.

Una vegada més, les eleccions del maig del 2015 van donar un gir a la situació. La nova alcaldessa de Barcelona, Ada Colau, considera una prioritat urbanística la connexió de les dues xarxes de tramvia i, a més a més, estaria disposada a fer-ho a través de la Diagonal. Una Diagonal que, recordem, acaba de patir un rentat de cara força considerable degut a la reforma urbanística duta a terme durant l'últim mandat.

Ens trobem, doncs, en l'enèsima volta d'un projecte que apareix des de fa anys a les hemeroteques dels diferents diaris barcelonins.

2.3 Descripció de la situació de partida

A l'any 2015 a la ciutat de Barcelona hi ha dues xarxes independents de tramvia, el Trambaix i el Trambesòs, tal i com es pot veure a la figura 2.1. El Trambaix té el seu recorregut a través dels municipis de Barcelona, L'Hospitalet de Llobregat, Esplugues de Llobregat, Cornellà de Llobregat, Sant Joan Despí, Sant Just Desvern i Sant Feliu de Llobregat. Aquesta xarxa té una longitud de 15,1 km, compta amb 29 parades i la seva explotació està dividida en tres línies: T1 (Francesc Macià-Bon Viatge), T2 (Francesc Macià-Llevant – Les Planes) i T3 (Francesc Macià-Sant Feliu | Consell Comarcal). D'altra banda, la xarxa del Trambesòs té el seu recorregut pels municipis de Barcelona, Badalona i Sant Adrià del Besòs. La seva longitud és de 14,1 km, el seu nombre de parades és de 27 i la seva explotació torna a estar dividida entres línies: T4 (Ciutadella | Vila Olímpica-Estació de Sant Adrià), T5 (Glòries-Gorg) i T6 (Glòries-Estació de Sant Adrià) (TRAM, 2015).

Segons dades proporcionades per l'empresa TRAM, durant l'any 2014 la demanda total de la xarxa Trambaix va ser de 16.337.772 usuaris i la demanda total de la xarxa Trambesòs va ser de 8.142.426 usuaris. Aquestes dades impliquen una demanda agregada de prop de 24,5 milions d'usuaris. Aquesta xifra suposa un record històric de demanda des de que es va construir el tramvia i, a la vegada, suposa recuperar els nivells de demanda de l'any 2011 (TRAM, 2015).

Segons l'Enquesta de Mobilitat en Dia Feiner de l'any 2013, el tramvia obté una nota mitja de 7,5 sobre un total de 10 punts (ATM, 2013). Això el converteix en el mitjà de transport públic millor valorat. A més a més, la distància que el separa del cotxe és relativament petita (només 0,3 dècimes).

Pel que fa a la freqüència d'ús de la xarxa, el 56,6% de la xarxa Trambaix i el 55,6% de la xarxa Trambesòs són usuaris intensius (viatgen quatre o més cops per setmana). Els usuaris habituals (d'un a tres cops per setmana) suposen el 20,3% dels usuaris per a la xarxa Trambaix i el 21,5 per a la xarxa Trambesòs (CLAU CONSULTORS, 2011).

Finalment, i tornant a referir-nos a les dades proporcionades per la gestora TRAM, durant l'any 2014 les parades amb una demanda superior al milió d'usuaris van ser Glòries amb 1.625.584 d'usuaris, Maria Cristina amb 1.478.689 usuaris, Francesc Macià amb 1.346.369 usuaris, Cornellà Centre

amb 1.127.248 usuaris i Can Rigal amb 1.095.140 usuaris. Totes aquestes parades són intercanviadors amb altres mitjans de transport públic (especialment metro i Renfe) excepte la parada de Francesc Macià.

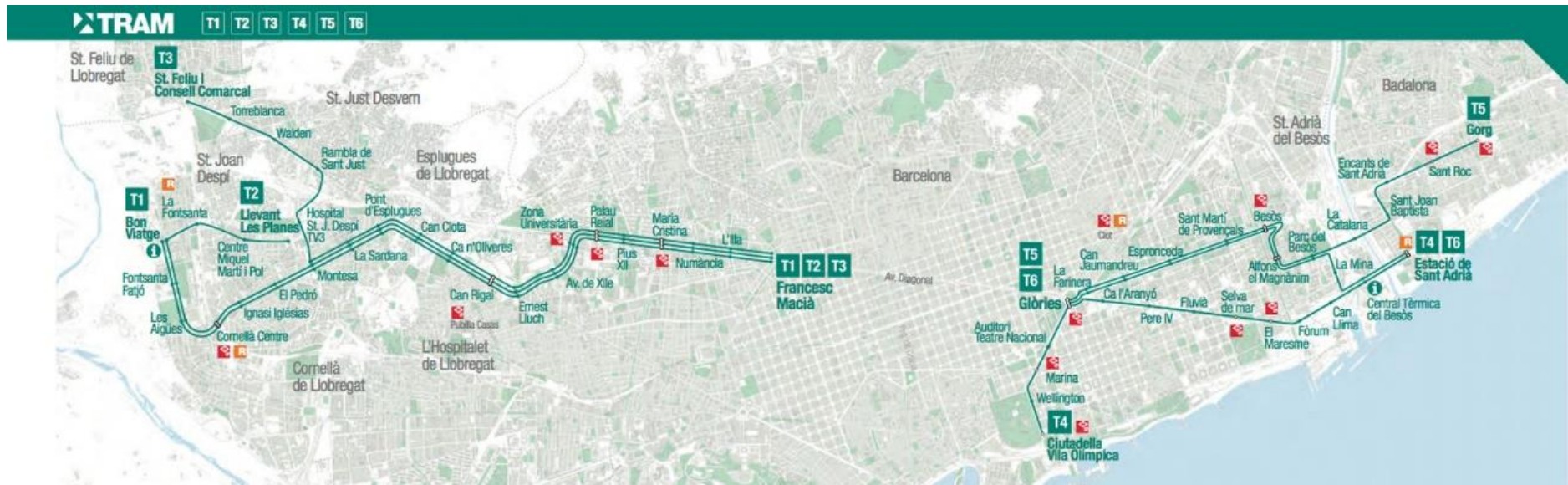


Figura 2.1 Xarxes Trambaix i Trambesòs en l'actualitat.

2.4 Descripció del projectes

L'objectiu d'aquest apartat és fer una descripció esquemàtica de les tres opcions de connexió de les dues xarxes de tramvia que s'han plantejat.

L'opció Diagonal, anomenada així perquè suposa connectar la xarxa Trambaix i Trambesòs a través d'aquest carrer, suposa la construcció de 3,9 km de nova línia. El seu recorregut, com s'ha dit anteriorment, suposaria recorre íntegrament el carrer Diagonal des de la plaça Francesc Macià fins a la plaça de les Glòries. Considerant una distància entre parades al voltant dels 650 m, la implantació d'aquesta opció implicaria la construcció de 5 noves parades. La situació d'aquestes 5 noves parades s'ha considerat al voltant des carrers Muntaner-Aribau, Còrsega-Rambla de Catalunya, Roger de Llúria-Bruc, Passeig de Sant Joan-Roger de Flor i Sardanya-Marina. Aquesta opció milloraria la connectivitat amb les línies de metro L2, L3, L4 i L5 i amb els FGC.

L'opció Gran Via connectaria les xarxes de Trambaix i Trambesòs a través del carrer Urgell i la Gran Via de les Corts Catalanes. Aquesta opció suposa la construcció de 5,1 km de nova línia i 7 noves parades (una vegada més, sobre la hipòtesi d'una distància entre parades de l'ordre de 650 m) Les noves parades estarien situades a l'alçada dels carrers Còrsega-Rosselló, Aragó-Consell de Cent, Urgell-Villarroel, Gran Via-Plaça de la Universitat, Gran Via-Passeig de Gràcia, Girona-Bailèn i Gran Via-Marina. Aquesta opció milloraria la connectivitat amb les línies de metro L1, L2, L3, L4, Renfe i FGC.

Finalment, l'opció Provença connectaria les xarxes de Trambaix i Trambesòs a través del carrer Urgell fins a l'alçada del carrer Provença, on tombaria fins arribar a Passeig de Sant Joan, on tornaria a tornar fins a arribar a la Gran Via i connectar finalment amb la plaça de les Glòries. Aquesta opció suposa la construcció de 5,1 km de nova línia i, com en el cas anterior, 7 noves parades. Les noves parades estarien situades a l'alçada dels carrers Còrsega-Rosselló, Muntaner-Aribau, Provença-Passeig de Gràcia, Girona-Bailèn, Aragó-València, Roger de Flor-Nàpols i Gran Via-Marina. Aquesta opció milloraria la connectivitat amb les línies de metro L2, L3, L4 i L5 i FGC.

Qualsevol de les tres opcions considerades inclou la construcció d'un punt de control capaç de centralitzar la gestió de totes les línies. Aquest punt de control se situarà en algun punt de la xarxa però fora dels nous trams (TRAM, 2010).

Per totes tres opcions se suposarà una velocitat comercial de 18 km/h. Aquest valor ha estat utilitzat en altres estudis (MCrit, 2010)

La distància entre parades se situa en el rang dels 600-650 m, distància que es considera que dóna temps d'accessos raonables. Si suposem una distància d'accés màxima de 500 m i considerem una velocitat d'accés de 5 km/h, això proporciona un temps d'accés màxim de l'ordre de 6 min.

2.5 Paràmetres bàsics de l'avaluació

Un dels objectius d'aquest treball és la realització de tots els càlculs amb valors que tinguin un consens relativament ampli dins del món de l'anàlisi cost-benefici d'infraestructures. Degut a això es va decidir utilitzar la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" dissenyada pel Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports. En la mesura que es pugui, els valors dels diferents paràmetres necessaris per la realització dels tres anàlisis cost-benefici que aquest treball es proposa fer s'extrauran d'allà. Tanmateix, en alguns casos ha estat impossible fer servir els valors recomanats per la Guia, ja sigui perquè la Guia no estava suficientment actualitzada o perquè el valor del paràmetre no estava inclòs. En aquests casos, sempre s'ha intentat donar una justificació del valor triat i la seva corresponent font.

Per a la realització dels anàlisis cost-benefici s'adopten els següents paràmetres de caire genèric (Col·legi de Camins, Canals i Ports de Catalunya, 2010):

- Taxa d'actualització del 6%.
- Període d'avaluació de 30 anys.
- Valor del temps de viatge d'11,02 €/hora·persona.
- Valor mitjà d'ocupació dels vehicles lleugers de 1,3.

Pel que fa al valor del temps de viatge, la xifra que s'acaba d'exposar es farà servir sempre que no es coneguin els motius de viatge desagregats d'un mode de transport. La mateixa "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" proposa valors de temps de viatge desagregats per motiu, aquests valors es mostren a la taula 2.1 (Col·legi de Camins, Canals i Ports de Catalunya, 2010).

Motiu del viatge	€/hora·persona
<i>Gestions i negoci</i>	15,56
<i>Treball i estudi</i>	10,74
<i>Compres</i>	9,18
<i>Lleure</i>	7,31

Taula 2.1 Valor del temps de viatge desagregats per motiu de viatge

L'estudi realitzat per Clau Consultors a l'any 2011 permet conèixer el motiu principal de viatge dels usuaris de les xarxes de Trambaix i Trambesòs (CLAU CONSULTORS, 2011).

Motiu	% respecte total
<i>Feina</i>	47,5%
<i>Escola/Institut (acompanyar)</i>	6,8%
<i>Universitat</i>	8,2%
<i>Compres/Centre Comercial</i>	6,7%
<i>Hospital/Ambulatori (acompanyar)</i>	5,4%
<i>Fer esport/Oci</i>	7,7%
<i>Gestions personals</i>	14,1%
<i>Gestions laborals</i>	2,1%
<i>Hotel/Apartament turístic</i>	0,1%
<i>Turisme (cultural, oci, festivals)</i>	0,3%
<i>Altres</i>	0,7%
<i>Ns/Nc</i>	0,4%

Taula 2.2 Motius de viatge desagregats per als usuaris de la xarxa Trambaix.

Motiu	% respecte total
<i>Feina</i>	50,1%
<i>Escola/Institut (acompanyar)</i>	4,5%
<i>Universitat</i>	7,1%
<i>Compres/Centre Comercial</i>	13,2%
<i>Hospital/Ambulatori (acompanyar)</i>	1,6%
<i>Fer esport/Oci</i>	6,3%
<i>Gestions personals</i>	14,1%
<i>Gestions laborals</i>	1,4%
<i>Hotel/Apartament turístic</i>	0,4%
<i>Turisme (cultural, oci, festivals)</i>	0,7%
<i>Altres</i>	0,2%
<i>Ns/Nc</i>	0,4%

Taula 2.3 Motius de viatge desagregats per als usuaris de la xarxa Trambesòs.

Tanmateix, el desglossament que fa Clau Consultors no és idèntic al realitzat a la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport". Per aquest motiu, el primer que es va fer per poder calcular un valor del temps de viatge pel

tramvia va ser realitzar una equivalència entre tots dos desglossaments. Aquesta equivalència es troba explicada a la taula 2.4.

<i>Hospital/Ambulatori (acompanyant)</i>	Gestions i negocis
<i>Gestions personals</i>	
<i>Gestions laborals</i>	
<i>Feina</i>	Treball i estudi
<i>Escola/Institut (acompanyant)</i>	
<i>Universitat</i>	Compres
<i>Compres/Centre Comercial</i>	
<i>Fer esport/Oci</i>	
<i>Hotel/Apartament turístic</i>	Lleure
<i>Turisme (cultural, oci, festivals)</i>	
<i>Altres</i>	Valor Mitjà
<i>Ns/Nc</i>	

Taula 2.4 Equivalència entre els motius de viatge desagregats.

Una vegada l'equivalència va estar feta, el càlcul dels valors de temps de viatge per la xarxa Trambaix i Trambesòs va ser immediat. El Trambaix té un valor del temps de viatge de 11,40€/h, mentre que el Trambesòs té un valor del temps de viatge de 11,11€/h. Per tal de trobar una xifra que es pugues aplicar a totes dues xarxes a la vegada es va decidir calcular una mitja ponderada en funció del nombre de viatges de cada xarxa. El resultat va ser que el valor del temps de viatge per al tramvia com a mitjà de transport públic és de 11,27€/h.

2.6 Demanda

L'objectiu d'aquest apartat és realitzar un anàlisi de la futura possible demanda de les tres opcions de connexió que s'estan estudiant. Per tal de fer això es farà servir la funció d'orígens que es va obtenir al capítol 1.

A continuació, es realitzarà una comparació amb altres estudis de demanda realitzats per veure fins a quin punt les dades obtingudes són fiables o si, per contra, els estudis realitzats fins a la data no acaben de ser tan acurats com es podria pensar.

Finalment, s'intentarà dividir de forma raonable la demanda total en tres grans tipus de demanda: la demanda provinent del transport públic, la demanda captada del vehicle privat i la demanda induïda (usuaris que en la situació anterior al projecte no viatjaven o ho feien a peu). Aquesta divisió es justifica en el fet que cadascuna d'aquestes demandes tenen beneficis associats diferents. Com a exemple podem prendre la diferència en beneficis de la demanda captada del transport públic i la demanda captada del vehicle privat: mentre que la primera té, principalment, un benefici associat al guany de temps dels seus usuaris, la segona té un benefici associat a la disminució de gasos d'efecte hivernacle o gasos contaminants.

La futura demanda de la xarxa de tramvia

La demanda total de la futura xarxa de tramvia es quantificarà mitjançant la funció d'orígens trobada en la primera part del treball. Recordem que l'objectiu d'aquesta funció d'orígens és explicar el nombre d'usuaris de cada parada del tramvia en funció de característiques socioeconòmiques de les zones a les quals cada parada dona servei.

La forma de la funció d'orígens és:

$$\text{Orígens} = 923.4 + 0.006588 \cdot m^2 \text{ d'habitatge} - 88.868 \cdot \text{densitat d'aturat} + \\ + 44.81 \cdot \% \text{ de transbordament}$$

On:

- m^2 d'habitatge és el nombre de metres quadrats de sòl dedicat a habitatge a la zona d'influència de la parada.

- *densitat d'aturats* és la quantitat de persones aturades que viuen a la zona d'influència de la parada dividit per l'àrea de la zona d'influència de la parada.
- *% de transbordament* representa el rati (expressat en tant per cent) entre usuaris que provenen d'un altre mitjà de transport públic i els usuaris totals.

A les taules següent es poden trobar els valors de totes tres variables explicatives per cadascuna de les opcions de connexió considerades.

	<i>m² d'habitatge</i>	<i>densitat d'aturats</i>	<i>% de transbordament</i>
Muntaner	833824	14,6	0
Rambla de Catalunya	692295	16,6	70
Bruc	637482	12,5	0
Passeig de Sant Joan	730511	15,0	30
Sardenya	771949	25,0	30

Taula 2.5 Valor de les variables explicatives per a l'opció Diagonal

	<i>m² d'habitatge</i>	<i>densitat d'aturats</i>	<i>% de transbordament</i>
Hospital Clínic Escola Industrial	725650	21,2	30
Av. De Roma	650967	21,4	0
Urgell	819062	25,1	10
Universitat	735990	23,5	30
Passeig de Gràcia	607878	9,9	70
Bailèn	654839	11,1	10
Monumental	596185	20,7	0

Taula 2.6 Valor de les variables explicatives per a l'opció Gran Via

	<i>m² d'habitatge</i>	<i>densitat d'aturats</i>	<i>% de transbordament</i>
Hospital Clínic Escola Industrial	800812	21,6	10
Muntaner	770672	18,5	0
Passeig de Gràcia	680342	11,0	70
Girona	614545	14,0	30
Passeig de Sant Joan	515970	12,3	0
Nàpols	480790	16,7	30
Monumental	451553	21,0	0

Taula 2.7 Valor de les variables explicatives per a l'opció Provença

Els valors metres quadrats d'habitatge i densitat d'aturats es van obtenir mitjançant el mateix procediment descrit al capítol 1 d'aquest treball. Per altra banda, pel que fa al % de transbordament s'han realitzat les hipòtesis següent:

- El valor del percentatge de transbordament a les parades de tramvia on hi ha interconnexió amb 3 o més línies de Metro o Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya se suposa del 70%.
- El valor del percentatge de transbordament a les parades de tramvia on hi ha interconnexió amb 1 o 2 línies de Metro o Ferrocarrils de la Generalitat se suposa del 30%.
- El valor del percentatge del transbordament a les parades del tramvia on no hi ha interconnexió amb línies de Metro o Ferrocarrils de la Generalitat se suposa del 0%.
- Si es produeix interconnexió més d'una vegada entre el Tramvia i les altres línies de Metro o Ferrocarrils de la Generalitat se suposarà un valor del percentatge de transbordament igual al 10%.

Aquests valors (70, 30 o 10%) parteixen d'una lògica simple: no és cap bogeria pensar que hi haurà més percentatge de transbordament en aquelles parades on hi ha més opcions de transbordament. Tanmateix, no per això deixen de ser valors profundament criticables ja que reflecteixen únicament la opinió o intuïció de l'autor. Per què 70, 30 i 10% i no 50, 10 i 5%? Amb les eines de les quals es disposa, es extremadament complicat saber quin percentatge de gent realitzarà un transbordament a una futura parada i, per tant, ens haurem de conformar amb aquestes hipòtesis. Tanmateix, l'anàlisi de sensibilitat sobre aquestes xifres servirà per veure com de significatives són a l'hora de calcular la futura demanda del tramvia i com influeixen en els resultats econòmics del projecte.

Una vegada obtingudes les dades de les variables que necessitem, el càlcul dels orígens és immediat i els resultats es poden trobar a les taules 2.8, 2.9 i 2.10.

	<i>Orígens (pax/dia)</i>
Muntaner	4857
Rambla de Catalunya	7323
Bruc	3803
Passeig de Sant Joan	5688
Sardenya	5047
TOTAL	26718

Taula 2.8 Orígens per parada per a l'opció Diagonal

	<i>Orígens (pax/dia)</i>
Hospital Clínic Escola Industrial	5091
Av. De Roma	3091
Urgell	4320
Universitat	4949
Passeig de Gràcia	7396
Bailèn	4549
Monumental	2807
TOTAL	32203

Taula 2.9 Orígens per parada per a l'opció Gran Via

	<i>Orígens (pax/dia)</i>
Hospital Clínic Escola Industrial	4527
Muntaner	4103
Passeig de Gràcia	7749
Girona	5042
Passeig de Sant Joan	3061
Nàpols	3960
Monumental	1871
TOTAL	30314

Taula 2.10 Orígens per parada per a l'opció Provença

Abans de passar a l'anàlisi d'aquestes xifres ens hem de centrar en el seu anàlisi per veure què signifiquen realment. Recordem que la funció de demanda pretén estimar el nombre de viatgers que, al llarg de tot un dia,

iniciaran el seu trajecte a cadascuna de les noves parades. Aquests viatgers, posteriorment, es distribuiran (desconeixem com) al llarg de totes les altres parades i, en algun moment del dia, retornaran cap al seu punt d'origen. Si suposem que els usuaris del tramvia tenen trajectes simètrics durant l'anada i el retorn (és a dir, que segueixen la mateixa cadena de transport però al revés per tornar a casa) voldrà dir que obligatòriament s'ha de generar la mateixa quantitat de viatges a les altres parades que també s'han de comptabilitzar com a demanda.

Per entendre aquesta situació posem el següent exemple. Imaginem dues persones, una que viu al voltant d'una de les noves parades i una altra que hi treballa. La persona que viu al voltant agafarà el tramvia a la parada més propera a casa seva i anirà a la feina. Aquesta persona, en algun moment del dia necessita tornar a casa i, sota la hipòtesi de que torna a casa de la mateixa manera que ha anat a la feina, això implica que necessitarà tornar a fer servir el tramvia. Una situació similar passa amb la persona que treballa al voltant d'una de les noves parades. Aquesta persona, en algun moment del seu trajecte cap a la feina, ha decidit que li convé agafar el tramvia perquè hi ha una nova parada més a prop i, quan hagi de tornar a casa, necessàriament haurà de tornar a agafar el tramvia (si es compleix la hipòtesi de simetria en anades i tornades).

