



Escola de Camins

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

PROJECTE O TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

**ESTRATÈGIES ÒPTIMES D'EXPLOTACIÓ DEL
SERVEI DEL TAXI EN ZONES URBANES
(722-TES-CA-5275)**

Autor/a

MARC FARRÉ MARINÉ

Tutor/a

MIQUEL ÀNGEL ESTRADA ROMEU

Departament

INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORT I DEL TERRITORI

Intensificació

TRANSPORTS

Data

GENER DE 2014

AGRAÏMENTS

Aquestes primeres línies les vull dedicar a donar les gràcies a aquelles persones sense les quals la realització d'aquesta tesina no hagués estat possible o, en tot cas, hagués estat molt més difícil.

En primer lloc, vull agrair a en Miquel Estrada, no només el fet que acceptés ser el tutor d'aquest treball, sinó també l'esforç i paciència que ha tingut amb mi durant tot aquest temps. Ell m'ha rebut cada cop que he tingut un dubte i, sobretot, m'ha donat empenta i ha aconseguit que em centrés en el tema concret de la tesina cada cop que em dispersava analitzant aspectes paral·lels que no en són objecte.

En segon lloc, m'agradaria donar les gràcies a en Javier Ortigosa per la gran dedicació que va tenir en els primers moments d'aquest estudi. Els seus consells, i les hores que vam passar junts analitzant i discutint què havia i què no havia de fer el model, van ser clau en la creació de les primeres versions del codi desenvolupat.

Finalment, vull donar les gràcies a la meua família, als meus amics i, d'una manera molt especial aquests darrers mesos, a l'Ariadna. Tots ells han estat al meu costat en els moments difícils, donant-me el suport i els ànims que m'han permès arribar a aquest punt avui.

TÍTOL: Estratègies òptimes d'explotació del servei del taxi en zones urbanes
AUTOR: Marc Farré Mariné
TUTOR: Miquel Àngel Estrada Romeu

RESUM

El disseny i l'aplicació de les estratègies òptimes d'explotació del servei del taxi en zones urbanes és un factor clau a l'hora de reduir dels costos operacionals del sector aconseguint, al mateix temps, oferir un cert nivell de servei als seus usuaris.

La crisi econòmica dels darrers anys ha provocat, en molts casos, una disminució significativa de la demanda del mercat del taxi per la reducció del poder adquisitiu de la població. Alhora, ha causat un augment de l'oferta per les perspectives laborals que ha brindat aquest sector a persones o que no es veien capaces de trobar ocupació en altres sectors. La combinació d'aquestes dues circumstàncies ha anat disminuint la rendibilitat del servei del taxi, evocant-lo a una situació poc sostenible. En aquesta conjuntura, la reducció dels costos d'operació esdevé més necessària que mai.

Al servei del taxi, a diferència del que passa als mitjans de transport col·lectiu, la major part de les decisions són preses de manera autònoma per cadascun dels usuaris i taxistes. D'una banda, cada usuari fixa l'hora d'inici, l'origen i la destinació del seu viatge. De l'altra, cada taxista escull la ruta i la velocitat del mateix, a part de decidir l'estratègia de cerca de clients buscant maximitzar els seus propis beneficis. Com a conseqüència de l'autonomia dels nombrosos agents que intervenen en l'operativa, són poques les estratègies que, de manera conjunta, es poden adoptar amb l'objectiu d'optimitzar el servei del taxi. L'elecció del sistema d'assignació del servei és una de les poques decisions que es poden prendre de manera coordinada.

Els models proposats durant les darreres dècades per diversos autors no permeten la comparació dels diferents modes d'assignació. Això es deu a què o bé estan centrats en un sistema particular o bé presenten limitacions en la seva estructura espacial.

L'objectiu d'aquesta tesina és la creació d'un model que, superant algunes de les limitacions dels models existents, permeti dur a terme l'avaluació i comparació dels diversos mètodes d'assignació disponibles per tal de treure'n conclusions aplicables a situacions reals, esdevenint una eina útil a l'hora de fixar estratègies òptimes d'explotació del servei del taxi per part de policy-makers i gestors del sector del taxi.

Amb aquesta finalitat, s'ha desenvolupat un model de simulació basada en agents capaç de reproduir, de manera realista, l'operativa del servei del taxi a ciutats amb dimensions, estructures i distribucions de demanda variables. Això ho aconsegueix generant demanda, assignant-la mitjançant un dels quatre modes d'assignació analitzats i simulant el comportament dels usuaris i dels taxis, tant quan romanen buits com quan es troben ocupats.

A partir dels resultats de les simulacions dutes a terme amb el model desenvolupat, es determinen els rangs de densitat de demanda pels quals cadascun dels quatre sistemes d'assignació és l'òptim. S'exposen i quantifiquen, a més, les conseqüències que variacions en el preu del combustible o en el valor que els usuaris donen al seu temps tenen en aquests rangs. Per baixa densitat de demanda, el sistema d'assignació en parada convencional (stand) demostra ser el més adequat. Per demandes intermèdies, el de smart stand (parada que inclou un servei de radioemissora) esdevé l'idoni. Finalment, el sistema d'assignació per radioemissora (dispatching) resulta ser el més eficient quan la densitat de demanda és molt elevada.

Pel que fa a la rendibilitat, el mode de dispatching es mostra com el que aconsegueix ser rendible a partir de densitats de demanda menors si es tenen en compte els costos d'infraestructura. Si no comptabilitzen, és el smart stand el ocupa la primera posició.

Paraules clau: taxi, model, simulació, assignació, hailing, parada, radioemissora, smart stand, demanda, rendibilitat.

TITLE: Optimal strategies in the operation of taxicab service in urban areas
AUTHOR: Marc Farré Mariné
TUTOR: Miquel Àngel Estrada Romeu

ABSTRACT

Designing and implementing optimal strategies in the operation of taxicab service in urban areas is a key factor in reducing operational cost while offering an adequate level of service to its customers.

The economic crisis of recent years has reduced people's purchasing power, resulting in a significant decreasing of the demand for taxis. At the same time, some unemployed people have found a job as a taxi driver, increasing the supply. These two conditions have reduced the profitability of the taxicab service, resulting in an unsustainable situation. In this conjunction, reducing the operational cost becomes even more necessary.

In taxicab service, unlike collective public transportation, most of the decisions are independently made by each user and each driver. On the one hand, users set the start time, the origin and the destination of their trips. On the other hand, drivers choose the route and the speed, apart from choosing the strategy when looking for customers in order to maximize their own profit. As a consequence of the independence of the different agents involved in the operation, few strategies can be implemented together to optimize the taxicab service. The choice of the allocation system is the main one.

Models proposed in recent decades by several authors do not allow the comparison of different allocation systems. This is because these models are focused on analyzing only one of the methods or they have limitations in their spatial structure.

The main objective of this thesis is to create a model overcoming some of the limitations of existing models in order to allow the evaluation and comparison of different allocation methods and, also, to draw conclusions applicable to real cases, becoming a helpful tool for policy makers and sector managers in order to determine optimal strategies in the taxi service.

To this end, an agent-based model has been developed. This model is able to simulate, in a realistic way, the operation of the taxi service in cities with variable size, structure and demand distribution. This is achieved by generating demand, allocating this demand by one of the four methods proposed and simulating the behavior of users and taxis during the whole process.

Once simulations are done and results are analyzed, optimum ranges of demand concentration are obtained for the different allocation systems proposed: hailing, dispatching, stand and smart stand. It is also quantified the impact that changes in fuel prices or in consumers value of time have in these ranges. At low demand levels, stand mode appears to be the optimal allocation method. At medium demand, smart stand mode becomes the best one. Finally, dispatching mode is more efficient than the others at high demand.

Regarding profitability, dispatching mode becomes profitable at lower demand concentration than the other three allocation systems, taking into account infrastructure costs. If these costs are not considered, smart stand mode reaches first place, overcoming dispatching mode.

Key words: taxi, agent-based model, simulation, allocation, hailing, stand, dispatching, smart stand, demand, profitability.

ÍNDIX

ÍNDIX DE FIGURES.....	9
ÍNDIX DE TAULES	11
1 INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS	12
1.1 MOTIVACIÓ	12
1.2 OBJECTIUS	13
2 SISTEMES D'ASSIGNACIÓ DEL SERVEI DEL TAXI	14
2.1 HAILING	14
2.2 DISPATCHING (TIC).....	15
2.3 STAND.....	16
2.4 SMART STAND	17
3 ESTAT DE L'ART	18
3.1 MODELS AGREGATS	18
3.2 MODELS D'EQUILIBRI	19
3.3 MODELS BASATS EN AGENTS	19
3.4 LIMITACIONS DELS MODELS PROPOSATS	21
4 DESCRIPCIÓ DEL MODEL	23
4.1 DEFINICIÓ D'USUARI	23
4.2 PERÍODE DE GENERACIÓ DE DEMANDA	23
4.3 ESTRUCTURA DE LA CIUTAT	24
4.4 ORIGEN I DESTINACIÓ D'USUARIS I TAXIS.....	24
4.5 GENERACIÓ DE LA DEMANDA.....	25
4.6 GENERACIÓ DE LA POSICIÓ INICIAL DELS TAXIS.....	26
4.7 RADIOEMISSORES	26
4.8 PARADES DE TAXIS	27
4.9 POSSIBLES ESTATS DELS USUARIS I DELS TAXIS	28
4.10 ITINERARIS DELS TAXIS PELS CARRERS	30
4.11 NOVA DESTINACIÓ DELS TAXIS LLIURES EN SIMULACIONS SENSE PARADES	31
4.12 ARRIBADA A PARADA DE TAXIS LLIURES.....	32
4.13 PAS PER PARADA DELS TAXIS LLIURES	32
4.14 APARICIÓ DELS USUARIS.....	33
4.15 DESISTIMENT DELS USUARIS	33
4.16 ASSIGNACIÓ MITJANÇANT HAILING	33
4.17 ASSIGNACIÓ MITJANÇANT DISPATCHING.....	34

4.18	ASSIGNACIÓ EN PARADA (STAND).....	35
4.19	ASSIGNACIÓ MITJANÇANT SISTEMA SMART STAND	36
4.20	ENCOTXAMENT.....	37
4.21	ARRIBADA A DESTINACIÓ DE L'USUARI	37
4.22	VELOCITAT DE TAXIS I USUARIS	37
4.23	VECTOR DE SUCESSOS, FI DE LA SIMULACIÓ I OUTPUT	38
5	RESULTATS DE LES SIMULACIONS	39
5.1	SIMULACIONS REALITZADES A L'ESTUDI.....	39
5.2	TEMPS D'ACCÉS DELS USUARIS (t_{ac}).....	39
5.3	TEMPS D'ESPERA DELS USUARIS (t_w)	40
5.4	TEMPS D'ESPERA EN PARADA DELS TAXIS (t_{pt})	42
5.5	DISTÀNCIA EN LLIURE DELS TAXIS ($dist_{ll}$).....	43
5.6	NOMBRE D'USUARIS DESISTITS (N_{ud}).....	44
5.7	NOMBRE DE SERVEIS ASSIGNATS (N_{sa})	46
5.8	DISTÀNCIA DELS TAXIS ASSIGNATS ($dist_{as}$).....	47
5.9	DISTÀNCIA EN SERVEI ($dist_t$).....	49
5.10	NOMBRE DE SERVEIS FINALITZATS (N_{sf})	50
5.11	INGRÉS OBTINGUT PELS TAXIS PELS SERVEIS FINALITZATS (I).....	51
6	FUNCIÓ OBJECTIU	54
6.1	DEFINICIÓ DE LA FUNCIÓ OBJECTIU.....	54
6.2	COST HORARI PELS USUARIS (Z_{us})	54
6.3	COST HORARI DEL TRANSPORT (Z_{trans})	55
6.4	COST HORARI DE RADIOEMISSORA (Z_{TIC})	58
6.5	COST HORARI D'INFRAESTRUCTURA (Z_{inf}).....	59
6.6	AVALUACIÓ DE LA FUNCIÓ OBJECTIU	60
7	DETERMINACIÓ DEL SISTEMA D'ASSIGNACIÓ IDONI	62
7.1	SISTEMA D'ASSIGNACIÓ IDONI EN FUNCIÓ DE λ_{sf}	62
7.2	SISTEMA D'ASSIGNACIÓ IDONI EN FUNCIÓ DEL PREU DEL GASOIL.....	64
7.3	SISTEMA D'ASSIGNACIÓ IDONI EN FUNCIÓ DE VdT.....	65
7.4	ANÀLISI DES DEL PUNT DE VISTA DE L'USUARI	67
7.5	RENDIBILITAT DEL SERVEI DEL TAXI	70
8	CONCLUSIONS	73
8.1	PRINCIPALS RESULTATS OBTINGUTS.....	73
8.2	LÍNIES DE RECERCA FUTURA	75
9	GLOSSARI.....	77
10	REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....	80

ANNEX I.	CODI MATLAB	82
A 1.01	x0_inici.....	82
A 1.02	x1_alliberament.....	87
A 1.03	x1_assignacio centraleta	89
A 1.04	x1_assignacio_no_centraleta	90
A 1.05	x1_assignacio_parades.....	94
A 1.06	x1_distancia_mitjana.....	95
A 1.07	x1_gendemanda	97
A 1.08	x1_gentaxis.....	99
A 1.09	x1_moviment_taxis_carrers	101
A 1.10	x1_nova_dest_cp.....	102
A 1.11	x1_objectiu_parada.....	105
A 1.12	x1_pas_parada	106
A 1.13	x1_recollida	108
A 1.14	x1_repartiment.....	110
A 1.15	x1_resultats	110
A 1.16	x1_semidest_seguent.....	113
A 1.17	x1_usuari_parada	115
A 1.18	x2_actual_parades	115
A 1.19	x2_arrodonir_element_proper	116
A 1.20	x2_assignacio_parelles.....	117
A 1.21	x2_coord_ale_dens_carrer.....	120
A 1.22	x2_desordenar.....	120
A 1.23	x2_itinerari	121
A 1.24	x2_parada_propera	124
A 1.25	x2_preu_carrera	125
A 1.26	x2_prop_parada_trajecte.....	125
A 1.27	x2_submatrius	127
ANNEX II.	RESULTATS DE LES SIMULACIONS	128
A 2.1	RESULTATS TOTALS DE LES SIMULACIONS	128
A 2.2	RESULTATS PER USUARI GENERAT DE LES SIMULACIONS.....	133
ANNEX III.	COSTOS	138

ÍNDEX DE FIGURES

Fig. 4.1 Esquema de l'estructura de la ciutat del model.....	24
Fig. 4.2 Esquema de la disposició de les parades, quan existeixen, a les simulacions del model.	28
Fig. 4.3 Exemples d'itineraris entre els punts d'origen i destinació.	31
Fig. 5.1 Temps d'accés dels usuaris en funció de la densitat de generació de demanda (λ).....	40
Fig. 5.2 Temps d'espera dels usuaris en funció de la densitat de generació de demanda (λ)....	41
Fig. 5.3 Temps d'espera en parada dels taxis per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).	42
Fig. 5.4 Distància en lliure dels taxis per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).	43
Fig. 5.5 Nombre d'usuaris desistits per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).	45
Fig. 5.6 Nombre de serveis assignats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).	46
Fig. 5.7 Nombre de serveis assignats mitjançant els diferents sistemes disponibles a les simulacions de smart stand per usuari generat en funció λ	47
Fig. 5.8 Distància dels taxis assignats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).	48
Fig. 5.9 Distància en servei per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).	49
Fig. 5.10 Nombre de serveis finalitzats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).	50
Fig. 5.11 Ingress dels taxis pels serveis finalitzats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).	52
Fig. 6.1 Cost global per servei finalitzat (z) en funció de la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf})..	61
Fig. 7.1 Cost global per servei finalitzat (z) de cada sistema d'assignació en funció de la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i sistema d'assignació idoni per a cada rang de λ_{sf}	62
Fig. 7.2 Sistema d'assignació idoni segons la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i el preu del gasoil. L'eix vertical secundari mostra el nombre de serveis finalitzats per taxi i hora equivalent a cada λ_{sf}	64
Fig. 7.3 Sistema d'assignació idoni segons la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i el valor del temps dels usuaris (VdT). L'eix vertical secundari mostra el nombre de serveis finalitzats per taxi i hora equivalent a cada λ_{sf}	66
Fig. 7.4 Cost per l'usuari per servei finalitzat (z_{us}) de cada sistema d'assignació en funció de (λ_{sf}).	67

Fig. 7.5 Sistema d'assignació idoni per l'usuari segons la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i el valor del temps dels usuaris (VdT). L'eix vertical secundari mostra el nombre de serveis finalitzats per taxi i hora equivalent a cada λ_{sf} 68

Fig. 7.6 Ingrés (τ) i despeses del transport per servei finalitzat en funció de la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf})..... 70

Fig. 7.7 Llindar de rendibilitat per cadascun dels sistemes d'assignació i contribució de transport ($trans$), radioemissora (TIC) i infraestructura (inf)..... 71

ÍNDEX DE TAULES

Taula 2.1 Avantatges i inconvenients hailing.....	14
Taula 2.2 Avantatges i inconvenients dispatching.....	15
Taula 2.3 Avantatges i inconvenients stand.....	16
Taula 2.4 Avantatges i inconvenients smart stand.....	17
Taula 4.1 Possibles estats dels usuaris i taxis.....	30
Taula 5.1 Tarifes a les simulacions de l'estudi. Elaboració pròpia a partir de dades de l' <i>Institut Metropolità del Taxi</i>	51
Taula 6.1 Despesa horària del transport (C_h). Elaboració pròpia a partir de dades de l' <i>Observatori del Taxi, 2012</i>	56
Taula 6.2 Cost quilomètric del transport (C_{km}). Elaboració pròpia a partir de dades de l' <i>Observatori del Taxi, 2012</i>	57
Taula 9.1 Paràmetres i valors de les variables d'entrada del model a les simulacions realitzades.....	77
Taula 9.2 Paràmetres resultants i altres variables del model.....	79
Taula A.1 Resultats totals de les simulacions amb densitat de generació de demanda $\lambda = 10$ usuaris/(km ² /h).....	128
Taula A.2 Resultats totals de les simulacions amb densitat de generació de demanda $\lambda = 25$ usuaris/(km ² /h).....	129
Taula A.3 Resultats totals de les simulacions amb densitat de generació de demanda $\lambda = 50$ usuaris/(km ² /h).....	130
Taula A.4 Resultats totals de les simulacions amb densitat de generació de demanda $\lambda = 100$ usuaris/(km ² /h).....	131
Taula A.5 Resultats totals de les simulacions amb densitat de generació de demanda $\lambda = 150$ usuaris/(km ² /h).....	132
Taula A.6 Resultats per usuari generat de les simulacions amb $\lambda = 10$ usuaris/(km ² /h).....	133
Taula A.7 Resultats per usuari generat de les simulacions amb $\lambda = 25$ usuaris/(km ² /h).....	134
Taula A.8 Resultats per usuari generat de les simulacions amb $\lambda = 50$ usuaris/(km ² /h).....	135
Taula A.9 Resultats per usuari generat de les simulacions amb $\lambda = 100$ usuaris/(km ² /h).....	136
Taula A.10 Resultats per usuari generat de les simulacions amb $\lambda = 150$ usuaris/(km ² /h).....	137
Taula A.11 Costos amb densitat de generació de demanda $\lambda = 10$ usuaris/(km ² /h).....	138
Taula A.12 Costos amb densitat de generació de demanda $\lambda = 25$ usuaris/(km ² /h).....	139
Taula A.13 Costos amb densitat de generació de demanda $\lambda = 50$ usuaris/(km ² /h).....	140
Taula A.14 Costos amb densitat de generació de demanda $\lambda = 100$ usuaris/(km ² /h).....	141
Taula A.15 Costos amb densitat de generació de demanda $\lambda = 150$ usuaris/(km ² /h).....	142

1 INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

Sovint, el terme transport públic s'utilitza com a sinònim de transport públic col·lectiu. Si s'acceptés l'equivalència, el transport públic només comprendria aquells mitjans de transport que són compartits per diversos usuaris (que no han pactat compartir el vehicle prèviament). Aquests sistemes estan normalment subjectes a unes rutes i uns horaris programats, amb l'excepció d'alguns serveis de taxi col·lectiu que, tot i tenir una ruta definida, no surten fins que tots els seients estan ocupats. Aquesta classificació inclouria, doncs, molts modes de transport: autobusos, troleibusos, tramvies, metros, trens, telefèrics, línies interurbanes d'autocar, línies aèries, ferris, etc. Però, tot i que també inclouria el servei del taxi col·lectiu, deixaria fora el servei del taxi convencional.

Es pot, en canvi, entendre transport el públic com qualsevol servei de transport de passatgers que pot ser utilitzat per un públic general, sense ser-ne el propietari, en contraposició al transport privat. El taxi queda inclòs dins d'aquesta definició.

En qualsevol cas, el taxi és un servei útil i necessari a les ciutats. Ho és justament perquè ofereix un servei individualitzat i flexible a l'usuari, que pot escollir tant l'hora d'inici com l'origen i la destinació del seu viatge. D'aquesta manera, complementa els diferents sistemes de transport públic col·lectiu, que no ofereixen aquesta flexibilitat.

1.1 **MOTIVACIÓ**

Els darrers anys, la major part dels sectors econòmics han patit una important crisi econòmica. Això ha tingut, en alguns països, conseqüències dramàtiques en gran part de la població, que ha vist el seu salari reduït, ha perdut la feina o creu que la pot perdre. Aquesta circumstància ha provocat una important caiguda del consum, de béns i serveis en general, i del servei del taxi en particular.

Aquesta conjuntura, a més de provocar la caiguda de la demanda, ha fet que moltes persones que han perdut el seu lloc de treball hagin vist el sector del taxi com una oportunitat laboral. En molts casos, una part important dels titulars de llicències de taxi, que han vist baixar dràsticament la rendibilitat, han optat per la contractació de taxistes assalariats amb l'objectiu d'incrementar el temps que el seu vehicle es manté en servei. Aquesta pràctica, coneguda com doble torn, ha causat que l'oferta del sector hagi augmentat, inclús en ciutats com Barcelona, on el nombre de llicències de taxi està limitat.

