

6. CAS D'IMPLEMENTACIÓ A BARCELONA

L'objectiu d'aquesta tesina és millorar la velocitat comercial dels autobusos utilitzant la coordinació semafòrica. El model desenvolupat per assolir aquest objectiu té la capacitat de modelar les trajectòries dels autobusos en malles i en corredors de tipologies i característiques molt variades. En aquest apartat s'implementa el model descrit anteriorment en una malla composta per sis corredors de la ciutat de Barcelona. Primerament es descriurà la zona d'estudi, el tractament de dades, els escenaris d'avaluació i el calibratge previ a la optimització de la funció objectiu. En el capítol posterior s'analitzaran els resultats obtinguts en la implementació del model a la ciutat de Barcelona.

6.1. Descripció del cas

Barcelona és una ciutat amb un gran nombre de línies d'autobús. La millora de l'operativa dels autobusos de la ciutat es pot realitzar de diverses formes, una d'elles ajustant els plans semafòrics prioritzant el recorregut dels autobusos, penalitzant acotadament el vehicle privat. Per aquest fet s'ha implementat la metodologia presentada en els apartats anteriors a la ciutat de Barcelona.

Ha estat necessari un llarg procés per tal d'adaptar les dades de les interseccions i dels autobusos a les necessitats del model. Primer de tot, és necessari conèixer les

característiques principals de la xarxa a d'estudiar. A la figura següent es mostren els corredors d'estudi escollits.

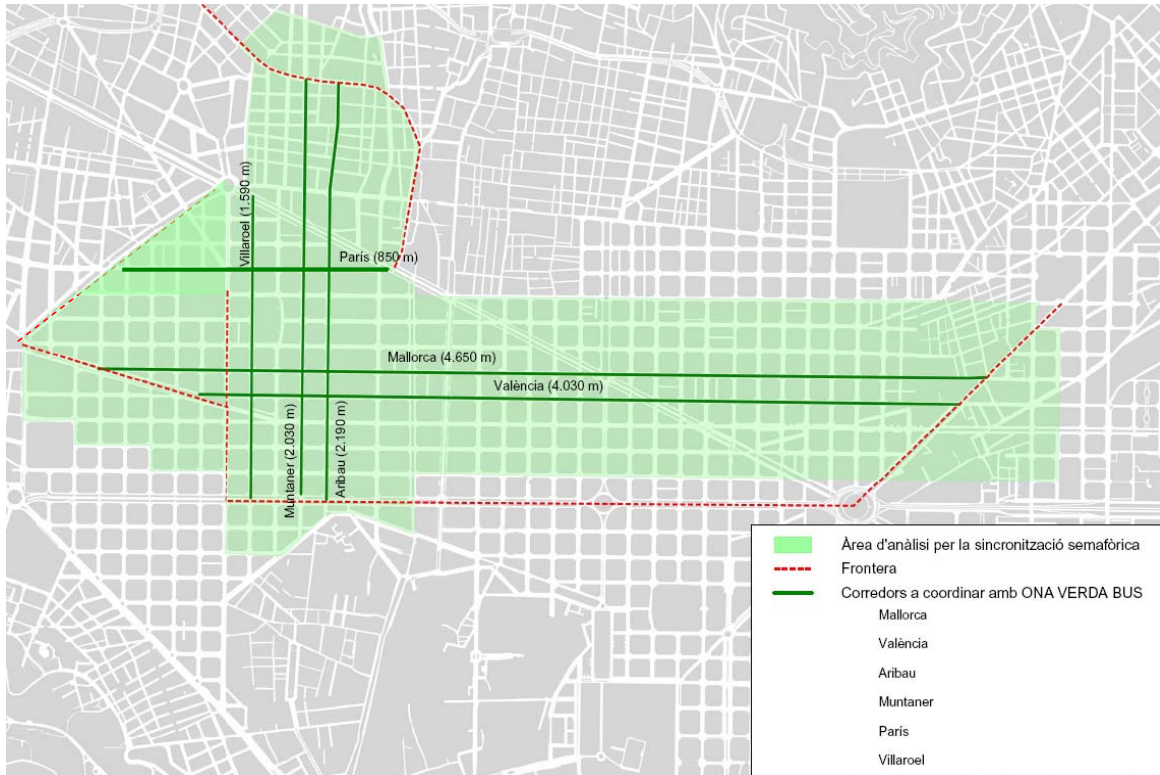


Figura 6.1. Àmbit d'estudi.