Una vegada ens hem adonat d'això podem extreure dos implicacions importants:

- Aquest mètode de càlcul és cec respecte els usuaris que volen passar del Trambaix al Trambesòs i viceversa. Dit amb altres paraules, només som capaços de comptar els usuaris que tindran com a origen o destinació alguna de les futures parades del tram central. La demanda generada és, per tant, com a mínim el doble del valor que ens proporciona la suma dels orígens per parada proporcionats per la funció d'orígens.
- La funció d'orígens *no* es pot fer servir per estimar el nombre d'orígens de les antigues parades perquè donaria una cosa sense sentit. Les variables explicatives no han canviat a les parades que ja existeixen. Tanmateix, se sap que la demanda augmentarà en aquestes parades perquè són destinació i orígens dels orígens i destinacions de les parades del tram central.

La demanda de la futura xarxa de tramvies es podrà calcular sumant la demanda actual, extreta a partir de l'estudi de Clau Consultors, més la demanda generada degut a la connexió. A les taules 2.11 i 2.12 es pot veure la demanda de les xarxes actuals desagregada entre Barcelona i els altres municipis (CLAU CONSULTORS, 2011).

		DESTINACIONS	
		<i>Barcelona</i>	<i>Altres municipis</i>
ORÍGENS	<i>Barcelona</i>	7838	14133
	<i>Altres municipis</i>	14469	19659

Taula 2.11 Matriu d'origen-destinació de la xarxa de Trambaix.

		DESTINACIONS	
		<i>Barcelona</i>	<i>Altres municipis</i>
ORÍGENS	<i>Barcelona</i>	13780	4904
	<i>Altres municipis</i>	5491	2574

Taula 2.12 Matriu d'origen-destinació de la xarxa de Trambèsos.

Sumant els resultats de les taules anteriors es pot veure que la demanda de la xarxa de Trambaix és de 56099 persones i la demanda de la xarxa de Trambèsos és de 26749 persones. La demanda conjunta de totes dues xarxes ascendeix fins les 82848 persones.

Hem de ser conscient, però, que aquesta demanda és una demanda mínima. Únicament es té en compte la demanda existent i la demanda generada per les noves parada. Al connectar les dues xarxes de tramvia, es generarà una demanda de transvasament entre totes dues xarxes que no som capaços d'estimar. Tanmateix, per tal d'obtenir un ordre de magnitud podem realitzar la següent hipòtesi: *la competitivitat, és a dir, la capacitat del tramvia per atreure usuaris, disminueix a mesura que augmenta la distància de viatge*. Aquesta hipòtesi, que pot semblar molt innocent, ens permet extreure dues conclusions importants:

1. La demanda de transvasament hauria de ser inferior a la demanda generada a les noves parades. Hem trobat, doncs, una cota superior per la demanda de transvasament.
2. L'opció Diagonal, en la mesura en que permet una connexió de les dues xarxes més directa, tindrà una demanda de transvasament superior que les altres dues opcions. Les altres dues opcions, al tenir la mateixa longitud de recorregut, haurien de tenir demandes de transvasament del mateix ordre.

Basant-nos en aquesta idea es va decidir quantificar la demanda de transvasament com un percentatge de la demanda generada a les noves parades. D'aquesta manera, es va suposar que la demanda de transvasament per l'opció Diagonal podria ser de l'ordre del 50% de la demanda generada a les noves parades. Pel que fa les altres opcions, es va suposar que la demanda de transvasament podria ser de l'ordre del 40% de la demanda generada a les noves parades. Aquestes dues xifres no són independents, les opcions Gran Via i Provença tenen recorreguts un 20% més llarg que l'opció Diagonal, per tant, es va decidir que el seu percentatge de transvasament fos el 80% del suposat per l'opció Diagonal.

Una vegada més ens trobem en una situació en què les hipòtesis realitzades poden ser profundament criticables ja que el percentatge del 50% sobre la demanda generada a les noves parades reflecteix, única i exclusivament, l'opinió o intuïció de l'autor. Una persona "pessimista" podria argumentar que, tot i existir demanda de transvasament, aquesta seria més aviat de l'ordre d'un 10-20% la demanda generada a les noves parades; per una altra banda, una persona "optimista" podria arribar dir que la demanda de transvasament tindria valors al voltant del 70% de la demanda generada a les noves parades. Bé, no existirien arguments sòlids per rebatre aquestes dues persones ja que es difícil trobar situacions similars que s'hagin donat per trobar ordres de magnitud. Tot i això, com hem dit anteriorment, més endavant es demostrarà quin nivell d'incertesa real generen totes aquestes hipòtesis i fins a quin punt un 10%, 50% o 70% de demanda de transvasament acaba influint significativament sobre els resultats socioeconòmics del projecte.

Finalment, i com a conclusió a aquest apartat, a la taula 2.13 es presenta la demanda diària (desagregada en demanda actual, demanda generada a les noves parades i demanda de transvasament) i la demanda anual, calculada amb un factor d'annualitat igual a 280.

	Diagonal	Gran Via	Provença
Demanda diària (pax/dia)	163.002	173.016	167.724
<i>Demanda existent (pax/dia)</i>	<i>82.848</i>	<i>82.848</i>	<i>82.848</i>
<i>Demanda a les noves parades (pax/dia)</i>	<i>53.436</i>	<i>64.406</i>	<i>60.626</i>
<i>Demanda de transvasament (pax/dia)</i>	<i>26.718</i>	<i>25.762</i>	<i>24.250</i>
Demanda anual (Mpax/any)	45,6	48,4	47,0

Taula 2.13 Demanda de cadascuna de les opcions de connexió.

Comparació dels resultats obtinguts

Al llarg dels darrers anys, diferents entitats han realitzat pronòstics de demanda per l'opció que considera la unió a través de la Diagonal. Com a exemple es poden citar l'informe realitzat per l'Associació per a la Promoció del Transport Públic (PTP) (Obes, 2005) o l'estudi realitzat per Mcrit a l'any 2009 (MCrit, 2009).

Segons l'estudi realitzat per Mcrit, la unió de les dues xarxes de tramvia a través de la Diagonal generaria uns increments de demanda respecte a l'any 2008 que oscil·len entre el 141% i el 66%. Aquesta gran diferència en els increments de demanda s'explica degut als diferents escenaris de futur que l'estudi considera en funció del grau d'implementació del PDI.

A l'escenari 1 es considera que del conjunt de mesures recollides al PDI només s'executa la connexió de les dues xarxes de tramvia. Això genera l'increment de demanda més elevat ja que la nova infraestructura no ha de competir amb altres millores de la xarxa.

A l'escenari 2, per contra, es considera un grau d'implementació del PDI força més elevat però es descarta l'execució d'algunes infraestructures importants, com ara la prolongació de la línia 3 de metro fins a Sant Feliu o l'extensió de la línia 8 de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya fins a Besòs. En aquest escenari, l'increment de demanda respecte a l'any base d'un 103%.

Finalment, a l'escenari 3, es considera que totes les mesures recollides al PDI s'executen. Com és lògic, aquest escenari té associat l'increment de

demanda més baix ja que hi ha noves infraestructures que entren en competència amb la unió de les dues xarxes de tramvia.

A la taula 2.14 es pot veure un resum de les dades obtingudes en aquest informe en funció dels diferents escenaris.

	Demanda dia laborable (viatges/dia)	Demanda anual (milions de viatges/any)	Increment respecte a 2008
Escenari 1	174.856	48,96	141%
Escenari 2	147.609	41,33	103%
Escenari 3	120.350	33,70	66%

Taula 2.14 Demanda per a l'opció Diagonal segons estudi de Mcrit.

Tal i com es pot veure, els resultats obtinguts anirien en la direcció que Mcrit apuntava ja en el seu estudi de l'any 2009 i se situarien una mica per sota de l'escenari 1, escenari en què ens trobem actualment.

La comparació amb l'estudi de Mcrit aporta una component important i és que ens fa pensar sobre la possibilitat d'un canvi d'escenari en un horitzó de 15-20 anys, horitzó que entra dins del nostre període d'avaluació. El fet d'estar a l'any 2015, ens dóna certa perspectiva (com a mínim millor perspectiva que respecte l'any 2009) i ens permet afirmar que l'escenari 3 molt difícilment es farà realitat. Tanmateix, arran de les últimes notícies fetes pel Departament de Territori i Sostenibilitat sobre el perllongament de la línia L8 de rodalies, podem afirmar que existeixen possibilitats reals de construcció d'una infraestructura que entri amb competència amb el tramvia i pugui, en un futur, prendre-li demanda. Aquest aspecte es tindrà en compte en les hipòtesis sobre creixement de la demanda.

Els resultats obtinguts, però, no estan en línia amb tots els estudi respecte. Converses amb personal tècnic de l'ATM van permetre conèixer que la xifra de demanda amb la que ells treballen està al voltant dels 190.000 usuaris/dia, un valor que dista considerablement dels resultats obtinguts.

La demanda del tramvia desagregada

Com s'ha justificat al començament d'aquest apartat, cal trobar valors de demanda desagregats en demanda provinent del transport públic, demanda captada del transport privat i demanda induïda. Això és degut a que cadascuna d'aquestes demandes tenen associats beneficis (o costos) diferents.

Per tal de trobar la demanda desagregada simplement suposarem que la demanda captada del transport privat i la demanda induïda poden ser expressada com un percentatge de la demanda captada del transport públic. En concret, se suposarà que la demanda captada del transport privat serà d'un 3% la demanda captada del transport públic i la demanda induïda serà d'un 10% la demanda captada del transport públic.

L'ATM disposa de gràfiques que expressen la quantitat de demanda captada del transport privat en proporció de la quantitat de demanda captada del transport públic en funció de l'estalvi de temps que suposa la millora en el transport públic. Per a millores de l'ordre de 3-4 min, el percentatge de demanda captada del transport privat oscil·la entre un 1,5% i un 4,5%. Es va decidir triar un 3% com a valor mig (MCrit, 2010). Pel que fa al percentatge de demanda induïda, aquesta ha estat valorada en un 10% perquè és una xifra que s'ha fet servir en altres estudis sobre la implantació de tramvies a la ciutat de Barcelona. Més concretament, l'estudi de SENER sobre el projecte Trambesòs considerava aquest valor de demanda induïda (SENER, 2001).

Finalment, la taula 2.15 presenta els resultats de demanda desagregats amb què es realitzarà l'anàlisi socioeconòmic.

	Diagonal	Gran Via	Provença
<i>Demanda captada TP (Mpax)</i>	40,39	42,87	41,56
<i>Demanda captada VP (Mpax)</i>	1,21	1,29	1,25
<i>Demanda induïda (Mpax)</i>	4,04	4,29	4,16

Taula 2.15 Demanda desagregada per a cadascuna de les opcions de connexió.

Hipòtesis de creixement de la demanda del transport públic

Una vegada s'ha obtingut la demanda esperada per l'any d'implantació cal fer hipòtesis de creixement de la demanda pels anys propers.

La única referència que s'ha trobat sobre possibles hipòtesis de creixement de la demanda és el treball realitzat per Mcrit a l'any 2010. En aquest treball, es proposa un creixement interanual del 1,5% durant els 10 primers anys, un creixement interanual del 1% en els propers 10 anys i un creixement interanual del 0,5 en els darrers anys (MCrit, 2010).

Tanmateix, com s'ha comentat prèviament, les darreres notícies sobre el perllongament de la línia L8 ens permeten afirmar que existirà una nova infraestructura que estarà en competència amb el tramvia (GENCAT, 2014). Així, és lògic suposar que els creixements que suposa Mcrit podrien veure's disminuïts fins a valors negatius. En particular, el perllongament de la línia L8 podria afectar negativament l'opció de connexió Diagonal, mentre que les opcions Gran Via i Provença és veurien considerablement menys afectades.

Hem de ser conscients de la dificultat per estimar aquest tipus de xifres, especialment al llarg d'un període d'avaluació de 30 anys. La construcció de noves infraestructures ferroviàries com ara el perllongament de la L3 fins a Sant Feliu de Llobregat, la construcció d'una nova línia de Rodalies entre Cornellà i Zona Universitària podrien suposar canvis molt forts en la demanda del tramvia en un futur. Cal dir que els dos projectes que s'acaben d'anomenar estan, segons la pàgina web de l'AMB, en fase "d'estudi informatiu redactat" (AMB, 2015).

Així, amb l'objectiu de ser cautes en el càlcul, se suposarà un creixement modest (0,5% interanual) en els primers 20 anys i un estancament de la demanda en els darrers 10 anys del període d'avaluació. Aquestes hipòtesis de creixement s'aplicaran a totes tres opcions i podrien considerar-se una mena d'escenari central. A la figura 2.2 es representa el creixement de la demanda que suposarien les hipòtesis anteriors. Així, segons aquest escenari, a l'any 2047 s'arribarien a demandes de 44,6 milions per a l'opció Diagonal, 47,4 milions per a l'opció Gran Via i 45,9 per a l'opció Provença.

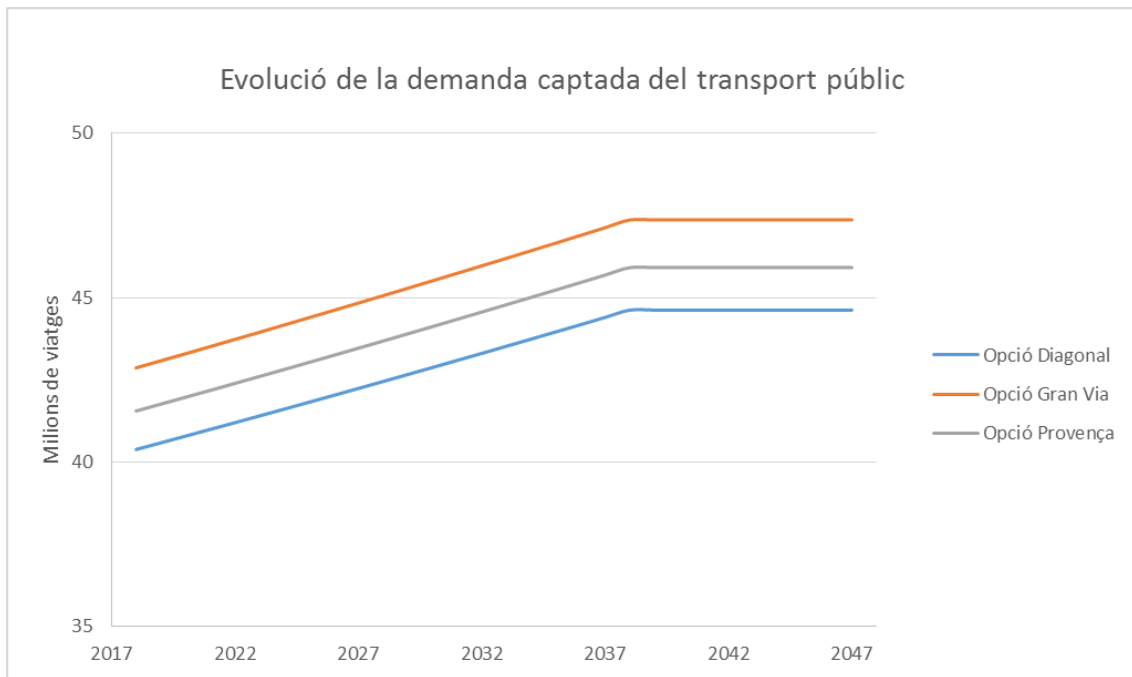


Figura 2.2 Creixement de la demanda durant el període d'avaluació

Posteriorment, en l'apartat dedicat a l'anàlisi de sensibilitat, es tindran en compte creixements de la demanda en escenaris més positius i en escenaris més negatius, que reflecteixin la incertesa sobre la construcció de noves infraestructures. A més a més, ens fixarem especialment en si la variació en les hipòtesis de creixement de la demanda influeix veritablement en els resultats socioeconòmics del projecte.

2.7 Esquema d'exploració

L'objectiu d'aquest apartat és justificar l'increment d'intensitat d'exploració de la xarxa unificada respecte a les dues xarxes independents de tramvies. Aquest paràmetre es fonamental per a l'estimació dels costos d'exploració que es farà en un apartat posterior. En primer lloc, es farà una estimació de la intensitat d'ús expressada en trens·km. A continuació, s'exposarà un esquema d'exploració per a la futura xarxa unificada i es realitzarà el càlcul de la seva intensitat d'ús. Finalment, es calcularà l'increment d'intensitat que s'ha mencionat anteriorment.

Intensitat d'ús actual

Com s'ha indicat anteriorment, la xarxa de tramvies de Barcelona compta amb 6 línies, 3 englobades dins del Trambaix (T1, T2 i T3) i 3 englobades dins del Trambesòs (T4, T5, T6). Cadascuna d'aquestes línies presenta intervals de pas diferents i, per tant, intensitats d'usos diferents.

<i>Esquema d'exploració Trambaix</i>	T1	T2	T3
Longitud de la línia (km)	9,8	11,5	10,2
Freqüència de pas (min)	14	16	14
Trens anuals (milers trens/any)	46,3	40,5	46,3
Intensitat d'ús (M de trens·km/any)	0,45	0,47	0,47

Taula 2.16 Intensitat d'ús de l'actual xarxa Trambaix

<i>Esquema d'exploració Trambesòs</i>	T4	T5	T6
Longitud de la línia (km)	6,5	6,8	5,5
Freqüència de pas (min)	6	10	22
Trens anuals (milers trens/any)	108	64,8	29,5
Intensitat d'ús (M de trens·km/any)	0,7	0,44	0,16

Taula 2.17 Intensitat d'ús de l'actual xarxa Trambesòs

Les dades de freqüència de pas de les diferents línies van ser extretes de la pàgina web del TRAM. Es va considerar la moda de la freqüència ja que aquesta canvia al llarg del dia. Els trens anuals es van calcular tenint en compte la quantitat de trens que han de circular per una línia per tal de complir amb la freqüència de pas anterior, suposant un temps d'activitat

del servei tramviari de 18 h i considerant que l'any té 300 dies. Aquesta última consideració es fa per compensar que les línies no operen amb els intervals de pas indicats les 18 hores del dia.

Si se sumen les diferents intensitats d'ús de cada línia s'obté un valor igual a 2,70 milions de trens·km/any. Aquest número és força similar a la intensitat d'explotació que la gestora TRAM afirma que existeix en l'actualitat. En l'esquema d'explotació actuals ells afirmen que la intensitat d'ús és de 2,67 milions de de trens·km (TRAM, 2010).

Caldria fer una puntualització respecte a la longitud de la xarxa que cal mantenir i explotar. La longitud de la xarxa de tramvia no es correspon amb la suma de les diferents longituds de cadascuna de les línies ja que les línies acostumen a tenir trams comuns (per exemple, les línies T1, T2 i T3 comparteixen gran part del seu recorregut). La longitud total de la xarxa actual és de 29,2 km, dels quals 15,1 corresponen al Trambaix i 14,9 al Trambesòs.

Esquema d'explotació futur

En aquest apartat es proposarà un esquema d'explotació vàlid per a qualsevol de les tres opcions d'unió que s'han de tenir en compte.

1. La T1 començaria el seu recorregut a la parada Bon Viatge i finalitzaria el seu recorregut a la parada Sant Adrià. La seva freqüència de pas seria igual 12 min.
2. La T2 començaria el seu recorregut a la parada Llevant-Les Planes i finalitzaria el seu recorregut a la parada Glòries. La seva freqüència de pas seria igual 12 min.
3. La T3 començaria el seu recorregut a la parada Sant Feliu | Consell Comarcal i finalitzaria el seu recorregut a la parada Sant Adrià. La seva freqüència de pas seria igual a 12 min.
4. La T4 començaria el seu recorregut a la parada Ernest Lluch i finalitzaria el seu recorregut a la parada Glòries. La seva freqüència de pas seria igual a 12 min.
5. La T5 començaria el seu recorregut a la parada Ciutadella | Vila Olímpica i finalitzaria el seu recorregut a la parada Gorg. La seva freqüència de pas seria igual a 8 min.

6. Finalment, la T6 començaria el seu recorregut a la parada Glòries i finalitzaria el seu recorregut a la parada Sant Adrià. La seva freqüència de pas seria igual a 20 min.

Aquest sistema d'exploració, exceptuant la línia T6, és l'esquema d'exploració que apareix a l'informe de Mcrit (MCrit, 2009) i que ja havia estat proposat anteriorment per TRAM (TRAM, 2010). És interessant destacar que en el tram central, és a dir, entre les parades Ernest Lluch i Glòries, s'aconsegueixen freqüències de pas de 3 min. Als altres trams amb alta demanda, com ara el tram Montesa-Ernest Lluch o el tram Glòries-Sant Adrià, s'aconsegueixen freqüències de pas de 4 min i 6 min, respectivament. Aquest sistema d'exploració hauria de ser suficient per satisfer la demanda generada per la connexió de les dues xarxes de tramvia i a l'hora ser compatible amb la situació viària que existeix al llarg de qualsevol de les tres opcions de connexió plantejades.

A les taules següents es mostren les característiques de la xarxa de tramvies en funció de l'opció de connexió considerades. Com es pot veure, tant la longitud des les diferents línies com la intensitat d'ús depenen de l'opció escollida. Tanmateix, la freqüència de pas i els trens anuals són independents de l'opció triada. Això s'explica perquè l'esquema d'exploració, és a dir, la freqüència de pas al tram central, no depèn del recorregut de la connexió i és un estàndard que es fixa a priori.

<i>Esquema d'exploració – Opció Diagonal</i>	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Longitud de la línia (km)	18,2	15,3	18,5	7,5	8,8	5,7
Freqüència de pas (min)	12	12	12	12	8	20
Trens anuals (milers trens/any)	54	54	54	54	81	32,4
Intensitat d'ús (M de trens·km/any)	0,98	0,82	1,00	0,40	0,71	0,18

Taula 2.18 Intensitat d'ús de la xarxa unificada segons l'opció Diagonal.