La combinació d'una menor demanda i una major oferta està reduint la rendibilitat i evocant el sector del taxi a una estat difícilment sostenible. La situació ha fet palesa, doncs, la necessitat d'analitzar l'operativa del servei del taxi per tal de trobar, i posteriorment posar en funcionament, solucions òptimes que redueixin, en la mesura que sigui possible, els costos d'aquest servei. Això s'ha de fer, però, mantenint sempre un cert nivell de servei per als usuaris.

En aquest sentit, l'aplicació del sistema d'assignació més adient en cada cas, pot esdevenir un instrument important en aquesta reducció de les despeses del sector. Les contínues millores tecnològiques doten de noves eines tots els àmbits, i en concret el de l'assignació del servei del taxi.

Tanmateix, un mètode d'assignació pot comprovar-se eficient en un cas i no ser-ho, en canvi, en un altre. És per aquesta raó que es fa palmària la necessitat de comptar amb models que permetin l'avaluació dels diferents sistemes en circumstàncies variades, i treure així conclusions útils en l'elecció del mode d'assignació idoni en cada cas.

Durant les darreres dècades, han estat proposats diversos models amb l'objectiu d'analitzar diferents aspectes del servei del taxi. Aquests models però, ja sigui perquè presenten limitacions en l'estructura espacial o perquè es limiten a un únic mètode d'assignació, no permeten la comparació dels diferents sistemes d'assignació en circumstàncies comunes. Això fa necessari, doncs, el desenvolupament d'un nou model que venci aquestes restriccions.

1.2 OBJECTIUS

Aquesta tesina té com a primer objectiu la creació d'un nou model que, eliminant certes limitacions dels models existents, permeti l'avaluació dels diferents sistemes disponibles en l'assignació del servei del taxi. Un cop desenvolupat el model, aquest estudi té l'objectiu de, realitzant les simulacions que siguin necessàries, arribar a determinar quin sistema d'assignació és l'ídoni en funció de la densitat de demanda d'una ciutat.

Per tal d'assolir aquests objectius, en la present tesina s'estableixen i efectuen les següents tasques i subobjectius:

- Anàlisi de les característiques dels diferents sistemes d'assignació del servei del taxi.
- Elecció, definició i descripció dels mètodes d'assignació a comparar.
- Creació i desenvolupament d'un nou model capaç de simular el funcionament del mercat del taxi, en general, i l'assignació mitjançant els diferents sistemes escollits, en particular, a una ciutat durant un cert període de temps.
- Establiment de les simulacions concretes a realitzar mitjançant el model, així com les hipòtesis necessàries per tal que aquestes representin d'una manera realista els modes d'assignació que es comparen, així com el comportament de taxistes i usuaris.
- Execució de les diferents simulacions i anàlisi dels resultats directes de les mateixes.
- Determinació dels rangs de densitat de demanda pels què és idoni cada sistema, a partir dels resultats extrets de les simulacions i de la definició d'una funció objectiu.
- Estudi de la sensibilitat dels resultats a les variables més importants i extracció de conclusions al respecte.
- Anàlisi de la rendibilitat del sector del taxi en funció de la demanda i dels diferents mètodes d'assignació simulats.

2 SISTEMES D'ASSIGNACIÓ DEL SERVEI DEL TAXI

Per tal d'estudiar de la idoneïtat d'un o altre sistema d'assignació dels taxis en funció de la demanda, primer cal definir quins són els diferents mètodes que es compararan. Aquest apartat té com a finalitat proposar els quatre sistemes d'assignació diferents que posteriorment seran analitzats i comparats, així com descriure les principals característiques de cadascun d'ells.

2.1 **HAILING**

S'entén per **hailing** aquell sistema d'assignació de taxis en què l'usuari intercepta un vehicle buit en pista, és a dir, mentre aquest circula per qualsevol carrer de la ciutat. Un cop aturat el taxi, l'usuari entra al vehicle, moment en què es produeix l'abaixament de bandera¹, i comunica la destinació desitjada al taxista.

Des del punt de vista de l'usuari, aquest sistema d'assignació té l'avantatge que només es paga la part la part del trajecte a partir del moment en què entra al taxi. Per tant, el client no es fa càrrec del recorregut del vehicle fins l'encotxament². A més, en poder aturar un taxi en qualsevol punt dels carrers de la ciutat, l'usuari no s'ha de desplaçar per trobar un taxi i, per tant, el temps d'accés³ de l'usuari és zero.

Com a aspecte negatiu pel client, la contractació depèn totalment de la trobada fortuïta usuari-taxi. Això fa que el temps d'espera pugui allargar-se considerablement quan la quantitat de vehicles que circulen lliures per la ciutat és baixa en relació a la superfície a què donen servei.

Des d'un punt de vista més global, una ciutat en què aquest és l'únic sistema d'assignació obliga els taxis a circular contínuament, es trobin lliures o en servei. Els vehicles recorren, per tant, una suma gens menyspreable de kilòmetres en lliure. Aquest quilometratge en buit suposa un consum afegit de combustible que es tradueix, d'una banda, en una major despesa econòmica del taxi i, e l'altra, en major emissió de gasos contaminants.

Taula 2.1 Avantatges i inconvenients hailing.

Cost usuari	Cost total
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Només paga el trajecte des de l'encotxament ✓ No s'ha de desplaçar a peu per trobar un taxi ✗ El temps d'espera es pot veure incrementat en dependre de trobades fortuïtes 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Important quilometratge dels taxis en buit: despesa econòmica i contaminació

¹ **Abaixament de bandera.** Acció i efecte de posar el taxímetre al preu mínim fixat abans de començar el trajecte. TERMCAT, 2013.

² **Encotxar.** Recollir passatgers en un vehicle, especialment un taxi. TERMCAT, 2013.

³ **Temps d'accés.** Temps que l'usuari empra en desplaçar-se a peu fins el punt en què esperarà el taxi.

2.2 **DISPATCHING (TIC)**

En aquest cas, l'usuari requereix els serveis d'un taxi mitjançant una trucada, un SMS o per internet a una de les diferents empreses radioemissores⁴ disponibles a la zona. Un cop rebuda la sol·licitud de servei, la radioemissora contacta un dels taxis que té afiliats i li comunica la posició de l'usuari per tal que vagi a recollir-lo. L'elecció del taxi contactat pot respondre a diferents polítiques que poden variar segons l'empresa.

Actualment, les principals empreses radioemissores disposen d'informació en temps real de la flota de taxis que tenen afiliats, que són localitzats per GPS. Això permet una assignació més eficient dels serveis.

Des del punt de vista de l'usuari, l'avantatge principal d'aquest sistema d'assignació és el fet que, a diferència del que passa amb el hailing, la contractació del servei no depèn de la trobada fortuïta usuari-taxi. Aquesta contractació, de la mateixa manera que passa amb el hailing, es pot produir en qualsevol punt del carrer i, per tant, el temps d'accés també és zero.

Tanmateix, l'usuari es veu obligat a pagar el recorregut del taxi fins el lloc d'encotxament, encarint-se així el preu del servei. El que es cobra fins el lloc d'encotxament, però, acostuma a estar limitat a un preu màxim. A més, a diferència del que sol passar amb el hailing, en que el preu mínim correspon a l'abaixament de bandera, s'acostuma a establir un preu mínim del servei superior.

Des d'un punt de vista més global, sempre que els taxis tampoc disposen de parades o llocs d'estacionament on esperar que els sigui assignat un servei des de la radioemissora, aquest sistema té el mateix inconvenient que el hailing: un important quilometratge dels taxis lliures, amb el consum de combustible que això suposa i la despesa econòmica i contaminació associades. A més, el servei de radioemissora suposa un cost addicional pel taxista, que ha de pagar una quota mensual.

Taula 2.2 Avantatges i inconvenients dispatching.

Cost usuari	Cost total
✓ Temps d'espera menys variable en no dependre de trobades fortuïtes	✗ Important quilometratge dels taxis en buit: despesa econòmica i contaminació
✓ No s'ha de desplaçar a peu per trobar un taxi	✗ Cost associat al servei de radioemissora
✗ Increment del preu pel recorregut fins el lloc d'encotxament	
✗ Preu mínim superior a l'abaixament de bandera	

⁴ **Radioemissora.** Empresa que, a canvi d'una quota mensual pagada pels taxistes afiliats, fa d'intermediària entre els usuaris i ells. Traslladant les sol·licituds que rep dels usuaris als taxistes afiliats.

2.3 **STAND**

El sistema d'assignació en parada o **stand**, és aquell en què la trobada usuari-taxi es produeix en un lloc destinat a aquest efecte. Aquest lloc, anomenat parada o stand, disposa d'un cert nombre de places on el taxista pot aturar el vehicle i descansar mentre espera l'arribada d'usuaris que contractin un servei.

Algunes parades disposen també d'una marquesina, amb o sense seients, que fa més còmoda l'espera de l'usuari si aquest arriba en un moment en què no hi ha taxis lliures a la parada.

Des del punt de vista de l'usuari, l'avantatge principal d'aquest sistema és que simplifica l'elecció del lloc idoni per esperar un taxi. L'usuari, en comptes de buscar el punt del carrer pel que creu que és més probable que passi un taxi lliure, es dirigeix directament a la parada. Un cop a la parada, l'usuari contracta el taxi que hi du més estona aturat, si és que n'hi ha d'aturats, o bé espera l'arribada d'un taxi lliure. A més, igual que passa amb el hailing, el client només paga el trajecte des de l'encotxament. És a dir, no es fa càrrec del recorregut del taxi fins el punt de trobada.

Aquest sistema, però, té com a inconvenient que el desplaçament a peu fins la parada suposa un increment del temps d'accés de l'usuari respecte els sistemes descrits fins ara. A més, tot i que es produeix en una parada, la trobada usuari-taxi segueix essent fortuïta, ja que no hi ha cap garantia que hi hagi taxis esperant a la parada ni que hi hagin d'arribar en un temps raonable.

Des d'un punt de vista global, l'existència de parades té l'avantatge que els taxistes poden esperar els usuaris a les parades amb els vehicles aturats. D'aquesta manera es redueix significativament el quilometratge realitzat pels taxis quan estan lliures. Això suposa una reducció sensible del consum de combustible i, per tant, una menor despesa econòmica i contaminació atmosfèrica.

Com a inconvenient, cal destacar que aquest sistema requereix la disposició d'una infraestructura: les parades. A part del cost associat a la construcció i al manteniment, les parades ocupen un espai públic que, per tant, no pot ser destinat a altres usos: aparcament, zona verda, etc.

Taula 2.3 Avantatges i inconvenients stand.

Cost usuari	Cost total
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Simplifica l'elecció del punt d'espera ✓ Només paga el trajecte des de l'encotxament ✗ S'ha de desplaçar a peu fins la parada ✗ El temps d'espera es pot veure incrementat en dependre de trobades fortuïtes 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducció del quilometratge dels taxis en buit: menor despesa econòmica i contaminació ✗ Cost associat a la infraestructura (parades)

2.4 **SMART STAND**

El present document utilitza el terme **smart stand** per tal de designar un sistema que combina l'existència de parades del stand amb un servei d'assignació a les mateixes semblant al del dispatching. De la mateixa manera que al sistema de stand, la trobada usuari-taxi es realitza a una parada. La diferència radica en el fet que, quan arriba a una parada on no hi ha taxis lliures, l'usuari pot sol·licitar un taxi mitjançant un sistema anàleg al del dispatching.

Així, mitjançant un dispositiu situat a la pròpia parada, una trucada, un SMS o per internet, el client demana un taxi al servei de radioemissora (en aquest cas només n'hi ha un). Un cop rebuda la petició, la radioemissora contacta el taxi lliure més proper i l'envia a la parada on es troba l'usuari.

Des del punt de vista de l'usuari, el sistema smart stand destaca positivament pel fet que, com passa amb el dispatching, la contractació del servei no depèn de la trobada fortuïta usuari-taxi. Com amb aquest altre sistema, quan el client utilitza el servei de radioemissora, es veu obligat a pagar el recorregut del taxi fins l'encotxament i un preu mínim superior al corresponent a l'abaixament de bandera. Però, té l'avantatge respecte el dispatching que el client només ha d'utilitzar aquest servei quan no troba taxis lliures a la parada, estalviant-se el sobrecost quan en troba.

El sistema smart stand comparteix amb el mètode de parades convencional l'inconvenient que el desplaçament a peu fins la parada suposa un increment del temps d'accés de l'usuari respecte el hailing i el dispatching.

Des d'un punt de vista més global, aquest sistema comparteix amb el convencional de parades l'avantatge que els taxistes poden esperar els usuaris a les parades amb els vehicles aturats, reduint significativament el quilometratge realitzat pels taxis quan estan lliures. Com amb el sistema de parades convencionals, això suposa una reducció sensible del consum de combustible i, per tant, una menor despesa econòmica i contaminació atmosfèrica.

Com a inconvenient, cal destacar que el sistema de smart stand té un cost associat a la infraestructura anàleg als del de parades convencionals i, a més, un cost associat al servei de radioemissora semblant al del dispatching.

Taula 2.4 Avantatges i inconvenients smart stand.

Cost usuari	Cost total
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Només paga el trajecte des de l'encotxament ✓ Temps d'espera menys variable en no dependre de trobades fortuïtes - Increment del preu pel recorregut fins el lloc d'encotxament només quan s'utilitza el servei de radioemissora - Preu mínim superior a l'abaixament de bandera només quan s'utilitza el servei de radioemissora ✗ S'ha de desplaçar a peu fins la parada 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducció del quilometratge dels taxis en buit: menor despesa econòmica i contaminació ✗ Cost associat al servei de radioemissora ✗ Cost associat a la infraestructura (parades)

3 ESTAT DE L'ART

Des de principis de la dècada dels 1970, diversos autors han anat proposant diferents models amb la finalitat d'analitzar el servei del taxi. Els primers estudiaven la conveniència de la regulació del mercat del taxi mitjançant models agregats. Més tard, es van anar desenvolupant models cada cop més complexos. Diferents autors van realitzar les seves aportacions, proporcionant una estructura espacial als seus models, considerant cada cop un major nombre de paràmetres en ells i obtenint resultats cada cop més realistes. A continuació se'n presenten alguns dels més rellevants.

3.1 MODELS AGREGATS

Els models agregats són aquells que estudien el comportament dels sistemes de manera global. No simulen, per tant, el comportament individual de cadascun dels agents que formen aquest sistema. Tant els paràmetres d'entrada com els resultats de sortida són valors agregats que no permeten discernir les conseqüències que una decisió té per cadascun dels individus concrets que es troben dins del conjunt.

Pel que fa al sector del taxi, els models agregats que han estat proposats han tingut l'objectiu principal d'estudiar els efectes de les regulacions d'entrada i de tarifes en aquest mercat. En aquesta direcció, han estat plantejats diferents models que analitzaven el mercat monopolístic, d'una banda, i el mercat competitiu, de l'altra, sovint comparant-los. La diferència entre el primer i el segon radica en què, mentre al mercat monopolístic l'entrada i les tarifes estan regulades, en el competitiu només ho estan les tarifes, essent l'entrada lliure.

Es podria dir que el primer model en analitzar el sector del taxi va ser el presentat per Douglas (1972), que va proposar un model de mercat del taxi amb tarifes regulades però sense regulacions d'entrada, en què els usuaris podien ser encotxats en qualsevol punt dels carrers de la ciutat. Amb aquest model va demostrar, entre altres coses que, tenint en compte el benestar social, el nombre màxim d'hores en servei dels taxis es donava quan la demanda és també màxima.

Més tard, De Vany (1975) va comparar el mercat monopolístic amb el mercat competitiu. En el primer, va manifestar que l'objectiu del monopolista era maximitzar els beneficis totals mentre que, en el segon, cada propietari volia maximitzar els seus propis beneficis. Amb tot, va demostrar que la demanda es maximitzava quan el benefici era zero i que, un mateix increment de les tarifes regulades comportava un major augment de l'oferta en un mercat competitiu que en un de monopolístic. Aquestes conclusions van ser comprovades per Foerster i Gilbert (1979), que van estudiar els efectes de la regulació en diferents escenaris.

Per la seva banda, Beesley (1973) i Besley i Glaister (1983), van aplicar els models a diferents mercats. Com a novetat, van introduir les externalitats del sector associades a la congestió causada. Daganzo (1978) va tenir en compte els temps d'espera i de viatge com a variables del seu model amb l'objectiu de dimensionar la flota òptima que garantis un mínim nivell de servei. Schroeter (1983) va crear un model teòric amb l'assignació per radioemissora (dispatching) i les parades a l'aeroport (stand) com a principals mètodes d'operació.

Manski i Wright (1976) va ser el primer en proporcionar una estructura espacial al seu model, que representava una parada de taxi. Ja a la dècada dels 1990, Arnott (1996) va anar més enllà, desenvolupant un model estructural amb una demanda distribuïda uniformement en una ciutat homogènia en l'espai.

3.2 **MODELS D'EQUILIBRI**

Els models d'equilibri són aquells que pretenen donar una explicació del comportament global agregant el comportament dels individus.

Yang i Wong (1998) van desenvolupar un model que descrivia el comportament dels taxis, lliures o ocupats, buscant usuaris i proporcionant serveis en un entorn urbà. Aquest model adoptava moltes simplificacions, tals com moviment dels taxis i demanda estacionaris, demanda inelàstica, manca de congestió, etc.

Ja a la dècada dels 2000, Wong et al. (2001) van introduir la congestió, d'una banda, i l'elasticitat de la demanda, de l'altra, al seu model. Més tard, Wong et al. (2004) van realitzar simulacions amb diferents classes d'usuaris.

Yang et al. (2005), per la seva banda, van analitzar les conseqüències de les externalitats diferents mercats. D'una banda van concloure que, en mercats molt congestionats, l'entrada de taxis addicionals tenia un gran efecte marginal en la congestió i que, per tant, aquesta entrada havia de ser controlada a l'òptim social. D'altra banda, van afirmar que un mercat competitiu comportava un ús més eficient dels taxis, de manera que amb una menor flota servien una major demanda amb tarifes més altes.

Hyunmyung et al. (2005) van proposar un model que incloïa un comportament estocàstic de la demanda en què se simulava un procés d'aprenentatge dels taxistes. A més, van analitzar l'efectivitat dels sistemes d'informació en el servei del taxi, demostrant que el seu ús equivalia a incrementar el nombre de taxis.

Yang et al. (2000) van estudiar la relació entre oferta i demanda del sector, tot desenvolupant un sistema d'equacions no lineals que tenia en compte la demanda, l'ocupació dels taxis i el nivell de servei. Posteriorment, Yang et al. (2010) van proposar un model amb tarifes no lineals.

3.3 **MODELS BASATS EN AGENTS**

Els models basats en agents són models computacionals que estudien els efectes que les accions i interaccions dels diferents agents autònoms tenen sobre el sistema en el seu conjunt. Això ho fan simulant les accions i interaccions d'aquests agents autònoms, que poden ser tant individus com entitats col·lectives.

Tot i que el seu concepte ja existia anteriorment, l'extensió dels models basats en agents no va arribar fins que la informàtica es va generalitzar. Això va passar a principis de la dècada dels 1990, quan van començar a aparèixer els primers models d'aquest tipus.

Pel que fa al camp dels transports, Kikuichi et al. (2002), i més tard Teodorovic (2003) i Chen (2010), van proposar i començar a aplicar models basats en agents a l'estudi dels problemes intrínsecs dels sistemes de transport. Des de llavors, han estat proposats diversos models d'aquest tipus destinats a l'anàlisi del transport, en general.

Tanmateix, el nombre d'aquests que estudien el servei del taxi en concret és molt més limitat. A continuació se'n citen alguns segons el sistema d'assignació que analitzen.

✓ **Dispatching**

Pel que fa a l'estudi del mercat del dispatching, Bailey i Clark (1987) van analitzar els canvis de rendiment en aquest mercat en funció de l'oferta de taxis. En aquest sentit, van arribar a la conclusió que el temps d'espera dels usuaris és molt sensible a variacions el nombre de vehicles i, en canvi, no ho és gaire a canvis en la demanda.

Posteriorment, Bailey i Clark (1992) van trobar una relació lineal entre la distància total i la mida de la flota de taxis en el servei de dispatching. Per fer-ho van desenvolupar un model de simulació per esdeveniments discrets.

Més tard, Chen (2009) va proposar un disseny per incrementar la satisfacció dels usuaris tot assignant un nombre de taxis determinats al mateix nombre d'usuaris en una mateixa regió geogràfica.

✓ **Stand**

Pel que fa a l'anàlisi de serveis de taxi basats en l'assignació en parada (stand), Kim et al. (2005) van desenvolupar un model que simulava aquest servei. Amb aquestes simulacions, van concloure que l'ús de tecnologies de la informació pot incrementar en un 20% la qualitat del servei.

Song i Tong (2006) i Song (2006) van anar més enllà creant models de demanda dinàmica per estudiar el mercat del taxi en parada. Com a novetat, van analitzar i incloure patrons de demanda en funció del temps, van assumir que la informació és imperfecta i van introduir un procés d'aprenentatge. També van tenir en compte els efectes de no-equilibri que tenen les regulacions d'entrada en el mercat del taxi. Amb tot, van fer paleses les limitacions dels models agregats tradicionals, que no tenien en compte la dependència temporal dels patrons de demanda i assumien equilibri i informació perfecta.

A més, van posar a prova els efectes dels Sistemes d'Informació Avançada del Transport (ATIS) en aquest sector concret, demostrant que els processos d'aprenentatge redueixen tant el temps d'espera dels usuaris com el temps que els taxis passen lliures entre serveis. És a dir, que aquests processos són beneficiosos tant pels usuaris com pels taxistes.

Per la seva banda, Shi (2010) va analitzar els comportaments que tenen els taxistes quan busquen possibles usuaris, així com la influència d'aquests comportaments en el rendiment global del sistema. En el seu model, va implementar un patró de demanda variant i taxistes amb diferents estratègies a l'hora de buscar clients. Finalment, el va aplicar a una ciutat lineal que constava d'un nucli i 20 zones residencials.