6.1.1. Corredors

Tal i com es pot observar a la Figura 6.1, els corredors de la zona d'estudi són:

- Carrer París
- Carrer Mallorca
- Carrer València
- Carrer Villareol
- Carrer Aribau
- Carrer Muntaner

A més, la zona d'estudi queda delimitada per la Via Augusta pel nord, per la Gran Via pel sud, per l'Avinguda Meridiana per l'est, i per l'Avinguda Roma i l'Avinguda Josep Tarradelles per l'oest de la ciutat. Per tant, els corredors d'estudi es troben delimitats pels carrers que es mostren a la Taula 6.1.

Carrer	Carrer inici	Carrer final	Longitud (m)
París	Av. Josep Tarradellas	Balmes	1536 m
València	Av. Roma	Av. Meridiana	4108 m
Mallorca	Av. Meridiana	Av. Roma	4664 m
Villarroel	Av. Diagonal	Gran Via	1548 m
Aribau	Gran Via	Via Augusta	2179 m
Muntaner	Via Augusta	Gran Via	2214 m

Taula 6.1. Carrers que limiten l'àmbit d'estudi..

Les característiques físiques principals dels corredors a l'hora de millorar la coordinació semafòrica per donar prioritat a l'autobús en front el vehicle privat, són la situació i el número, tant de parades d'autobús com d'interseccions semaforitzades. En el cas estudiat a Barcelona són:

Carrer	Número d'interseccions semaforitzades	Número de parades d'autobús
París	11	4
València	30	14
Mallorca	36	14
Villarroel	14	5
Aribau	16	8
Muntaner	20	9

Taula 6.2. Número de parades i d'interseccions semaforitzades dels corredors d'estudi

En aquesta tesina s'exposen les metodologies dutes a terme per tal de millorar la velocitat comercial de l'autobús a partir de la coordinació semafòrica. En aquest sentit és important destacar la tipologia de xarxa que es vol millorar, ja que com s'ha explicat a l'apartat d'optimització d'aquesta tesina, els resultats depenen del nombre de nodes i arcs de la xarxa, i també de la seva distribució a l'espai. Les millores que es poden obtenir en un corredor poden ser substancialment superiors als que s'assoleixen en el cas d'una malla, considerant el mateix nombre de nodes i arcs, degut a que es pretén millorar tota la xarxa en els seu conjunt. A l'annex 8 es mostra la xarxa de la ciutat de Barcelona per a la qual s'ha aplicat el model realitzat.

6.2. Tractament de dades

Per tal d'obtenir totes les dades requerides pel model desenvolupat ha estat necessari realitzar un treball de tractament de les dades disponibles. En aquest apartat es descriuen els procediments seguits per tal d'obtenir les matrius que es mostren a l'annex 5, i que són els inputs del model.

El primer pas necessari per caracteritzar la malla de la ciutat de Barcelona que s'estudia és identificar les parades i les interseccions semaforitzades. D'aquesta forma és possible obtenir una codificació que permeti identificar quins són els nodes i els arcs que ha de recórrer un autobús al llarg del seu recorregut als corredors. Aquest és un procés llarg que cal realitzar acuradament ja que és fonamental localitzar correctament tots els nodes de la malla. La codificació permet que el model identifiqui cada node i arc correctament i pugui llegir les matrius d'entrada necessàries per la determinació del temps que cada autobús es troba en cada node o arc del sistema. La codificació dels corredors d'estudi es mostra en l'annex 4.

6.2.1. Arcs

Cadascun dels arcs correspon a un tram de corredor comprès entre dos nodes, ja siguin entrades o sortides, parades, o interseccions. La variable dels arcs més important que ha estat necessari determinar és la seva longitud.

A més, una de les dades característiques de cada arc és la velocitat lliure dels autobusos en ell. Per a poder obtenir aquesta dada ha estat necessari introduir les dades de TMB sobre les velocitats comercials dels autobusos per calibrar el model amb la situació actual i determinar així la velocitat lliure dels autobusos en aquesta situació. El procediment de calibratge del model es descriu en apartats posteriors.