<i>Esquema d'exploració – Opció Gran Via</i>	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Longitud de la línia (km)	19,4	16,5	19,8	8,7	8,8	5,7
Freqüència de pas (min)	12	12	12	12	8	20
Trens anuals (milers trens/any)	54	54	54	54	81	32,4
Intensitat d'ús (M de trens·km/any)	1,05	0,89	1,07	0,47	0,71	0,18

Taula 2.19 Intensitat d'ús de la xarxa unificada segons l'opció Gran Via.

<i>Esquema d'exploració – Opció Provença</i>	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Longitud de la línia (km)	19,4	16,5	19,8	8,7	8,8	5,7
Freqüència de pas (min)	12	12	12	12	8	20
Trens anuals (milers trens/any)	54	54	54	54	81	32,4
Intensitat d'ús (M de trens·km/any)	1,05	0,89	1,07	0,40	0,71	0,18

Taula 2.20 Intensitat d'ús de la xarxa unificada segons l'opció Provença.

D'aquesta manera, si se sumen les diferents intensitat d'ús desagregades per línies, es pot veure com la intensitat d'ús augmenta per a qualsevol de les tres opcions de connexió considerades. Així, particularment, la intensitat d'ús augmenta fins a 4,11 milions de trens·km/any per l'opció de connexió a través de la Diagonal i fins a 4,37 milions de trens·km/any per les altres opcions.

2.8 Costos dels projectes

L'objectiu d'aquest apartat és fer una aproximació dels costos de les tres opcions considerades i, posteriorment, comparar aquests resultats amb els resultats obtinguts en altres informes. L'eina que es farà servir per trobar els costos de cada projecte serà la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" realitzada pel Col·legi de Camins, Canals i Ports de Barcelona.

Dins d'aquesta secció es consideraran únicament els costos directament imputables al projecte, és a dir, no es tindran en compte els possibles costos derivats de les externalitats. Així, s'analitzaran únicament els costos d'inversió i els costos de manteniment i explotació.

Inversió

D'acord amb la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" la inversió en una infraestructura tramviària té dues components significatives: el cost de la infraestructura i el cost del material mòbil.

En el cas del cost de la infraestructura, el document proporciona el cost mitjà per kilòmetre que es correspon amb un valor de 9 M€/km. D'altra banda, en el cas del material mòbil, el cost d'una unitat de material mòbil es valora en 2,5 M€/unitat (Col·legi de Camins, Canals i Ports de Catalunya, 2010).

Evidentment, aquests valors no es poden prendre com a veritats absolutes perquè es tracten únicament de valors mitjans, extrets d'experiències passades. Tanmateix, donen un ordre de magnitud dels costos d'inversió que es *poden esperar* dels projectes que volem analitzar.

	Diagonal	Gran Via	Provença
km de nova infraestructura (km)	3,9	5,1	5,1
Nombre d'unitats de material mòbil (unitats)	16	16	16

Taula 2.21 Quantitat dels conceptes relacionats amb la inversió per a cadascuna de les opcions de connexió.

Els km de nova infraestructura és una dada fàcil d'estimar una vegada es coneix el recorregut de cadascun dels projectes. El nombre d'unitats de

material mòbil, però, presenta més dificultats. Per garantir l'esquema d'exploració que es presenta a l'annex III, serien necessaris 57 tramvies (Mcrit, 2009). Actualment, les dues xarxes de tramvia disposen d'un total de 41 unitats mòbils (23 per a la xarxa Trambaix i 18 per a la xarxa Trambesòs). Així, per a la gestió unificada seria necessari adquirir un mínim de 16 unitats mòbils.

A aquesta xifra, però, caldria fer-li dos comentaris. Les opcions Gran Via i Provença han de realitzar els seus desplaçaments al llarg de recorreguts més llargs i, a més a més, tenen associades xifres de demanda més elevades que l'opció Diagonal. És lògic suposar, per tant, que la xifra de 16 unitats mòbils s'hauria d'incrementar per aquests dos casos. De moment, però, mantindrem aquesta xifra sent conscients de que suposa un mínim de costos i, al capítol següent, quan es realitzi l'anàlisi de sensibilitat plantejarem altres escenaris.

El segon comentari està relacionat amb el tema dels períodes de vida útil. En aquest treball se suposarà que una unitat mòbil de tramvia té un període de vida útil de 15 anys i, per tant, les noves unitats mòbils s'hauran d'adquirir dues vegades al llarg del període d'avaluació. La pregunta que ara ens hem de fer és què en fem de les unitats mòbils ja existents. Bé, per una banda, es desconeix quan van ser adquirides i, per tant, és impossible saber quan s'haurien de tornar a renovar i, per l'altra banda, aquest no és un cos imputable a aquest projecte ja que la seva renovació també s'hauria de realitzar si no es realitzés la connexió a través del tramvia. Per aquest motiu no hi ha una partida dins de l'anàlisi socioeconòmic de renovació de tot el material rodant sinó només la renovació del nou material adquirit.

<i>Partides de la inversió</i>	Diagonal	Gran Via	Provença
Cost de la infraestructura (M€)	35,1	45,9	45,9
Cost del material mòbil (M€)	40	40	40
Cost total de la inversió (M€)	75,1	85,9	85,9

Taula 2.22 Cost de la inversió per a cadascuna de les tres opcions de connexió.

Als resultats presentats en la taula anterior cal fer un parell de comentaris que tenen una rellevància important:

1. Els costos unitaris no tenen en compte els possibles costos d'urbanització i millora dels carrers pels quals circularà el tramvia. Es considera que la possible millora urbanística és un projecte independent a la pròpia construcció del tramvia i, com a tal, hauria de tenir el seu propi ACB. Prova d'això són les diferents opcions que es van presentar durant el referèndum de l'any 2010. En aquesta consulta, la diferència fonamental entre les dues opcions que contemplaven la connexió mitjançant el tramvia era la diferent distribució urbanística de la Diagonal. Totes dues opcions tenien costos diferents, tanmateix aquesta diferència en els costos no eren derivats de la connexió del tramvia per si mateixa, sinó de la diferent distribució urbanística.
2. El període de vida útil de la infraestructura es considera de 30 anys i el del material mòbil es considera de 15 anys. D'aquesta manera, al cap de 15 anys de la posada en funcionament del tramvia s'haurà d'invertir novament la quantitat destinada a material mòbil que apareix a la taula 2.22. És importat aclarir que això es considerarà un cost d'inversió retardat en el temps i no és un cost de manteniment.

Els resultats obtinguts en aquests càlculs poden ser comparats amb l'informe realitzat per la gestora TRAM sobre els costos de la connexió del tramvia a través de la Diagonal (TRAM, 2010). A l'apartat d'aquest informe dedicat al cost de la inversió, s'afirma que el cost total de la inversió és de 172,5 M €, una dada considerablement més elevada que la calculada fins ara.

<i>Partides de la inversió</i>	Muntant
Cost de tallers, cotxeres i oficines (M€)	25,0
Cost de vies, parades (obra civil) i equips de transformació (M€)	25,9
Cost de catenària, enllum., senyalització, semàfors i control de trànsit (M€)	5,8
Cost de comunicacions i SAE billetatge (M€)	8,6
Cost del material mòbil (M€)	107,2
Cost total de la inversió (M€)	172,5

Taula 2.23 Cost de la inversió segons TRAM.

A l'anàlisi de la taula anterior es poden trobar diverses explicacions a la discrepància de costos presentada fins ara. Al propi informe es menciona que dins del cost d'inversió "s'inclouen actuacions fora del tram central de la Diagonal necessàries per a la integració completa de tot el sistema, com la construcció d'unes noves cotxeres o d'un centre de control unificat entre d'altres". Aquest cost no s'havia tingut en compte i, com es pot veure, pot arribar a ser considerablement significatiu amb un valor de 25 M€.

Per altra banda, la partida que s'ha anomenat com a "cost de la infraestructura" pot agrupar tota la resta de partides de l'informe realitzat per TRAM (excepte el cost del material mòbil). Així, es pot veure que els resultats obtingut en el càlcul (35,1 M€) no es troben *gaire* lluny dels calculats per TRAM (40,3 M€).

Això ens porta a l'anàlisi de l'última partida important, el cost del material mòbil. Com es pot veure, és aquí on hi ha la major discrepància. D'acord amb els valors mitjans de la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport", el cost que es pot esperar d'aquesta inversió és al voltant de 40 M€ al adquirir 16 unitats mòbils. Tanmateix, els resultats presentats per l'empresa TRAM presenten un cost de 107,2 M€, més del doble. Al llarg de l'informe no es presenta el nombre d'unitats mòbils que es considera necessàries adquirir i, per tant, es impossible saber quin és el cost unitari que fa servir TRAM en els seus càlculs.

Les conclusions que es poden extreure d'aquesta comparació són varies:

1. El cost de la infraestructura d'acord amb els valors unitaris proporcionats per la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" estan d'acord amb el cost de la infraestructura realitzat per TRAM.
2. És realista incloure dins del cost d'inversió una partida dedicada a la integració completa de tot el sistema. TRAM va quantificar aquesta partida amb 25 M€. En aquest anàlisi s'entendrà que aquesta quantitat és independent de l'opció de connexió considerada però s'inclourà en totes. El període de vida útil d'aquesta inversió es considerarà igual a 50 anys.
3. Existeix una profunda discrepància en el cost de la inversió en material mòbil. Degut a la manca de justificació d'aquest cost

per part de TRAM es prendrà com a vàlid el cost calculat segons la “Guia per a l’avaluació de projectes de transport”.

Els resultats finals dels costos d’inversió es presenten, desagregats per grans partides, es poden trobar a la taula 2.24.

<i>Partides de la inversió</i>	Diagonal	Gran Via	Provença
Cost de la infraestructura (M€)	35,1	45,9	45,9
Cost del material mòbil (M€)	40	40	40
Cost de tallers, cotxeres i oficines (M€)	25	25	25
Cost total de la inversió (M€)	100,1	110,9	110,9

Taula 2.24 Cost definitiu de la inversió per a cadascuna de les tres opcions de connexió.

Cost de manteniment i explotació

Pel càlcul del cost de manteniment i explotació la “Guia per a l’avaluació de projectes de transport” es basa en una metodologia similar a la del cas anterior. Tanmateix, en aquest cas considera que el cost de manteniment i explotació depèn d’un terme fix, funció de la magnitud de la xarxa, i d’un terme fix, funció de la intensitat d’ús de la xarxa.

El terme mitjà fix de manteniment i explotació té un valor igual a 53 mil €/km mentre que el terme mitjà variable de manteniment i explotació té un valor igual a 7 €/trens·km (Col·legi de Camins, Canals i Ports de Catalunya, 2010).

És important destacar que les actuals xarxes de tramvies ja tenen un cost de manteniment i explotació i, per tant, els costos de manteniment i explotació directament imputables al projecte d’unió de les dues xarxes són únicament l’increment de costos degut a la pròpia connexió. A la taula 2.25 es presenta l’increment de kilòmetres d’infraestructura i l’increment d’intensitat d’explotació per a totes les opcions de connexió considerades.

<i>Concepte</i>	Diagonal	Gran Via	Provença
Increment de km d’infraestructura (km)	3,9	5,1	5,1
Increment intensitat d’explotació (M trens·km)	1,40	1,67	1,67

Taula 2.25 Increment en les quantitats relacionades amb el cost de manteniment i explotació per a cadascuna de les opcions de connexió.

El cost de manteniment i explotació pot trobar-se fàcilment multiplicant els increments anteriors pels seus respectius costos unitaris.

<i>Concepte</i>	Diagonal	Gran Via	Provença
Cost fix de manteniment i explotació (M€)	0,21	0,27	0,27
Cost variable de manteniment i explotació (M€)	9,83	11,68	11,68
Cost total de manteniment i explotació (M€)	10,04	11,95	11,95

Taula 2.26 Cost de manteniment i explotació per a cadascuna de les opcions de connexió.

L'opció de connexió a través de la Gran Via i l'opció de connexió a través del carrer Provença presenten costos iguals ja que totes dues tenen el mateix increment de kilòmetres d'infraestructura i, tal i com s'explica a l'apartat 7 d'aquest capítol, s'ha suposat que totes tres opcions tindran el mateix esquema d'explotació (és a dir, mateixes freqüències de pas).

La xifra anual de cost de manteniment i explotació obtinguda mitjançant aquest procediment pot ser comparada, una vegada més, amb els resultats de l'informe de TRAM. La xifra que ells proporcionen pel cost de manteniment i explotació per a la connexió a través de la Diagonal és de 12,34 M€/any (TRAM, 2010). Dins d'aquesta xifra s'inclouen partides com ara manteniment de material mòbil, manteniment d'infraestructura i superestructura, despeses de personal de tot tipus, consum d'energia, etc.

Tal i com es pot veure, el cost de manteniment i explotació és considerablement superior (especialment si es té en compte que és un cost anual) al calculat mitjançant la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport". Tanmateix, al contrari del que passava amb el cost d'inversió, en aquest cas no es pot realitzar una comparació clara de les dues xifres ja que les xifres de l'informe de TRAM no es divideixen en un cost fix i un cost variable.

Una possible explicació a la discrepància en el cost de manteniment i explotació és pot trobar en el fet que "la renovació de partides infraestructurals i de material mòbil que esgoten els respectius períodes de vida útil s'inclouen com a cost de manteniment", citant textualment l'informe de la gestora. En els càlculs realitzats mitjançant la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport", tal i com s'ha explicat a l'apartat

anterior, la renovació de la infraestructura i del material mòbil es considera un cost d'inversió retardada en el temps una quantitat igual al seu període de vida útil.

2.9 Beneficis econòmics del projecte

L'objectiu d'aquest apartat és quantificar els beneficis associats a l'estalvi de temps que tindran els usuaris de la nova xarxa de tramvia així com altres possibles beneficis derivats del usuaris captats i induïts.

La primera cosa de la qual ens hem d'adonar és que tots els nous usuaris aporten un benefici al projecte: en la mesura en què aquests usuaris decideixen canviar la seva forma de moure's (prenen ara el tramvia) estan dient que aquesta manera de moure's és millor que l'anterior. Tanmateix, aquesta millora no serà igual per un usuari que abans feia servir el transport públic, per un usuari captat o per un usuari induït.

A continuació s'exposarà com es calcularan els diferents beneficis associats a tots tres tipus d'usuaris fent especial atenció als usuaris que anteriorment es movien en transport públic ja que, com veurem, constituïran el gruix dels beneficis.

Usuaris del transport públic

El paràmetre cabdal per tal de calcular el benefici dels usuaris que passen d'un mitjà de transport públic al tramvia és l'estalvi de temps unitari. Aquest estalvi de temps unitari no ha estat possible de calcular de forma autònoma ja que requereix una comparació entre la situació actual i la situació posterior, una vegada s'ha implantat una de les tres opcions de connexió. Amb altres paraules, requereix predir tots els temps de desplaçament dins de tota la xarxa de transport públic actual i compararlos amb els temps de desplaçament una vegada la connexió ha estat feta. L'estalvi de temps, imputable únicament a la connexió del tramvia, es divideix pel total de demanda i s'obté el valor del paràmetre que busquem.

Degut a la impossibilitat de realitzar tot aquest procés, s'ha decidit prendre com a referència el valor obtingut per Mcrit en el seu anàlisi de demanda per l'opció de connexió a través de la Diagonal. Mcrit estima que "els usuaris del transport públic estalviaran globalment 2,7 milions d'hores el 2018" (MCrit, 2009). Això implica que l'estalvi de temps mitjà unitari seria de 4 min/usuari per l'opció Diagonal. Manca, doncs, trobar un valor versemblant per aquest paràmetre per a les altres dues opcions.

Sembla lògic suposar que l'estalvi de temps mitjà unitari seria inferior per a les opcions Gran Via i Provença que per a l'opció Diagonal. Hi ha dos motius que ens condueixen a fer aquesta afirmació:

1. Els usuaris que tindran un estalvi de temps més gran són aquells associats a la demanda de transvasament. Les opcions que tenen una demanda de transvasament més baixa, degut a que tenen recorreguts més llargs, són les opcions Gran Via i Provença. Per tant, sembla lògic dir que aquestes opcions tindran un estalvi d'hores anual inferior que l'opció Diagonal.
2. L'estalvi de temps mitjà unitari es calcula com el rati entre el total d'hores estalviades i la demanda total de la connexió. Les opcions Gran Via i Provença presenten demandes més elevades que l'opció Diagonal, per tant, a l'hora de calcular l'estalvi de temps mitjà unitari estaríem dividint per una xifra més gran fent que el seu valor disminuís encara més.

Per tant, basant-nos en aquests dos arguments, concloem que l'estalvi de temps mitjà unitari ha de ser inferior per a les opcions Gran Via i Provença. Tanmateix, encara desconeixem quant més petit serà aquest paràmetre. La hipòtesi que es realitzarà per tal de poder estimar el VAN i la TIR d'aquestes dues opcions és que l'estalvi de temps mitjà unitari tindrà una penalització de 0,5 min.

En conclusió, l'opció Diagonal té associada un estalvi de temps mitjà unitari de 4 min i les altres opcions tenen associades un estalvi de temps mitjà unitari de 3,5 min. Hem de ser conscients de l'aleatorietat d'aquests valors i que, probablement, la realitat acabi sent una altra ben diferent. De qualsevol forma, en el capítol dedicat a l'anàlisi de sensibilitat s'avaluarà la importància d'aquest paràmetre i quina és la seva influència en la rendibilitat socioeconòmica del projecte.

Assumint les hipòtesis anteriors, l'opció Diagonal suposaria un estalvi de 2,7 milions d'hores l'any de posada en servei. A final de l'any 2047, és a dir, al final del període d'avaluació que s'ha fixat anteriorment, la quantitat d'hores d'estalviades augmentaria fins a un valor de 86,2 milions d'hores. Tenint en compte el valor del temps de viatge, això aportaria uns beneficis de 390,4 milions d'euros, referenciats a 1 de gener de l'any 2016.

De la mateixa manera, l'opció Gran Via suposaria un estalvi de 2,5 milions d'hores l'any de posada en servei i una quantitat d'hores estalviades acumulades de 80,1 milions d'hores. Els beneficis d'aquesta opció, referenciats a 1 de gener de l'any 2016, serien de 362,62 milions d'euros.

Finalment, l'opció de Provença estalviaria 2,4 milions d'hores al llarg de l'any 2016 i suposaria un estalvi acumulat d'hores de 77,6 milions d'hores a finals de l'any 2047. El benefici econòmic associat a aquesta opció de connexió ascendiria als 351,5 milions d'euros.

Usuaris captats

Els beneficis associats als usuaris captats són especialment difícils de calcular per diversos motius. Sembla lògic que aquests usuaris suposen un benefici pel projecte: l'usuari decideix canviar de mitja de transport perquè en la seva percepció personal hi surt guanyar. Tanmateix, no hi ha consens en assenyalar amb què hi surten guanyant o quina és la raó de pes que fa que el gruix d'aquests usuaris canviïn de mitjà de transport.

Els motius pels quals un usuari del vehicle privat es canvia al transport públic poden ser diversos: estalvi de diners, estalvi de temps, més fiabilitat, conscienciació ambiental, etc. Com és lògic, aquests beneficis s'haurien de quantificar de formes totalment diferents. Per exemple, l'estalvi de diners es podria quantificar com la diferència entre els costos mitjans associats a la conducció de vehicle privat (costos de manteniment, de consum de combustible, etc.) menys el nou cost en el transport públic (preu del bitllet del tramvia). Tanmateix, com es mesuraria el benefici de l'usuari que canvia al transport públic perquè aquest mitja de transport li proporciona més fiabilitat però a la vegada allarga el seu temps de viatge?

La diversificació de raons per les quals un usuari passa del transport privat al transport públic, el desconeixement dels percentatges d'usuaris que obeeixen a cada raó, la dificultat per calcular els beneficis associats i el fet que suposin el grup d'usuaris més reduït fa que els beneficis associats a ells s'hagin deixat com una incògnita dins d'aquest projecte. S'entén, però, que aquests beneficis seran petits si els comparem amb els beneficis associats als usuaris captats del transport públic i, per tant, no serà un paràmetre decisiu a l'hora de calcular la rendibilitat socioeconòmica.

Malgrat això, si finalment es realitzés la connexió de les dues xarxes de tramvia, seria molt interessant realitzar una enquesta per tal d'identificar aquests usuaris i saber quins són els motius que els fan canviar de mitja de transport, quina és la seva percepció sobre el seu guany de temps i, fins i tot, com quantificarien ells mateixos el seu guany econòmic.

Usuaris induïts

La "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" recomana estimar els beneficis d'un usuari induït com la meitat dels beneficis d'un usuari captat del transport públic (Col·legi de Camins, Canals i Ports de Catalunya, 2010).

D'aquesta manera, l'opció Diagonal suposaria un benefici de 18,6 milions d'euros, l'opció Gran Via suposaria un benefici de 17,3 milions d'euros i l'opció Provença suposaria un benefici de 16,7 milions d'euros. Totes les xifres anteriors reflecteixen el benefici acumulat al llarg de 30 anys de període d'avaluació i estan referenciades a 1 de gener de l'any 2016. Com podem veure, els beneficis associats als usuaris induïts són considerablement menors que els beneficis associats als usuaris captats del transport privat.

2.10 Anàlisi d'externalitats

L'objectiu d'aquest apartat és analitzar i quantificar les diferents externalitats associades a cadascuna de les opcions de connexió disponibles. Els projectes de transport sempre tenen associats externalitats (tant negatives com positives) que poden arribar a ser determinants en un anàlisi cost-benefici. Per aquest projecte, s'ha considerat que les externalitats que poden arribar a ser significatives són la variació en emissions de gasos contaminants, la variació en emissions de gasos d'efecte hivernacle i la pèrdua de capacitat viària dels carrers on s'implantaria el tramvia. A l'últim apartat es farà un comentari sobre altres possibles externalitats.