✓ **Mixtos**

Deixant de banda els models centrats en un únic sistema d'assignació, Lioris et al. (2010) van proposar un model de simulació per esdeveniments discrets que pretenia reproduir les condicions reals del mercat del taxi. Amb aquest objectiu, van assajar tres escenaris diferents: un primer amb el hailing com a únic sistema d'assignació disponible, un segon on els usuaris només podien aconseguir un taxi trucant a un servei de radioemissora (dispatching) i, finalment, un tercer on ambdós sistemes d'assignació conviuen.

Pel que fa a l'estructura del model, aquest constava de dos nivells de decisió. D'una banda, es dissenyava i dimensionava la flota. De l'altra, s'avaluava l'operativa d'aquesta flota en temps real. La demanda de les simulacions seguia un procés de Poisson, el temps entre arribades a un cert node i seguia una funció exponencial de paràmetre λ_i i la probabilitat d'un usuari de voler anar d'aquest node i a un altre node j era M_{ij} , on M era la matriu Origen-Destinació (OD).

Aquest model va ser aplicat a diferents geometries de demanda i intensitats, i posat a prova a per la ciutat de París. En aquest cas es va establir una xarxa formada per 288 nodes i 674 enllaços, amb una oferta de 3.744 taxis de cinc places.

✓ Darrers models proposats

Kim et al. (2011), van presentar un model basat en agents en funció del temps i el van provar per diferents patrons d'usuari. Un cop analitzats els resultats, van proposar directrius de millora del rendiment del servei per a casos en què el patró de demanda és asimètric.

El seu model comptava amb dos tipus d'agents: els taxistes, d'una banda, i els usuaris, de l'altra. A les simulacions es considerava un temps de viatge constant, amb un apetita influència de la fluïdesa dels vehicles. El període de simulació es dividia en 3 subperíodes, corresponents a l'hora punta del matí, la del vespre i les hores vall. La xarxa comptava amb 5 nodes i 16 enllaços, representant el node central el districte comercial de la ciutat.

Amb tot, van comprovar que, segons augmenta el percentatge de temps que els vehicles romanen ocupats, també creix el nombre d'usuaris que es mantenen a l'espera d'un taxi.

Darrerament, Cheng i Nguyen (2012) han desenvolupat una plataforma de simulació multiagent (TaxiSim) que permet estudiar les interaccions entre taxis i usuaris. Aquesta plataforma incorpora comportaments realistes dels taxistes i ha estat validat en un cas d'estudi real.

Finalment, quan ja s'estava encarant la recta final de la present tesina, Salanova (2013) ha presentat dos models complementaris entre ells d'estudi de l'oferta del servei del taxi. El seu objectiu principal ha estat dimensionar una flota òptima que satisfaci la demanda amb un temps d'espera pels usuaris raonable i, alhora, garanteixi una mínima rendibilitat als taxistes.

El primer model, de caire analític i macroscòpic, permet calcular el nombre de vehicles òptim per satisfer una població amb uns costos unitaris mínims, així com el temps d'espera associat a aquesta mida de la flota. El segon, de simulació basada en agents, reproduïx les característiques operacionals del sector per tal d'avaluar la seva eficiència. Aquests dos models han estat calibrats amb dades reals de Barcelona.

3.4 **LIMITACIONS DELS MODELS PROPOSATS**

Els models proposats amb anterioritat a l'inici d'aquesta tesina, presenten una sèrie de limitacions que impedeixen, o dificulten, la comparació dels diferents sistemes d'assignació en circumstàncies comunes. Donat que aquest és l'objectiu de la present tesina, aquesta pretén desenvolupar un model que esmeni aquestes limitacions.

✓ Models discrets en l'espai

En general, les ciutats o regions implementades en aquests models es plantegen simplificades com xarxes formades per un nombre més o menys reduït de nodes enllaçats entre ells. Aquesta simplificació és molt vàlida quan es vol representar el funcionament de mitjans de transport públic basats en rutes i parades. És també raonable quan es reproduïx el funcionament d'un servei del taxi amb parades en què aquestes són els únics punts de la ciutat on es permet la contractació d'un servei.

Tanmateix, aquestes xarxes discretes presenten limitacions a l'hora d'analitzar el comportament del sector quan s'hi afegeix la possibilitat de concertació per radioemissora (dispatching) o, encara més, d'intercepció en pista (hailing). Aquests dos sistemes d'assignació suposen que l'encotxament es pot produir en qualsevol punt dels carrers de la ciutat i no només en un conjunt més o menys nombrós de nodes.

Un model que vulgui reproduir l'operativa d'aquests dos sistemes d'assignació d'una manera realista, doncs, hauria de representar la ciutat o regió d'una manera contínua en l'espai. És a dir, hauria de traçar una xarxa de carrers continus al llarg dels quals l'usuari pogués ser encotxat, en qualsevol dels infinits punt de la ciutat.

✓ **Models centrats en un únic sistema d'assignació**

En la major part dels casos, els models proposats es dissenyen amb la finalitat d'estudiar un únic sistema d'assignació. D'aquesta manera s'extreuen conclusions molt vàlides pel disseny d'un servei del taxi basat en el sistema analitzat. Si es volen comparar els diferents mètodes d'assignació, doncs, sovint s'ha de recórrer a utilitzar resultats obtinguts amb diferents models, cadascun amb les seves hipòtesis particulars. Per tant, aquestes simulacions no acaben de ser del tot útils quan es volen realitzar aquestes comparacions.

Si es vol saber quin dels sistemes d'assignació és l'idoni en unes circumstàncies determinades, seria útil comptar amb un model capaç de simular l'operativa del servei del taxi amb els diversos mètodes d'assignació, mantenint la resta d'hipòtesis i característiques comunes.

4 DESCRIPCIÓ DEL MODEL

Amb l'objectiu de comparar els diferents sistemes d'assignació de taxis descrits en apartats anteriors, s'ha desenvolupat un model per tal de simular el funcionament del sector del taxi a una ciutat durant un període de temps determinat. El present apartat té com a finalitat la descripció d'aquest model, tot detallant el seu funcionament i les diverses hipòtesis adoptades tant en el propi model com en les simulacions realitzades per al present estudi.

Aquest model, que s'ha desenvolupat específicament per a la realització d'aquestes simulacions, està escrit en llenguatge de programació M i executat amb l'eina de software matemàtic MATLAB. Durant la descripció del model duta a terme en aquest apartat, sovint es fa referència a funcions del propi model. El codi complet d'aquestes funcions, així com el de la resta del model desenvolupat, pot ser consultat a l'**ANNEX I. CODI MATLAB**. Els valors de les variables d'entrada a les simulacions poden ser consultats a l'apartat **9. GLOSSARI**.

4.1 DEFINICIÓ D'USUARI

Al model de taxi convencional, el preu no depèn del nombre de passatgers transportats en un mateix servei. En alguns casos existeixen excepcions com, per exemple, l'ocupació d'un taxi per 5 ó 6 passatgers que, en requerir un vehicle amb una capacitat especial, pot comportar un suplement.

El model desenvolupat, a més d'eliminar excepcions com aquesta, no distingeix el nombre de persones que integren un grup de passatgers que comparteixen taxi en un mateix servei. Com a conseqüència, tant al model com a la descripció del mateix feta en aquest document, s'ha d'entendre la paraula **usuari** precisament com grup, format per un o més passatgers, que requereix conjuntament el servei d'un taxi.

4.2 PERÍODE DE GENERACIÓ DE DEMANDA

El model estableix un període de generació de demanda de durada t_e durant el qual es generen usuaris que requereixen el servei d'un taxi a la ciutat. Aquest període de simulació se separa en dues parts.

La primera correspon a l'escalfament o warm up. Aquesta subperíode es caracteritza perquè no ha aparegut cap usuari abans de l'inici d'aquesta subperíode. Com a conseqüència d'això, el warm up comença, d'una banda, sense cap usuari esperant taxi i, de l'altra, amb tots els taxis lliures. Aquesta situació inicial no es repetirà, en principi, un cop començada la simulació. És per això que aquesta primera part de la simulació es considera una situació transitòria que no és representativa de la realitat. Per tant, els resultats no són emmagatzemats durant el warm up.

Un cop acabat el warm up, comença una segona part de la simulació que ja es considera representativa de la realitat. Així, els resultats d'aquesta segona part sí que són emmagatzemats per tal de ser analitzats posteriorment. El model permet dividir aquesta part de la simulació en un nombre n_h de subperíodes de presentació de resultats de durada i_h . Cada cop que acaba un d'aquests subperíodes, la funció **x1_resultats** emmagatzema els resultats del subperíode que acaba.

La següent expressió permet obtenir la durada del període de generació de demanda:

$$t_e = t_{tr} + n_h \cdot i_h \quad (4.1)$$

t_e : durada del període de generació de demanda (h)

t_{tr} : durada del subperíode d'escalfament o warm up (h)

n_h : nombre de subperíodes de presentació de resultats

i_h : durada de cadascun del subperíodes de presentació

de resultats (h)

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

Pel que fa al warm up, s'ha establert per a les simulacions d'aquest estudi un de durada $t_{tr} = 1$ h. Aquest temps es considera sobradament ampli com perquè se superin les anomalies típiques d'aquest període transitori.

Pel que fa als subperíodes de presentació de resultats, se n'estableixen un nombre total de $n_h = 10$ de durada $i_h = 1$ h.

Així, aplicant l'expressió (4.1), s'obté que la durada del període de generació de demanda de les simulacions de l'estudi és d'11 h.

4.3 ESTRUCTURA DE LA CIUTAT

El model desenvolupat suposa una ciutat rectangular amb costats horitzontals de longitud b i costats verticals de longitud h . Els carrers de la ciutat són definits de manera simplificada com línies rectes i, per tant, la seva amplada és zero. Aquests carrers són perpendiculars als costats de la ciutat i, en conseqüència, només poden tenir dues direccions: horitzontal o vertical. Els carrers consecutius horitzontals i els verticals estan separats per unes distàncies vertical i horitzontal constants entre ells, Δy_c i Δx_c respectivament.

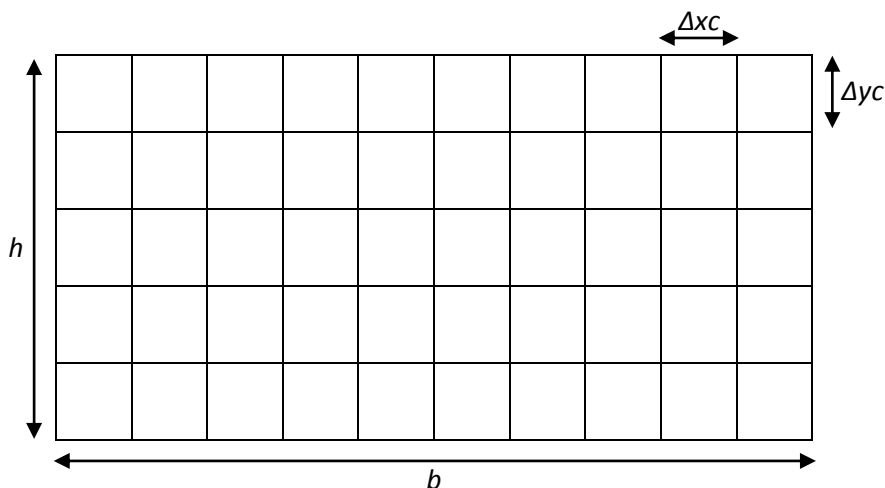


Fig. 4.1 Esquema de l'estructura de la ciutat del model.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

Per a les simulacions realitzades en aquest estudi, s'ha suposat una ciutat de superfície de $S = 55 \text{ km}^2$, de costats $b = 10 \text{ km}$ i $h = 5,5 \text{ km}$. Les separacions vertical i horitzontal són iguals $\Delta y_c = \Delta x_c = 100 \text{ m}$, amb carrers sobre els límits del rectangle. La ciutat té, per tant, 56 carrers horitzontals i 101 carrers verticals.

4.4 ORIGEN I DESTINACIÓ D'USUARIS I TAXIS

Per tal d'entendre la descripció del model, cal definir els conceptes d'origen i de destinació. El model i aquest document utilitzen aquests dos conceptes aplicats tant als usuaris com als taxis, però, amb significats lleugerament diferents.

✓ Destinació

Quan es parla d'usuari, el present document entén per destinació el punt dels carrers de la ciutat fins el qual l'usuari vol ser transportat.

Quan es parla de taxis, en canvi, s'entén per destinació el punt al qual s'està dirigint el vehicle. Si un taxi es troba en servei, la seva destinació coincideix amb la de l'usuari que transporta, i aquesta destinació no canvia fins que hi arriba. Si el taxi està assignat, la seva destinació correspon amb l'origen de l'usuari que està anant a recollir, i tampoc canvia fins que hi arriba.

Tanmateix, si el taxi està lliure, la seva destinació pot canviar abans que aquest hi arribi si canvia el seu estat. És a dir, si mentre el taxi lliure s'està movent aquest és assignat o recull un usuari que troba esperant pel carrer, la destinació del vehicle canvia automàticament.

✓ Origen

Referint-se als usuaris, el present document entén per origen el punt dels carrers de la ciutat des del qual l'usuari vol ser transportat.

Referint-se als taxis, en canvi, s'entén per origen el punt on aquest taxi es trobava quan va fixar la seva destinació actual. Així, si un taxi es troba en servei, el seu origen coincideix amb el de l'usuari que transporta. Si es troba assignat, per contra, el seu origen és el punt on es trobava en el moment de l'assignació.

4.5 GENERACIÓ DE LA DEMANDA

El model permet dividir la ciutat en zones rectangulars de costats horitzontals i verticals de longituds b_i i h_i respectivament. A cadascuna d'aquestes zones se li assigna una densitat d'origen de la demanda⁵ λ_{oi} , així com una densitat de destinació de la demanda⁶ λ_{di} . Dins de cadascuna de les zones λ_{oi} i λ_{di} poden ser diferents, és a dir, no té perquè coincidir el nombre d'usuaris que demanen el taxi en una zona amb el nombre d'usuaris que tenen aquella zona com a destinació.

En el model la ciutat es considera un sistema tancat i, per tant, els taxis no poden travessar els seus límits. Com a conseqüència, tot i que per a cada zona λ_{oi} i λ_{di} no tenen perquè coincidir, sí que ho han de fer per al global de la ciutat. Així, per al global de la ciutat, no té sentit parlar d'origen i destinació en la densitat ($\lambda = \lambda_o = \lambda_d$).

La funció **x1_gendemanda** s'ocupa de generar els usuaris que requereixen el servei d'un taxi durant la simulació. El nombre d'usuaris amb origen o destinació a cadascuna de les zones és:

$$n_{oi/di} = \lambda_{oi/di} \cdot h_i \cdot b_i \cdot t_e \quad (4.2)$$

$n_{oi/di}$: nombre d'usuaris que demanen un taxi amb origen o destinació a la zona (usuaris⁷)

$\lambda_{oi/di}$: densitat de demanda amb origen o destinació a la zona (usuaris/(km²·h))

h_i : longitud del costat vertical de la zona (km)

b_i : longitud del costat horitzontal de la zona (km)

t_e : temps durant el qual es genera demanda a la simulació (h)

⁵ **Densitat d'origen de la demanda d'una zona.** Nombre d'usuaris per unitat de superfície i temps que tenen una zona determinada com a origen dels seus desplaçaments.

⁶ **Densitat d'origen de la demanda d'una zona.** Nombre d'usuaris per unitat de superfície i temps que tenen una zona determinada com a destinació dels seus desplaçaments.

⁷ En aquest document, la unitat **usuaris** no fa referència al nombre total de passatgers sinó al nombre d'usuaris en coherència amb la definició que el model fa d'usuari, és a dir, grup format per un o més passatgers que requereix conjuntament el servei d'un taxi.

Els usuaris es generen amb un origen i una destinació sobre els carrers de la ciutat. Origen i destinació es generen segons una distribució uniforme per a cadascuna de les zones. Això es fa, però, de manera que el nombre d'usuaris amb origen i destinació en cadascuna de les zones correspongui al definit a la fórmula anterior. Un cop generades unes coordenades, la funció **x2_arrodonir_element_proper** troba el punt que, situat en un carrer, és el més proper a les coordenades originals. Les coordenades d'aquest punt són les que finalment s'assigna a l'usuari.

A part de l'origen i la destinació, a cada usuari se li assigna un instant d'aparició aleatori segons una distribució uniforme dins l'interval durant el qual es genera demanda. Aquest instant d'aparició representa el moment en què l'usuari comença a demanar el servei d'un taxi.

✓ **Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi**

Pel que fa a les zones de demanda, per a les simulacions realitzades en aquest estudi, s'ha definit una única zona que ocupa tota la superfície de la ciutat, és a dir, els 55 km². Així, la densitat de demanda λ és la mateixa a tota la ciutat.

Tanmateix, degut a que l'objectiu és comparar diferents sistemes d'assignació de taxis justament segons la densitat de la demanda, aquesta varia segons la simulació. D'aquesta manera, per a cada sistema d'assignació, es realitzen simulacions amb densitats de demanda que van des de $\lambda = 10$ usuaris/(km²·h) fins $\lambda = 150$ usuaris/(km²·h).

4.6 GENERACIÓ DE LA POSICIÓ INICIAL DELS TAXIS

El model permet definir el nombre de taxis que operen simultàniament a la ciutat (m_t). Aquest nombre, però, és constant durant tota la simulació. A més, suposa que els taxistes coneixen, per l'experiència adquirida, la densitat d'origen de la demanda a cadascuna de les zones descrites als apartats anteriors.

La funció **x1_gentaxis** genera la posició inicial dels taxis a la ciutat de manera que aquests inicien la simulació repartits pels carrers de les zones en proporció a la demanda generada a cadascuna d'aquestes zones. Dins de cada zona, els taxis es distribueixen aleatòriament d'acord amb una distribució uniforme.

✓ **Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi**

Al present estudi, s'ha establert un nombre de taxis $m_t = 4.000$ taxis, constant independentment de la densitat de demanda, que varia segons quina sigui la simulació.

4.7 RADIOEMISSORES

Al model desenvolupat es preveu la possibilitat de l'existència d'un nombre n_e d'empreses radioemissores operant a la ciutat. En cas que n'existeixin es pot decidir, d'una banda, quin tant per u de taxis està afiliat a una d'aquestes radioemissores ($tp1_{tc}$) i, de l'altra, quin tant per u d'usuaris contacta alguna d'aquestes radioemissores ($tp1_{dc}$) amb la finalitat d'aconseguir un taxi.

Cal observar que aquests tants per u poden ser diferents de la unitat, és a dir, no és necessari que tots els taxis estiguin afiliats a una radioemissora ni que tots els usuaris demanin un taxi mitjançant una radioemissora. Això implica que el model permet la simulació de situacions de convivència d'assignacions mitjançant el sistema de dispatching amb assignacions mitjançant el sistema de hailing.

A més, el fet que els taxis estiguin afiliats a una radioemissora no implica que no puguin recollir un usuari que estigui esperant al carrer sense demanar el taxi per cap radioemissora, és a dir, que puguin ser assignats mitjançant el sistema de hailing.

La funció ***x1_repartiment*** s'encarrega d'assignar una o cap de les empreses radioemissores a cadascun dels taxis i usuaris, respectant els tant per u definits anteriorment. Això es fa de manera que totes les radioemissores tinguin el mateix nombre de taxis, d'una banda, i d'usuaris, de l'altra.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

Per simplificar la comparació entre diferents sistemes d'assignació, en aquelles simulacions en què s'assigna mitjançant dispatching, se suposa una sola radioemissora ($n_e = 1$). En aquests casos, a més, se suposa que tots els taxistes estan afiliats a aquesta radioemissora única ($tp1_{tc} = 1$) i que tots els usuaris demanen el taxi mitjançant aquesta radioemissora ($tp1_{dc} = 1$). Això implica que en aquestes simulacions només es permet l'assignació mitjançant el sistema de dispatching.

Per la resta de casos, és a dir quan l'assignació es realitza mitjançant hailing, stand o smart stand, se suposa que no existeix cap empresa radioemissora i que, per tant, cap taxista hi està afiliat i cap usuari demana el taxi mitjançant radioemissores.

4.8 **PARADES DE TAXIS**

El present model preveu la possibilitat de disposar parades de taxis (stand) a la ciutat. Es pot decidir lliurement la localització d'aquestes parades sempre i quan, això sí, aquestes es trobin en una cruïlla.

Pel que fa a la capacitat de les parades, el model permet decidir quin és el nombre màxim de taxis que caben a cada parada (max_{tp}). Això sí, aquest nombre és igual a totes i cadascuna de les parades de la ciutat.

Com s'ha dit, el model permet la disposició o no disposició de parades. Tanmateix, en els casos en què es decideix posar parades en algunes de les cruïlles de la ciutat, queda automàticament eliminada la possibilitat d'assignació mitjançant els sistemes de hailing i dispatching. És a dir, si hi ha parades el model només permet que els usuaris siguin recollits a les parades.

Com a conseqüència, si es decideix que hi hagi parades, la funció ***x1_objectiu_parada*** fa que, només començar la simulació, tots els taxis (que en aquell moment es troben lliures) es dirigeixin a la parada més propera. Aquesta mateixa funció, s'encarrega també de dirigir els usuaris cap a la parada més propera a les seves coordenades d'aparició, un cop aquesta aparició es produeix. La funció ***x2_parada_propera*** és l'encarregada de trobar la parada més propera a unes coordenades concretes.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

Pel que fa a l'existència de parades de taxis a la ciutat, el present estudi només en disposa en aquelles simulacions en què s'assigna mitjançant stand o smart stand. Quan s'estudia l'assignació mitjançant únicament hailing o dispatching, en canvi, no es disposen parades de taxis, donat que aquests sistemes no les necessiten.

En els casos en què sí que se'n disposen, a les simulacions d'aquest estudi s'opta perquè les parades tinguin una capacitat de $max_{tp} = 4$ taxis/parada. Com a curiositat, aquest és el nombre de vehicles que caben aparcats en bateria en un xamfrà típic de l'Eixample de Barcelona.