Una altra variable que requereix el model referent als arcs és el número de perturbacions que es consideren que trobarà un autobús en un cert interval de temps. També és necessari determinar el temps que es considera que la perturbació afectarà a l'autobús. Per tots els arcs del cas que s'està tractant s'ha considerat:

λ (pertorbacions/hora)	Temps unitari obstacle
20	7 s

Taula 6.3. Pertorbacions per hora i temps d'obstacle.

El temps unitari d'obstacle s'ha considerat que és el mateix que un autobús necessita per posicionar-se dins una parada d'autobús. Aquest temps s'ha calculat en apartats anteriors, essent de 7 segons.

Amb totes les dades corresponents als arcs és possible obtenir la matriu MA amb les variables requerides pel model desenvolupat (veure annex 5).

6.2.2. Línies d'autobús

Els corredors d'estudi s'han dividit en diversos trams per poder realitzar un millor tractament de les dades. Les divisions s'han fet per homogeneïtzar els trams de forma que per cadascun d'ells hi circulen les mateixes línies d'autobús. És a dir, un corredor queda fraccionat per tots els punts en que un autobús entra o surt del mateix. D'aquesta manera els corredors han quedat fraccionats tal i com es mostra en la Taula 6.4.

Carrer	Tram	Línies
Paris	1	54 i 66
	2	54, 66, 67 i 68
	3	67 i 68
València	1	43 i 44
	2	20, 37, 43 i 44
	3	20, 37, 43, 44 i 63
	4	20, 43, 44 i 63
	5	20, 43 i 44
	6	43, 44, B20 i B24
	7	33, 34, 43, 44, B20 i B24
	8	19, 33, 34, 43, 44, 50, 51, B20 i B24
	9	33, 34, 43, 44, 50, 51, B20 i B24
	10	33, 34, 35, 43, 44, 50, 51, B20 i B24
	11	33, 34, 35, 43, 44, B20, B24
Mallorca	1	33, 34, 35, 43, 44, 192 i B20
	2	33, 34, 35, 43, 44 i B20
	3	33, 34, 43, 44 B20 i B24
	4	33, 34, 43, 44, 50, 51, B20 i B24
Villarroel	5	19, 33, 34, 43, 44, 50, 51, B20 i B24
	6	43, 44, B20 i B24
	7	20, 43, 44, 45, B20 i B24
	8	20, 43, 44
	9	43 i 44
Aribau	1	14, 63, 67, 68
	2	14, 59, 63, 67, 68
	3	14, 59, 63
	4	14, 37, 59, 63
	5	14, 20, 37, 59 i 63
	6	14, 37, 59 i 20
Muntaner	1	54, 58, 63, 64, 66, 67 i 68
	2	37, 54, 58, 63, 64, 66, 67 i 68
	3	54, 58, 64, 66, 67 i 68
	4	31, 54, 58, 64, 66, 67, 68
	5	31, 58, 64
	6	58 i 64
Muntaner	1	58 i 64
	2	54, 58, 64 i 66

Taula 6.4. Línies d'autobús en cada tram d'estudi.

Un cop identificades les línies d'autobús de cada tram ha estat necessari conèixer les freqüències de pas de cada línia durant la franja horària en que es du a terme l'estudi (entre les 8 i les 9 del matí). Això permet determinar el nombre d'autobusos que s'estudien i la distribució d'entrades d'aquests a cadascun dels corredors (veure apartat 6.2.4.5).

Ocupació dels autobusos

L'ocupació dels autobusos és una variable determinant per l'optimització de l'escenari actual ja que la finalitat és disminuir el temps dels usuaris al sistema, i no pas el temps dels autobusos. Ponderant la demanda del sistema s'obté una millora global dels usuaris del transport públic de superfície, donant una major prioritat als vehicles del sistema amb més ocupació.

Les diferents línies que circulen pels corredors d'estudi de la ciutat de Barcelona ho fan amb autobusos simples i articulats. Per conèixer l'ocupació de les diferents línies que circulen pels corredors és necessari conèixer quina és la màxima ocupació dels autobusos. Això és degut a que les dades proporcionades per TMB (veure annex 3) donen el percentatge de l'ocupació de l'autobús.