Variació en les emissions de gasos contaminants i gasos d'efecte hivernacle

La "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" proposa una metodologia per a la monetització d'aquestes externalitats basada en uns preus per tona d'emissió. D'acord amb aquesta metodologia, s'ha de calcular la variació en la quantitat d'emissions que són directament imputables al projecte i, posteriorment, multiplicar aquest resultat pel seu preu. D'aquesta manera es pot obtenir l'estalvi o pèrdua de diners associat a aquestes externalitats.

La clau d'aquesta metodologia recau sobre els preus associats a l'emissió de cada gas (ja sigui un gas contaminant o un gas d'efecte hivernacle) i, sobretot, en la metodologia emprada per trobar el seu valor. La "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" proposa preus per als gasos contaminants més importants (PM_{10} , SO_2 i NO_x) i pel CO_2 equivalent basant-se en un estudi publicat a l'any 2007. Tanmateix, degut a diversos motius (voluntat d'actualització dels preus recomanada per la mateixa guia, incloure nous gasos contaminants que es poden considerar significatius, actualitzar els preus dels gasos contaminants de manera que el preu reflecteixi el lloc de l'emissió i no hi hagi un valor uniforme a tota Catalunya) es va decidir fer ús de l'article titulat "External Cost of Transport in Europe" (CE DELFT, INFRAS, FRAUNHOFER, 2011)

La principal diferència entre les emissions de gasos contaminants i les emissions de gasos d'efecte hivernacle és que el lloc de l'emissió és profundament important. L'efecte hivernacle és un fenomen global i, per tant, una tona de CO_2 emesa a Catalunya o una tona de CO_2 emesa als Països

Baixos tenen el mateix preu ja que contribueixen a agreujar el problema de l'escalfament global de la mateixa manera. Tanmateix, en el cas de les emissions de gasos contaminants no es dóna aquest cas. Una tona de PM₁₀ a la ciutat de Barcelona (que ja està altament contaminada) no provoca el mateix mal que una tona de PM₁₀ a la ciutat de Tortosa (que no pateix uns problemes de contaminació tant greus). És important adonar-se que la “Guia per a l’avaluació de projectes de transport” proposava els mateixos preus per a tota Catalunya sense tenir en compte l’efecte de la localització de l’emissió. A més a més, la “Guia per a l’avaluació de projectes de transport” no presentava valors per les emissions PM_{2.5} i aquestes han sigut incloses en aquest anàlisi.

Els preus per tona que proposa l’article “External Cost of Transport in Europe” per a Espanya queden resumits a la taula següent.

<i>Gas contaminat</i>	PM _{2.5} (€/tona)	PM ₁₀ (€/tona)	NO _x (€/tona)	SO ₂ (€/tona)
Àmbit metropolitana	384.800	153.900	3.600	5.200
Àmbit urbà	123.900	49.500	3.600	5.200
Àmbit no-urbà	52.900	21.200	3.600	5.200

Taula 2.27 Preus de les emissions contaminants a Espanya.

Respecte a l’emissió de gasos d’efecte hivernacle, ja s’ha comentat que la localització de la seva emissió és completament irrellevant respecte al seu preu. Tanmateix, la variació del seu preu per tona en un relatiu curt període de temps és força important si es compara amb la relativa estabilitat del cost d’emissió de gasos contaminants. Això, en definitiva, reflecteix l’agreujament constant del fenomen de l’efecte hivernacle. D’aquesta manera, el preu de la tona de CO₂ no es considera constant al llarg del període d’avaluació del projecte sinó que es considera creixent. La gràfica de la figura 2.3 que expressa els preus de la tona de CO₂ al llarg dels propers anys ha estat extreta de l’article “External Cost of Transport in Europe”.

Una vegada s’han fixat els preus de les emissions de gasos contaminants, el següent pas consisteix en analitzar la variació en les emissions d’aquests gasos. En el projecte que estem analitzant, es considera que totes tres opcions tenen un impacte positiu en la reducció d’emissions de gasos contaminants. Aquest impacte positiu és degut al percentatge de demanda captat del vehicle privat, quantificat anteriorment en un 3% de demanda

adicional respecte a la demanda provinent del transport públic. Per tant, per a cada projecte, en funció de la demanada provinent del transport públic es pot trobar una quantitat d'usuaris captats del vehicle privat i, aplicant el coeficient d'ocupació de vehicles, es pot trobar la quantitat de vehicles que es retiren de la zona del projecte.

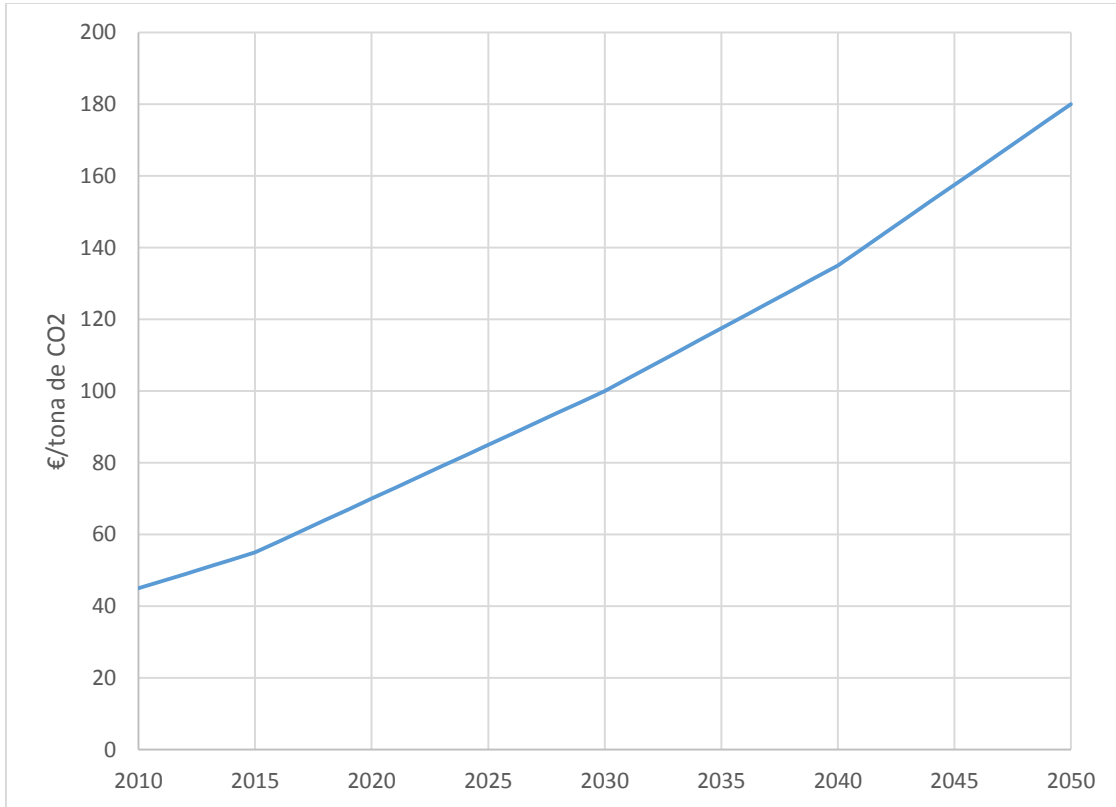


Figura 2.3 Preu de l'emissió de CO₂ en l'horitzó 2010-2050.

L'ingredient que falta per poder monetitzar els beneficis associats a la reducció d'emissió de gasos contaminants i gasos d'efecte hivernacle és saber la quantitat que un vehicle característic emet de cadascun dels gasos considerats a cada kilòmetre recorregut. Aquests factors de conversió s'anomenen factors d'emissió i tenen unitat de g/veh·km. El mateix article "External Cost of Transport in Europe" proposa factors d'emissió per als principals gasos contaminants i pel CO₂ a Espanya. Els valors d'aquests factors d'emissió queden recollits a la taula següent.

Factors d'emissió per a gasos d'efecte hivernacle			
CO_2 (g/veh·km)	191	CH_4 (g/veh·km)	-
		N_2O (g/veh·km)	-

Taula 2.28 Factors d'emissió de gasos d'efecte hivernacle per a Espanya.

Factors d'emissió per a gasos contaminants			
PM_{10} (g/veh·km)	0,051	$PM_{2.5}$ (g/veh·km)	0,031
		SO_2 (g/veh·km)	-
		NO_x (g/veh·km)	0,613

Taula 2.29 Factors d'emissió de gasos contaminants per a Espanya.

Tal i com es pot veure a les taules superiors, manquen els factors d'emissió del SO_2 , CH_4 i N_2O . Al document amb què es van basar aquests càlculs no hi apareixien. A altres documents, es van trobar factors d'emissió per aquests gasos però es feien servir metodologies totalment diferents per obtenir els valors. Per mantenir la consistència i el rigor en el càlcul, es va decidir no incloure factors d'emissió de diferents fonts. Tanmateix, cal dir que en un anàlisi més detallat sobre les emissions de gasos contaminants i gasos d'efecte hivernacle tots els gasos que apareixen a les taules s'haurien de comptabilitzar i monetitzar.

Finalment, pel que fa als beneficis monetaris d'eliminar una quantitat determina de vehicles de la circulació, els resultats obtinguts són positius per a totes tres opcions. L'opció Diagonal suposaria un benefici de 1,31 milions d'euros respecte els gasos contaminants i 1,10 milions d'euros respecte els gasos d'efecte hivernacle. Tant l'opció Gran Via com l'opció Provença presenten beneficis superiors en la mesura en què són opcions capaces de captar més demanda del vehicle privat. L'opció Gran Via suposaria un benefici de 1,39 milions d'euros respecte els gasos contaminants i 1,17 milions d'euros respecte els gasos d'efecte hivernacle. Finalment, l'opció Provença suposaria uns beneficis molt propers als de l'opció Gran Via, 1,34 milions d'euros respecte els gasos contaminants i 1,13 milions d'euros respecte els gasos d'efecte hivernacle. Tots els beneficis estan expressats en euros a 1 de gener de l'any 2016.

Variació en la capacitat viària dels carrers on s'implanta el tramvia

Qualsevol de les tres opcions de connexió plantejades tenen associades una important externalitat que fins ara no s'ha tingut en compte: fer lloc al tramvia implica l'eliminació d'un o més carrils de circulació. Això, *a priori*, no és per si mateix una externalitat ja que si s'eliminen carrils de circulació on hi circulen pocs vehicles i els carrils de circulació restants són capaços d'absorbir el nou flux sense augmentar els temps de viatge no s'estaria generant cap mena de cost. Tanmateix, aquest no és el cas per a cap de les tres opcions plantejades. Per tant, existirà un cost derivat de l'augment dels temps de viatge pels usuaris del transport privat.

Per intentar donar un ordre de magnitud a aquest cos s'exposarà el mètode desenvolupat a l'article titulat *Paris: a Desire Named Streetcar* (Martin Koning, Rémy Prud'Homme, Pierre Kopp, 2010). Aquest article és un anàlisi cost benefici de la implantació d'un tramvia a una part dels bulevards *Maréchaux'* a la ciutat de París i s'ha considerat que la situació que s'hi descriu guarda certes similituds amb el cas que es vol estudiar per la ciutat de Barcelona.

Per començar, cal dir que l'article en el qual es basarà tot el càlcul parteix d'un avantatge que nosaltres no tenim. Els autors d'aquest article coneixen la situació abans de la implantació del tramvia i també coneixen la situació després de la implantació del tramvia. Així, pel cas que s'estudia, s'hauran de fer hipòtesis sobre la situació de les vies de circulació una vegada s'hagi implantat el tramvia.

L'article parteix de la comparació entre els vehicles per kilòmetre en la situació pre-projecte i en la situació post-projecte. Al comparar totes dues xifres, els autors s'adonen que a la zona d'estudi (o zona d'implantació del tramvia) hi falten vehicles, és a dir, abans hi circulaven més vehicles que ara. Això pot ser degut a que els vehicles que falten o bé no hi circulen més, o bé ho fan per altres zones de la ciutat. A més a més, és lògic suposar que els vehicles que encara circulen ho fan en pitjors condicions que abans.

La idea darrera de tota l'explicació anterior queda resumida a la figura 2.4. La recta CA representa la demanda a la zona d'estudi (ja sigui Avinguda Diagonal, Gran Via o carrer Provença) mentre que la recta P_bC representa el preu del desplaçament alternatiu a la zona d'estudi (nosaltres suposarem que aquest desplaçament alternatiu sempre existeix). La corba de demanda, per tant, queda tallada per la recta P_bC ja que ningú està disposat

a pagar un preu més elevat que el de l'alternativa. A més a més, tenim la corba O_a que reflecteix la situació de congestió dins d'un carrer: a mesura que hi circulen més vehicles, els costos unitaris de circulació augmenten.

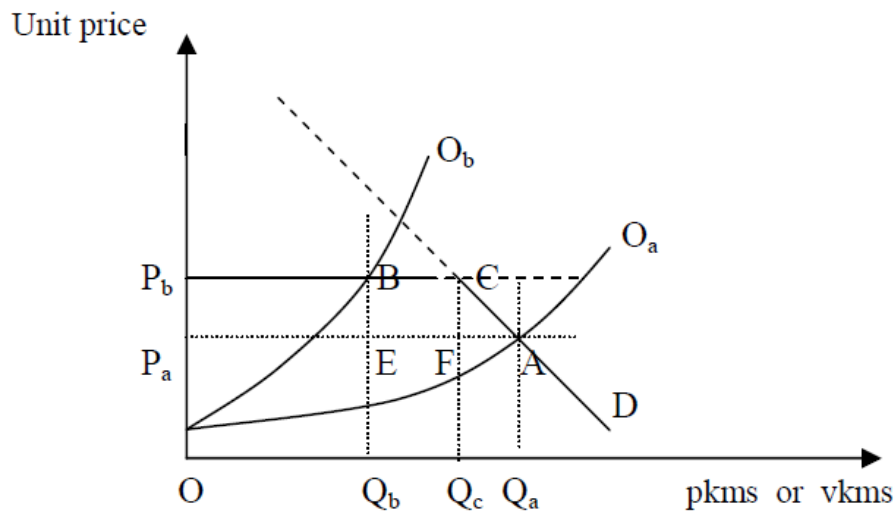


Figura 2.4 Comportament dels usuaris de transport privat al realitzar-se la connexió entre les dues xarxes (Martin Koning, Rémy Prud'Homme, Pierre Kopp, 2010).

La corba O_a , representa la situació pre-projecte i el punt d'intersecció amb la recta CA ens indica la quantitat de vehicles per kilòmetre que hi circulen i el preu que han de pagar per circular-hi P_a . En el moment en què es construeix el tramvia a la zona d'estudi s'està afectant la capacitat de circulació i, per tant, la corba O_a es desplaçarà fins a la corba O_b i, en conseqüència, tindrem un nou cost de circulació P_b i una nova quantitat de vehicles circulant-hi, Q_b . Aquesta xifra, Q_b representa la quantitat de vehicles que encara circulen per la zona d'estudi i, tal i com es pot veure, serà inferior a Q_a . On estan els vehicles que falten? Una part d'aquests vehicles han decidit fer servir l'alternativa de circulació (això està representat a la gràfica pel segment EF) i l'altra part de vehicles han estat eliminats de la circulació (això està representat a la gràfica pel segment FA).

El següent pas, doncs, es trobar un cost a aquest empitjorament de la mobilitat. Pel cas dels vehicles que son eliminats de la circulació, el seu cost associat queda representat per l'àrea CFA , mentre que el cost associat a la resta d'usuaris (usuaris que encara viatgen ja sigui per la zona d'implantació del tramvia o per la seva alternativa) està representat per l'àrea P_bCFP_a . És important adonar-se que aquests dos tipus d'usuaris, tot i prendre

decisiones diferents, pateixen el mateix cost. El model assumeix un equilibri en el moment en què anar per la alternativa és igual al cost de moure's per la zona on s'ha implantat el tramvia.

La realització dels càlculs es farà de forma detallada pel cas de la Diagonal en el proper apartat. Per les opcions de connexió Gran Via i Provença, simplement s'enumeraran les hipòtesis de càlcul més importants i es presentaran els resultats obtinguts. El càlcul detallat de tots els aspectes relacionats amb aquesta externalitat pot trobar-se a l'annex II.

Opció Diagonal

El primer que s'ha de fer per a la realització dels càlculs és trobar el cost de circulació en la situació pre-projecte. El cost en la situació pre-projecte tindrà una component fixa (CF) i una component variable, dependent de la velocitat de circulació en la zona de d'estudi abans de la implantació del tramvia (v), el valor del temps de viatge per persona (VdT) i el rati d'ocupació dels vehicles (OR).

$$P_a = CF + \frac{VdT \cdot OR}{v}$$

El valor dels costos fixes de circulació, segons la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport" és igual a 0.07 €/veh·km. Pel que fa al valor del temps de viatge, en aquest cas s'ha considerat un valor mitjà d'11,02 €/h·pax ja que no hi ha disponibles motius de viatge desagregats pels usuaris del transport privat. Finalment, la velocitat de circulació en la situació pre-projecte es va suposar 45 km/h. Amb aquests valors, el preu unitari en la situació pre-projecte és de 0,388 €/veh·km.

Una vegada s'han trobat els costos de circulació en la situació pre-projecte, el següent pas és trobar l'increment en els costos de circulació una vegada s'ha construït el tramvia. Els autors de l'article consideren que aquest increment en el cost és igual al cost de la desviació fins a l'alternativa. Per tal de calcular aquest increment de cost, en primer lloc estimen la longitud mitjana dels viatges a la zona d'estudi (l). A continuació, estimen la longitud de la desviació (l_d) i una velocitat de desplaçament fins a l'alternativa considerada (v). Amb totes aquestes dades es pot calcular l'increment de cost per kilòmetre recorregut i, tenint en compte el valor del temps de viatge (VdT) i el rati d'ocupació (OR) de vehicles es pot obtenir l'increment en el cost de viatge (ΔP).

En l'estudi de les tres alternatives, es faran servir les mateixes hipòtesis que els autors fan dins l'article:

- La longitud mitjana dels viatges a la zona d'estudi és igual a la meitat de la longitud total.
- La velocitat de desplaçament fins a l'alternativa i en l'alternativa es considerarà igual a la velocitat suposada a la zona d'estudi (això implica que els nivells de congestió tant a la zona d'estudi com a l'alternativa són similars).

Pel cas que actualment ens ocupa, el recorregut mig a la zona d'estudi és de 1,95 km mentre que l'increment del recorregut en la situació post-projecte per un vehicle que decideix prendre l'alternativa se suposa 0,66 km. Aquesta valor prové d'un informe realitzat pel RACC en què s'afirmava que la implantació del tramvia a la Diagonal suposaria incrementar els trajecte mig en un 34%. Com es pot comprovar, el 34% de 1,95 km és 0,66 km .

Fent ús de la hipòtesi de que la velocitat de desplaçament fins a l'alternativa és igual a la velocitat suposada a la zona d'estudi es pot obtenir l'increment de temps per kilòmetre recorregut (Δt), que és igual a 0,45 min/km. Finalment, mitjançant el valor del temps de viatge i la taxa d'ocupació de vehicles es pot obtenir l'increment de cost de circulació viari.

$$\Delta P = VdT \cdot OR \cdot \frac{l_d}{l} \cdot \frac{1}{v} = VdT \cdot OR \cdot \Delta t$$

L'increment en el cost de circulació viari per l'opció Diagonal és igual a 0,108 €/veh·km.

La següent dada significativa és la quantitat de vehicles per kilòmetre en la situació pre-projecte (Q_a). Aquesta dada es pot estimar a partir de les IMD que apareixen al web de l'Ajuntament de Barcelona. L'Avinguda Diagonal, entre Rambla Catalunya i Via Augusta, presenta una IMD de 90069 veh/dia. Com és lògic, per obtenir la quantitat de vehicles per kilòmetre només s'hauria de multiplicar l'anterior xifra per la distància entre la plaça Francesc Macià i la plaça de la Glòries. Tanmateix, si féssim això, estaríem donant un resultat molt més gran del que realment carrega aquesta avinguda ja que l'IMD ha estat mesurada a un punt neuràlgic. Per tal de corregir això, es va decidir multiplicar el resultat anterior per un factor corrector igual a 0,7. Així, per l'opció Diagonal, la quantitat de vehicles per kilòmetre pot estimar-

se en 254.000 veh·km. A aquesta xifra, però, caldria restar-li la demanda captada per la pròpia construcció del tramvia. D'aquesta manera, dels 254.000 veh·km inicials, en quedarien uns 241.000 veh·km.

Amb els tres valors estimats en els paràgrafs anteriors podem passar a calcular la quantitat de vehicles que són eliminats de la circulació. L'eina que farem servir pel càlcul és l'elasticitat en la corba de demanda. Recordem que l'elasticitat pot definir-se com a:

$$\varepsilon = \frac{\text{Variació percentual de la quantitat demandada}}{\text{Variació percentual en el preu}} = \frac{FA/Q_a}{\Delta P/P_a}$$

Fixem-nos que per obtenir FA, és a dir, la quantitat de vehicles que són retirats de la circulació, només ens cal suposar un valor d'elasticitat de la corba de demanda de l'Avinguda Diagonal. Els autors de l'article proposen valors d'elasticitat entre 0,4 i 0,2 argumentant que els viatges que transcorren per la seva zona d'estudi acostumen a ser una part de desplaçament més llargs i això, per tant, els fa ser viatges més inelàstics (Martin Koning, Rémy Prud'Homme, Pierre Kopp, 2010). En els càlculs realitzats sempre se seguirà la recomanació dels autors i es prendrà un valor de l'elasticitat de 0,3. Al cap i a la fi, no es cap bogeria suposar que carrers com la Gran Via, Urgell o la Diagonal, són carrers amb demanades inelàstiques ja que són les principals artèries de comunicació internes dins de la ciutat de Barcelona. La situació del carrer Provença, però, ens sembla una mica diferent: és un carrer amb una IMD considerablement més baixa que els altres i existeix una alternativa propera que realitza exactament el mateix desplaçament (parlem, efectivament, del carrer Mallorca). Per tant, per a aquest carrer, s'han suposat valors d'elasticitat en la demanda de 0,7 (Martin Koning, Rémy Prud'Homme, Pierre Kopp, 2010).