A les simulacions amb parades, es decideix que aquestes es trobin a les cruïlles que compleixin ser la intersecció de dos carrers de nombre senar, tal i com s'indica al següent esquema:

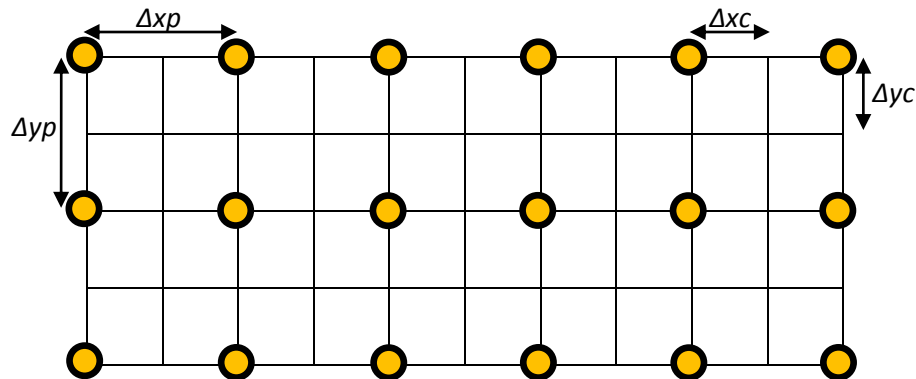


Fig. 4.2 Esquema de la disposició de les parades, quan existeixen, a les simulacions del model.

Així, per exemple, la intersecció del 3^r carrer horitzontal amb el 5^è vertical comptarà amb una parada de taxis, mentre que la del 3^r horitzontal amb el 6^è vertical no ho farà. Tampoc disposaran de parada de taxis, per exemple, la cruïlla del 2ⁿ carrer horitzontal i el 5^è vertical ni la intersecció entre el 4^t carrer horitzontal i el 8^è vertical.

Com s'ha dit, en les simulacions realitzades per l'estudi, els carrers es troben separats per una distància $\Delta yc = \Delta xc = 100$ m. La distància entre parades consecutives en aquestes simulacions és, doncs, de $\Delta yp = \Delta xp = 200$ m. D'aquesta manera, la distància màxima que ha de recórrer un usuari per tal d'accedir al servei és de 200 m. L'usuari ha de recórrer aquesta distància màxima si el seu origen es troba a la intersecció entre dos carrers de nombre parell.

Amb aquesta distribució i capacitat de les parades, la ciutat de les simulacions compta amb un total de 1.375 parades, amb una capacitat total per 5.500 taxis. Així, en les simulacions amb molta baixa densitat de demanda, els 4.000 taxis podrien esperar aturats a les parades en cas que es trobessin lliures.

Es pot calcular que el fet d'ampliar la separació entre parades 100 metres més (la distància entre dos carrers consecutius) suposaria la reducció del nombre de parades fins només 600, amb una capacitat total per 2.400 taxis. Això faria que, en les simulacions amb baixa demanda, alguns dels taxis lliures romanguessin donant voltes per la ciutat sense trobar una parada on aturar-se i, per tant, consumint combustible innecessàriament. És per això que s'ha escollit una separació entre parades consecutives de 200 m i no de 300 m.

4.9 POSSIBLES ESTATS DELS USUARIS I DELS TAXIS

El model desenvolupat per a la realització de les simulacions, distingeix una sèrie d'estats en què poden trobar-se els usuaris, d'una banda, i els taxis, de l'altra. En aquest subapartat es defineixen aquests estats per tal de fer més comprensible la resta de la descripció del model.

✓ **Usuari no aparegut**

Per entendre aquest estat de l'usuari cal tenir en compte que, com s'explica en apartats anteriors, el model genera tota la demanda de la simulació a l'inici de la mateixa. Així, des de l'instant inicial, es té la informació de l'origen i la destinació de tots els usuaris, així com els seus instants d'aparició.

Un usuari té l'estat de no aparegut quan encara no ha arribat el seu instant d'aparició, és a dir, quan encara no demanda el servei d'un taxi. Utilitzant aquest estat, el model no el té en compte.

Si a una simulació hi ha parades, aquest estat és substituït per l'estat d'**usuari no aparegut a parada**. Aquest estat implica que l'usuari encara no ha arribat a la parada, és a dir, o bé encara no ha aparegut o bé està desplaçant-se fins la parada des del seu punt d'aparició. El model interpreta aquest estat de manera semblant a com ho fa amb l'estat de no aparegut.

✓ **Usuari aparegut**

Es considera que un usuari es troba en aquest estat quan, havent passat el seu instant d'aparició, es troba a l'espera que algun taxi el reculli i porti a la seva destinació. Si un usuari es troba en aquest estat, vol dir que encara no hi ha cap taxi que conegui la seva posició i que, per tant, cap taxi s'està dirigint de manera voluntària a aquest usuari (no ha estat assignat). Un usuari en aquest estat, encara no ha estat recollit per cap taxi.

Si a una simulació hi ha parades, aquest estat és substituït per l'estat d'**usuari aparegut a parada**. Aquest estat implica que l'usuari ha aparegut i arribat a la parada. L'única diferència amb l'estat d'usuari aparegut és que, en comptes de trobar-se en un punt qualsevol dels carrers de la ciutat, l'usuari està a una parada.

✓ **Usuari assignat**

El model considera que un usuari està assignat quan, sense haver estat recollit per cap taxi fins el moment, un taxi concret coneix la seva posició i està anant a recollir-lo. Un usuari en aquest estat no pot ser recollit per cap taxi diferent del que li ha estat assignat, ja que ha contret un compromís amb el taxi que s'està desplaçant fins la seva posició.

Un usuari només pot trobar-se en aquest estat en simulacions en què hi ha radioemissores operant a la ciutat, ja siguin les empreses radioemissores convencionals (dispatching) o la radioemissora única associada al sistema de smart stand. En cas contrari, l'assignació i l'encotxament es produeixen en el mateix instant, ja que l'usuari no té cap manera de fer saber al taxista la seva posició si no es troben els dos al mateix punt de la ciutat.

✓ **Usuari viatjant**

Un usuari es troba en aquest estat si està dins d'un taxi, és a dir, ja ha estat encotxat per un taxi però encara no ha arribat a la seva destinació.

✓ **Usuari en destinació**

Donat que es vol guardar la informació per analitzar-la posteriorment, el model no esborra les dades dels usuaris un cop aquests arriben a la seva destinació. Aquest estat té la finalitat de fer saber al model que aquell usuari ja no es troba pels carrers, per tal que no el tingui en compte en posteriors càlculs de la simulació.

✓ **Usuari desistit**

Un usuari desistit és aquell que, un cop passat un cert temps des del moment d'arribada al punt d'accés al servei sense haver estat assignat, decideix renunciar al desplaçament o realitzar-lo mitjançant un altre mode de transport.

El model guarda la informació de tots els usuaris per analitzar-la posteriorment. Aquest estat, igual que el d'usuari en destinació, té la finalitat de fer saber al model que aquell usuari ja no es troba pels carrers, per tal que no el tingui en compte en posteriors càlculs de la simulació.

✓ **Taxi assignat**

El model considera que un taxi està assignat quan, sense estar transportant cap usuari en aquell moment, està anant a recollir un usuari concret que l'espera a un punt concret de la ciutat conegut pel taxista. Al model, un taxi en aquest estat no pot encotxar cap usuari diferent del que li ha estat assignat, ja que ha contret un compromís de servei amb l'usuari que l'espera.

Un taxi només pot trobar-se durant un temps en aquest estat en simulacions en què hi ha radioemissores operant a la ciutat, ja siguin les empreses radioemissores convencionals (dispatching) o la radioemissora única associada al sistema de smart stand. En cas contrari, l'assignació i l'entrada en servei es produeixen en el mateix instant, ja que el taxista no té cap manera de ser assignat a cap usuari si no es troben els dos al mateix punt de la ciutat.

✓ **Taxi en servei**

Es considera que un taxi està en servei quan està transportant un usuari.

✓ **Taxi lliure**

Finalment, es considera que un taxi està lliure quan no està assignat ni en servei. En cas que hi hagi parades a la simulació, el model distingeix el subestat **taxi lliure en parada**. Es considera que un taxi està en aquest estat quan, estant lliure, es troba aturat a una parada.

✓ **Resum**

La següent taula recull els diferents estats en que es poden trobar els usuaris i els taxis, respectivament, així com les accions que causen el canvi d'aquests estats.

Taula 4.1 Possibles estats dels usuaris i taxis.

Estat usuari	Acció	Estat taxi
No aparegut	Aparició	Lliure
Aparegut	Assignació	Assignat
Assignat	Encotxament	En servei
Viatjant	Arribada a destinació	Lliure
En destinació		

4.10 ITINERARIS DELS TAXIS PELS CARRERS

Com s'ha descrit anteriorment, l'estructura viària de la ciutat és ortogonal. Això fa que entre dos punts del plànol hi hagi, en general, diversos camins d'igual distància. Per simplificar, s'ha optat per crear un model en què el camí escollit pel taxista per anar d'un punt a un altre tingui el mínim nombre de canvis de direcció possible i, alhora, recorri la mínima distància possible entre els dos punts. La funció **x2_itinerari** s'encarrega de definir i calcular aquest camí.

D'aquesta manera, el camí entre dos punts situats en carrers en carrers perpendiculars té sempre 1 canvi de direcció. En canvi, si aquests dos punts se situen en carrers paral·lels (és a dir, entre dos punts en carrers verticals o dos punts en carrers horitzontals), el camí pot tenir 0 ó 2 canvis de direcció. El primer cas (cap canvi de direcció) es dona quan els dos punts es troben al mateix carrer. El segon (2 canvis de direcció) correspon al cas en què origen i destinació es troben en carrers paral·lels diferents.

Si l'origen i la destinació es troben en dos carrers paral·lels diferents, pot donar-se el cas que hi hagi més d'un possible camí que compleixi les condicions de mínim nombre de canvis de direcció i mínima distància. Si això passa, el model opta per fer el canvi de direcció el més tard possible. La següent figura mostra dos exemples d'itineraris escollits pel model entre dos punts.

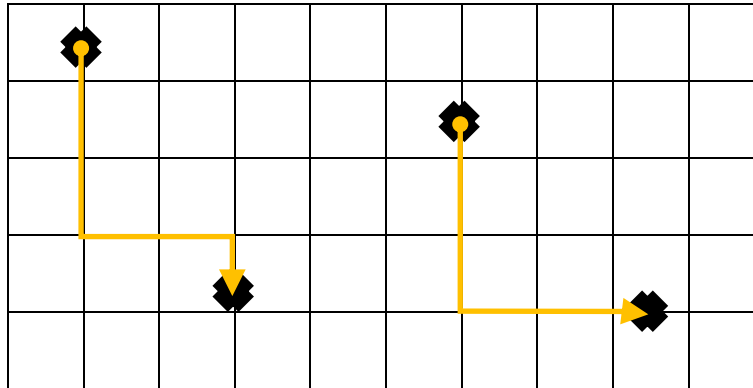


Fig. 4.3 Exemples d'itineraris entre els punts d'origen i destinació.

En el cas particular en què l'origen es troba en una cruïlla, el taxi decideix aleatòriament si comença el moviment pel carrer horitzontal o pel carrer vertical de la cruïlla.

La funció *x1_moviment_taxis_carrers* s'ocupa d'anar actualitzant la posició dels taxis en cada instant.

4.11 NOVA DESTINACIÓ DELS TAXIS LLIURES EN SIMULACIONS SENSE PARADES

A les simulacions en què no hi ha parades, els taxis lliures es mantenen en moviment pels carrers de la ciutat esperant trobar un usuari o ser assignats per la seva radioemissora (si estan afiliats a alguna). Per simular aquest comportament dels taxis el model, mitjançant la funció *x1_nova_dest_cp*, assigna una destinació als taxis lliures.

En l'elecció d'aquesta destinació, se segueix el mateix criteri que a la generació de taxis. És a dir, el model suposa que els taxistes coneixen, per experiència, la densitat d'origen de la demanda a cadascuna de les zones de la ciutat. Aquest criteri no implica, però, que tots els taxis es vulguin dirigir a la mateixa zona, ja que suposen que a les zones amb més demanda hi ha també més taxis.

Seguint aquest criteri, cada cop que un taxi o bé queda lliure o bé arriba lliure (i no assignat) a la seva destinació, el model escull una nova destinació per ell, mitjançant la funció *x2_coord_ale_dens_carrer*. Això ho fa de manera que la probabilitat que el punt es trobi a una zona o altra de la ciutat està ponderada segons la demanda generada a cadascuna de les zones. Així, una zona amb el doble de demanda que una altra té el doble de possibilitats de ser escollida pel taxista quan aquest està decidint quina serà la seva propera destinació. Dins de cada zona, la probabilitat d'elecció d'un o altre punt segueix una distribució uniforme.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

A les simulacions realitzades en aquest estudi, s'ha definit una única zona que ocupa tota la superfície de la ciutat, és a dir, els 55 km². Així, la densitat de demanda λ és la mateixa a tota la ciutat. Com a conseqüència, la probabilitat d'elecció d'un o altre punt del plànol segueix una distribució uniforme.

4.12 ARRIBADA A PARADA DE TAXIS LLIURES

Per tal d'entendre aquest subapartat, cal distingir entre dos conceptes semblants però no iguals. D'una banda, es diu que un taxi **arriba** a una parada quan aquella parada és la seva destinació. De l'altra, es diu que un taxi **passa** per una parada quan aquella parada no és la seva destinació.

Si se simula amb parades a la ciutat, els taxis lliures busquen una parada on esperar l'arribada d'usuaris sense gastar combustible mentre estan lliures. Al model, un taxi lliure no pot tenir com a destinació cap punt que no coincideixi amb una parada.

En aquest model, quan un taxi lliure arriba a una parada, la funció ***x1_nova_dest_cp*** simula la comprovació per part del taxista de si hi ha lloc per aturar-se a aquella parada o no n'hi ha. Això es compleix quan el nombre de taxis aturats a la parada està per sota de la seva capacitat max_{tp} . En cas afirmatiu, el taxi s'hi atura independentment que hi hagi usuaris o no esperant a la parada.

Si, en canvi, no hi ha lloc per aturar-se a la parada, el taxista busca una nova destinació que correspongui a una parada. Això es fa, en primer lloc, escollint un punt dels carrers de la ciutat mitjançant la funció ***x2_coord_ale_dens_carrer***. Se segueix el criteri habitual en aquest model, és a dir, de manera que la probabilitat que el punt escollit es trobi a una zona o altra de la ciutat està ponderada segons la demanda generada a cadascuna de les zones, i seguint una distribució uniforme dins de cada zona. Un cop escollit el punt, la funció ***x2_parada_propera*** troba, com el seu nom indica, la parada més propera al punt escollit. Aquesta parada passa a ser la nova destinació del taxi.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

A les simulacions realitzades en aquest estudi, d'una banda, es defineix una única zona que ocupa tota la superfície de la ciutat. Per tant, la densitat de demanda λ és uniforme a tota la superfície. Com a conseqüència, la probabilitat d'elecció d'un o altre punt del plànol segueix una distribució també uniforme.

D'altra banda, a les simulacions d'aquest estudi en què hi ha parades, és a dir a les simulacions corresponents al sistema d'assignació stand i smart stand, s'opta perquè les parades tinguin una capacitat de $max_{tp} = 4$ taxis. Per tant, si en el moment en què un taxi lliure nou arriba a una parada ja hi ha 4 taxis aturats a la mateixa, aquest no s'hi quedarà per manca d'espai.

4.13 PAS PER PARADA DELS TAXIS LLIURES

Al llarg del seu camí cap a la destinació escollida anteriorment, pot ser que un taxi lliure passi per davant d'una parada. Quan això passa, el taxista comprova si, d'una banda, hi ha més usuaris que taxis esperant a aquella parada i, de l'altra, hi ha places de taxi lliures a la parada (és a dir, si el nombre de taxis aturats a la parada està per sota de la seva capacitat max_{tp}).

En cas que es compleixin aquestes dues condicions, el taxi s'atura per ser recollir un dels usuaris que esperen. Si el taxi passa per davant d'una parada i no es compleix alguna de les dues condicions esmentades, aquest segueix el seu camí cap a la seva destinació.

La funció ***x1_pas_parada*** s'encarrega de comprovar, cada cop que un taxi lliure passa per davant d'una parada, si hi ha més usuaris que taxis esperant a aquella parada i, alhora, queden places de taxis lliures a la mateixa. Si és així, fa que el taxi s'aturi a la parada per recollir un dels usuaris. Si no és així, deixa que el taxi segueixi el seu camí.

La funció ***x2_propera_parada_trajecte*** identifica la propera parada per la que el taxi lliure passarà. Això ho fa cada cop que un taxi lliure passa per una parada o canvia de destinació.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

A les simulacions d'aquest estudi en què hi ha parades, és a dir a les simulacions corresponents al sistema d'assignació stand i smart stand, s'opta perquè les parades tinguin una capacitat de $max_{tp} = 4$ taxis. Per tant, si en el moment en què un taxi lliure nou passa per davant d'una parada ja hi ha 4 taxis aturats a la mateixa, aquest no s'hi aturarà sota cap circumstància.

4.14 APARICIÓ DELS USUARIS

Quan arriba l'instant d'aparició d'un usuari, el model el fa sorgir a les coordenades corresponents. En cas que s'hagi decidit l'existència de parades als carrers, el model no permet la contractació d'un taxi en punts diferents a les pròpies parades. Així, en aquest cas, l'usuari es dirigeix a la parada més propera. Si, per contra, s'ha decidit que no hi hagi parades a la ciutat, el model fa que l'usuari resti aturat al punt on ha aparegut.

En aquest cas, si l'usuari té assignada una radioemissora, resta a l'espera que li sigui assignat un taxi afiliat a aquesta radioemissora, simulant que l'usuari ha concertat un servei. Un cop un usuari ha sol·licitat aquest servei amb la radioemissora, el model no permet que un taxi lliure que passa pel punt d'espera de l'usuari el reculli si no és el que li ha assignat la radioemissora.

En cas que l'usuari no tingui assignada cap radioemissora, aquest ha d'esperar al punt d'aparició fins que un taxi lliure passi per davant seu per tal de contractar-lo mitjançant la modalitat hailing.

4.15 DESISTIMENT DELS USUARIS

El model desenvolupat permet fixar un temps de desistiment t_{des} , que és el temps que espera un usuari abans de desistir si no ha estat assignat. Un cop passa aquest temps des del seu instant d'aparició (si no hi ha parades) o des que arriba a la parada (si n'hi ha) on espera el taxi, el model fa desaparèixer l'usuari. D'aquesta manera se simula que, desesperat per l'espera, ha decidit optar per un altre mode de transport o ha renunciat al desplaçament.

Aquest temps de desistiment, però, ha de ser el mateix per a tots els usuaris generats durant la simulació. És a dir, el model no permet fixar t_{des} diferents per a diferents usuaris.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

En aquest estudi, s'ha decidit fixar el temps de desistiment en $t_{des} = 15$ min per a totes les simulacions realitzades.

4.16 ASSIGNACIÓ MITJANCANT HAILING

Pel que fa als taxis lliures, si en una simulació s'opta per la no existència de parades, aquests van circulant pels carrers de la ciutat de la manera ja descrita, en busca d'usuaris que requereixin els seus serveis. Pel que fa als usuaris que no contacten cap radioemissora, al model desenvolupat, aquests romanen aturats al seu punt d'aparició (en un carrer) a l'espera d'interceptar eventualment un taxi lliure en pista. Quan això passa, el taxi s'atura, l'usuari entra al vehicle i comunica la destinació desitjada al taxista. Aquest sistema d'assignació és el que s'anomena hailing.

La funció **x1_assignacio_no_centraleta** s'encarrega de preveure les trobades, fortuïtes, entre taxis lliures i usuaris apareguts que esperen als carrers de la ciutat sense contactar cap radioemissora. D'aquesta manera, el model simula les contractacions assignades mitjançant el sistema de hailing.

Aquest sistema d'assignació només es dona en les simulacions en què no hi ha parades i, alhora, una part o la totalitat dels usuaris opten per no demanar el taxi mitjançant una radioemissora ($tp1_{dc} < 1$).

✓ **Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi**

A l'estudi, la condició de no existència de parades i de $tp1_{dc} < 1$ només es compleix a les simulacions relatives al hailing. En aquestes, justament es vol simular el comportament d'una ciutat en què aquest sigui l'únic sistema d'assignació. Per aconseguir-ho, a part de la no existència de parades, en aquestes simulacions s'opta per fixar que cap usuari demani el taxi mitjançant el sistema de radioemissora ($tp1_{dc} = 0$).

Per tant, a les simulacions relatives al hailing, aquest sistema d'assignació no conviu amb cap altre dels descrits en els apartats posteriors.

4.17 ASSIGNACIÓ MITIANÇANT DISPATCHING

Existeix la possibilitat d'introduir un cert nombre d'empreses radioemissores (n_e) que operin a la ciutat. En aquelles simulacions en què n'hi ha, cada cert temps es realitzen emparellaments. En aquests emparellaments, a cada usuari que ha contactat una radioemissora (i encara roman sense ser assignat) se li assigna un dels taxis lliures afiliats a aquella radioemissora (si n'hi ha). El model desenvolupat permet fixar l'interval entre instants d'emparellament (i_p) que, això sí, ha de ser el mateix per a totes les empreses radioemissores de la simulació.

Les empreses radioemissores poden tenir diferents polítiques d'assignació. En aquest model, quan arriba un instant d'emparellament⁸, cada radioemissora fa una llista dels usuaris que han contactat aquella radioemissora fins el moment i que encara no han estat assignats. Fet això, els endreça segons l'ordre de contacte, és a dir, posa primer l'usuari que fa més temps que ha establert contacte amb la radioemissora i darrer el que ho ha fet més recentment. Finalment, començant pel primer dels usuaris, a cada usuari se li assigna el taxi lliure més proper afiliat a aquella radioemissora. En cas que hi hagi més d'un taxi lliure d'aquella radioemissora a la mateixa distància de l'usuari, se li assigna el que porta més temps lliure. Aquest taxi queda, per tant, assignat i no està disponible per al següent usuari de la llista.