Per tant, és necessari conèixer el tipus d'autobús de cada una de les línies que circulen per la malla d'estudi. A partir del tipus d'autobús és possible estimar l'ocupació màxima. S'han considerat ocupacions màximes de 74 usuaris per autobusos estàndard i 136 usuaris pels articulats. A continuació es mostra la Taula 6.5 amb el material mòbil en funció de la línia, i l'ocupació màxima considerada.

Línia	Tipus bus	Capacitat bus (usuaris)
L014	Standard	74
L019	Standard	74
L020	Standard	74
L031	Standard	74
L033	Articulat	136
L034	Standard	74
L035	Standard	74
L037	Standard	74
L043	Articulat	136
L044	Standard	74
L045	Standard	74
L050	Standard	74
L051	Standard	74
L054	Standard	74
L058	Standard	74
L059	Standard	74
L063	Standard	74
L064	Standard	74
L066	Standard	74
L067	Articulat	136
L068	Articulat	136
L192	Standard	74
LB20	Standard	74
LB24	Standard	74

Taula 6.5. Material mòbil i capacitat en funció de la línia d'autobús.

Després de conèixer el material mòbil de les línies d'autobús, a partir de les dades proporcionades per TMB ha estat possible determinar l'ocupació dels autobusos. Les matrius d'ocupació en l'escenari actual i el millorat són les MO de l'annex 5. Es pot observar que les dades d'ocupació s'han desglossat per arcs i per línies d'autobús.

6.2.3. Parades d'autobús

El primer pas necessari per obtenir les matrius del model referents al *dwell time* de cada línia a cada parada és identificar les línies d'autobús que hi paren, i localitzar les parades en els corredors. Un cop identificades, a partir de les dades proporcionades per TMB (veure annex 3) i a partir de les dades de l'estudi "Millora de la velocitat comercial d'autobusos. Aplicació a 30 eixos" (CENIT, 2006), s'ha determinat el *dwell time* de cada parada per cada línia d'autobús (Veure matriu MC annex 5). A la taula Taula 6.6 mostren les parades dins l'àmbit d'estudi.

Nº parada Model	Nº parada TMB	Nom Parada
París		
P051	208	París-Calàbria
P053	1467	París-Comte d'Urgell
P054	171	París-Casanova
P062	100	París-Enrique Granados
València		
P079	138	Av de Roma- Viladomat
P082	165	València-Villarroel
P089	3	València-Muntaner
P093	98	València-Balmes
P095	1078	València-Pg de Gràcia
P137	1247	València-Pau Claris
P156	126	Mercat de la Concepció
P169	1228	València-Pg Sant Joan
P206	1318	València-Av Diagonal
P213	784	València-Marina
P220	244	València-Padilla
P229	308	València-Dos de Maig
P248	2335	València-Rogent
Mallorca		
P247	1224	Mallorca-Rogent
P227	234	Mallorca-Dos de Maig
P219	1072	Mercat de la Sagrada Família
P205	1297	Temple Expiatori de la Sagrada Família
P200	1227	Mallorca-Roger de Flor
P155	504	Mallorca-Girona
P130	1066	Mallorca-Roger de Llúria
P094	1207	Mallorca-Pg de Gràcia
P091	4	Mallorca-Aribau
P087	166	Mallorca-Mercat del Ninot
P080	139	Mallorca-Comte d'Urgell
P078	207	Mallorca- Viladomat
P075	378	Mallorca-Av de Roma
Villarroel		
P047	814	Villarroel-Buenos Aires
P065	1264	Villarroel-Hospital Clínic
P081	1488	Villarroel-Mercat del Ninot
P102	173	Villarroel-Aragó
P109	560	Villarroel-Gran Via
Muntaner		
P004	1392	Muntaner-Via Agusta
P009	1393	Muntaner-Madrado
P023	285	Muntaner-Travessera Gràcia
P055	1087	Muntaner-Londres
P067	1268	Muntaner-Còrsega
P088	1495	Muntaner-Mallorca
P104	177	Muntaner-Aragó
P110	563	Muntaner-Gran Via
P111	564	Muntaner-Diputació
Aribau		
P114	316	Aribau-Gran Via
P105	58	Aribau - Aragó
P090	842	Aribau - Mallorca
P069	222	Aribau-Còrsega
P024	1386	Aribau-Av. Diagonal
P015	1981	Aribau-Trav. Gràcia
P010	1036	Aribau-Laforja
P005	1521	Aribau-Via Augusta

Taula 6.6. Parades d'autobús de la xarxa

Totes les parades d'autobús que pertanyen a la zona d'estudi són del tipus simple. Cal recordar que el model ha estat desenvolupat contemplant la possibilitat de tenir parades dobles.