Amb totes les hipòtesis anteriors, el nombre de vehicles que serien retirats de la circulació degut a la implantació del tramvia en la Diagonal seria de l'ordre de 20.100 veh·km. De manera que, quedarien uns 220.700 veh·km distribuïts entre l'Avinguda Diagonal i l'alternativa de desplaçament més adient.

Finalment, només manca calcular el cost associat a aquesta pèrdua de mobilitat. El cost associat als usuaris que són expulsats de la circulació (recordem que es correspon amb l'àrea CFA) és de 305.000 € a l'any mentre que el cost que pateixen la resta d'usuaris és de 6.691.000 € a l'any (tots dos

costos han estat calculats amb un factor d'annualitat de 280, el mateix que s'ha fet servir al llarg de tot el treball).

Per tant, els costos de l'externalitat derivada de la pèrdua de capacitat viària de l'Avinguda Diagonal tindrien un valor de l'ordre de 6.996.000 € a l'any i al llarg dels 30 anys de projecte suposarien un cost de més de 85 milions d'euros, referenciats a 1 de gener de l'any 2016.

Opció Gran Via

Els càlculs per l'opció Gran Via es van realitzar de forma exactament igual. Tanmateix, en aquest el model es va haver d'aplicar dues vegades per tenir en compte el carrer Gran Via i el carrer Urgell (per on transcorre el recorregut d'aquesta opció de connexió). El càlcul detallat i les diferents hipòtesis que es realitzen sobre velocitats de circulació, increments en la distància recorreguda, etc. es troben a l'annex 2.

Així, pel que fa als costos de circulació relacionats amb el carrer Gran Via, el cost de circulació en la situació pre-projecte es va calcular en 0,357 €/veh·km i l'increment en els costos de circulació és de 0,090 €/veh·km, derivat d'un increment en el temps de viatge de 0,38 min/km.

Pel que fa l'IMD del carrer Gran Via, al web de l'Ajuntament de Barcelona, s'indica una xifra de 51.115 entre els carrers Villarroel i Casanova. Tal i com passava en l'exemple anterior, aquest punt pot no ser representatiu de tot el carrer i, per tant, es va optar per multiplicar-ho per un factor reductor de 0,8. El resultat obtingut és que per la Gran Via, en el tram d'estudi, circulen uns 123.000 veh·km (una vegada aplicat el factor reductor i descomptats els vehicles associats a la demanda captada).

Amb les dades anteriors, la quantitat de vehicles per kilòmetre expulsats de la circulació degut a la implantació del tramvia al carrer Gran Via és de l'ordre de 9300 veh·km. Com en el cas anterior, els vehicles que encara romanen circulant són de l'ordre de 113.600 veh·km. Els costos associats a aquesta pèrdua de mobilitat són, respectivament, 118.000 € i 2.873.000 €. La suma de costos associats a la pèrdua de mobilitat viària és de 3.991.000 € anuals.

De la mateixa manera, es poden calcular els costos al carrer Urgell. En aquest cas el cost de circulació en la situació pre-projecte es idèntic al del carrer Gran Via (es va suposar la mateixa velocitat de circulació). La

diferència fonamental recau en l'increment del cost viari, que és de 0,186 €/veh·km, derivat d'un increment en el temps de viatge de 0,78 min/km.

Amb referència a l'IMD del carrer Urgell, per l'any 2014, l'Ajuntament de Barcelona l'estima en 41.948 vehicles al dia, entre els carrers París i Còrsega. En aquest cas, es considera que aquesta IMD pot ser força representativa del trànsit a tot el carrer i el factor reductor és només del 0,9. D'aquesta manera, la quantitat de vehicles per kilòmetre al llarg de la zona d'estudi del carrer Urgell s'estima en uns 54.800, una vegada descomptada la demanda captada.

La quantitat de vehicles per kilòmetre expulsats de la circulació són, doncs, de l'ordre de 9.500 i el cost associat a això és de 224.000 € a l'any. Pel que fa a la resta d'usuaris, l'increment de temps en els seus desplaçaments té un cost associat de 2.411.000 € anuals. La suma, per tant, ascendeix fins als 2.635.000 € anuals.

En conclusió, els costos de l'externalitat de la pèrdua de capacitat viària dels carrers per on passa el tramvia per l'opció Gran Via tenen un valor de l'ordre de 5.626.000 € anuals i al llarg dels 30 anys de projecte aquesta externalitat tindria un cost de prop de 69 milions d'euros, referenciats a 1 de gener de l'any 2016.

Opció Provença

De la mateixa manera que s'ha procedit en els casos anteriors, es procedirà amb l'opció Provença. En aquesta opció, però, els càlculs es repetiran tres vegades: una vegada pel tram que discorre pel carrer Urgell, una altra vegada pel tram que discorre pel carrer Provença i una última vegada pel tram que discorre per la Gran Via. S'ha considerat que el tram que discorre per Passeig de Sant Joan no aportarà cap cost.

Comencem doncs, pel tram que discorre pel carrer Urgell. El cost de circulació en la situació pre-projecte és de 0,357 €/veh·km i l'increment en el cost de circulació de 0,175 €/veh·km, derivat d'un increment en el temps de viatge de 0,73 min/km. L'IMD a la zona de referència ja ha estat comentada prèviament. Tanmateix, en aquest cas es va considerar que el factor reductor hauria de prendre un valor igual a 1 ja que la zona on es va calcular l'IMD es plenament significativa de tot el tram de recorregut. Així, la quantitat de vehicles per kilòmetre en la situació pre-projecte, una vegada descomptada la demanda captada, és de 35.200.

Amb els resultats anteriors, la quantitat de vehicles per kilòmetre que són expulsats de la circulació és de l'ordre de 5.200. Això té un cost associat de 127.000 € anuals. Per altra banda, l'increment en els temps de desplaçament pels vehicles que encara romanen a la xarxa té un cost associat de 1.473.000 € anuals. La suma de costos en aquest tram és, per tant, de 1.600.000 €.

El tram que transcórrer per la Gran Via també presenta similituds amb el cas anterior. El cost de circulació en la situació pre-projecte és també de 0,357 €/veh·km. Tanmateix, en aquest cas, l'increment en el cost de circulació és de 0,115 €/veh·km degut a que els recorreguts mitjos són més curts que en l'altra cas. Pel que fa l'IMD de la zona, es va fer servir la mateixa xifra que al cas anterior, inclòs el factor reductor que recordem prenia un valor 0.8. El resultat, una vegada descomptada la demanda captada, és de 51.800 veh·km.

Per tant, en aquest tram del projecte s'expulsarien uns 5.000 veh·km amb un cost associat de 80.000 € a l'any, mentre que el cost per a la resta d'usuaris seria de 1.504.000 € anuals. La suma de tots dos costos, ascendiria fins als 1.584.000 €.

L'últim tram que manca per analitzar és el del carrer Provença. En aquest el cost de circulació en la situació pre-projecte és de 0,428 €/veh·km. L'increment del cost viari, en aquest cas, és de 0,093 €/veh·km, derivat d'un increment en el temps de viatge 0,39 min/km.

Al web de l'Ajuntament de Barcelona no es va trobar una IMD de referència pel carrer Provença. Tanmateix, hi apareixia la del carrer Mallorca, uns 22.000 veh/dia, un carrer amb característiques similars tot i ser considerablement més viari. Així, pel carrer Provença es van suposar una IMD de l'ordre de 18.000 veh/dia. La quantitat de vehicles per kilòmetre, en aquest cas, és de 33.200.

Tenint en compte tot això, els vehicles per kilòmetre expulsats de la circulació en aquest tram de projecte ascendeixen fins a 5.000 veh·km, amb un cost associat de 66.000 € anuals. La resta d'usuaris patirien un cost anual de l'ordre de 734.000 €. Per tant, en aquest cas tram de la connexió els costos tindrien un valor d'uns 800.000 € anuals. Seria doncs, el primer tram en què l'externalitat deguda a la reducció de la capacitat viària no superaria el milió d'euros anual.

En conclusió, l'opció Provença, tindria uns costos derivats de la reducció de capacitat dels carrers per on passa el tram de 3.984.000 € anuals i al llarg dels 30 anys de projecte aquesta externalitat suposaria un cost de prop de 49 milions d'euros, referenciats a 1 de gener de l'any 2016.

Altres externalitats

A banda de les tres externalitats exposades i calculades fins ara, existeixen altres externalitats associades a aquest projecte. Exemples d'aquestes externalitats són la variació en l'accidentalitat, la variació en el nivell de soroll o fins i tot la variació en la plusvàlua immobiliària de les zones per on s'implantaria el tramvia. Aquestes externalitats acostumen a aparèixer en els debats associats a la construcció d'infraestructures. Tanmateix, l'experiència demostra que no són determinants en un anàlisi socioeconòmic i han quedat excloses d'un càlcul detallat. Es considera que els factors considerats donen una imatge suficientment acurada de les externalitats associades a la connexió de les dues xarxes de tramvia i permeten respondre a dues qüestions que acostumen a ser fonamentals en el posicionament a favor o en contra de la construcció d'aquesta infraestructura: els suposats beneficis ambientals i l'impacte sobre la xarxa viària.

Una altra possible externalitat que no ha sigut estudiada amb detall dins d'aquest treball són els beneficis associats a la transferència d'usuaris d'un mitjà de transport públic a un altre mitjà de transport públic. Expliquem-nos. Com s'ha demostrat anteriorment, el gruix de la demanda del tramvia provindrà d'altres mitjans de transport públic. Aquests mitjans de transport poden potencialment trobar-se en una situació de saturació i, per tant, el fet de desplaçar uns usuaris cap al tramvia faria que altres usuaris, que no prenen el tramvia, es veiessin beneficiats. Dit amb altres paraules, la disminució de la demanda en els altres mitjans de transport (bus, metro, FGC o fins i tot, Rodalies) podria augmentar la comoditat dels usuaris que encara s'hi queden. Aquesta externalitat, tal i com s'assenyala a l'article *Paris: a Desire Named Streetcar*, es particularment difícil de quantificar i sembla que hi ha hagut molt poca investigació al respecte. El mateix article, però, acaba assenyalant que aquesta externalitat podria suposar un benefici del mateix ordre de magnitud que l'associat a l'estalvi de temps dels usuaris captats del transport públic. En el nostre cas, aquesta externalitat no s'ha tingut en compte en el càlcul de la rendibilitat

socioeconòmica dels diferents projectes, però ens ha semblat adequat fer una reflexió al respecte.

2.11 Resultats de l'anàlisi socioeconòmic

Aquest apartat del treball està dedicat a l'exposició dels resultats de l'anàlisi socioeconòmic sota les hipòtesis que han estat exposades al llarg de tot el capítol. Per analitzar el resultat socioeconòmic d'un projecte s'analitzaran els dos indicadors que han sigut explicats al primer capítol d'aquest treball: el VAN i la TIR. A més a més, s'inclourà un gràfic on es pugui veure clarament com cadascun dels aspectes que s'han discutit al llarg del capítol influeix en el resultat del VAN.

Els resultats detallats de l'anàlisi cost-benefici de cadascuna de les opcions estan recollits a l'annex III.

Opció Diagonal

L'opció de connexió a través de la Diagonal presenta un VAN igual a 98.751.144 € i una TIR del 14,33 %. D'acord amb aquests resultats, des d'un punt de vista socioeconòmic, aquest projecte s'hauria de dur a terme ja que aporta benefici social (VAN positiu) i a més a més, presenta un cost d'oportunitat relativament alt (la TIR és més del doble que la taxa de descompte).

A la figura 2.4 es pot veure la contribució que cadascun dels aspectes considerats tenen dins del resultat del VAN. Així, podem veure com el benefici més important és l'estalvi de temps del usuaris captats del transport públic. Per altra banda, el cost més important és el d'exploració i manteniment al llarg de tot el període d'avaluació. Un altre cost que contribueix notoriament al resultat del VAN és el cost associat a l'externalitat viària. A més a més, podem veure com les altres externalitats (variació de les emissions de GHG, gasos d'efecte hivernacle per les seves sigles en anglès, i variació de les emissions contaminants) contribueixen molt poc al resultat del VAN i gairebé no apareixen al gràfic.

Opció Gran Via

L'opció de connexió a través de la Gran Via i el carrer Urgell presenta un VAN igual a 53.061.600 € i una TIR del 10,23%. Des d'un punt de vista socioeconòmic aquest projecte s'hauria de realitzar ja que presenta un VAN positiu (la societat hi surt guanyant) i una TIR superior a la taxa

d'actualització. En aquest cas, però, la TIR és més modesta que en el cas anterior però encara considerablement elevada.

A la figura 2.5 es pot veure quines són els principals factors que influeixen en el resultat del VAN. Com a l'opció Diagonal, el principal benefici del projecte estaria associat a l'estalvi de temps dels usuaris captats del transport públic i el principal cost seria el cost de manteniment i gestió al llarg dels 30 anys de període d'anàlisi.

Opció Provença

Finalment, l'opció Provença presenta un VAN igual a 61.578.519 € i una TIR del 10,89%. Com en els altres casos, el projecte s'hauria de dur a terme ja que aporta un benefici en valor absolut a la societat i rendibilitat socioeconòmica (la TIR és superior a la taxa de descompte).

A la figura 2.6, es poden veure els conceptes que contribueixen significativament als resultats del VAN. Com és lògic, una vegada més, l'esquema de costos i beneficis és similar al dels altres casos.

Conclusions

Sota les hipòtesis que s'han desenvolupat al llarg de tot el capítol, qualsevol dels tres projectes hauria de ser promogut per les autoritats competents.

Tots tres projectes presenten un VAN positiu i això es tradueix en un guany socioeconòmic per a la societat. A més a més, en tots tres casos la TIR dels projectes és positiva i això es tradueix en què qualsevol d'aquests projectes aporta una rendibilitat social superior a la "mitjana". Amb altres paraules, invertir en qualsevol d'aquests projectes un euro de la societat suposa obtenir uns beneficis socials superiors als d'invertir en un projecte promig. Això vol dir que qualsevol de les tres opcions de connexió hauria de ser un projecte prioritari de construcció per part de les autoritats competents.

Per altra banda, i abans de realitzar un anàlisi de sensibilitat sobre les hipòtesis que s'han realitzat al llarg del capítol, el projecte que s'hauria de realitzar d'entre els tres seria l'opció de connexió de la Diagonal. La justificació torna a ser la mateixa: presenta el guany socioeconòmic més elevat (VAN més gran) i la millor rendibilitat (TIR més alta).

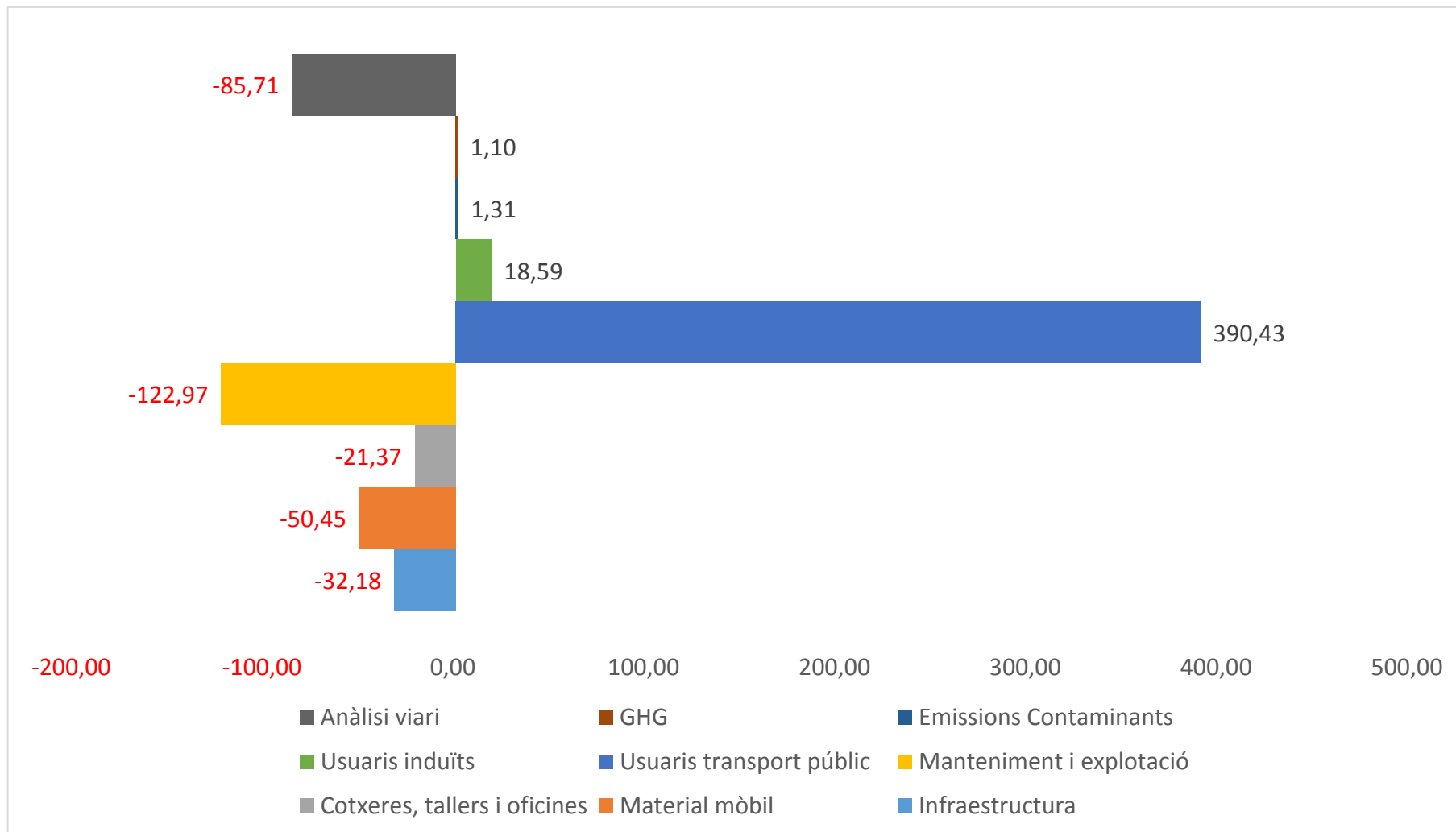


Figura 2.4 Resultats de l'anàlisi cost-benefici per a l'opció Diagonal en M€.

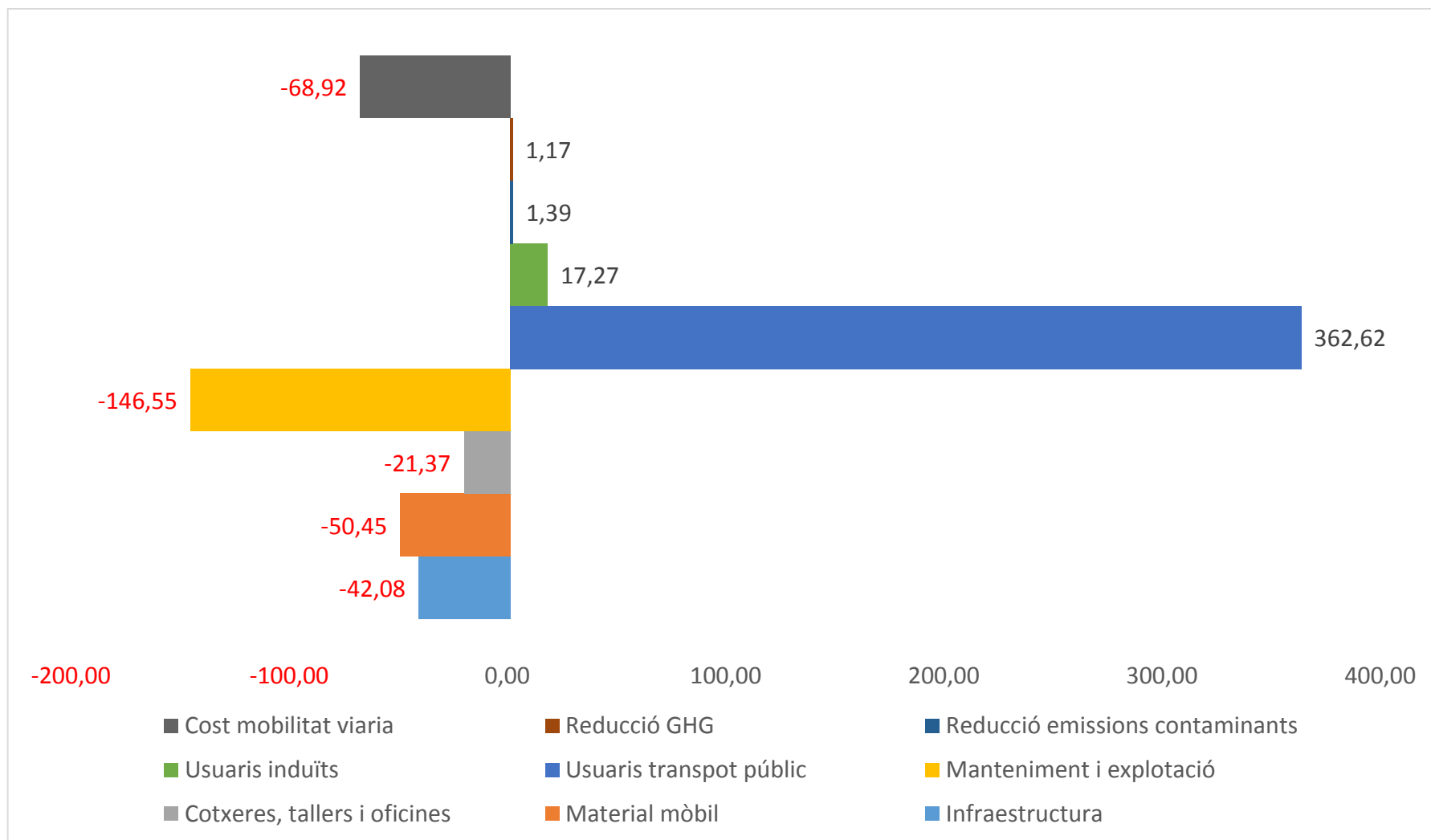


Figura 2.5 Resultats de l'anàlisi cost-benefici per a l'opció Gran Via en M€.