Pot passar que, en un d'aquests instants d'emparellament, una radioemissora no disposi del nombre de taxis lliures afiliats suficient per satisfer totes les peticions realitzades pels usuaris. En aquest cas, els darrers usuaris en establir el contacte queden a l'espera de ser assignats en el següent instant d'emparellament.

La funció **x1_assignacio_centraleta** s'encarrega de realitzar aquests emparellaments cada cop que arriba un instant d'emparellament.

Pel que fa a l'usuari el model assumeix que, en contactar una radioemissora, contrau un compromís amb ella. Aquest compromís l'obliga a esperar l'assignació d'un taxi per part de la radioemissora i li impedeix contractar els serveis de qualsevol taxi diferent del que li assigna aquesta radioemissora. Pel que fa al taxista, quan aquest és assignat a un usuari concret, s'assumeix que no pot recollir cap usuari diferent del que li ha estat assignat, ja que ha contret un compromís de servei amb l'usuari que l'espera.

⁸ **Instants d'emparellament.** Instant, separats temporalment entre ells per un cert interval i_p , en què les radioemissores realitzen els emparellaments entre els usuaris que les han contactat i encara no han estat assignats i els taxis que tenen afiliats.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

Al present estudi, s'opta per introduir una sola radioemissora ($n_e = 1$) i únicament a les simulacions relatives al dispatching. En aquestes, s'escull un interval entre emparellaments $i_p = 1$ min. Donat que es decideix assumir que tots els taxistes estan afiliats a aquesta radioemissora única ($tp1_{tc} = 1$) i que tots els usuaris demanen el taxi mitjançant aquesta radioemissora ($tp1_{dc} = 1$), en les citades simulacions totes les assignacions es realitzen mitjançant dispatching.

4.18 ASSIGNACIÓ EN PARADA (STAND)

Es preveu la possibilitat de situar parades a cruïlles dels carrers de la ciutat. En aquelles simulacions en què n'hi ha, la contractació del servei de taxi per part dels usuaris només es pot realitzar en aquestes parades. Això és així per tal de promoure que els taxis romanguin aturats a una parada quan estan lliures en comptes d'anar circulant pels carrers de la ciutat buscant usuaris.

A les parades, l'assignació es duu a terme per ordre d'arribada. És a dir, els emparellaments es realitzen entre el primer usuari i el primer taxi en arribar a la parada, el segon usuari i el segon taxi en arribar a la parada, i així successivament.

Quan hi ha parades, l'usuari es dirigeix a la més propera al seu punt d'aparició. En arribar-hi es poden donar diverses situacions. D'una banda, pot ser que en arribar a la parada no hi hagi taxis esperant. Si això passa, l'usuari s'hi queda esperant l'eventual arribada futura d'un taxi. El mateix fa si en cas que en el moment en què arriba hi hagi més usuaris esperant (comptant el propi usuari que acaba d'arribar) que taxis lliures aturats.

D'altra banda, en el moment d'arribar a la parada, pot donar-se el cas que hi hagi taxis lliures aturats i no hi hagi altres usuaris esperant. En aquest cas, a l'usuari se li assigna el taxi que més temps porta aturat a aquella parada. Una cosa semblant passa si hi ha taxis lliures aturats i altres usuaris esperant, sempre que el nombre de taxis sigui superior al dels altres usuaris que esperen. En aquest cas, a l'usuari recent arribat se li assigna el taxi que li pertoqui per ordre d'arribada.

La funció **x1_usuari_parada**, d'una banda, simula l'arribada dels usuaris a les parades. La funció **x1_assignacio_parades**, de l'altra, s'encarrega de realitzar les comprovacions i emparellaments descrits en aquest subapartat.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

El present estudi només disposa parades en les simulacions relatives al stand i al smart stand. En el primer cas, totes les assignacions es realitzen mitjançant el sistema d'assignació en parada descrit. En el segon cas, aquest sistema conviu amb el de smart stand, que es descriu en el següent apartat.

A les simulacions d'aquest estudi s'opta perquè les parades tinguin una capacitat de $max_{tp} = 4$ taxis.

4.19 ASSIGNACIÓ MITIANCANT SISTEMA SMART STAND

Si es decideix la col·locació de parades, el model introdueix la possibilitat de dotar aquestes parades d'un sistema d'assignació integrat a les mateixes semblant al del dispatching i anomenat **smart stand**. Això sí, si es decideix que el smart stand estigui disponible a una simulació, ho està a totes les parades de la ciutat. És a dir, el model no permet simular la implantació d'aquest servei en només una part de les parades.

La disponibilitat del sistema smart stand en una simulació suposa l'existència d'una radioemissora única que té afiliada la totalitat dels taxistes que operen a la ciutat. Aquesta pot ser contactada pels usuaris des de qualsevulla de les parades de la ciutat. Cada cert temps, la radioemissora única realitza emparellaments. El model desenvolupat permet fixar l'interval entre instants d'emparellament (i_p).

Aquest sistema només entra en funcionament quan un usuari arriba a una parada sense taxis lliures suficients com perquè li sigui assignat un. En aquest cas, l'usuari realitza una petició a la radioemissora única a al que tots els taxis estan afiliats.

Tot i que el sistema té semblances amb el de dispatching, també té algunes diferències. Amb el sistema de dispatching, un usuari que contacta una radioemissora ha d'esperar obligatòriament que li sigui assignat un taxi d'aquella radioemissora, no podent ser recollit per cap taxi mentre espera aquesta assignació. Amb el sistema de smart stand, en canvi, l'usuari no contrau cap compromís fins que no es produeix l'assignació. És a dir, si mentre espera aquesta assignació un taxi arriba a la seva parada, l'usuari pot contractar aquest taxi mitjançant el sistema d'assignació en parada convencional descrit a l'apartat anterior.

Quan arriba un instant d'emparellament, la radioemissora única fa una llista dels usuaris que l'han contactat fins el moment i que encara no han estat assignats. Aquesta llista conté, per tant, tots els usuaris que esperen en parades sense taxis i els que, estant en parades amb taxis, tenen un nombre d'usuaris esperant per davant d'ells igual o superior al nombre de taxis que hi ha a la parada.

Feta la llista, els usuaris de la mateixa són endreçats segons l'ordre d'arribada a parada. És a dir, posa primer l'usuari que fa més temps que espera a una parada i darrer el que hi ha arribat més recentment. Finalment, començant pel primer dels usuaris, a cada usuari se li assigna el taxi més proper de tots els que estan esperant lliures en alguna parada de la ciutat (descartats els taxis que estan recollint un usuari en aquell moment). En cas que hi hagi més d'un taxi a una mateixa distància, se li assigna el que porta més temps esperant lliure en parada.

Un cop realitzada aquesta assignació, el taxi queda assignat i no està disponible per al següent usuari de la llista. De la mateixa manera, pel que fa a l'usuari, aquest contrau un compromís amb el taxi i, a partir d'aquest moment, no pot ser recollit per cap altre taxi que arribi a la parada on espera.

Pot passar que, en un d'aquests instants d'emparellament, no hi hagi un nombre de taxis lliures esperant en parades suficient per satisfer totes les peticions realitzades pels usuaris. En aquest cas, els darrers usuaris en establir arribar a parada queden a l'espera de l'arribada d'un taxi lliure a la seva parada o, en cas que això no passi, de ser assignats en el següent instant d'emparellament.

La funció ***x1_usuari_parada***, d'una banda, simula l'arribada dels usuaris a les parades. La funció ***x1_assignacio_centraleta***, de l'altra, s'encarrega de realitzar aquests emparellaments cada cop que arriba un instant d'emparellament.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

El present estudi només disposa parades amb aquest sistema en les simulacions relatives al propi smart stand. En aquestes simulacions, aquest sistema d'assignació conviu amb el de parada convencional (stand), que es descriu en l'apartat anterior.

Per tal que els resultats es puguin comparar amb els de les simulacions de dispatching i de stand, s'opta per un interval entre emparellaments igual al de les simulacions del dispatching ($i_p = 1$ min) i per una capacitat de les parades igual a la de les simulacions del stand ($max_{tp} = 4$ taxis).

4.20 ENCOTXAMENT

En aquells casos en què l'assignació usuari-taxi es duu a terme mitjançant el sistema de hailing o el de parada convencional, usuari i taxi es troben al mateix punt de la ciutat quan aquesta assignació es produeix. Per tant, l'assignació i l'encotxament de l'usuari per part del taxi es donen en el mateix instant. A la resta de casos, és a dir quan l'assignació usuari-taxi s'ha produït mitjançant el sistema de dispatching o el de smart stand, l'encotxament es produeix quan el taxi assignat arriba a la posició de l'usuari que l'espera.

La funció ***x1_recollida*** simula l'encotxament dels usuaris per part dels taxis. A l'encotxament, es produeix l'abaixament de bandera i l'usuari comunica la destinació desitjada al taxista. Aquesta destinació passa a ser, també, la del taxi. En aquest moment, el taxi passa a estar en servei i l'usuari, viatjant.

4.21 ARRIBADA A DESTINACIÓ DE L'USUARI

Quan un taxi en servei arriba a la destinació que comparteix amb l'usuari que transporta, l'usuari baixa del taxi. D'aquesta manera, el taxi torna a l'estat de lliure i l'usuari passa al de en destinació. Això és simulat pel model mitjançant la funció ***x1_alliberament***.

4.22 VELOCITAT DE TAXIS I USUARIS

El model desenvolupat suposa que tots els taxis es desplacen a una mateixa velocitat constant (v), que pot ser fixada en cada simulació. Els taxis no s'aturen ni modifiquen aquesta velocitat per travessar una cruïlla o realitzar un gir. A més, no contempla la possibilitat de xoc entre dos vehicles, de manera que dos taxis es poden creuar en una intersecció sense cap problema.

El model menysprea el temps perdut en l'encotxament i baixada dels usuaris del taxi, considerant-lo igual a zero. És més, la velocitat d'un taxi no es veu afectada quan encotxa o deixa en destinació l'usuari que transporta. Així, a efectes del model, els usuaris s'encotxen i baixen sense que el taxi s'aturi, a no ser que el taxi es trobés esperant lliure a una parada en el moment de l'encotxament.

✓ Hipòtesis adoptades a les simulacions de l'estudi

Pel que als taxis, a totes les simulacions realitzades per al present estudi, es considera que la seva velocitat és $v = 21,89$ km/h. Aquesta correspon a la velocitat comercial mitjana en carreres urbanes a la ciutat de Barcelona⁹. Pel que fa als usuaris, l'estudi considera que aquests es desplacen a una velocitat constant de $v_d = 4$ km/h.

⁹ Dades de l'Institut Metropolità del Taxi, 2010.

4.23 **VECTOR DE SUCCESOS, FI DE LA SIMULACIÓ I OUTPUT¹⁰**

En moltes de les accions que simula, el model preveu l'instant en què es produirà algun succés futur. Alguns exemples de succés futur són l'aparició d'un usuari, l'arribada d'un usuari o taxi a una parada, el gir d'un taxi en una cruïlla, el pas o l'arribada d'aquest a una parada, la trobada fortuïta d'un taxi lliure amb un usuari aparegut que no ha contactat cap radioemissora, l'arribada d'un taxi a la seva destinació, els instants de realització d'emparellaments per part de les radioemissores, l'inici o fi d'un període de presentació de resultats, etc.

El model està desenvolupat de manera que va preveient tots els successos abans que aquests tinguin lloc. Quan un succés futur és previst pel model, l'instant en què aquest es produirà queda registrat en un vector anomenat **vector de successos**. La longitud d'aquest vector, per tant, va augmentant a mida que avança la simulació. Cada cop que un nou instant de succés futur és afegit al vector, el model reordena el vector de manera que els instants queden endreçats de menor a major.

Utilitzant aquest vector de successos, el model fa córrer el temps de manera discreta, tot saltant d'un dels instants recollits al vector al següent, de manera que l'interval entre instants simulats és variable. El model s'ha d'aturar només en aquests instants per comprovar quina acció s'ha de dur a terme, simular-la i eventualment afegir nous instants al vector successos.

La simulació dura mentre l'instant que s'està simulant no supera el període de generació de demanda de durada (t_e). Un cop superat, el model crea quatre arxius d'Excel amb la següent informació:

- Resultats de cadascun dels períodes de presentació de resultats
- Informació de les carreres dutes a terme durant la simulació
- Informació de tots els usuaris en el moment de finalització la simulació
- Informació de tots els taxis en el moment de finalització la simulació

Els resultats de cadascun dels períodes són presentats i analitzats detalladament al següent apartat. La resta d'informació de sortida pot ser consultada als annexos d'aquest document.

¹⁰ **Output.** Informació proporcionada pel model en acabar la simulació.

5 RESULTATS DE LES SIMULACIONS

Aquest apartat té com a finalitat la definició, presentació i interpretació dels resultats obtinguts directament de les simulacions dutes a terme amb el model desenvolupat per a la realització del present estudi.

5.1 **SIMULACIONS REALITZADES A L'ESTUDI**

Per tal de comparar els quatre sistemes d'assignació descrits en l'apartat **2. SISTEMES D'ASSIGNACIÓ DEL SERVEI DEL TAXI** en funció de la densitat de demanda d'una ciutat, en aquest estudi, es realitzen un total de 20 simulacions basades en el model descrit en l'apartat **4. DESCRIPCIÓ DEL MODEL**.

Atenent al sistema d'assignació que es vol analitzar en cada cas, les simulacions es divideixen en 4 grups. Aquests corresponen justament als sistemes d'assignació de hailing, dispatching, stand i smart stand. Les hipòtesis particulars assumides en cadascun d'aquests grups de simulacions es poden consultar a cadascun dels subapartats de la descripció del model.

Cadascun dels 4 grups està format per 5 simulacions que es diferencien únicament en la densitat de generació de la demanda (λ). Així, per a cadascun dels sistemes d'assignació es realitzen 5 simulacions amb densitats de generació de la demanda (λ) de 10, 25, 50, 100 i 150 usuaris/(km²·h), respectivament.

Per a cadascuna de les 20 simulacions, es presenten els resultats de cadascun dels 10 subperíodes d'1 h en què es divideix el període de generació de la demanda del model un cop superat l'escalfament o warm up, que dura també una hora.

Els resultats numèrics de cadascun dels 10 subperíodes de les 20 simulacions realitzades poden ser consultats a l'**ANNEX II. RESULTATS DE LES SIMULACIONS**.

5.2 **TEMPS D'ACCÉS DELS USUARIS (t_{ac})**

✓ **Definició**

El temps d'accés (t_{ac}) és el temps que els usuaris entren en desplaçar-se des del punt en què es troben fins al punt d'accés al servei, és a dir, fins al punt on eventualment seran encotxats per un taxi. Aquest temps depèn exclusivament de la distància entre el punt de sortida de l'usuari i la sortida i de la velocitat de desplaçament de l'usuari.

✓ **Hipòtesis adoptades**

En el model desenvolupat, els usuaris només es desplacen en cas que existeixin parades. Si n'hi ha, només poden ser encotxats a les parades i, per tant, tots els usuaris s'hi dirigeixen. Si no hi ha parades, el model suposa que els usuaris es queden al seu punt d'aparició a l'espera d'un taxi i, per tant, el seu temps d'accés és zero.

✓ Resultats de les simulacions

La següent figura mostra el temps d'accés per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda. Pel que fa a les simulacions sense parades (hailing i dispatching), aquest temps és sempre zero, ja que l'usuari no s'ha de desplaçar per accedir al servei.

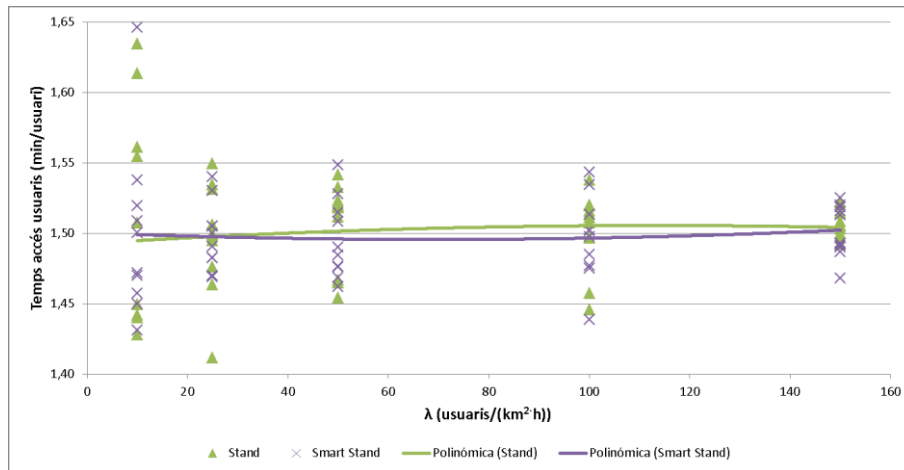


Fig. 5.1 Temps d'accés dels usuaris en funció de la densitat de generació de demanda (λ).

Pel que fa a les simulacions amb parades (stand i smart stand), es comprova que el temps d'accés dels usuaris no depèn del sistema d'assignació i tampoc de la demanda. Això és així perquè el desplaçament de cada usuari entre el seu punt d'aparició i la parada més propera és independent del que fan la resta d'usuaris i del sistema d'assignació, sempre que aquesta assignació es faci en una parada.

5.3 TEMPS D'ESPERA DELS USUARIS (t_w)

✓ Definició

El temps d'espera (t_w) dels usuaris és el temps que passa entre l'arribada de l'usuari al punt d'accés al servei i el moment en què l'usuari abandona aquest punt.

L'usuari pot abandonar el punt per dues raons. La més obvia és que hagi estat encotxat per un taxi lliure. Tanmateix, pot passar que l'usuari consideri que porta esperant massa temps i decideixi desistir i no realitzar el viatge, o realitzar-lo en un altre mitjà de transport. En aquest darrer cas, l'usuari també abandona el punt d'accés al servei.

✓ Hipòtesis adoptades

En cas que hi hagi parades, el model considera que el punt d'accés és la parada a la que es desplaça cada usuari. Això és així a les simulacions de stand i smart stand.

En cas que no n'hi hagi, el model suposa que els usuaris es queden al seu punt d'aparició a l'espera d'un taxi. Per tant, el punt d'accés és el propi punt d'aparició. Això és així a les simulacions de hailing i dispatching.

✓ Resultats de les simulacions

La següent figura mostra el temps d'espera per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda.

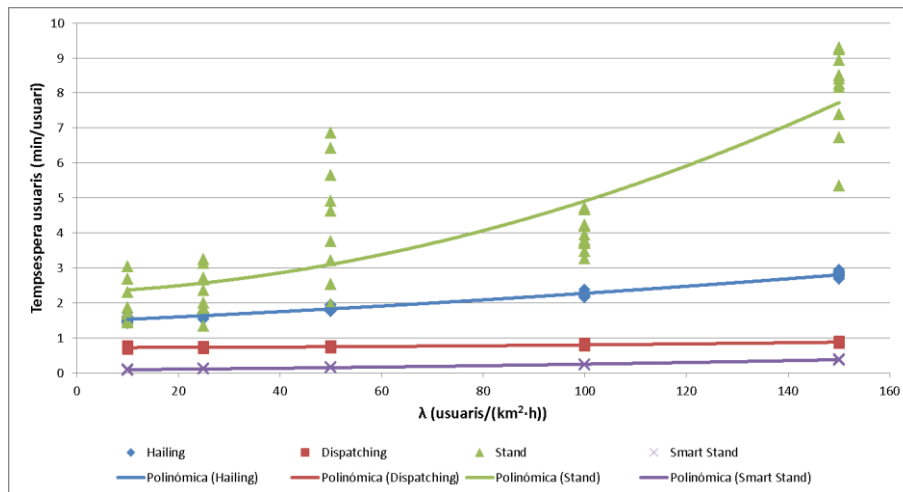


Fig. 5.2 Temps d'espera dels usuaris en funció de la densitat de generació de demanda (λ).

Al gràfic es comprova que sigui quin sigui el sistema d'assignació, el temps d'espera dels usuaris augmenta, en major o menor mesura, a mesura que augmenta la densitat de generació de demanda. Això es deu a que el nombre total de taxis operant a la ciutat es manté constant a les simulacions i per tant, com més demanda hi ha, menys taxis lliures queden disponibles per ser assignats als usuaris que van apareixent. Així, d'una banda, com més demanda hi ha, menys probable és la trobada fortuïta usuari-taxi, en els sistemes en què l'assignació en depèn (hailing i stand). Als sistemes en què l'assignació es produeix mitjançant una radioemissora (dispatching i smart stand), d'altra banda, els taxis assignats tendeixen a trobar-se més lluny com menys taxis lliures hi ha disponibles.

Dels resultats se n'extreu que el sistema d'assignació que comporta un menor temps d'espera per als usuaris és el de smart stand. Això és així perquè combina les dues característiques positives en aquest sentit dels sistemes de stand i de dispatching. D'una banda, tal i com passa amb el sistema de stand, una part dels usuaris tenen un temps d'espera igual a zero, ja que arriben a parades on ja hi ha taxis lliures aturats. De l'altra, els usuaris que arriben a parades sense taxis lliures compten amb un sistema d'assignació per radioemissora similar al del dispatching. Aquest sistema els garanteix l'assignació d'un taxi que els encotxarà en un temps raonable.

Deixant de banda aquest sistema, el de dispatching és el que aconsegueix un temps d'espera dels usuaris menor. Això és així justament per la característica que comparteix amb el sistema de smart stand: l'assignació per radioemissora. El fet que el temps d'espera per usuari generat sigui superior al de l'anterior sistema es deu a que no comparteix l'altra característica positiva d'aquell sistema, és a dir, no disposa de parades i per tant no es produeixen assignacions amb taxis lliures aturats en elles (que comporten un temps d'espera igual a zero).

A mesura que la demanda augmenta, en ser constant el nombre de taxis operant, la possibilitat de trobar taxis lliures aturats a les parades del sistema de smart stand disminueix. D'aquesta manera, una proporció creixent de les assignacions es realitza mitjançant el sistema de radioemissora, tendint el temps d'espera dels usuaris dels dos sistemes a convergir per demandes molt altes.