Una altra variable característica de les parades considerada en el model és el temps que un autobús necessita per posicionar-se correctament a una parada, en el cas de trobar-se un autobús aturat en el moment d'arribar a la parada. En aquest cas, a més del temps d'espera perquè el primer autobús abandoni la parada i el propi temps necessari per la càrrega i descàrrega de passatgers, s'ha considerat el temps des de que l'autobús anterior abandona la parada fins que l'autobús es situa correctament.

En el capítol 4, on es presenta el model desenvolupat es mostra el desenvolupament seguit per tal de determinar el temps de posicionament. Aquest temps pel cas implementat a la ciutat de Barcelona serà de 7 segons.

Totes les variables referents a les parades d'autobús requerides pel model són introduïdes mitjançant les matrius MP i MC que es mostren a l'annex 5.

6.2.4. Interseccions semaforitzades

A l'annex 4 es mostren els llistats de les interseccions semaforitzades que es troben dins l'àmbit d'estudi. Per a poder entrar totes les dades necessàries al model, prèviament ha estat necessari fer un tractament de les dades proporcionades per l'ajuntament de Barcelona sobre els plans semafòrics de la ciutat.

Per a poder obtenir els temps de cicle, els desfasaments i el temps en verd de cadascuna de les interseccions ha estat necessari identificar el moviment de cada direcció de cada intersecció, i identificar el pla semafòric vigent en l'escenari d'anàlisi d'aquesta tesina, és a dir, de 8 a 9 del matí, i per últim calcular el temps de cicle, el desfasament i el temps en verd de cadascuna de les interseccions de l'estudi. A l'annex 4 es mostra un exemple de les dades proporcionades per l'Ajuntament de Barcelona necessàries per obtenir les variables de les interseccions semaforitzades (matriu MI de l'annex 5).

6.2.5. Particularització del tractament de dades al cas de Barcelona

En aquest apartat es mostren els tractaments especials que s'han hagut de considerar a causa de la singularitat de la xarxa de Barcelona estudiada.

Entrades dels autobusos als corredors d'estudi

Una de les variables que influeixen en els resultats és el moment en què es considera que els autobusos entren en els corredors d'estudi. Les dades disponibles de l'instant d'entrada dels autobusos a la malla no són suficients per a determinar-ho directament. Per tant s'ha procedit a determinar quina és la distribució de l'entrada dels autobusos als corredors a partir de les dades disponibles de freqüències de pas i variància d'aquesta.

En el cas d'expedicions d'autobusos que s'ajusten a horaris d'exploació per interval, el temps d'entrada al corredor entre dos autobusos consecutius ve determinada per la distribució normal (Salicrú, 2006).

El primer pas necessari per determinar els temps d'entrada dels autobusos als corredors és tractar les dades dels intervals de pas de les línies dels diferents corredors (veure annex 6). Aquestes determinaran les mitjanes i les desviacions típiques de la distribució normal. La funció de densitat d'una normal de mitjana μ i desviació típica σ és:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left(\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (6.1)$$

A partir de la inversa de la funció de distribució normal i de les dades d'interval s'obtenen els temps d'entrada de cada autobús de cada línia a cadascun del tram dels corredors. Com ja s'ha comentat anteriorment, l'interval horari estudiat en aquesta tesina és de 8 a 9 h, considerada l'hora punta de trànsit del matí. Per tant els autobusos d'estudi seran aquells que entrin en el corredor dins aquesta finestra temporal.

Donades les característiques de la modelització, per cada tram dels corredors, és necessari ordenar les entrades dels autobusos provinents del tram anterior i els incorporats en el tram, o bé, treure els vehicles de les línies que surten del corredor. A l'annex 6 es mostren els temps d'entrada dels autobusos a cadascun dels trams dels corredors.

En el cas de les línies que surten d'un corredor d'estudi per entrar en un altre, també d'estudi, s'han de considerar a més de les dades del tram anterior, les dades dels temps finals d'aquestes línies dels trams del corredor que provenen.