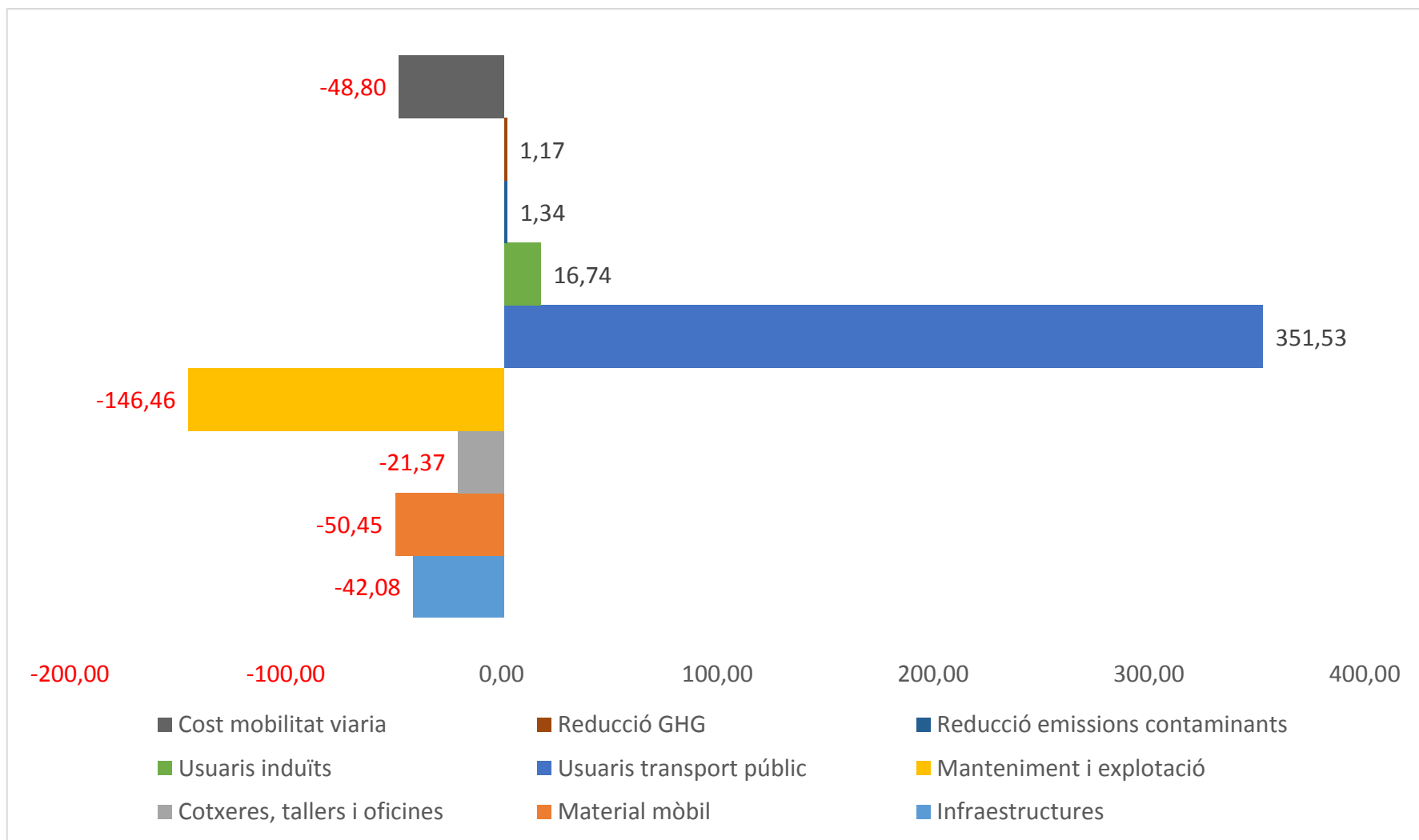


Figura 2.6 Resultats de l'anàlisi cost-benefici per a l'opció Provença en M€.

CAPÍTOL 3
ANÀLISI DE SENSIBILITAT

3.1 Introducció

Al llarg de tot el capítol 2 d'aquest treball, s'han realitzat una sèrie d'hipòtesis que ens han permès avançar en el càlcul i, finalment, donar resposta a les dues preguntes que ens proposàvem:

1. És rendible socialment la connexió de les dues xarxes de tramvia?
2. En cas afirmatiu, quina de les tres opcions plantejades obté una millor rendibilitat social?

Tanmateix, en alguns casos, s'han fet hipòtesis sobre valors o paràmetres que no estaven recolzades per un estudi previ o un article científic. Un lector qualsevol d'aquest treball podria argumentar que algun d'aquests valors s'ha corregit *a posteriori* per tal d'obtenir un resultat prefixat. Res més lluny de la realitat. Per tant, amb l'objectiu de defensar la versemblança dels resultats obtinguts i d'analitzar la robustesa dels mateixos en aquest capítol es realitzarà un anàlisi de sensibilitat sobre dos conceptes que trobem fonamentals en el marc dels projectes que estem analitzant: la demanda i el VAN.

Per tant, la idea darrera d'aquest capítol és veure com canvien la demanda i el VAN al suposar altres escenaris, analitzar si veritablement els resultats de la demanda i el VAN depenen de les hipòtesis fetes i, en cas afirmatiu, detectar els paràmetres dels quals dependria en major grau la demanda i el VAN.

L'eina que es farà servir és un complement d'Excel anomenat Crystal Ball. Aquest complement permet suposar una determinada distribució de probabilitat sobre un input del nostre anàlisi cost-benefici. Posteriorment, realitza una sèrie d'escenaris que tenen una probabilitat de succeir d'acord amb la distribució de probabilitat dels inputs que s'ha fixat prèviament. Finalment, ens proporciona la variació en els outputs desitjats, la demanda i el VAN, en aquest cas.

3.2 Distribucions de probabilitat

Com s'ha indicat a la introducció d'aquest capítol, aquest apartat està dedicat a associar, d'una manera raonada i justificada, diferents distribucions de probabilitat als diferents paràmetres o valors que al llarg del capítol 2 no s'han pogut justificar mitjançant un estudi previ.

Les dos distribucions de probabilitat que més es faran servir són la distribució de probabilitat uniforme i la distribució de probabilitat normal. La distribució de probabilitat uniforme reflectirà el cas en què realment hagi absolut desconeixement sobre un paràmetre i , per tant, la probabilitat de que aquest prengui un valor o un altre és la mateixa. Per altra banda, la distribució de probabilitat normal reflectirà el cas en que hagi indicis que ens fan dir que un paràmetre pot prendre un valor, però, existeixen una gran incertesa sobre aquest valor i existeix la probabilitat de que aquest valor sigui més gran o més petit.

Les hipòtesis sobre els paràmetres que s'han realitzat al llarg del capítol 3 s'han agrupat en quatre blocs: hipòtesis sobre la demanda, hipòtesis sobre els costos, hipòtesis sobre l'estalvi de temps i hipòtesis sobre les externalitats.

Hipòtesis sobre la demanda

Una de les principals dificultats que afrontàvem a l'hora de calcular la demanda generada per les estacions de tram central era estimar el percentatge de demanda que faria transbordament des d'un altre mitja de transport. Així, es va fer la hipòtesi que aquest paràmetre podia prendre el valor 0%, 10%, 30% o 70%.

Per tal d'estimar la sensibilitat d'aquests paràmetres, s'ha decidit implantar funcions de probabilitat uniforme. Així, les estacions que tenien assignat un 10% com a valor fix, ara tindran assignada una distribució de probabilitat uniforme entre 0 i 10; les estacions que tenien assignat un 30% com a valor fix, ara tindran assignada una distribució de probabilitat uniforme entre 10 i 30. La mateixa dinàmica per les estacions que tenen assignat un valor del 70%.

Una de les altres hipòtesis més importants que es van fer va ser el percentatge de transvasament. En aquest cas, suposarem que aquest

percentatge de transvasament té una distribució uniforme entre 0,2 i 0,6, és a dir, estem donant una alta probabilitat al fet que el percentatge de transvasament podria ser inferior al que hem suposat al capítol 2, però, a la vegada, considerem uns escenaris en que existiria encara més demanda de transvasament.

Finalment, hauríem de realitzar hipòtesis sobre diferents escenaris de creixement o decreixement de la demanda. Recordem que, en el capítol 2, es va considerar com a escenari central aquell escenari que proporcionava un creixement del 0,5% interanual els primers 20 anys i, durant els últims 10 anys del període d'avaluació, considerava que no havia creixement.

En aquest cas, les hipòtesis que es faran servir són:

- Durant els primers 10 anys de període d'avaluació, la demanda pot créixer interanualment d'acord amb una distribució de probabilitat uniforme que va del 0% al 1,5.
- Al llarg dels propers 10 anys de període d'avaluació, la demanda pot evolucionar interanualment d'acord amb una distribució de probabilitat uniforme que va del -1% al 1%.
- Finalment, durant els últims 10 anys de període d'avaluació, la demanda pot canviar interanualment d'acord amb una distribució de probabilitat uniforme que va del -2% al 0,5%.

Aquest escenari està fonamentat en 2 idees:

1. A mesura que passen els anys és més difícil estimar el creixement de la demanda i, per tant, la variància de la distribució hauria de créixer.
2. A mesura que passen els anys és més probable que es produeixi un escenari de decreixement pel fet que vam comentar al capítol 2: la construcció de noves infraestructures és cada vegada més probable i aquestes infraestructures podrien entrar en competència amb el tramvia.

Hipòtesis sobre costos

L'apartat de costos és un apartat basant enterament amb la "Guia per a l'avaluació de projectes de transport". Per tant, els resultats obtinguts estan sostinguts en estudis previs i podem afirmar amb certa seguretat que les

xifres obtingudes són de l'ordre de magnitud del que es podria esperar per a una infraestructura d'aquestes característiques.

Tanmateix, cal recordar que hi ha un concepte dels costos que no vam ser capaços de preveure amb claredat, això és el nombre d'unitats mòbils. Vam deduir que es necessitaven un mínim de 16 unitats mòbils de tramvia, però alhora, vam concloure que era altament probable que finalment en fessin falta més (especialment per les opcions de connexió Gran Via i Provença).

Per tal de representar aquesta incertesa, es farà servir una distribució de probabilitat uniforme discreta entre 16 i 20. Així, es considera que el màxim d'unitats mòbils que es faran servir és 20 i que, aquest esdeveniment, té la mateixa probabilitat que passi que l'esdeveniment associat a que s'hagin d'adquirir 16 unitats mòbils. Es realitzarà la mateixa hipòtesi a totes tres opcions de connexió.

Hipòtesis sobre l'estalvi de temps

L'estalvi de temps mitjà unitari és un dels paràmetres fonamentals dins d'un anàlisi cost-benefici d'aquestes característiques ja que el principal benefici depèn d'aquest valor. Malauradament, no vam disposar de les eines adequades per trobar un valor versemblant i vam quantificar aquest paràmetre en funció d'estudis previs. Finalment, es va decidir prendre com a estalvi mitjà unitari de temps 4 min per l'opció Diagonal. Per les altres opcions, es va optar per una penalització de 30 segons i, per tant, el seu estalvi mitjà unitari és de 3,5.

Hem de ser conscients de que existeix la possibilitat de que aquests estalvis mitjans unitaris siguin inferiors als valors assignats. Tanmateix, també podria donar-se el cas contrari, i podríem trobar-nos en una situació en que l'estalvi mitjà unitari fos més gran que els valors assenyalats.

La solució que es va plantejar per quantificar aquesta incertesa va ser aplicar una distribució de probabilitat normal sobre aquest paràmetre amb una mitjana igual al valor assignat al capítol tres i una variància 8 vegades més petita que la mitjana. Amb aquests paràmetres la probabilitat de que l'estalvi unitari mitjà de temps es modifiqui fins a un 25% és de 0,954.

Prenem l'opció Diagonal per il·lustrar la idea anterior. En el cas que considerem una variància 8 vegades més petita que la mitjana (això implica

una variància de 0,5 per aquest cas) existirà una probabilitat de 0,954 de que el l'estalvi mitjà unitari de temps es trobi entre 3 i 5 min (25% de variació de l'estalvi unitari mitjà de temps), amb simetria entre els dos casos.

Hipòtesis sobre les externalitats

Com es va comentar a l'apartat dedicat a l'anàlisi dels resultats socioeconòmics, les externalitats mediambientals suposen una contribució molt petita en el resultat global dels projectes i, per tant, no s'ha implementat cap variació en els seus paràmetres.

Tanmateix, durant l'anàlisi de l'externalitat viària es van realitzar una sèrie d'hipòtesis que seria convenient revisar ara.

En el càlcul de vehicles per kilòmetres es feien servir IMD's de diferents carrers. Tanmateix, aquestes IMD's estaven extretes de trams de carrers molt concretes i es va considerar que podien no ser representatives de tot el carrer. Per aquest motiu, es va incloure un factor reductor que va prendre valors entre 0,7 i 1. Per tal de veure com influeix aquest factor reductor en els resultats del VAN, tornarem a suposar una distribució uniforme de probabilitat entre el valor del coeficient reductor que es va suposar i 1.

Per altra banda, en el càlcul de la quantitat de vehicles que eren expulsats del tram d'estudi era necessari suposar una elasticitat de la demanda del carrer per on circulava el tramvia. Aquesta elasticitat es va suposar 0,3 en tots en casos excepte al carrer Provença, que es va suposar 0,7. La realitat, però, és que a l'estudi *Paris: a Desire Named Streetcar* es parla d'elasticitat en el rang 0,2 – 0,4 i 0,6 – 0,7 (Martin Koning, Rémy Prud'Homme, Pierre Kopp, 2010). Per tant, s'aplicaran distribucions de probabilitat uniformes entre aquests valors per veure si realment aquest canvi en el rang de l'elasticitat és significatiu.

3.3 Anàlisi sensibilitat sobre la demanda

Opció Diagonal

A la figura 3.1 es poden veure els resultats obtinguts tenint en compte les hipòtesis sobre la demanda considerades anteriorment. La figura mostra valors de demanda que oscil·len entre els 39 milions de passatgers l'any i els 47 milions de passatgers. Aquest dos casos, com és lògic, tenen una probabilitat molt baixa de passar.

De fet, la taula 3.1, mostra els percentils de la distribució. Hi ha un 90% de probabilitats de que, sota les hipòtesis que s'han realitzat, la demanda sigui superior als 40 milions de passatgers l'any. Això ens permet assegurar que la demanda de la connexió està garantida. Per altra banda, veiem que el resultat de la demanda és força robust, és a dir, els canvis que es produeixen entre el pitjor i el millor escenaris no són gaire grans. Si fixem la nostra atenció en la diferència entre el percentil 95% i el percentil 5%, estariem parlant 5,36 milions de passatgers.

A la figura 3.2, s'aprecia quina de les hipòtesis fetes contribueix en un percentatge més gran a la variància de la figura 3.1. D'aquesta figura se'n poden extreure dues conclusions:

1. Els percentatges de transbordament no fan canviar la demanda significativament. Per tant, afirmar que una parada tindrà un transbordament del 70%, 60% o 50% és pràcticament irrellevant. E15 és la casella associada a la parada de Passeig de Gràcia i és l'única que podria a tenir algun tipus de rellevància però és queda molt curta en front del coeficient de transvasament.
2. El coeficient de transvasament és el paràmetre que, sense cap mena de dubte, ens pot proporcionar demandes diferents a les suposades al llarg del capítol 3. Com indica la figura 3.2 la variància de la figura 3.1 s'explica en un 90% per aquest coeficient.

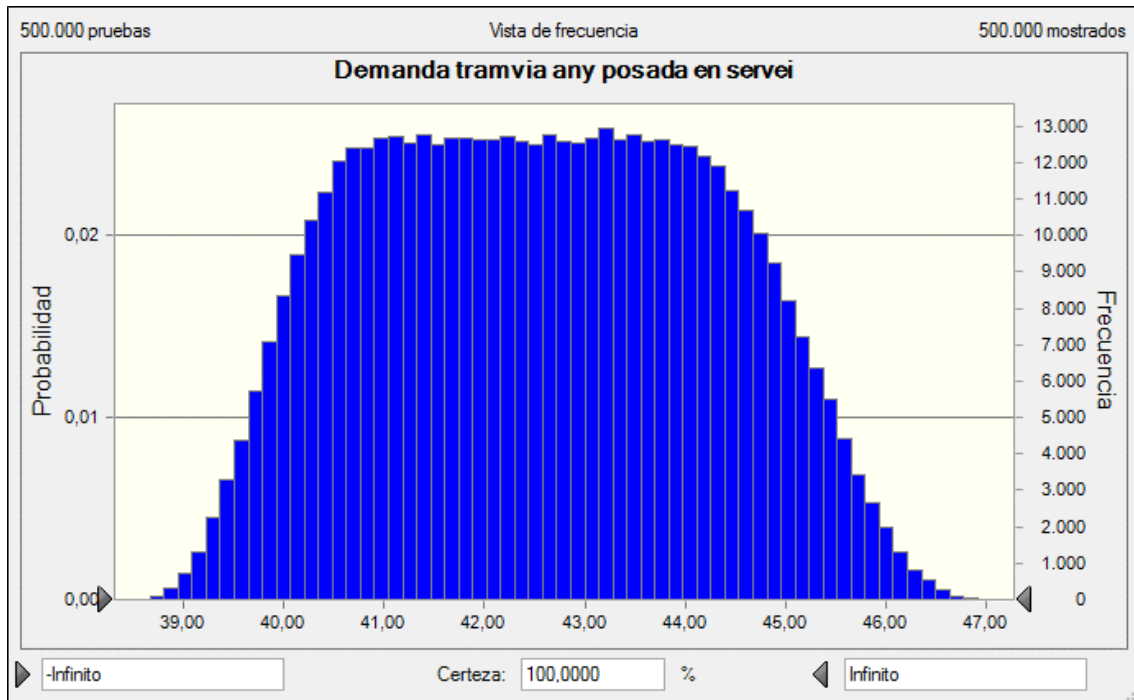


Figura 3.1 Distribució de probabilitat de la demanda per l'opció Diagonal.

Percentils	Demanda (Milions de passatgers)
0%	38,53
5%	39,92
10%	40,30
15%	40,60
20%	40,89
25%	41,16
30%	41,44
35%	41,71
40%	41,99
45%	42,27
50%	42,54
55%	42,82
60%	43,10
65%	43,37
70%	43,65
75%	43,92
80%	44,21
85%	44,51
90%	44,84
95%	45,28
100%	47,05

Taula 3.1 Percentils de la distribució de probabilitat de la demanda per l'opció Diagonal.

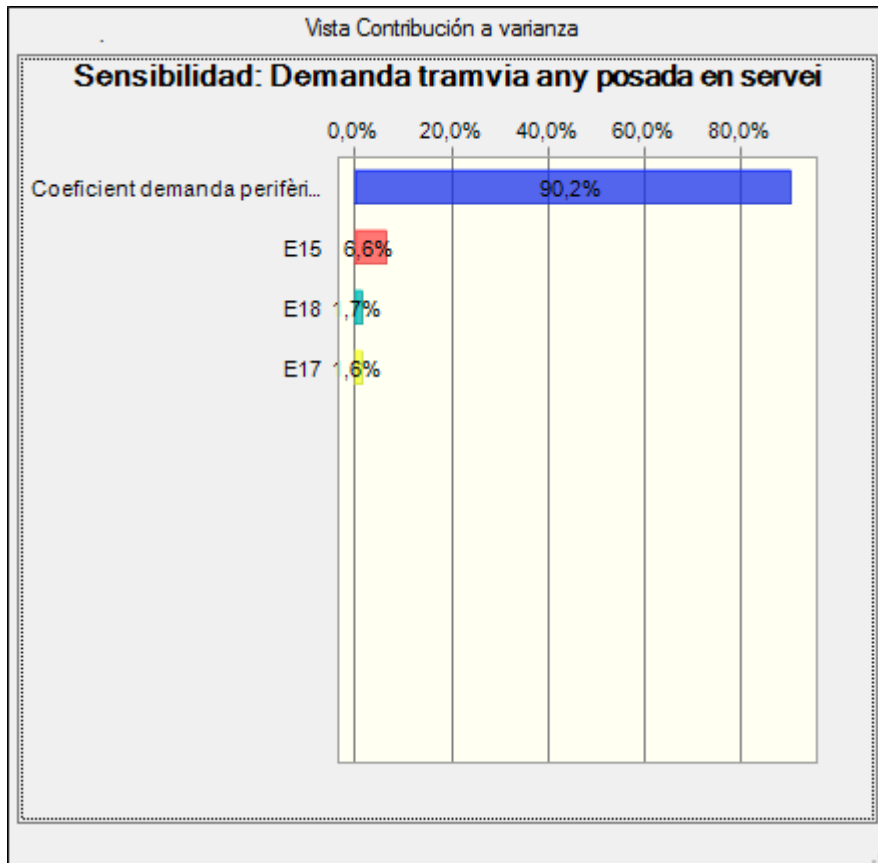


Figura 3.2 Contribució de les hipòtesis a la variància de la distribució de probabilitat.

Opció Gran Via

La distribució de probabilitat de la demanda del tramvia en l'any de posada en servei es troba a la figura 3.3. Aquesta figura mostra valors de demanda que oscil·len entre els 42 milions i els 49 milions d'usuaris.

La taula 3.2 ens permet analitzar les percentils de la distribució de la figura 3.3. La probabilitat de que la demanda sigui superior a 43 milions d'usuaris és d'un 90% i, els resultats tornen a donar un nivell de robustesa alt.