D'entre els dos sistemes d'assignació restants, el de stand presenta un temps d'espera dels usuaris superior al de hailing. Això es deu a què, mentre amb el sistema de hailing tots els taxis lliures es mantenen en circulació buscant usuaris pels carrers, amb el sistema de stand alguns dels taxis lliures resten aturats a parades sense usuaris. A la pràctica, és com si aquests taxis restessin fora de servei fins que un usuari eventualment arriba a la parada on es troben aturats. És a dir, d'alguna manera és com si es reduís el nombre de taxis que operen a la ciutat, augmentant el temps d'espera dels usuaris.

5.4 TEMPS D'ESPERA EN PARADA DELS TAXIS (t_{pt})

✓ Definició

El temps d'espera en parada dels taxis és el temps que aquests resten aturats a una parada, si n'hi ha, mentre esperen ser assignats a un usuari. En altres paraules, és el temps que passa entre el moment d'arribada d'un taxi a una parada i el moment en què aquest l'abandona.

✓ Hipòtesis adoptades

En aquest estudi, només té sentit parlar de temps d'espera en parada en aquelles simulacions en què hi ha parades, és a dir, a les de stand i smart stand. La resta de simulacions (hailing i dispatching) no tenen parades i, per tant, el temps d'espera en parada dels taxis és zero.

A les simulacions de stand, un cop s'aturen a una parada, els taxis només l'abandonen si són assignats a un usuari a la mateixa parada, ja que el sistema convencional d'assignació en parada és l'únic disponible. A les de smart stand, en canvi, existeix a més la possibilitat que els taxis abandonin la parada perquè la radioemissora els assigni a un usuari d'una altra parada.

✓ Resultats de les simulacions

A continuació es pot veure el temps d'espera en parada dels taxis per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda. Les simulacions sense parades (hailing i dispatching) no es representen en no existir en elles el concepte d'espera en parada.

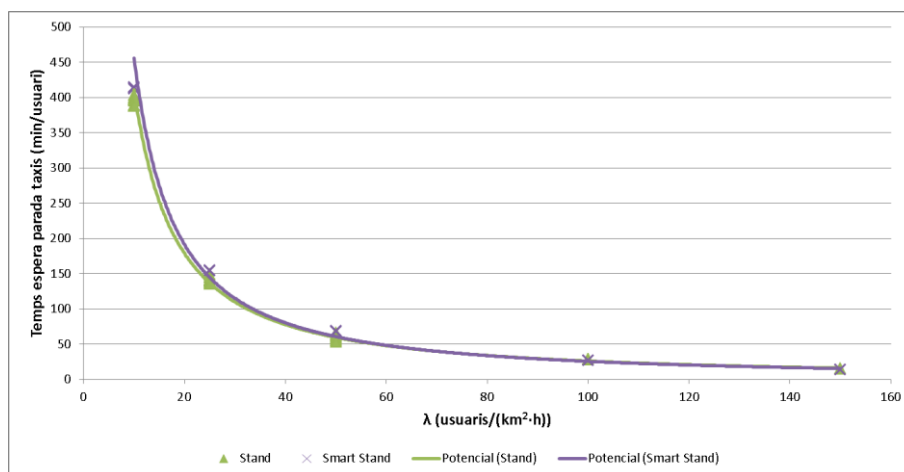


Fig. 5.3 Temps d'espera en parada dels taxis per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).

Pel que fa a les simulacions amb parades (stand i smart stand), es comprova que el temps d'espera en parada dels taxis disminueix quan augmenta la demanda. Donat que el nombre de taxis operant es manté constant, aquesta disminució del temps d'espera es deu a què, amb una demanda creixent, la proporció de temps que els taxis passen assignats i en servei augmenta i, per tan, disminueix la proporció de temps que passen aturats a la parada.

5.5 DISTÀNCIA EN LLIURE DELS TAXIS ($dist_{ll}$)

✓ Definició

S'anomena distància en lliure ($dist_{ll}$) dels taxis l'espai recorregut per aquests mentre no estan assignats ni en servei. És a dir, és la distància recorreguda entre el moment en què el taxi queda buit i l'instant en què és assignat a un usuari determinat.

✓ Hipòtesis adoptades

El model desenvolupat en aquest estudi suposa que els taxis es mantenen circulant a una velocitat constant mentre no s'aturen a una parada, en cas que n'hi hagi, a l'espera de ser assignats. És a dir, els taxis no s'aturen ni redueixen la seva velocitat a les cruïlles i tampoc ho fan per encotxar o deixar els usuaris a la seva destinació. Aquesta velocitat és de $v = 21,89$ km/h a totes les simulacions realitzades.

Aquesta simplificació del moviment dels taxis fa que, a aquelles simulacions en què no hi ha parades (les de hailing i dispatching), es pugui establir una relació entre la distància en lliure dels taxis i el temps que aquests es troben lliures (no assignats ni en servei) segons la fórmula:

$$t_{ll} = dist_{ll} \frac{60}{v} \quad (5.1)$$

t_{ll} : temps que els taxis passen lliures (minuts)

v : velocitat dels taxis (km/h)

$dist_{ll}$: distància que els taxis recorren lliures (km)

Pel que fa a les simulacions amb parades (les de stand i smart stand), la fórmula és la següent:

$$t_{ll} = dist_{ll} \frac{60}{v} + t_{pt} \quad (5.2)$$

t_{ll} : temps que els taxis passen lliures (minuts)

v : velocitat dels taxis (km/h)

$dist_{ll}$: distància que els taxis recorren lliures (km)

t_{pt} : temps que els taxis passen esperant en parada (minuts)

✓ Resultats de les simulacions

El següent gràfic mostra la distància recorreguda en lliure pels taxis per cada usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda per les diferents simulacions realitzades.

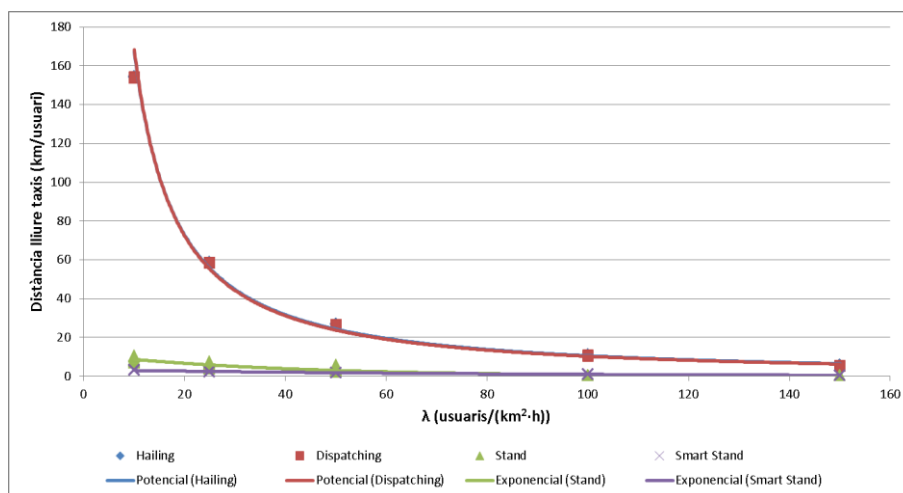


Fig. 5.4 Distància en lliure dels taxis per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).

S'observa que la introducció de parades al model redueix de manera significativa la distància recorreguda en lliure pels taxis. En funció de la densitat de generació de demanda, aquesta queda dividida per valors que oscil·len entre 7 i 23 pel sistema de parades convencional, i entre 10 i 49 pel sistema de smart stand.

Cal recordar que totes les simulacions realitzades tenen el mateix nombre de taxis operant, independentment de la densitat de generació de la demanda. En simulacions amb parades (stand i smart stand), per demandes baixes, els taxis passen doncs la major part del temps aturats a les parades de la ciutat. Per aquesta raó, com més baixa és la demanda, més difícil és per un taxi trobar una parada amb places de taxi lliures on aturar-se. Això fa que els taxis recorrin major distàncies en lliure buscant una parada on poder-se aturar.

Amb el sistema d'assignació de smart stand, cada cop que un usuari arriba a una parada buida, la radioemissora li assigna un taxi que espera lliure aturat a una parada propera. Així, el taxi assignat deixa un espai lliure a una parada més o menys plena per dirigir-se a una parada buida, deixant una plaça lliure a la parada on es trobava aturat. D'aquesta manera, per densitats de generació de demanda baixes, a les simulacions de smart stand els taxis es distribueixen d'una manera una més homogènia que a les simulacions de stand.

Aquesta distribució més homogènia fa més fàcil que els taxis lliures trobin una parada amb una plaça lliure per aturar-s'hi. Així, tal i com es pot veure al gràfic anterior, per demandes baixes, la distància recorreguda en lliure pels taxis a les simulacions de smart stand és menor a la recorreguda pels taxis a les simulacions de stand.

Si es comparen els resultats obtinguts a les simulacions dels sistemes de hailing i de dispatching, per densitats de generació de demanda baixes, la introducció del servei de radioemissora del segon no suposa pràcticament cap reducció de la distància que recorren els taxis en lliure respecte el primer. Això és així perquè, en no haver-hi gaire demanda, els taxis passen la major part del temps circulant lliures pels carrers.

A mesura que la demanda augmenta, però, amb el sistema de dispatching els taxis són assignats cada cop més sovint, reduint així la distància que recorren en lliure a mesura que augmenta la que recorren assignats. Per una densitat de generació de demanda de $\lambda = 150$ usuaris/(km²·h), el sistema de dispatching suposa una reducció de la distància en lliure del 9% respecte les simulacions de hailing.

5.6 **NOMBRE D'USUARIS DESISTITS (N_{ud})**

✓ **Definició**

El nombre d'usuaris desistits (N_{ud}) durant un període determinat correspon a aquells usuaris que, cansats d'esperar un taxi, decideixen durant aquell període optar per un altre mitjà de transport o renuncien a realitzar el desplaçament.

✓ **Hipòtesis adoptades**

A les simulacions realitzades per aquest estudi, els usuaris desisteixen si no els hi ha estat assignat un taxi quan fa 15 minuts que han arribat al punt d'accés. A les simulacions de hailing i de dispatching això correspon a 15 minuts des de l'instant d'aparició. A les simulacions de stand i smart stand, en canvi, l'usuari desisteix si no ha estat assignat 15 minuts després d'arribar a la parada, independentment del temps d'accés.

✓ Resultats de les simulacions

A continuació es presenta un gràfic que recull el nombre d'usuaris desistits per usuari generat en funció de la densitat de generació de la demanda a totes les simulacions realitzades.

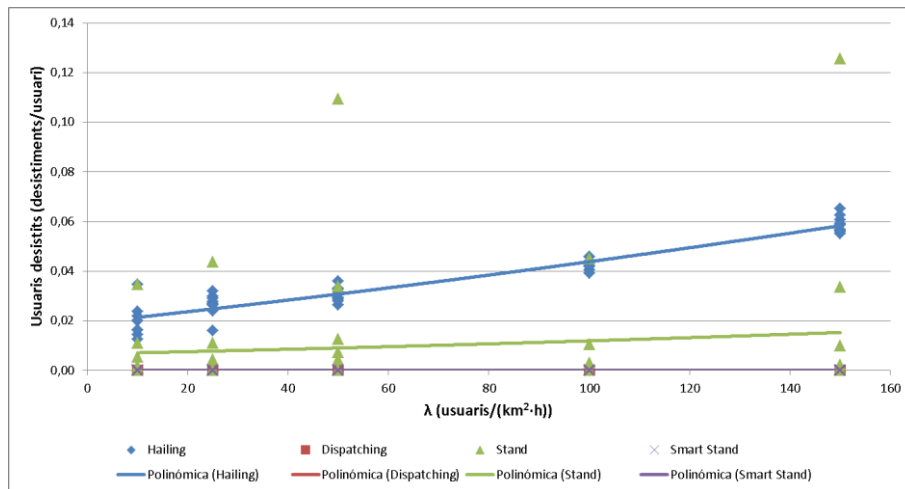


Fig. 5.5 Nombre d'usuaris desistits per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).

Els resultats mostren que, a les simulacions amb radioemissora realitzades (dispatching i smart stand), cap dels usuaris generats desisteix. Això es deu a que la quantitat de taxis operant a la ciutat és suficient perquè el sistema d'assignació per radioemissora garanteixi l'assignació d'un taxi a tots i cadascun dels usuaris generats en un temps raonable, és a dir, menor al temps de desistiment (de $t_{des} = 15$ minuts a les simulacions realitzades). Un cop assignats, el model no permet el desistiment dels usuaris.

A les simulacions sense radioemissores (hailing i stand), en canvi, l'assignació depèn de la trobada fortuïta entre usuari i taxi, ja sigui a una de les parades (stand) o a qualsevol punt dels carrers de la ciutat (hailing). Això fa que el temps d'espera dels usuaris en aquestes simulacions sigui superior, com es pot veure al subapartat corresponent al temps d'espera dels usuaris. A més, aquesta major aleatorietat fa que alguns dels usuaris hagin d'esperar un temps significativament superior al de la mitjana i acabin superant el temps de desistiment i, per tant, renunciant al viatge.

S'observa una diferència entre els resultats de les simulacions relatives a aquests dos sistemes d'assignació (hailing i stand). Per entendre-la, cal tenir en compte que a les simulacions amb parada els taxis tendeixen a passar pels carrers amb parades.

Això es deu a que, quan un taxi queda lliure, el model fa que es dirigeixin a la parada més propera. En cas que aquesta es trobi plena¹¹, el taxista escull aleatòriament¹² una altra parada per dirigir-s'hi. Donada la distribució de les parades escollida a les simulacions realitzades, l'itinerari entre dues parades recorre només carrers amb parades, que en les simulacions de l'estudi representen la meitat dels carrers de la ciutat. Això fa disminuir l'aleatorietat de la trobada usuari aparegut-taxi lliure respecte de les simulacions de hailing. Per tant, a les simulacions de stand, el nombre de casos d'usuaris amb temps d'espera molt superiors a la mitjana és inferior al de les simulacions de hailing i, per tant, el nombre d'usuaris desistits també.

¹¹ A les simulacions, s'estableix una capacitat de 4 taxis les parades (Veure **4.8 PARADES DE TAXIS**).

¹² A les simulacions realitzades, seguint una distribució de probabilitat uniforme (Veure **4.12 ARRIBADA A PARADA DE TAXIS LLIURES**).

5.7 NOMBRE DE SERVEIS ASSIGNATS (N_{sa})

✓ Definició

Es considera que un servei és assignat en el moment en què el taxista contrau un compromís de servei amb un usuari concret i en coneix la seva posició.

✓ Hipòtesis adoptades

Si el servei és assignat mitjançant hailing o mitjançant el sistema de parada convencional (stand), el servei és assignat en el mateix moment de l'encotxament. Si el servei s'assigna mitjançant una radioemissora, en canvi, l'assignació es produeix en el moment en què aquesta realitza l'emparellament usuari-taxi i es posa en contacte amb el taxista per comunicar-li la posició de l'usuari.

A les simulacions realitzades, la densitat de generació de demanda es manté constant durant el warm up i durant tot el període de presentació de resultats. Com a conseqüència d'això, quan no hi ha usuaris que desisteixen, el nombre de serveis assignats durant un període es manté molt proper al nombre d'usuaris generats i, per tant, el nombre de serveis assignats per usuari generat es manté proper a 1.

Tanmateix, aquest nombre es pot trobar lleugerament per sobre d'1 quan alguns dels usuaris generats durant el període anterior són assignats durant el període analitzat. També es pot trobar lleugerament per sota d'1 quan alguns dels usuaris generats durant el període analitzat no són assignats durant aquest període, ja sigui perquè desisteixen o perquè són assignats durant el període següent.

✓ Resultats de les simulacions

A continuació es pot veure el nombre de serveis assignats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda per totes les simulacions realitzades.

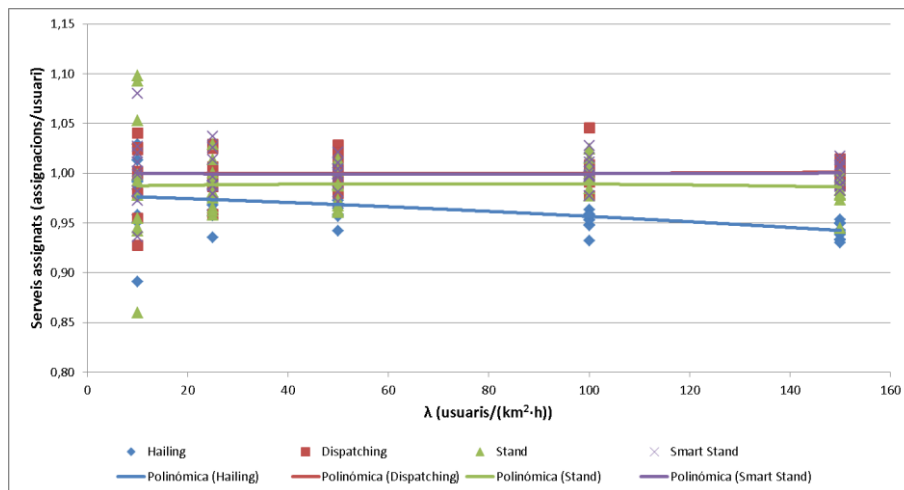


Fig. 5.6 Nombre de serveis assignats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).

D'una banda, a les simulacions amb sistemes d'assignació per radioemissora (dispatching i smart stand), el nombre d'usuaris desistits és zero, com es veu al subapartat anterior. Per tant, el nombre d'usuaris assignats per usuari generat es manté proper a 1.

D'altra banda, a les simulacions sense sistemes d'assignació per radioemissora (hailing i stand), en canvi, el nombre d'usuaris assignats és inferior al d'usuaris generats a causa del desistiment d'alguns dels usuaris. La diferència s'incrementa amb l'augment de la demanda per les mateixes causes que fan augmentar el nombre d'usuaris desistits per usuari generat.

A les simulacions de hailing, totes les assignacions es realitzen mitjançant el sistema d'assignació del mateix nom. El mateix passa amb les de dispatching i stand, en què totes les assignacions es duen a terme mitjançant els sistemes de dispatching i de parada convencional, respectivament.

A les simulacions de smart stand, en canvi, conviuen dos sistemes d'assignació: el de parada convencional (stand) i el de radioemissora en parada (smart stand). El següent gràfic mostra el nombre de serveis assignats mitjançant cadascun d'aquests dos sistemes per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda.

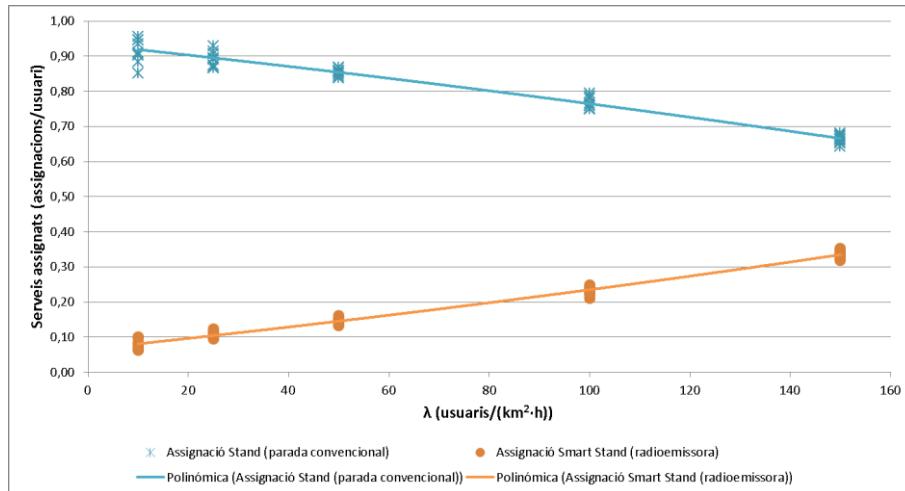


Fig. 5.7 Nombre de serveis assignats mitjançant els diferents sistemes disponibles a les simulacions de smart stand per usuari generat en funció λ .

Donat que el nombre de taxis operant és el mateix independentment de la demanda, un increment d'aquesta disminueix el nombre de taxis lliures aturats a les parades. D'aquesta manera, com més gran és la demanda, és més probable que un usuari arribi a una parada sense taxis i en sol·liciti un mitjançant el sistema de radioemissora (smart stand).

Al gràfic es comprova que a mesura que augmenta la densitat de generació de la demanda, la proporció dels usuaris assignats mitjançant el sistema de smart stand creix, en detriment de la dels assignats mitjançant el sistema de stand.

5.8 DISTÀNCIA DELS TAXIS ASSIGNATS ($dist_{as}$)

✓ Definició

La distància dels taxis assignats ($dist_{as}$) és l'espai recorregut per aquests mentre es dirigeixen al punt on es troba un usuari concret que els espera. És a dir, és la distància recorreguda entre el punt on es troben quan són assignats per la radioemissora i el punt on es troba l'usuari a que se'ls hi assigna.

✓ Hipòtesis adoptades

Atenent a la definició, només té sentit parlar d'aquesta distància quan existeixen una o més radioemissores. En cas que no n'hi hagi, els taxis queden assignats en el mateix moment de l'encotxament, en no ser capaços de contactar l'usuari fins que es troben al mateix punt.

Pel que fa al present estudi, doncs, aquesta distància només existeix a les simulacions relatives als sistemes de dispatching i smart stand. A la resta (hailing i stand) no hi ha radioemissores i, per tant, la distància dels taxis assignats és zero.

Si es tenen en compte les simplificacions del model, mencionades al subapartat de distància en lliure dels taxis, es pot establir una relació entre la distància dels taxis assignats i el temps que aquests es troben assignats. La següent fórmula expressa aquesta relació:

$$t_{as} = dist_{as} \frac{60}{v} \quad (5.3)$$

t_{as} : temps que els taxis passen assignats (minuts)
 $dist_{as}$: distància recorreguda pels taxis assignats (km)

v : velocitat dels taxis (km/h)

✓ Resultats de les simulacions

El següent gràfic recull la distància que els taxis recorren assignats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda. Donat que aquesta distància només és diferent de zero a les simulacions amb sistemes d'assignació per radioemissora, només es mostren els resultats de les simulacions de dispatching i smart stand.