Interseccions que pertanyen a dos corredors d'estudi

A continuació es descriu el tractament que s'ha realitzat pel càlcul dels desfasaments, temps de verd i tots els altres factors que intervenen en una intersecció, en el cas de les interseccions semaforitzades que pertanyen a dos corredors d'estudi. Com es pot observar a la Figura 6.1 els sis corredors de la xarxa d'estudi es creuen tots en nou interseccions. El fet que es produeixi el creuament entre dos corredors d'estudi comporta fer un tractament més acurat de les diferents fases, ja que en aquest cas, ja no només ens interessen les variables d'una direcció sinó que és necessari determinar les variables de les dues.

L'esquema típic de fases semafòriques per cadascun dels moviments dels vehicles en una intersecció és el següent:

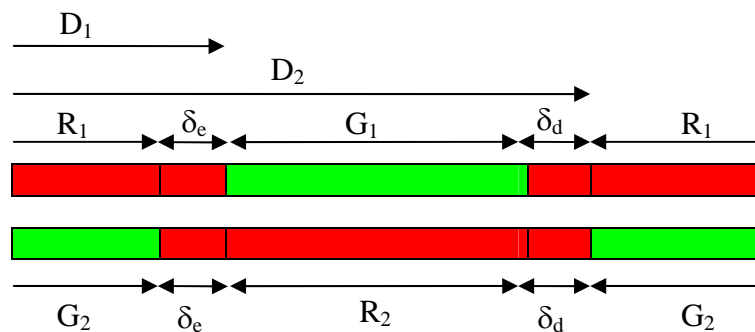


Figura 6.2. Esquema de fases semafòriques

On:

D , desfasament

G , temps de verd

R , temps de vermell

δ , fases en què els dos semàfors es troben en vermell

Com ja s'ha comentat anteriorment, la finalitat de l'estudi és obtenir una disminució dels temps d'espera dels autobusos en les interseccions semaforitzades. Per a aconseguir-ho, és necessari optimitzar la funció objectiu del problema que depèn dels temps de les fases semafòriques. En el cas de les interseccions que pertanyen a dos corredors d'estudi, és necessari definir la relació existent entre els dos moviments. Aquestes relacions permetran que al llarg del procés d'optimització no es produeixin millores incongruents, és a dir, no es produeixin temps de verd en les dues direccions alhora. Les dues relacions necessàries són:

$$D_2 = D_1 + G_1 + \delta_d \quad (6.2)$$

$$G_2 = T_C - G_1 - \delta_e - \delta_d \quad (6.3)$$

On:

T_C , temps de cicle

Les variables de les que depenen les fórmules anteriors són extretes de les fulles de cruïlles proporcionades per l'Ajuntament. Sempre tenint en compte quin és cadascun dels moviments a partir dels plànols de cadascuna de les cruïlles, els desfasaments de la intersecció respecte un zero absolut de tots els semàfors de la ciutat, i del pla en ús en la franja horària en què es realitza l'estudi.

En el cas que s'està estudiant hi han 9 interseccions que pertanyen a més d'un corredor. Aquestes interseccions es troben en el creuament entre els següents carrers:

- París / Villarroel
- París / Muntaner
- París / Aribau
- Mallorca / Villarroel
- Mallorca / Muntaner
- Mallorca / Aribau
- València / Villarroel
- València / Muntaner
- València / Aribau

Les dades referents a aquestes cruïlles necessàries pel model d'optimització són:

Codi Model	Tc	Desfament	Tg	Tr	alpha (g/Tc)	δe resp. Mov 1	δd resp. Mov 1	Moviment	Carrer
I0630	91	49	57	34	0,626	3	3	2	Carrer París
I0631	91	18	28	63	0,308			1	Carrer Villarroel
I0950	91	89	46	45	0,505	3	3	2	Carrer París
I0951	91	47	39	52	0,429			1	Carrer Muntaner
I1070	91	24	46	45	0,505	3	3	2	Carrer París
I1071	91	73	39	52	0,429			1	Carrer Aribau
I0680	91	87	41	50	0,451	3	3	2	Carrer València
I0681	91	40	44	47	0,484			1	Carrer Villarroel
I1000	91	57	44	47	0,484	3	3	2	Carrer València
I1001	91	13	41	50	0,451			1	Carrer Muntaner
I1120	91	76	43	48	0,473	3	3	2	Carrer València
I1121	91	31	42	49	0,462			1	Carrer Aribau
I1110	91	22	42	49	0,462	3	3	2	Carrer Mallorca
I1111	91	67	43	48	0,473			1	Carrer Aribau
I0990	91	44	44	47	0,484	3	3	2	Carrer Mallorca
I0991	91	0	41	50	0,451			1	Carrer Muntaner
I0670	91	66	43	48	0,473	3	3	2	Carrer Mallorca
I0671	91	21	42	49	0,462			1	Carrer Villarroel