Tal i com succeïa al cas anterior, el paràmetre que contribueix en major percentatge a la variància de la distribució és el coeficient de transvasament, que torna a ser de l'ordre del 90%.

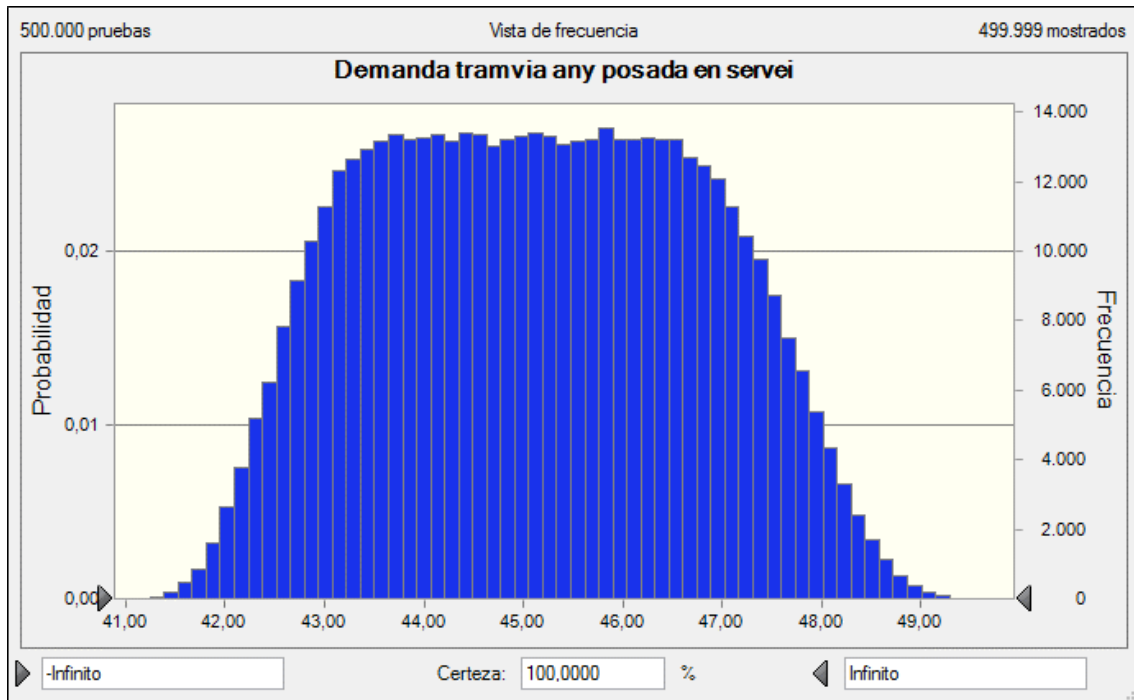


Figura 3.3 Distribució de probabilitat de la demanda per l'opció Gran Via.

Percentils	Demanda (Milions de passatgers)
0%	41,09
5%	42,59
10%	42,96
15%	43,25
20%	43,52
25%	43,79
30%	44,05
35%	44,32
40%	44,59
45%	44,85
50%	45,12
55%	45,39
60%	45,65
65%	45,92
70%	46,18
75%	46,45
80%	46,72
85%	47,01
90%	47,33
95%	47,75
100%	49,69

Taula 3.2 Percentils de la distribució de demanda per l'opció Gran Via.

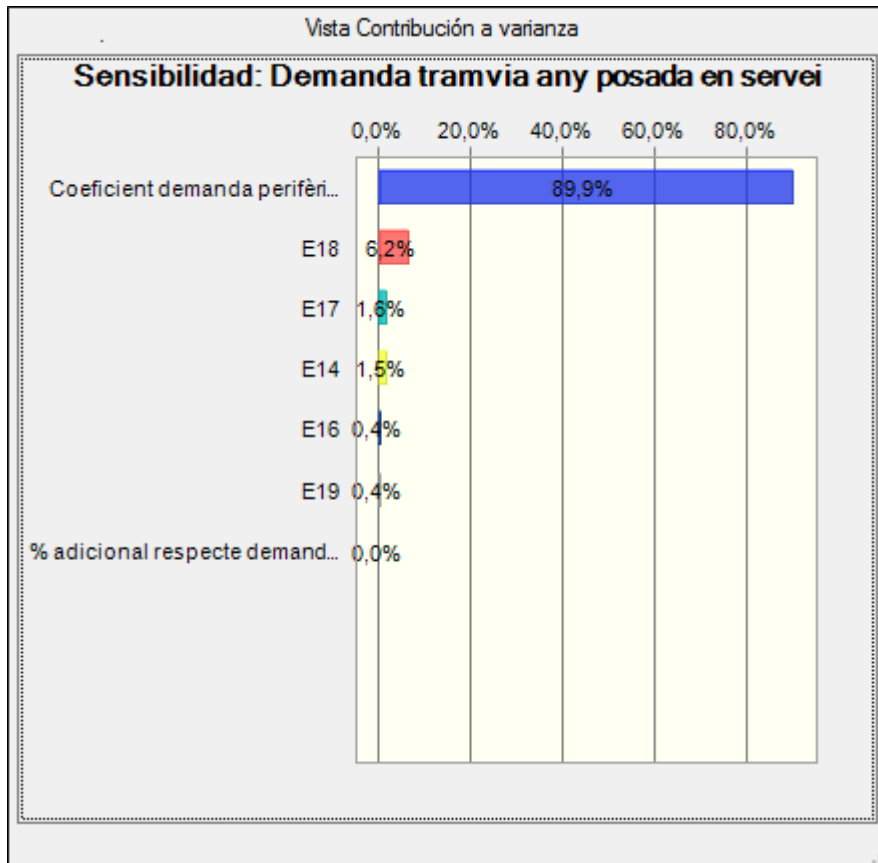


Figura 3.4 Contribució de les hipòtesis a la variància de la distribució de probabilitat.

Opció Provença

L'opció Provença presenta resultats molt similars als detectats fins ara. A la figura 3.5 es pot veure la distribució de probabilitat de la demanda. Aquesta distribució dóna probabilitats entre els 40 i els 48 milions.

La taula 3.3 ens permet veure els percentils associats a aquesta distribució de probabilitat. Per aquesta opció, existeix una probabilitat d'un 90% de tenir una demanda superior a 41 milions de passatgers. A més a més, el coeficient de robustesa pren un valor de 0,105.

La figura 3.6 mostra les hipòtesis que més contribueixen a la variància de la distribució. Una vegada més, el coeficient de transvasament contribueix en gairebé un 90%. Les altres variables poden considerar-se gairebé irrelevantes en front d'aquest paràmetre.

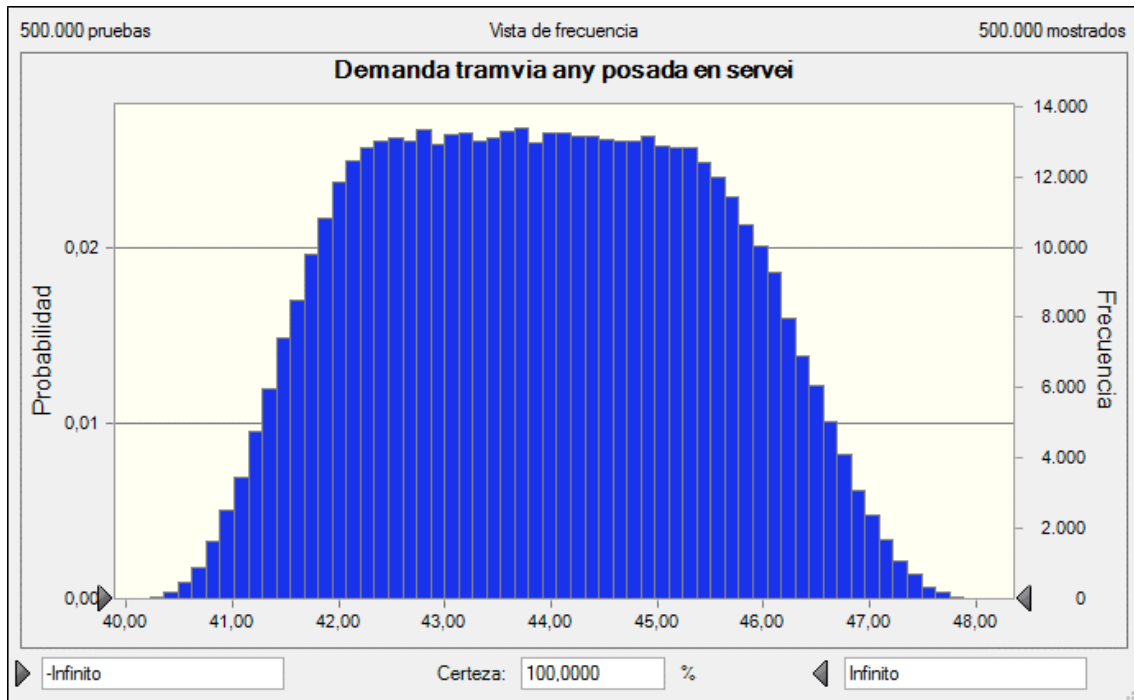


Figura 3.5 Distribució de probabilitat de la demanda per l'opció Provença.

Percentils	Demanda (Millions de passatgers)
0%	40,09
5%	41,50
10%	41,86
15%	42,14
20%	42,40
25%	42,65
30%	42,90
35%	43,15
40%	43,41
45%	43,66
50%	43,91
55%	44,16
60%	44,41
65%	44,66
70%	44,91
75%	45,17
80%	45,43
85%	45,70
90%	46,01
95%	46,42
100%	48,14

Taula 3.3 Percentils de la distribució de demanda per l'opció Provença.

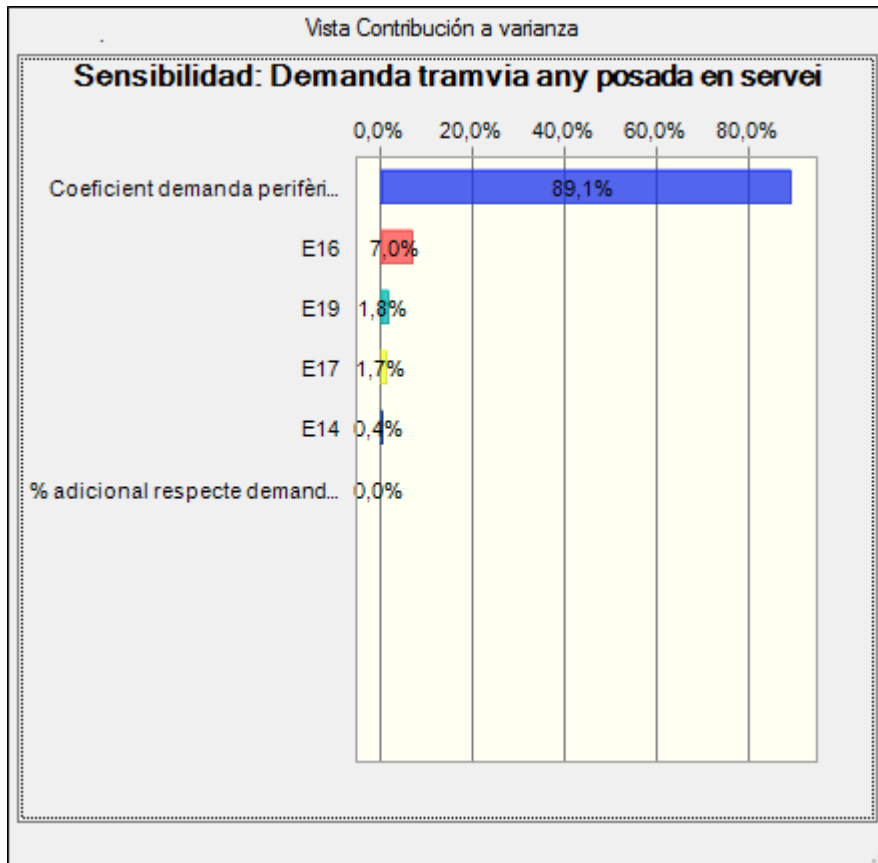


Figura 3.6 Contribució de les hipòtesis a la variància de la distribució de probabilitat.

3.4 Anàlisi de sensibilitat sobre el VAN

Opció Diagonal

La distribució de probabilitat del VAN es troba a la figura 3.7. El primer que salta a la vista és que existeix una combinació d'hipòtesis tal que fan el VAN negatiu i que, per tant, forcen a que el projecte no es dugui a terme. La pregunta immediata que sorgeix és quines són les probabilitats associades a aquests escenaris.

A la taula 3.4 podem veure els percentils de la figura 3.7. Com es pot apreciar, existeix una probabilitat amb un valor entre 0,15 i 0,20 de que es produeixi un escenari en què el VAN sigui negatiu. Aquesta possibilitat no pot ser gens menystinguda i ara cal preguntar-nos quina de les hipòtesis realitzades influeix més significativament en els resultats obtinguts.

A la figura 3.8 es presenten les hipòtesis que contribueixen de forma més significativa a la variància dels resultats. L'estalvi de temps mitjà unitari és, sense cap mena de dubtes, el paràmetre que més contribueix als resultats negatius en el VAN. Aquest resultat és força preocupant ja que en el desenvolupament del capítol 2 no es va poder justificar de forma versemblant el valor d'aquest paràmetre.

Per il·lustrar la importància d'aquest paràmetre, s'ha decidit calcular quin valor de temps de viatge fa que el VAN sigui igual a 0 suposant que no es produeix un canvi en cap de les altres variables. D'aquesta manera, valors de temps lleugerament inferiors als 3 minuts (més concretament, 2,99 minuts) farien que el projecte deixés de ser atractiu des del punt de vista socioeconòmic.

Per altra banda, podem veure com el coeficient de transvasament (que tenia moltíssima importància en l'explicació de la variància de la demanda) apareix com el segon paràmetre que més contribueix a explicar la variància de la distribució del VAN però ho fa en un percentatge molt inferior. A més a més, podem veure com les hipòtesis sobre la predicció de demanda influeixen cada vegada menys a la mesura que passen els anys. En el període 2011-2021, aquest paràmetre contribueix en un 4,1% a l'explicació de la variància mentre que en el període 2021-2031 hi contribueix només en un 1,3%. Aquesta situació es dona malgrat que, recordem, la distribució de probabilitat associada al segon període tenia més variància que la distribució de probabilitat associada al primer període.

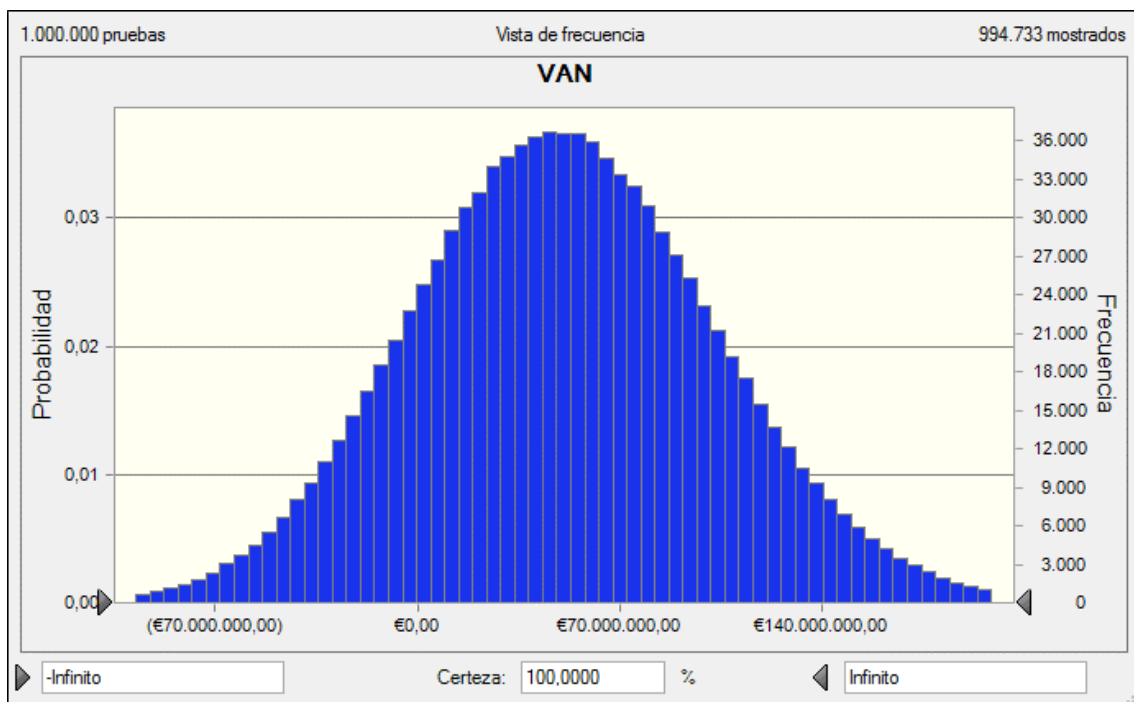


Figura 3.7 Distribució de probabilitat del VAN per l'opció Diagonal.

Percentils	VAN
0%	(€182.282.870,79)
5%	(€34.932.304,07)
10%	(€16.538.949,67)
15%	(€4.124.492,54)
20%	€5.785.067,94
25%	€14.393.136,42
30%	€22.116.139,74
35%	€29.378.151,67
40%	€36.321.132,24
45%	€43.054.940,65
50%	€49.688.721,53
55%	€56.319.313,50
60%	€63.089.709,19
65%	€70.101.748,12
70%	€77.565.804,04
75%	€85.629.573,14
80%	€94.715.380,38
85%	€105.283.631,52
90%	€118.692.988,69
95%	€139.002.178,83
100%	€304.108.982,72

Taula 3.4 Percentils de la distribució del VAN per l'opció Diagonal.

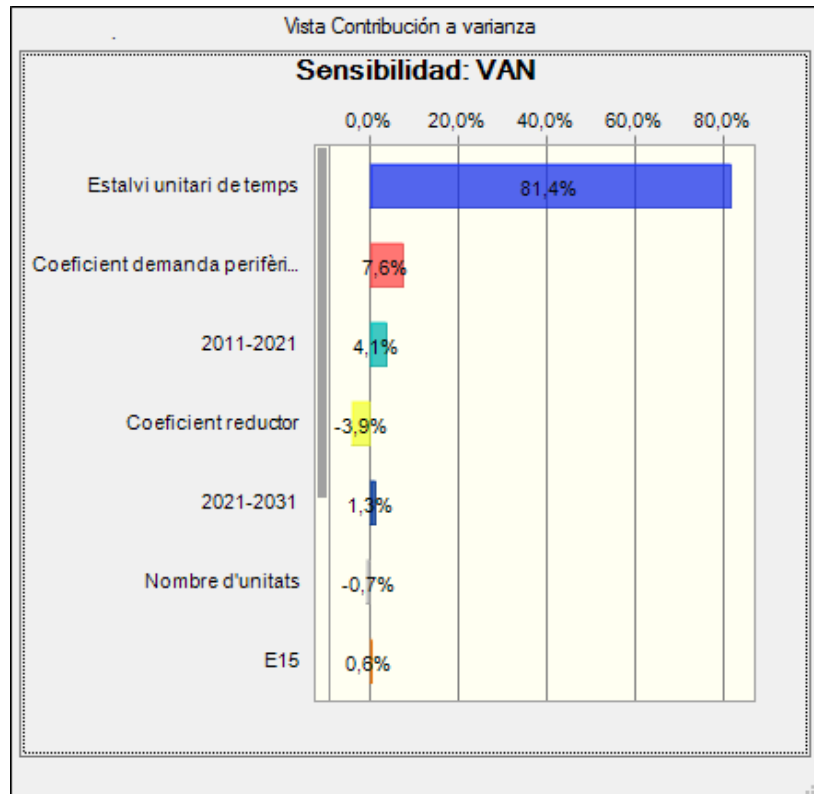


Figura 3.8 Contribució de les principals hipòtesis a la variància de la distribució de probabilitat.

Opció Gran Via

La distribució de probabilitat del VAN sota les hipòtesis anteriorment exposades es pot veure a la figura 3.9. En aquest cas, la distribució oscil·la entre valors superiors als 120.000.000 € i valors propers als -120.000.000€.

Per tant, tal i com succeïa per l'opció Diagonal, dins d'aquesta distribució de probabilitat existeix una combinació d'escenaris que fan que el VAN prengui valors negatius. A la taula 3.5 podem veure quina és la probabilitat associada a aquest fet. Així, la probabilitat de que el projecte de connexió de les xarxes de tramvia no sigui beneficiós per a la societat està situada entre el 35% i el 40%. En conseqüència, si es triés l'opció Gran Via per sobre l'opció Diagonal s'estaria incrementant la probabilitat de fracàs del projecte d'un 15%-20% a un 35%-40%.

A la figura 3.10, a més a més, podem observar com el paràmetre que torna a contribuir de forma més significativa a la dispersió de les dades és l'estalvi de temps mitjà unitari. Com en el cas anterior, al observar aquesta situació

immediatament es planteja la pregunta de quant pot disminuir el temps de viatge per tal que el projecte encara sigui atractiu des del punt de vista socioeconòmic. Sorprenentment, l'estalvi de temps mitjà unitari que torna a marcar la diferència entre VAN positiu i negatiu quan totes les altres variables es mantenen inalterades torna a ser lleugerament inferior als 3 minuts.

Pel que fa a la resta d'hipòtesis, es torna a repetir l'esquema que es produïa per l'opció Diagonal: el coeficient de transvasament continua sent relativament important tot i que no tant important com en l'anàlisi de sensibilitat respecte la demanda i les hipòtesis de creixement sobre la demanda perden importància a mesura que passen els anys, passant d'un 4,2% d'explicació de la variància en els primers 10 anys a un 1,4% en els propers 10 anys. Les altres hipòtesis, com a l'opció Diagonal, semblen ser irrelevantes.