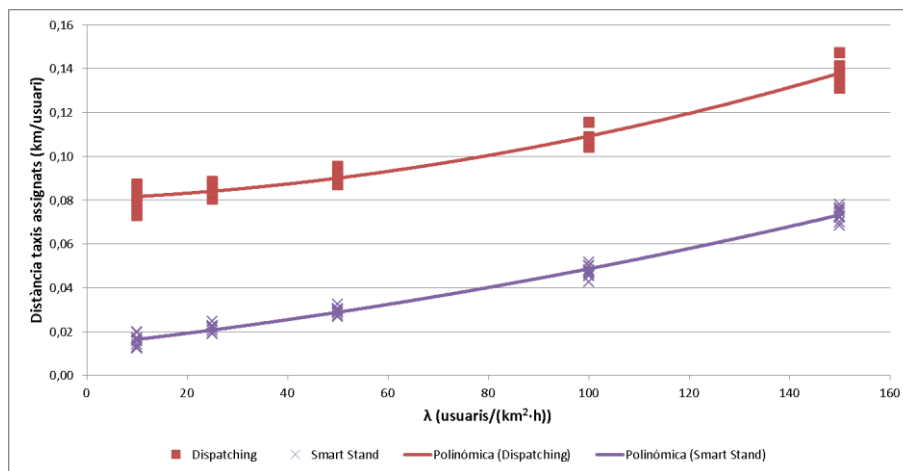


Fig. 5.8 Distància dels taxis assignats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).

El nombre de taxis és igual a totes les simulacions, independentment de la demanda. Per aquesta raó, com major és la demanda, menor és el nombre de taxis lliures disponibles per ser assignats en cada moment. Per aquesta raó, amb demandes creixents, la distància mitjana entre taxi i usuari en el moment de l'assignació és també creixent.

Aquesta distància mitjana correspondria a la distància dels taxis lliures per usuari assignat. Al gràfic, però, es mostra la distància dels taxis lliures per usuari generat. Com s'ha vist al subapartat anterior, el nombre d'usuaris assignats per usuari generat es manté proper a 1 a totes les simulacions de l'estudi. Així, de la mateixa manera que ho fa la distància mitjana entre taxi i usuari en el moment de l'assignació, la distància dels taxis assignats per usuari generat també creix amb la densitat de generació de la demanda, com es pot veure al gràfic.

Pel entendre diferències entre les simulacions relatives als dos sistemes d'assignació presentats al gràfic (dispatching i smart stand), cal tenir en compte que a les simulacions de smart stand, una part dels usuaris són assignats mitjançant el sistema de parada convencional. En aquesta part, la distància entre usuari i taxi en el moment de l'assignació és zero, en trobar-se els dos al mateix punt (parada). Aquesta és la causa de que, a les simulacions de smart stand, la distància recorreguda pels taxis assignats per usuari generat sigui menor que a les simulacions de dispatching.

5.9 DISTÀNCIA EN SERVEI ($dist_i$)

✓ Definició

El present document considera distància en servei ($dist_i$) l'espai recorregut pels taxis mentre transporten un usuari. Aquesta distància correspon a la longitud del camí més curt entre el punt d'encotxament i la destinació de l'usuari.

✓ Hipòtesis adoptades

Si es tenen en compte les simplificacions del model, explicades als subapartats anteriors, es pot establir una relació entre la distància que recorren els taxis en servei i el temps que aquests passen assignats. Aquest temps, a més a més, correspon amb el que passen els usuaris viatjant. La relació es pot expressar de la següent manera:

$$t_i = dist_i \frac{60}{v} \quad (5.4)$$

t_i : temps que els taxis passen en servei (i, per tant, els usuaris viatjant) (minuts)

$dist_i$: distància recorreguda pels taxis en servei (km)

v : velocitat dels taxis (km/h)

✓ Resultats de les simulacions

A continuació es presenta un gràfic que recull la distància recorreguda pels taxis en servei per usuari generat en funció de la densitat de generació de la demanda.

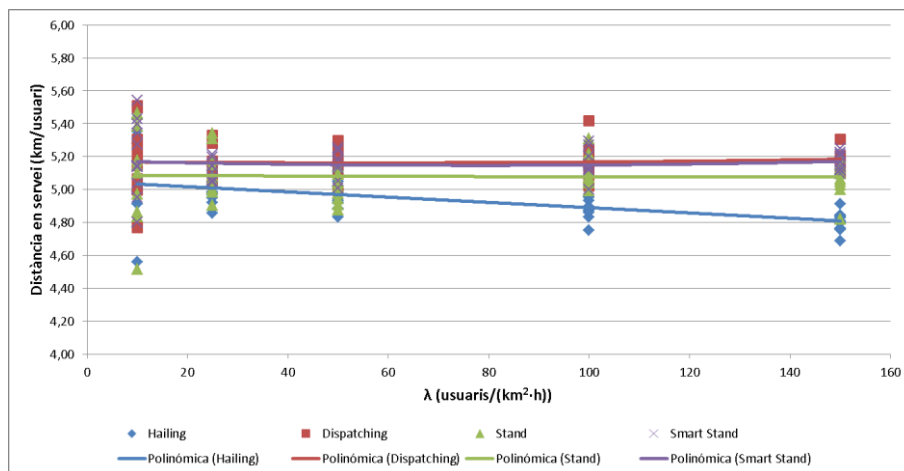


Fig. 5.9 Distància en servei per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).

D'una banda, a les simulacions amb sistemes d'assignació per radioemissora (dispatching i smart stand), en ser el nombre d'usuaris que desisteixen igual a zero, la distància en servei per usuari generat es manté propera a la distància mitjana d'un servei.

De l'altra, a les simulacions sense sistemes d'assignació per radioemissora (hailing i stand), el nombre d'usuaris que desisteixen creix amb la densitat de la demanda. Això fa que el nombre de serveis per usuari generat disminueixi a mida que la demanda augmenta i, per tant, també disminueix la distància recorreguda en servei pels taxis per usuari generat.

5.10 NOMBRE DE SERVEIS FINALITZATS (N_{sf})

✓ Definició

Es considera que un servei finalitza en el moment en què el taxi arriba a la destinació de l'usuari i aquest abandona el vehicle, després d'abonar el preu del servei.

✓ Hipòtesis adoptades

A les simulacions realitzades, la densitat de generació de demanda es manté constant durant el warm up i durant tot el període de presentació de resultats. Com a conseqüència d'això, quan no hi ha usuaris que desisteixen, el nombre de serveis finalitzats durant un període es manté molt proper al nombre d'usuaris generats i, per tant, el nombre de serveis finalitzats per usuari generat es manté proper a 1.

Tanmateix, aquest nombre es pot trobar lleugerament per sobre d'1 quan alguns dels usuaris generats durant períodes anteriors arriben a destinació durant el període analitzat. També es pot trobar lleugerament per sota d'1 quan alguns dels usuaris generats durant el període analitzat no arriben a destinació durant aquest període, ja sigui perquè desisteixen sense ser assignats o perquè hi arriben durant el període següent.

Si comparem el nombre de serveis finalitzats amb el nombre de serveis assignats durant un període, aquests dos nombres tampoc tenen perquè coincidir, ja que poden ser assignats en un període i finalitzats el següent.

✓ Resultats de les simulacions

El gràfic presentat a continuació recull el nombre de serveis finalitzats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda per les diferents simulacions realitzades.

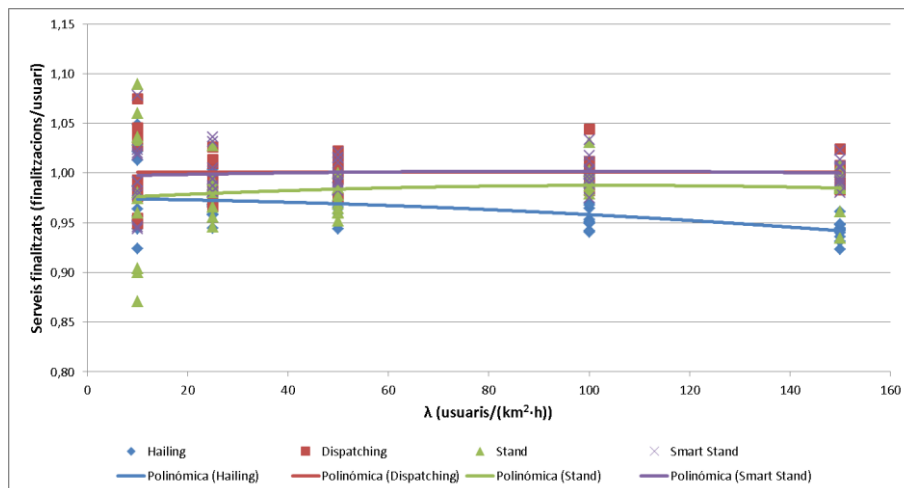


Fig. 5.10 Nombre de serveis finalitzats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).

D'una banda, a les simulacions amb sistemes d'assignació per radioemissora (dispatching i smart stand), en no desistir cap dels usuaris generats, el nombre de serveis finalitzats per usuari generat es manté proper a 1.

D'altra banda, a les simulacions sense sistemes d'assignació per radioemissora (hailing i stand), en canvi, el nombre de serveis finalitzats és inferior al d'usuaris generats a causa del desistiment d'alguns dels usuaris abans de ser assignats. La diferència s'incrementa amb l'augment de la demanda per les mateixes causes que fan augmentar el nombre d'usuaris desistits per usuari generat.

✓ Densitat dels serveis finalitzats (λ_{sf})

La densitat dels serveis finalitzats es defineix mitjançant la següent expressió:

$$\lambda_{sf} = \frac{N_{sf}}{S \cdot i_h} \quad (5.5)$$

λ_{sf} : densitat de serveis finalitzats (serveis finalitzats/(km²·h)) S: superfície de la ciutat (km²)
 i_h : durada del subperíode de presentació de resultats (h)¹³

5.11 INGRÉS OBTINGUT PELS TAXIS PELS SERVEIS FINALITZATS (I)

✓ Definició

L'ingrés obtingut pels taxis durant un període (i) determinat correspon al sumatori del preu dels serveis finalitzats durant aquell període.

✓ Hipòtesis adoptades

Els preus dels serveis realitzats a les simulacions de l'estudi es calculen aplicant la tarifa T-2 vigent l'any 2012 a la ciutat de Barcelona¹⁴. La següent taula recull els detalls d'aquesta tarifa, corresponent als serveis urbans entre les 8:00 i les 20:00 h dels dies laborables:

Taula 5.1 Tarifes a les simulacions de l'estudi. Elaboració pròpia a partir de dades de l'Institut Metropolità del Taxi.

Concepte	Preu
Baixada de bandera	2,05€
Preu/km	0,93€
Hora d'espera	20,00€
Servei de radioemissores de taxi	
Preu màxim fins al lloc d'encotxament	3,40€ (*)
Import mínim d'un servei	7,00€

(*) Inclou baixada de bandera.

Aquesta tarifa preveu un preu màxim fins al lloc d'encotxament i un import mínim per serveis assignats mitjançant dispatching. A les simulacions realitzades es decideix aplicar aquests conceptes també als serveis assignats mitjançant el sistema de smart stand, en tenir característiques comuns amb el dispatching tradicional.

¹³ Les simulacions realitzades presenten els resultats per subperíodes de durada $i_h = 1$ h.

¹⁴ Dades de l'Institut Metropolità del Taxi, 2012.

✓ Resultats de les simulacions

El següent gràfic mostra l'ingrés obtingut pels taxis pels serveis finalitzats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda per les diferents simulacions realitzades.

Cal destacar que, tot i que s'hi aproxima, l'ingrés per usuari generat no és el preu mitjà del servei. Això es deu a que aquest ingrés es correspon a les carreres finalitzades durant el període analitzat i, com es veu en subapartats anteriors, el nombre de carreres finalitzades no té perquè coincidir exactament amb el nombre de carreres assignades ni amb el nombre d'usuaris generats durant el període.

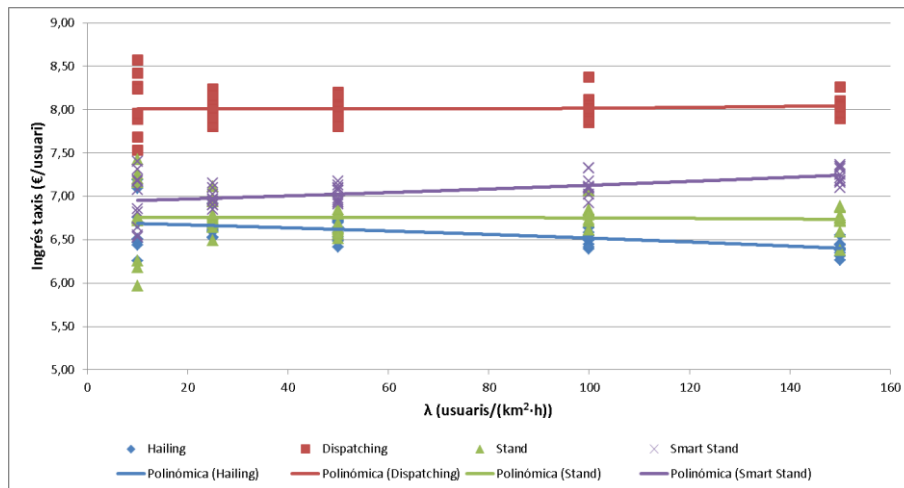


Fig. 5.11 Ingrés dels taxis pels serveis finalitzats per usuari generat en funció de la densitat de generació de demanda (λ).

Al gràfic es comprova que l'ingrés per usuari generat és superior a les simulacions amb sistemes d'assignació per radioemissora (dispatching i smart stand), per dues raons. D'una banda, en aquestes simulacions no hi ha usuaris desistits i, per tant, tots els usuaris generats viatgen i paguen un preu per aquest viatge, incrementant l'ingrés dels taxis. D'altra banda, els taxistes cobren als usuaris el trajecte fins l'encotxament (fins un màxim establert) als serveis amb assignació per radioemissora.

A les simulacions de dispatching, però, l'ingrés per usuari generat és superior al de les simulacions de smart stand. Això es deu a que a les primeres totes les assignacions es realitzen mitjançant el servei de radioemissora, mentre que a les segones l'assignació per radioemissora (smart stand) conviu amb el sistema d'assignació en parada convencional.

En el cas de les simulacions de smart stand, s'observa que l'ingrés per usuari generat creix amb la densitat de generació de la demanda. Això s'explica perquè, donat que el nombre de taxis operant és el mateix independentment de la demanda, un increment d'aquesta disminueix el nombre de taxis lliures aturats a les parades. D'aquesta manera, com més gran és la demanda, més probable és que un usuari arribi a una parada sense taxis i en sol·liciti un mitjançant el servei de radioemissora (smart stand).

Les diferències que s'observen entre les simulacions de hailing i de stand, en què no es disposa de sistema d'assignació per radioemissora, es deuen principalment a que a les primeres el nombre d'usuaris desistits és superior al de les segones. D'aquesta manera, a les simulacions de hailing es duen a terme menys serveis per usuari generat que a les de stand i, per tant, l'ingrés dels taxis per usuari generat és també menor. Aquestes diferències creixen amb la densitat generació de la demanda.

✓ **Ingrés obtingut pels taxis per servei finalitzat (τ)**

L'ingrés obtingut pels taxis per servei finalitzat (τ) es defineix com:

$$\tau = \frac{I}{N_{sf}} \quad (5.6)$$

τ : ingrés obtingut per servei finalitzat (€/servei finalitzat) N_{sf} : nombre de serveis finalitzats en aquell període
 I : ingrés obtingut pels taxis en un període determinat (€)

L'ingrés per servei finalitzat (τ) correspon al preu mitjà del servei durant un cert període.

6 FUNCIÓ OBJECTIU

Aquest apartat té com a finalitat la definició d'una funció objectiu que permeti decidir quin sistema d'assignació és el més adient en funció de la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf})¹⁵. Per fer-ho, s'expliquen les hipòtesis adoptades per al càlcul de cadascun dels termes que la componen. Finalment s'avaluen, mitjançant aquesta funció objectiu, els diferents sistemes d'assignació, utilitzant els resultats de les simulacions realitzades, exposats a l'apartat anterior.

6.1 DEFINICIÓ DE LA FUNCIÓ OBJECTIU

Al present estudi es considera que, per una certa densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}), el sistema d'assignació més adient és aquell que minimitza el cost global per servei finalitzat. La funció objectiu més adequada és, per tant, aquest cost global per servei finalitzat, que es pot expressar com:

$$z = \frac{Z}{(N_{sf} / i_h)} \quad (6.1)$$

z: cost global per servei finalitzat (€/servei finalitzat) N_{sf} : nombre de serveis finalitzats al subperíode¹⁶
 Z: cost horari total (€/h) i_h : durada del subperíode de presentació de resultats (h)¹⁷

On el cost horari total es pot separar de la següent manera:

$$Z = Z_{us} + Z_{trans} + Z_{TIC} + Z_{inf} \quad (6.2)$$

Z: cost horari total (€/h) Z_{us} : cost horari pels usuaris (€/h) Z_{TIC} : cost horari de radioemissora (€/h)
 Z_{trans} : cost horari del transport (€/h) Z_{inf} : cost horari d'infraestructura (€/h)

A continuació s'explica detalladament cadascuna de les parts en què s'ha separat el cost horari total.

6.2 COST HORARI PELS USUARIS (Z_{us})

S'entén per cost pels usuaris la part del cost assumit per aquests quan decideixen utilitzar el servei del taxi. Aquest cost no inclou només el preu que els usuaris paguen pels trajectes, sinó també el cost d'oportunitat que pels usuaris té el fet d'emprar un cert temps en l'accés, en l'espera i en el propi viatge.

Es proposa la següent expressió per tal de calcular el cost horari pels usuaris:

$$Z_{us} = \frac{\tau + VdT \cdot (t_{ac} + t_w + t_t)}{i_h} \quad (6.3)$$

Z_{us} : cost horari pels usuaris (€/h) t_{ac} : temps d'accés dels usuaris (h)
 τ : ingrés obtingut pels taxis pels serveis finalitzats (€) t_w : temps d'espera dels usuaris (h)
 VdT : valor del temps dels usuaris (€/h) t_t : temps de viatge dels usuaris (h)¹⁸
 i_h : durada del subperíode de presentació de resultats (h)

Els valors de l'ingrés obtingut pels taxis pels serveis finalitzats (τ), els temps d'accés (t_{ac}), d'espera (t_w) i de viatge (t_t) dels usuaris, així com el nombre d'usuaris desistits (N_{ud}), són

¹⁵ La densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) és el nombre de serveis finalitzats per cada quilòmetre quadrat i hora.

¹⁶ Veure subapartat 5.7 NOMBRE DE SERVEIS FINALITZATS.

¹⁷ Les simulacions realitzades presenten els resultats per subperíodes de durada $i_h = 1$ h.

¹⁸ L'expressió 5.4 permet obtenir el temps de viatge dels usuaris (t_t) a partir de la distància en servei recorreguda pels taxis ($dist_t$).

resultats que s'obtenen directament de les simulacions realitzades, tal i com s'explica a l'apartat **5. RESULTATS DE LES SIMULACIONS**.

✓ **Valor del temps dels usuaris (Vdt)**

Aquest terme recull el cost d'oportunitat que suposa pels usuaris el fet d'invertir un cert temps en l'accés al servei, l'espera del taxi i la realització del propi viatge. En aquest estudi s'opta per assignar un únic valor del temps dels usuaris, independentment que aquest sigui emprat en accedir, esperar o viatjar. A més, se suposa que aquest valor és el mateix per a tots i cadascun dels usuaris generats durant cada simulació.

El preu que un usuari paga quan decideix viatjar en taxi sol ser superior al que pagaria en cas que optés per altres mitjans de transport com el metro, tramvia o bus. Per aquesta raó, es considera que els usuaris del taxi valoren més el seu temps que els usuaris d'altres mitjans de transport. Seguint aquesta premissa, al present estudi es decideix fixar el valor del temps dels usuaris en $Vdt = 20 \text{ €/h}$.

✓ **Usuaris desistits**

A les simulacions dutes a terme per aquest estudi, quan un usuari fa 15 minuts que ha arribat al punt d'accés al servei i no li ha estat assignat cap taxi, aquest usuari desisteix, renunciant a la realització del viatge en taxi. El temps que un usuari desistit ha emprat en accedir, així com els 15 minuts d'espera, queden registrats i inclosos dins els temps d'accés (t_a) i d'espera (t_w) resultants de cada simulació. Però com que aquests usuaris no són assignats, no es realitza cap servei per tal de transportar-los i, per tant, no se sumen al nombre de serveis finalitzats (N_{sf}).

D'aquesta manera, tot i que l'expressió **6.4** no conté cap terme específicament destinat a la penalització de les simulacions amb més usuaris desistits, un major nombre d'usuaris desistits implica un menor N_{sf} i, per tant, un major cost per servei finalitzat¹⁹. A més, els temps d'accés (t_a) i d'espera (t_w) dels usuaris desistits sí que es tenen en compte a l'expressió **6.4**, contribuint així a incrementar el cost pels usuaris.

✓ **Cost pels usuaris per servei finalitzat (z_{us})**

De la mateixa manera que s'obté el cost global per servei finalitzat (Z) a partir del cost horari total (Z), es defineix el cost pels usuaris per servei finalitzat (z_{us}) com:

$$z_{us} = \frac{Z_{us}}{(N_{sf} / i_h)} \quad (6.4)$$

z_{us} : cost pels usuaris per servei finalitzat (€/servei finalitzat)

Z_{us} : cost horari pels usuaris (€/h)

i_h : durada del subperíode de presentació de resultats (h)

N_{sf} : nombre de serveis finalitzats al subperíode

La funció z_{us} permet comparar els diferents sistemes d'assignació des del punt de vista de l'usuari. El sistema que minimitza z_{us} per una certa densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}), és el sistema d'assignació idoni des del punt de vista dels usuaris.