Taula 6.7. Variables de les interseccions que pertanyen a dos corredors d'estudi

6.3. Escenaris d'anàlisi

La metodologia desenvolupada en aquesta tesina s'implementa a una malla formada per sis carrers de la ciutat de Barcelona. Els escenaris que es compararan a l'anàlisi de resultats són l'estat actual amb l'estat millorat. A més, l'interval temporal d'estudi que s'ha considerat és l'hora punta del matí. Per tant, l'optimització de la xarxa parteix de la situació actual existent entre les 8 i les 9 del matí, i es compara amb l'escenari millorat en aquest interval de temps.

6.4. Calibratge del model

Un dels últims passos necessaris abans de poder optimitzar la funció objectiu del sis corredors de Barcelona, és calibrar el model desenvolupat per tal d'obtenir la situació present actualment a l'hora punta del matí als corredors d'estudi.

Prèviament al calibratge, tots els inputs del model han estat introduïts de manera acurada, exceptuant les velocitats lliures dels autobusos. Aquestes han de ser calibrades per tal que

les velocitats comercials del model s'ajustin a les velocitats comercials reals facilitades per TMB.

La funció objectiu a minimitzar en el procés de calibratge és la suma de diferències quadràtiques de les velocitats comercials de cadascun dels autobusos que circulen en cada tram d'estudi durant l'hora punta del matí.

$$F_{OC} = \left[\sum_{\forall C} \sum_{\forall T} \sum_{\forall c} \sum_{\forall l} \sum_{\forall b} (v_{C,real} - v_{C,model})^2 \right]_{ITE} \quad (6.4)$$

On,

ITE , interval temporal d'estudi.

B , conjunt d'autobusos que operen les diferents línies en l'interval temporal d'estudi.

L , conjunt de línies que operen als diferents corredors de l'àmbit d'estudi.

T , conjunt de trams en què es divideixen els corredors.

C , conjunt de corredors de l'àmbit d'estudi.

$v_{C,real}$, velocitat comercial de les dades reals de l'autobús b -èssim de la línia l -èssima del tram t -èssim i corredor c -èssim.

$v_{C,model}$, velocitat comercial del model de l'autobús b -èssim de la línia l -èssima del tram t -èssim i corredor c -èssim.

La velocitat comercial real dels autobusos s'ha obtingut a partir de les dades reals proporcionades per TMB (veure annex 3). Donat que no es disposen de dades reals de totes les línies en tots els corredors d'estudi, s'ha utilitzat la mitjana de les velocitats de cada línia que es disposen de dades, en cadascun dels trams, ponderats pel número d'autobusos que circulen de cada línia.

D'aquesta forma és possible calcular les sumes de les diferències al quadrat de les velocitats comercials reals i del model. Les velocitats comercials del model s'obtenen després d'introduir totes les dades a les matrius pertinents, exceptuant la velocitat lliure dels autobusos de cada arc, ja que aquesta és la variable a ajustar (veure annex 5).

6.5. Mètode d'optimització

En el capítol 5 de la present tesina s'han descrit els mètodes evolutius d'optimització. Les seves característiques fan que siguin adients pel problema plantejat. Als problemes de test realitzats s'han avaluat els resultats obtinguts a partir dels mètodes *Randomized Local* i *Deterministic Pattern*. Degut a que en els problemes de test no s'ha observat una tendència clara de millora de la solució d'un mètode respecte l'altre, s'ha cregut convenient optimitzar la xarxa de la ciutat de Barcelona amb els dos mètodes.