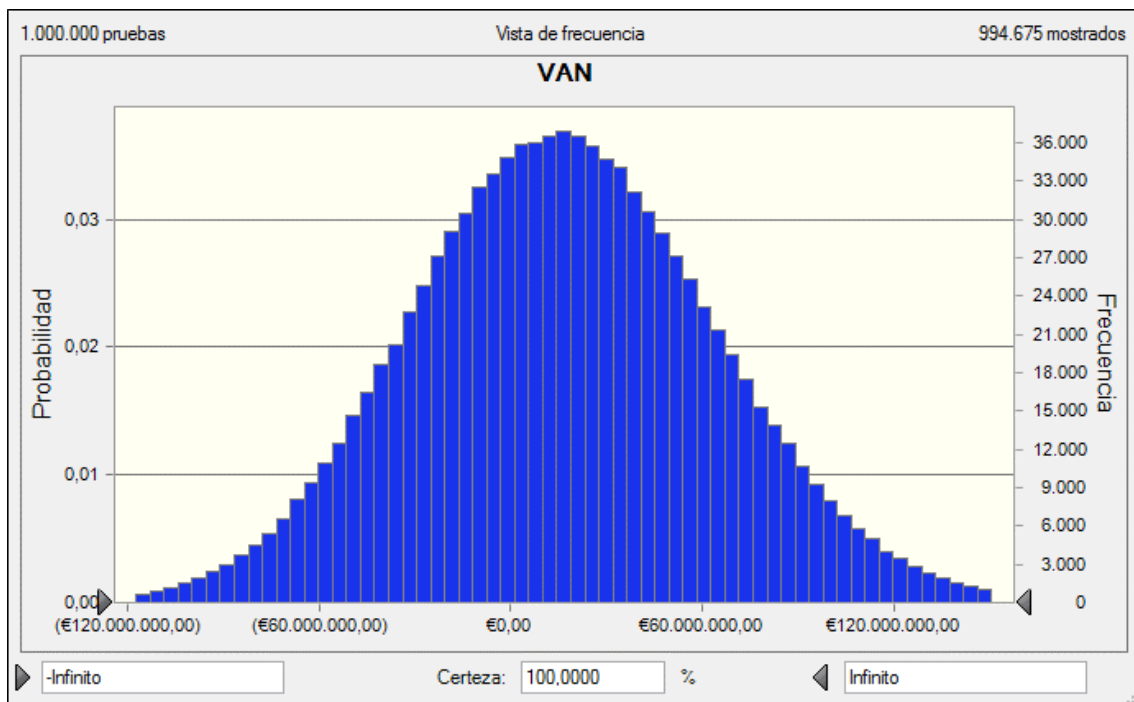


Figura 3.9 Distribució de probabilitat del VAN per l'opció Gran Via.

Percentils	VAN
0%	(€191.486.132,12)
5%	(€60.871.813,94)
10%	(€44.274.326,82)
15%	(€32.931.313,30)
20%	(€23.930.781,10)
25%	(€16.206.384,37)
30%	(€9.200.529,89)
35%	(€2.609.586,68)
40%	€3.610.995,08
45%	€9.718.385,05
50%	€15.714.107,33
55%	€21.708.655,15
60%	€27.840.383,91
65%	€34.193.402,43
70%	€40.950.316,82
75%	€48.284.112,75
80%	€56.473.240,32
85%	€66.101.020,23
90%	€78.247.784,15
95%	€96.456.768,78
100%	€255.736.432,78

Taula 3.5 Percentils de la distribució del VAN per l'opció Gran Via.

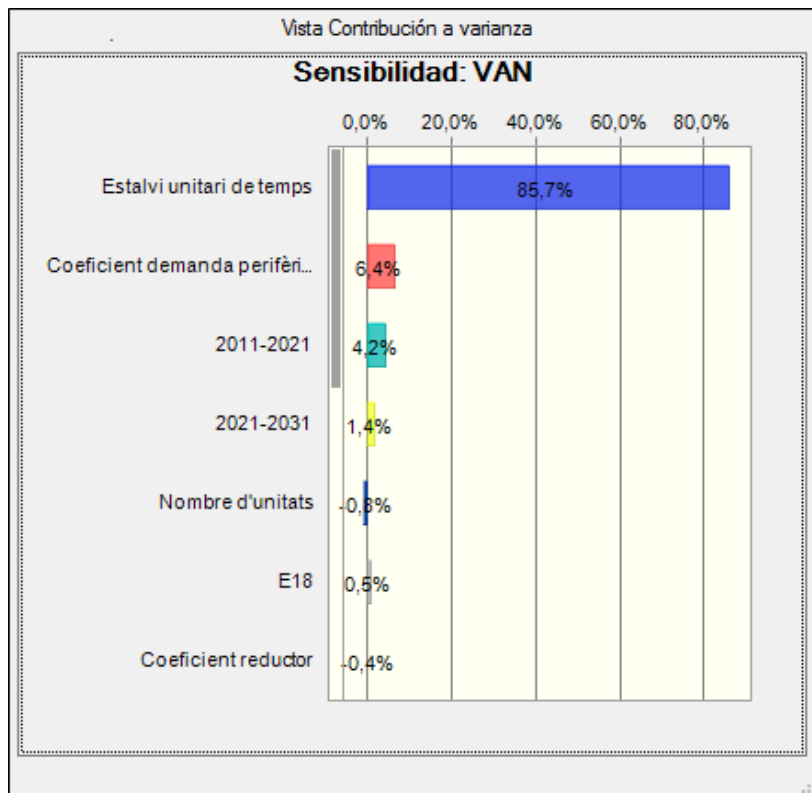


Figura 3.10 Contribució de les principals hipòtesis a la variància de la distribució de probabilitat.

Opció Provença

La distribució de probabilitat del VAN per l'opció Provença la podem trobar a la figura 3.11. Similarment a l'opció Gran Via, els valors del VAN oscil·len entre xifres superiors als 120.000.000 € i xifres inferiors als -60.000.000 €. Per tant, una vegada existeixen escenaris que condueixen a un VAN negatiu.

A la taula 3.6 podem veure els percentils de la distribució de probabilitat. Per l'opció Provença, la probabilitat de fracàs del projecte se situa entre el 25% i el 30%. Estaríem, per tant, parlant de probabilitats de VAN negatiu inferiors a l'opció Gran Via però superiors a les de l'opció Diagonal.

Com en els altres casos, la figura 3.12 torna a il·lustrar la forta dependència dels resultats del VAN amb el valor de l'estalvi mitjà de temps. Una vegada més, torna a ser obligat el càlcul de quant ha de baixar l'estalvi de temps mitjà unitari quan els altres paràmetres romanen sense canviar i, de nou, ens adonem que la diferència entre VAN positiu i VAN negatiu es troba situada lleugerament per sota dels 3 min (concretament 2,895 min).

Pel que fa a la resta d'hipòtesis, torna a repetir-se la mateixa situació que en els altres casos.

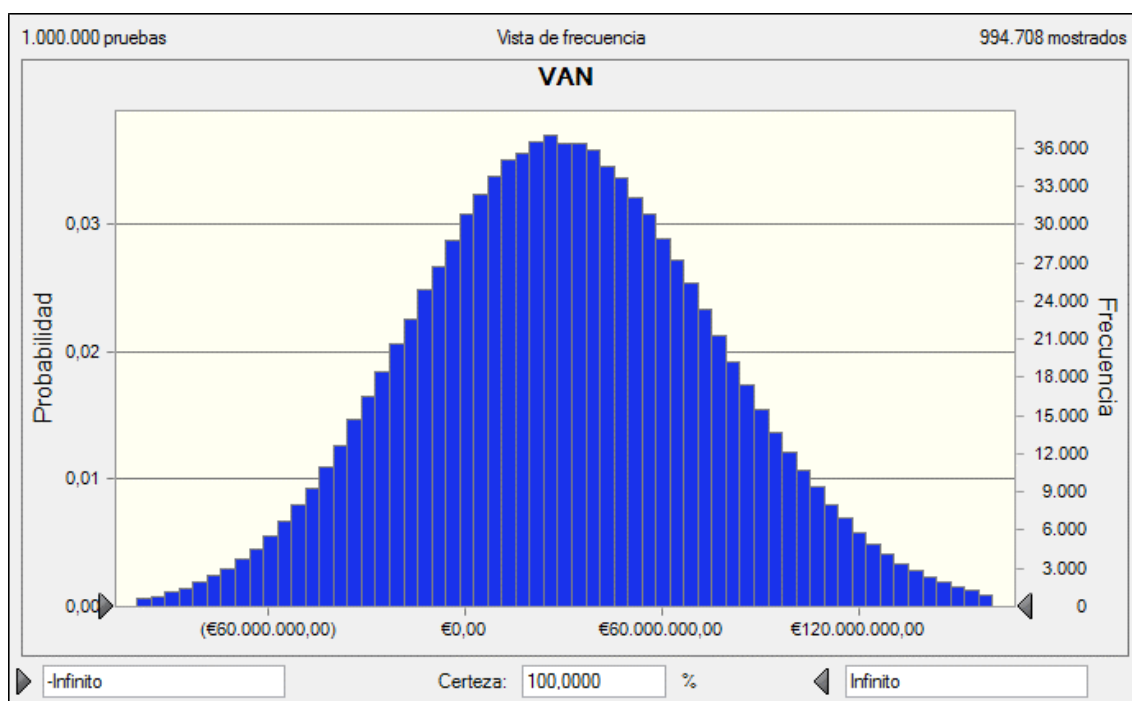


Figura 3.11 Distribució de probabilitat del VAN per l'opció Provença.

Percentils	VAN
0%	(€167.633.579,85)
5%	(€44.693.868,58)
10%	(€28.710.894,69)
15%	(€17.718.197,44)
20%	(€8.948.722,21)
25%	(€1.381.959,68)
30%	€5.402.546,35
35%	€11.741.104,75
40%	€17.772.821,98
45%	€23.665.070,60
50%	€29.441.186,97
55%	€35.294.602,91
60%	€41.236.545,73
65%	€47.445.787,96
70%	€54.015.706,16
75%	€61.108.285,24
80%	€69.054.239,52
85%	€78.316.509,62
90%	€90.172.352,67
95%	€107.930.055,06
100%	€261.807.636,52

Taula 3.6 Percentils de la distribució del VAN per l'opció Gran Via

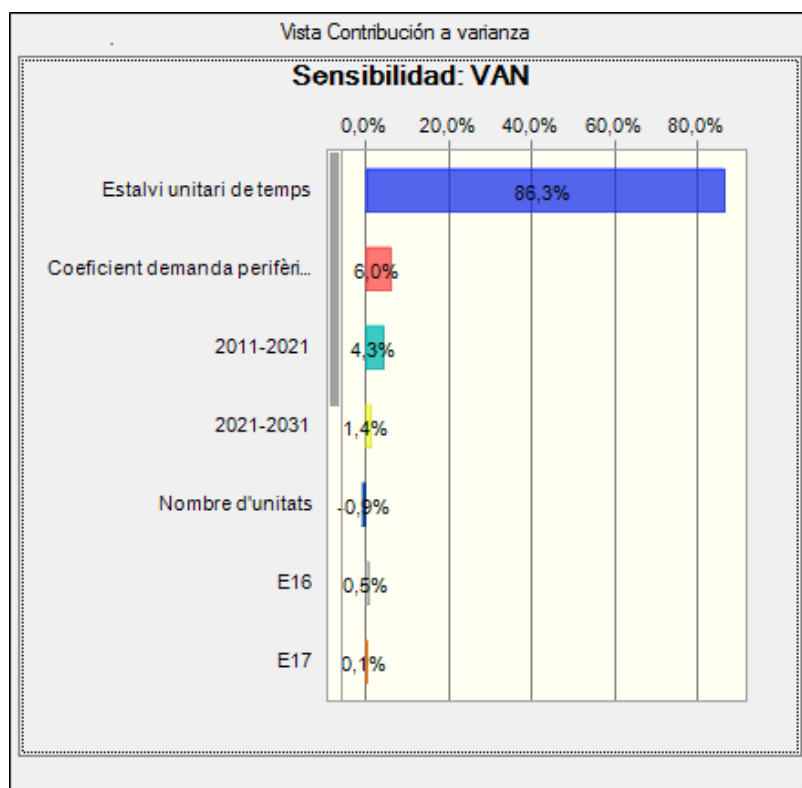


Figura 3.12 Contribució de les principals hipòtesis a la variància de la distribució de probabilitat.

Comparació de resultats

En un anàlisi de primer ordre semblaria lògic concloure que l'opció de connexió Diagonal continua sent la més atractiva. Al capítol 2 va proporcionar els resultats socioeconòmics més positius (recordem que el seu VAN i la seva TIR eren més elevades que les de la resta d'opcions) i al capítol 3 ens proporciona probabilitat de VAN negatiu considerablement inferior a la de la resta d'opcions.

Tanmateix, hi ha una fet que hauria de captar l'atenció: totes tres opcions de connexió s'ensorren quan l'estalvi de temps mitjà unitari baixa lleugerament dels 3 minuts. Com pot ser, doncs, que una opció proporcioni resultats socioeconòmics millors?

El motiu es troba en què al llarg del capítol 2 es va fer la hipòtesi de que les opcions Gran Via i Provença tindrien estalvis de temps mitjans unitaris més petits. Per tant, seguint aquesta idea, es va decidir penalitzar aquestes dues opcions de connexió amb 0,5 minuts respecte l'opció Diagonal. Així, si les opcions Gran Via i Provença tinguessin estalvis de temps mitjans unitaris més propers als de l'opció Diagonal, els resultats socioeconòmics d'aquestes opcions millorarien considerablement. De fet, si s'elimina aquesta hipòtesi, i examinem la TIR de totes dues opcions suposant estalvis de temps mitjans unitaris de 4 minuts (com és el cas de l'opció Diagonal) s'obté una TIR del 14,15% per l'opció Gran Via i una TIR del 14,64% per l'opció Provença.

La pregunta ara és si la hipòtesi sobre aquesta reducció de l'estalvi de temps mitjà unitari és versemblant o no. Pels arguments que es van donar a l'apartat 9 del capítol 2 *Beneficis econòmics* es creu que aquesta hipòtesi és completament versemblant. Per altra banda, però, s'ha de reconèixer que existeix una profunda arbitrarietat en el fet que la penalització hagi de ser de 0,5 min. Podria ser de 0,3 min o de 0,7 min mentre no es disposi de cap eina que ens proporcioni dades més fiables.

CONCLUSIONS

L'anàlisi cost-benefici i l'anàlisi de sensibilitat sobre el propi anàlisi cost-benefici ens permeten extreure una sèrie de conclusions que s'intentaran resumir en aquest apartat del treball.

Els resultats respecte a la demanda són robustos i versemblants. L'anàlisi de sensibilitat ens ha permès veure que, malgrat totes les hipòtesis que s'han hagut de fer, els resultats obtinguts no varien massa en el pitjor dels escenaris. Podem afirmar, doncs, que segons el mètode de demanda desenvolupat hi ha una demanda garantida de 40 milions de persones l'any de posada en servei per a qualsevol de les tres opcions de connexió. Aquest resultat està en la direcció del que apunten altres estudis (MCrit, 2009) malgrat que s'ha realitzat amb un mètode molt més senzill.

Respecte l'anàlisi cost-benefici, tots tres projectes presentarien un VAN positiu i, per tant, cap dels projectes hauria de ser rebutjat per l'administració competent. A més a més, tots presenten una TIR raonablement elevada amb valors que sempre són superiors al 10%. El projecte que presenta una TIR més elevada és l'opció Diagonal, amb una TIR del 14,33%. Aquesta opció, per tant, hauria de ser l'opció escollida per l'administració competent per realitzar la connexió entres les dues xarxes de tramvia.

L'anàlisi de sensibilitat, però, afegeix una sèrie de matisos que complementarien les afirmacions anteriors.

- En primer lloc, és molt important destacar que la rendibilitat social de qualsevol de les tres opcions de connexió depèn profundament de l'estalvi de temps mitjà unitari. Tots tres projectes deixen de ser positius per a la societat si en la seva implementació no aconseguen una millora superior als 3 min d'aquest paràmetre.
- En segon lloc, el fet que l'opció Diagonal tingui una rendibilitat social superior a les altres opcions es deu a que s'ha suposat per aquesta opció de connexió un estalvi de temps mitjà unitari superior. Aquesta hipòtesi està fonamentada tal i com queda explicat al capítol 3. Tanmateix, es desconeix quina és la penalització real en temps que haurien de patir les opcions Gran Via i Provença.

El capítol 3, doncs, ha servit per adonar-nos de la profunda dependència dels resultats en un paràmetre que no hem pogut estimar de forma totalment fonamentada. Es creu que els valors que s'han pres per aquest

paràmetre apunten en la direcció correcte però s'ha de ser totalment conscients de que podria no ser així.

Un altre aspecte destacable dels resultats obtinguts és la quantificació i monetització de l'externalitat relacionada amb la pèrdua de capacitat viària dels carrers per on circularia el tramvia. Malgrat que aquesta externalitat suposa un dels principals arguments en contra de la implantació del tramvia, fins ara no havia estat inclosa en els anàlisi cost-beneficis que s'han fet al voltant de la connexió de les dues xarxes. Els resultats obtinguts proporcionen un ordre de magnitud d'aquesta externalitat que va dels 4 als 7 milions d'euros anuals en funció de l'opció de connexió escollida.

De fet, podria existir la temptació de fer servir aquesta externalitat en sentit contrari. L'argumentació seria la següent: degut a que la connexió de les dues xarxes de tramvia té un percentatge de demanda captada del transport privat s'eliminen una sèrie de vehicles de la circulació, aquests vehicles eliminats de la circulació suposen estalvis de temps petits sobre la resta de vehicles que s'haurien de comptabilitzar. Estalvis de temps petits agregats sobre el total de vehicles que fan servir el carrer on s'implantaria el tramvia podrien proporcionar valors d'estalvi de temps molt elevats, que farien augmentar raonablement la rendibilitat socioeconòmica del projecte. Es creu que aquesta argumentació és incorrecta perquè eliminar un o més carrils de circulació de qualsevol dels carrers per on es proposa que passi el tramvia provoca una pèrdua de temps considerablement més elevada que l'hipotètic guany degut a la demanda captada.

Aquest treball pretenia respondre dues preguntes encadenades: és la connexió de les dues xarxes de tramvia de la ciutat de Barcelona rendible des d'un punt de vista social? En cas afirmatiu, quina és l'opció de connexió amb una rendibilitat social més elevada? No es pot dir que no s'hagi trobat resposta a aquestes dues preguntes però aquestes respostes no seran tan contundents com en un principi a l'autor d'aquest treball li hagués agradat.

Respecte la primera pregunta, la resposta és un sí condicional. La connexió de les dues xarxes de tramvia aportaria benefici social en qualsevol de les tres opcions considerades sempre que aquesta opció sigui capaç de provar un estalvi de temps mitjà unitari superior a 3 minuts. Pel que fa la segona pregunta, la resposta queda més en l'aire. L'escenari que hem suposat afirma que l'opció amb més rendibilitat social és la connexió a través de la Diagonal. Tanmateix, l'anàlisi de sensibilitat ens ha permès veure que això

és així sempre que es pugui demostrar que l'estalvi de temps mitjà unitari es superior per aquesta opció que per a les altres. En cas de que totes tres opcions tinguessin estalvis de temps mitjans unitaris semblants, totes tres opcions de connexió tindrien una TIR semblant. Per tant, cap opció de connexió podria ser descartada amb claredat.

Per trobar la resposta a aquesta última pregunta amb relativa seguretat es necessiten realitzar anàlisis de demanda en la línia del que va realitzar Mcrit a l'any 2009 per a l'opció Diagonal. Només quan se sàpiga amb certesa si l'estalvi de temps mitjà unitari per a una de les tres opcions és considerablement superior al de les altres es podrà afirmar amb rotunditat que una de les opcions és millor. L'autor, en conseqüència, proposa la realització d'aquests estudis com a resposta a la segona pregunta plantejada al començament d'aquest treball.

REFERÈNCIES

- Ajuntament de Barcelona. (2015). Obtenido de <http://www.bcn.cat/estadistica/catala/>
- AMB. (2015). Obtenido de <http://www.amb.cat/s/web/territori/infraestructures-metropolitanes/projectes-infraestructures.html>
- ATM. (2013). *Autoritat Metropolitana del Transport*. Obtenido de <http://www.iermb.uab.es/htm/mobilitat/cat/emef.asp>
- Betancor, O i Llobet, G. (2015). *Contabilidad Financiera y Social de la Alta Velocidad en España*.
- CE DELFT, INFRAS, FRAUNHOFER. (2011). *External Costs of Transport in Europe*.
- CLAU CONSULTORS. (2011). *Estudi origen-destinació al Tram*.
- Col·legi de Camins, Canals i Ports de Catalunya. (2010). *Guia per a l'avaluació de projectes de transport*.
- GENCAT. (2014). Obtenido de http://premsa.gencat.cat/pres_fsyp/AppJava/convocatoriavw/123736/ca/el-conseller-vila-presenta-lestudi-informatiu-del-perllongament-de-l18-dfgc.do
- Martin Koning, Rémy Prud'Homme, Pierre Kopp. (2010). *Paros: a Desire Named Streetcar*.
- MCrit. (2009). *Aproximació a la demanda de la connexió dels tramvies Trambaix i Trambesòs a través de l'Avinguda Diagonal de Barcelona*.
- MCrit. (2010). *Connexió de les xarxes de tramvia de Barcelona*. Barcelona.
- Obes, M. L. (2005). *Anàlisi coste-beneficio de implantar el tranvia en el tramo central de la avenida Diagonal entre plaza Francesc Macià y plaza de les Glòries*.
- SENER. (2001). *Anàlisi cost-benefici del Trambesòs*.
- TRAM. (2010). *Increment del cost de la gestió unificada de les xarxes de tramvia*.

TRAM. (2015). Obtenido de <http://www.tram.cat/es/corporativa/tram-cifras/>

TRAM. (2015). Obtenido de <http://www.tram.cat/es/comunicacion/prensa/notas-prensa/>