S'ha procedit a l'optimització de l'estat actual a partir de realitzar optimitzacions successives, ja que els mètodes són capaços de millorar la solució del problema partint d'una solució ja millorada. És a dir, després d'una optimització, el mètode és capaç de millorar la solució donada si es torna a executar. Això és possible fins a arribar al que es considera la solució òptima del problema, i a partir de la qual ja no és possible millorar.

El mètode d'optimització *Randomized Local* és el que ha obtingut unes millores de la xarxa més importants. A la Figura 6.3 es mostra l'evolució de l'optimització mitjançant el mètode evolutiu *Randomized Local*.

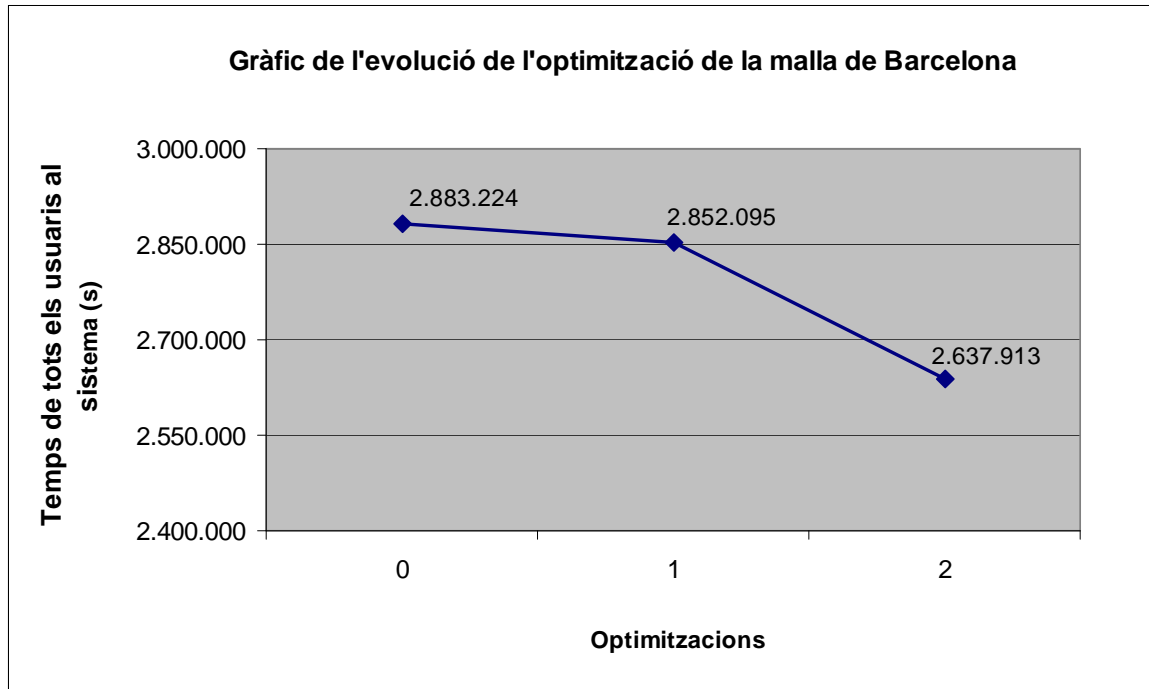


Figura 6.3. Gràfic de l'evolució de l'optimització de la malla de Barcelona.

6.6. Mètriques d'avaluació

Per tal de comparar els dos escenaris d'anàlisi es proposen unes mètriques d'avaluació que permetin avaluar les millores que es produeixen en variar els desfasaments de les interseccions semaforitzades. Aquestes mètriques es poden classificar segons diferents requisits funcionals.

Relatives al model

- El temps total de recorregut de tots els usuaris del sistema. Aquest és el valor de la funció objectiu que es vol minimitzar i és un indicador global de l'eficàcia del sistema que s'estudia.

- Percentatge de millora de l'indicador global respecte l'estat actual.

Relatives a les prestacions cinemàtiques.

- Temps promig de residència al sistema dels autobusos o usuaris del transport públic.
- Velocitat comercial ponderada dels autobusos.

Altres paràmetres operatius.

- Número i percentatge d'aturades de l'autobús en els semàfors.
- Temps promig d'aturada dels autobusos als semàfors.

Totes les mètriques d'avaluació descrites anteriorment serviran per avaluar les millores que es produeixen en optimitzar el model partint de la situació actual.