6.3 **COST HORARI DEL TRANSPORT (Z_{trans})**

El cost del transport inclou totes aquelles despeses relacionades directament amb el taxista i el vehicle que condueix. Aquest cost, però, no té en compte les despeses relacionades amb l'eventual servei de radioemissora.

L'estudi proposa la següent fórmula per tal de calcular el cost horari del transport:

¹⁹ El nombre de serveis finalitzats (N_{sf}) es troba al denominador de l'expressió **6.1**.

$$Z_{trans} = C_h + \frac{C_{km}(dist_{ll} + dist_{as} + dist_t) - \tau}{i_h} \quad (6.5)$$

Z_{trans} : cost horari del transport (€/h)

τ : ingrés obtingut pels taxis pels serveis finalitzats (€)

i_h : durada del subperíode de presentació de resultats (h)²⁰

C_h : cost del transport per hora (€/h)

C_{km} : cost quilomètric del transport (€/km)

$dist_{ll}$: distància en lliure dels taxis (km)

$dist_{as}$: distància dels taxis assignats (km)

$dist_t$: distància en servei dels taxis (km)

Els valors de l'ingrés obtingut pels taxis pels serveis finalitzats (τ) i de les distàncies recorregudes pels taxis en lliure ($dist_{ll}$), assignats ($dist_{as}$) i en servei ($dist_t$) són resultats que s'obtenen directament de les simulacions realitzades, i s'expliquen a l'apartat **5. RESULTATS DE LES SIMULACIONS**. La resta de termes de l'expressió **6.5** s'expliquen a continuació.

✓ Despesa horària del transport (C_h)

Aquest terme inclou tots els costos indirectes del taxi, que no depenen del nombre de kilòmetres que aquest realitza. L'estudi té en compte, doncs, el salari net del conductor, la seguretat social, l'amortització del vehicle, el lloguer d'una plaça de pàrquing per estacionar el vehicle quan no està operant, els impostos (ITVM, IRPF, IVA), l'amortització del sistema tarifari, les despeses per administració i gestió, l'amortització del primer establiment, la inspecció tècnica de vehicles (ITV) i, finalment, el cost del canvi de tarifa anual.

A continuació es recullen les despeses anuals i horaris utilitzats en aquest estudi. La despesa horària s'ha calculat a partir de les dades per la ciutat de Barcelona del *Document Anual 2012* de l'Observatori del Taxi.

Taula 6.1 Despesa horària del transport (C_h). Elaboració pròpia a partir de dades de l'*Observatori del Taxi, 2012*.

Concepte	Despesa anual (€/any)	C_h (*) (€/h)
Salari net conductor	18.759,30	7,4517
Seguretat Social	5.891,09	2,3401
Amortització vehicle	2.808,20	1,1155
Pàrquing	1.366,29	0,5427
Assegurança	1.223,09	0,4858
Impostos		
IVTM	138,78	0,0551
IRPF	746,52	0,2965
IVA	106,00	0,0421
Amortització sistema tarifari	286,17	0,1137
Administració i gestió	145,88	0,0579
Amortització 1 ^{er} establiment	170,20	0,0676
ITV	67,41	0,0268
Canvi de tarifa anual	42,37	0,0168
Total	31.751,30	12,7796

(*) Calculada suposant els 239 treballats a l'any fixats per conveni i una jornada laboral mitjana de 10h 32min.

²⁰ Les simulacions realitzades presenten els resultats per subperíodes de durada $i_h = 1$ h.

Així, per al càlcul del cost horari del transport (Z_{trans}), es considera una despesa horària del transport de $C_h = 12,7796 \text{ €/h}$.

✓ Cost quilomètric del transport (C_{km})

Dins del cost quilomètric del transport (C_{km}) engloba les despeses directes del taxi, que depenen del quilometratge realitzat. L'estudi hi inclou el cost del combustible, així com les despeses de manteniment del vehicle (oli i filtres, pneumàtics i d'altres).

La següent taula recull els costos anuals i quilomètrics emprats en aquest estudi. El cost quilomètric s'ha calculat a partir de les dades per la ciutat de Barcelona del *Document Anual 2012* de l'Observatori del Taxi.

Taula 6.2 Cost quilomètric del transport (C_{km}). Elaboració pròpia a partir de dades de l'*Observatori del Taxi, 2012*.

Concepte	Cost anual (€/any)	C_{km} (*) (€/km)
Combustible	5.724,73	0,119163 (**)
Operacions de manteniment		
Oli i filtres	674,02	0,014030
Pneumàtics	407,10	0,008474
Altres	2056,93	0,042816
Total	8.862,78	0,184484

(*) Calculat suposant un quilometratge anual mitjà de 48.041,32 km/any.

(**) Amb un preu del gasoil d'1,373 €/l (mitjana gener-desembre'12).

Per al càlcul del cost horari del transport (Z_{trans}) es considera, doncs, un cost quilomètric del transport de $C_{km} = 0,184484 \text{ €/km}$.

✓ Cost del transport per servei finalitzat (z_{trans})

A partir del cost horari del transport (Z_{trans}), es defineix el cost del transport per servei finalitzat (z_{trans}) com:

$$z_{trans} = \frac{Z_{trans}}{(N_{sf} / i_h)} \quad (6.6)$$

z_{trans} : cost del transport per servei finalitzat (€/servei finalitzat)

i_h : durada del subperíode de presentació de resultats (h)

Z_{trans} : cost horari del transport (€/h)

N_{sf} : nombre de serveis finalitzats al subperíode

El cost del transport per servei finalitzat z_{trans} és l'oposat al benefici per taxi i servei finalitzat, un cop descomptat el salari del conductor i la resta de conceptes recollits a la **Taula 6.1** i a la **Taula 6.2**. Aquest terme, però, no recull el cost del sistema d'assignació de radioemissora ni tampoc el de la infraestructura (parades), si els hi ha.

Un $z_{trans} > 0$, doncs, indica que la tarifa abonada pels usuaris no cobreix el cost del transport. Un $z_{trans} = 0$ vol dir que les tarifes abonades pels usuaris cobreixen el cost del transport, però no l'eventual cost de radioemissora o d'infraestructura, si aquests existeixen.

6.4 COST HORARI DE RADIOEMISSORA (Z_{TIC})

El cost horari de radioemissora (Z_{TIC}) pretén reflectir els costos que té, per al global del servei del taxi, el fet de disposar d'un servei d'assignació per radioemissora.

Per a la realització del present estudi, no es disposa d'informació directa dels costos de les pròpies empreses radioemissores. Per aquesta raó, s'opta per calcular-lo a partir del cost anual assumit pels taxistes per disposar d'aquest servei (C_{aTIC}), segons la següent expressió:

$$Z_{TIC} = \frac{C_{aTIC}}{J_{lab} \cdot D_{treb}} \cdot m_t \quad (6.7)$$

Z_{TIC} : cost horari de radioemissora (€/h)

J_{lab} : jornada laboral mitjana del taxista (h/dia)

C_{aTIC} : cost anual de radioemissora per taxi (€/any-taxi)

D_{treb} : dies treballats pel taxista per any (dies/any)

m_t : nombre de taxis operant (taxis)

Per al càlcul del cost horari de radioemissora en aquest estudi, es decideix utilitzar el cost anual de radioemissora, la jornada laboral mitjana i els dies treballats a l'any dels taxis de la ciutat de Barcelona, dades recollides al *Document Anual 2012* de l'Observatori del Taxi. Segons aquest document, el cost de radioemissora és de $C_{aTIC} = 421,00$ €/any, la jornada laboral mitjana treballada per un taxista de $J_{lab} = 10h$ 32min i el nombre de dies treballats a l'any, de $D_{treb} = 239$ dies/any.

Finalment, pel que fa al nombre de taxis operant a la ciutat, aquest és de $m_t = 4.000$ taxis a totes les simulacions realitzades per aquest estudi.

El present estudi assumeix equipara els costos del sistema de radioemissora convencional (dispatching) amb els del sistema smart stand proposat. El model desenvolupat permet que només una part dels taxis estigui associat a una empresa radioemissor. Però, a totes les simulacions amb sistema de radioemissora realitzades (dispatching i smart stand), la totalitat dels taxis hi estan associats. A la resta de simulacions (hailing i stand), en canvi, cap dels taxis estan associats a cap radioemissora.

Així, seguint l'expressió **6.5**, el cost horari de radioemissora és el mateix per a totes les simulacions amb sistema de radioemissora (dispatching i hailing). Aquest cost és de **$Z_{TIC} = 668,93$ €/h**. A la resta de simulacions no es considera cap cost de radioemissora, per tant $Z_{TIC} = 0,00$ €/h.

✓ Cost de radioemissora per servei finalitzat (z_{TIC})

A partir del cost horari de radioemissora (Z_{TIC}), es pot calcular el cost de radioemissora per servei finalitzat (z_{TIC}) mitjançant l'expressió:

$$z_{TIC} = \frac{Z_{TIC}}{(N_{sf} / i_h)} \quad (6.8)$$

z_{TIC} : cost de radioemissora per servei finalitzat (€/servei finalitzat)

Z_{TIC} : cost horari de radioemissora (€/h)

i_h : durada del subperíode de presentació de resultats (h)

N_{sf} : nombre de serveis finalitzats al subperíode

Generalment, el cost de radioemissora és assumit pel taxista (o l'empresa de taxis) mitjançant el pagament d'una quota. Per tant, z_{TIC} s'hauria de sumar al cost del transport per servei finalitzat (z_{trans}) si realment es vol calcular l'oposat al benefici per taxi i servei finalitzat. Un ($z_{trans} + z_{TIC}$) > 0, doncs, indica que la tarifa abonada pels usuaris no cobreix el cost del transport inclòs el cost de radioemissora.

6.5 **COST HORARI D'INFRAESTRUCTURA (Z_{inf})**

El cost horari d'infraestructura (Z_{inf}) recull les despeses que comporta el fet de disposar de parades (stand) on els taxistes poden aturar el vehicle i descansar mentre esperen l'arribada d'usuaris que contractin un servei.

D'una banda, aquest terme inclou el cost dels elements que componen la pròpia parada (marquesina i senyals). De l'altra, l'estudi opta per incloure-hi el cost d'oportunitat que té el fet d'ocupar un cert espai de la ciutat. Així, es proposa la següent fórmula:

$$Z_{inf} = \left(\frac{C_s}{P_{am}} + C_{opor} \right) \cdot N_s \quad (6.9)$$

Z_{inf} : cost horari d'infraestructura (€/h)

C_{opor} : cost d'oportunitat de la parada (€/(h·parada))

C_s : cost pròpia parada (€/parada)

N_s : nombre total de parades (parades)

P_{am} : període d'amortització de la parada (h)

Pel que fa al cost de la pròpia parada (C_s), aquest inclou el cost de la marquesina i de la senyalització. Aquest estudi l'estima en $C_s = 8.000$ €/parada. S'estableix, a més, un període d'amortització de $P_{am} = 10$ anys, o el que és el mateix $P_{am} = 87.600$ h. Tot i que el sistema de smart stand comporta un sobrecost respecte el de les parades convencionals (stand), l'estudi considera que aquest sobrecost està recollit dins el cost de radioemissora (Z_{TIC}), aplicat a les simulacions de smart stand però no a les de stand.

Pel que fa al nombre de parades, la distribució establerta per l'estudi a les simulacions realitzades, el fixa en $N_s = 1.375$ parades²¹ a totes les simulacions amb parades (stand i smart stand).

✓ **Cost d'oportunitat de la parada (C_{opor})**

Aquest terme pretén internalitzar els costos que té per la ciutat el fet que un cert espai sigui ocupat per una parada i no pugui, per tant, ser destinat a altres usos.

A ciutats com Barcelona, la major part de l'espai destinat a l'estacionament de vehicles està regulat mitjançant zones que requereixen un tiquet de control obligatori durant gran part del dia. Si un usuari vol aparcar en aquestes zones ha de dirigir-se a un parquímetre, abonar una certa quantitat en funció del temps d'estacionament desitjat i la tarifa de la zona i, així, obtenir un tiquet de control que haurà de col·locar en un lloc visible del seu vehicle per demostrar que ha realitzat el pagament.

Una menor part de l'espai d'estacionament es destina a altres usos com zones de càrrega i descàrrega, aparcament per vehicles de persones amb mobilitat reduïda (PMR), aparcament de motocicletes, etc. L'estudi considera que, quan la col·locació d'una parada de taxis implica l'ocupació de places anteriorment destinades a aquests últims usos, se situa un nombre places noves destinades al mateix ús a les proximitats de l'emplaçament anterior. Aquesta assumpció implica que, en global, l'emplaçament d'una parada de taxis amb un cert nombre de places implica el sacrifici d'un nombre igual de places de zona d'estacionament regulat amb tiquet de control obligatori.

²¹ Veure subapartat **4.8 PARADES DE TAXIS**.

Donat que les parades de les simulacions estan distribuïdes d'una manera dispersa a la ciutat, se suposa que el fet de sacrificar una part de les zones d'aparcament regulat no implica una reducció dels costos absoluts que aquestes zones tenen (empleats, parquímetres, etc.) i que, per tant, el cost d'oportunitat de les parades correspon a l'ingrés que es deixa d'obtenir en eliminar-les (i no el benefici).

Seguint aquesta hipòtesi, i suposant una ocupació del 100% d'aquestes places d'aparcament regulades, s'opta per definir el cost d'oportunitat de la següent manera:

$$C_{opor} = \max_{tp} \cdot T_h \cdot H_f \quad (6.10)$$

C_{opor} : cost d'oportunitat de la parada (€/h·parada) T_h : tarifa horària estacionament regulat (€/h·plaça)
 \max_{tp} : capacitat de la parada (places/parada) H_f : proporció d'hores de funcionament (tant per 1)

Pel que fa a la capacitat de les parades, el present estudi la fixa en $\max_{tp} = 4$ places/parada²². Pel que fa a la tarifa horària, l'estudi actual opta per un preu de $T_h = 2,50$ €/h·plaça²³.

Pel que fa a la proporció d'hores de funcionament, s'assumeix que el pagament és obligatori de dilluns a divendres no festius durant 9 h²⁴. Això suposa que un 25,72% de les hores de l'any són de pagament, és a dir, $H_f = 0,2572$.²⁵

Amb tot, s'obté un cost d'oportunitat de les parades de $C_{opor} = 2,5717$ €/h·parada).

✓ Cost d'infraestructura per servei finalitzat (z_{inf})

Amb el cost horari d'infraestructura (Z_{inf}), es pot calcular el cost d'infraestructura per servei finalitzat (z_{inf}) mitjançant l'expressió:

$$z_{inf} = \frac{Z_{inf}}{(N_{sf} / i_h)} \quad (6.11)$$

z_{inf} : cost d'infraestructura per servei finalitzat (€/servei finalitzat) Z_{inf} : cost horari d'infraestructura (€/h)
 i_h : durada del subperíode de presentació de resultats (h) N_{sf} : nombre de serveis finalitzats al subperíode

✓ Cost horari d'infraestructura (Z_{inf}) per les simulacions realitzades

L'assumpció de les hipòtesis exposades, i el fet que el present estudi fixa un nombre de parades (\max_{tp}) igual per totes les simulacions realitzades en què n'hi ha (stand i smart stand), impliquen que el cost horari d'infraestructura és també el mateix per totes aquestes simulacions. Aquest cost és de $Z_{inf} = 3.661,69$ €/h.

6.6 AVALUACIÓ DE LA FUNCIO OBJECTIU

Un cop definida la funció objectiu segons l'expressió 6.1 i explicats tots els termes que la componen, s'avaluen els diferents sistemes d'assignació proposats a l'estudi mitjançant aquesta funció objectiu.

²² Veure subapartat 4.8 **PARADES DE TAXIS**.

²³ Tarifa corresponent a la Tarifa A de la Zona Blava de Barcelona l'any 2.012.

²⁴ Horari majoritari de funcionament de l'Àrea Blava de Barcelona l'any 2.012.

²⁵ Càlcul realitzat suposant 251 dies laborables de dilluns a divendres d'un total de 366 l'any 2.012 a Catalunya.

Per fer-ho, a partir dels resultats obtinguts de les simulacions realitzades²⁶ i de les hipòtesis exposades al llarg d'aquest document, es calcula el cost global per servei finalitzat (z) per a cadascun dels 10 períodes horaris de presentació de resultats²⁷ de cadascuna de les 5 simulacions realitzades²⁸ en cadascun dels 4 grups de simulacions²⁹. Aquest cost global per servei finalitzat (z) es representa en els següents 4 gràfics, un per cada grup de simulacions corresponent a un sistema d'assignació (hailing, dispatching, stand i smart stand).

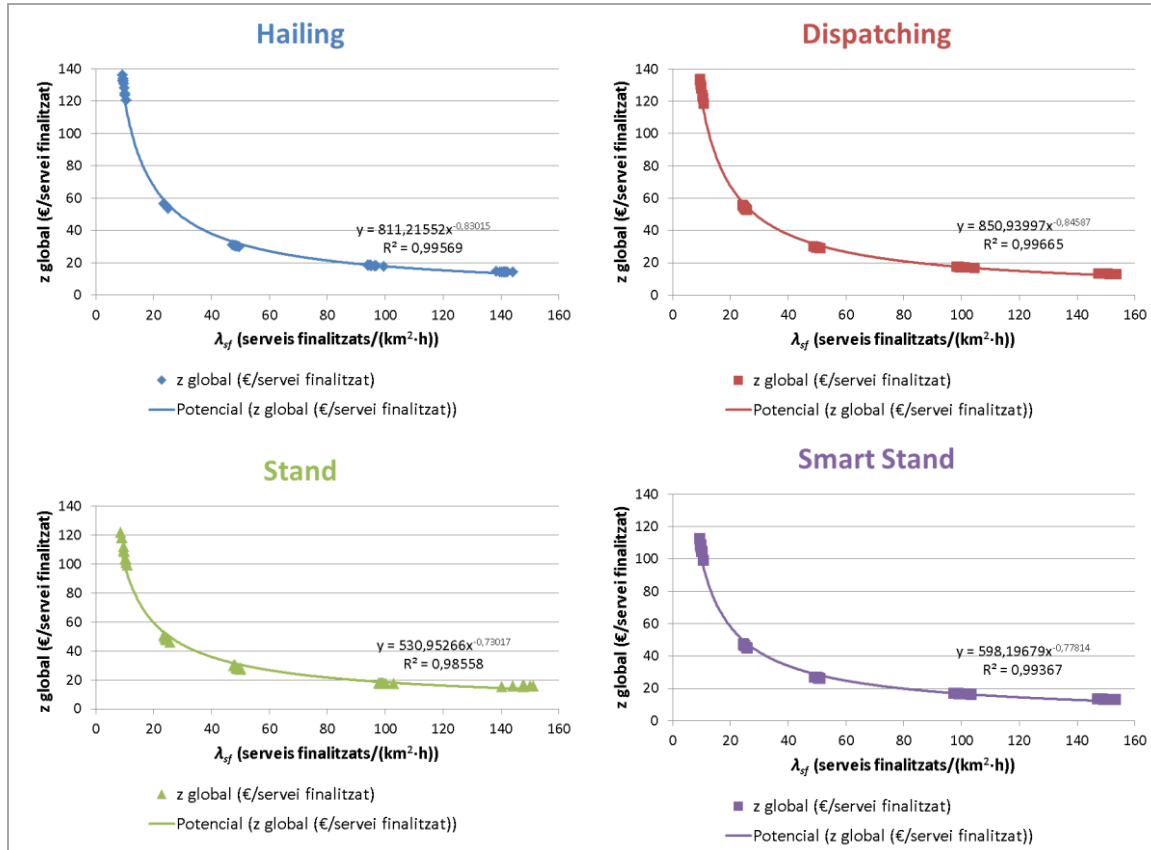


Fig. 6.1 Cost global per servei finalitzat (z) en funció de la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}).

L'ANNEX III. COSTOS recull el valor numèric del cost global per servei finalitzat (z) per a cadascun dels 10 subperíodes de les 20 simulacions realitzades. En aquest annex, a més, s'hi pot consultar la contribució de cadascun dels termes principals que el componen.

Al següent apartat, utilitzant z , es comparen els quatre sistemes d'assignació proposats en funció de λ_{sf} per tal de decidir quin és més adient en cada cas.

²⁶ Aquests resultats són presentats i interpretats a l'apartat 5.RESULTATS DE LES SIMULACIONS i recollits a l'ANNEX II. RESULTATS DE LES SIMULACIONS.

²⁷ Els resultats de cada simulació realitzada es recullen agrupats en 10 períodes horaris de presentació de resultats (Veure 4.2 PERÍODE DE GENERACIÓ DE DEMANDA).

²⁸ Per a cada grup, es realitzen 5 simulacions corresponents a diferents densitats de generació de la demanda $\lambda = 10, 25, 50, 100$ i 150 usuaris/(km²-h), respectivament (Veure 5.1 SIMULACIONS REALITZADES A L'ESTUDI).

²⁹ Les simulacions s'agrupen en 4 grups atenent al sistema d'assignació que es vol analitzar en cada cas (hailing, dispatching, stand i smart stand) (Veure 5.1 SIMULACIONS REALITZADES A L'ESTUDI).

7 DETERMINACIÓ DEL SISTEMA D'ASSIGNACIÓ IDONI

El present apartat compara els quatre sistemes d'assignació descrits en l'apartat 2. **SISTEMES D'ASSIGNACIÓ DEL SERVEI DEL TAXI** en funció de la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}). Això es fa a partir del cost global per servei finalitzat (z), calculat mitjançant l'expressió 6.1. Es considera que, per una certa λ_{sf} , el sistema d'assignació més adient és aquell que minimitza z .

7.1 SISTEMA D'ASSIGNACIÓ IDONI EN FUNCIÓ DE λ_{sf}

El següent gràfic superposa el valor de z en funció de λ_{sf} obtingut amb els resultats de les simulacions realitzades per a cadascun dels quatre sistemes d'assignació. D'aquesta manera, un sistema d'assignació és el més adient per un cert rang de λ_{sf} , si el seu valor de z és inferior al de la resta de sistemes d'assignació per tot aquest rang de λ_{sf} .

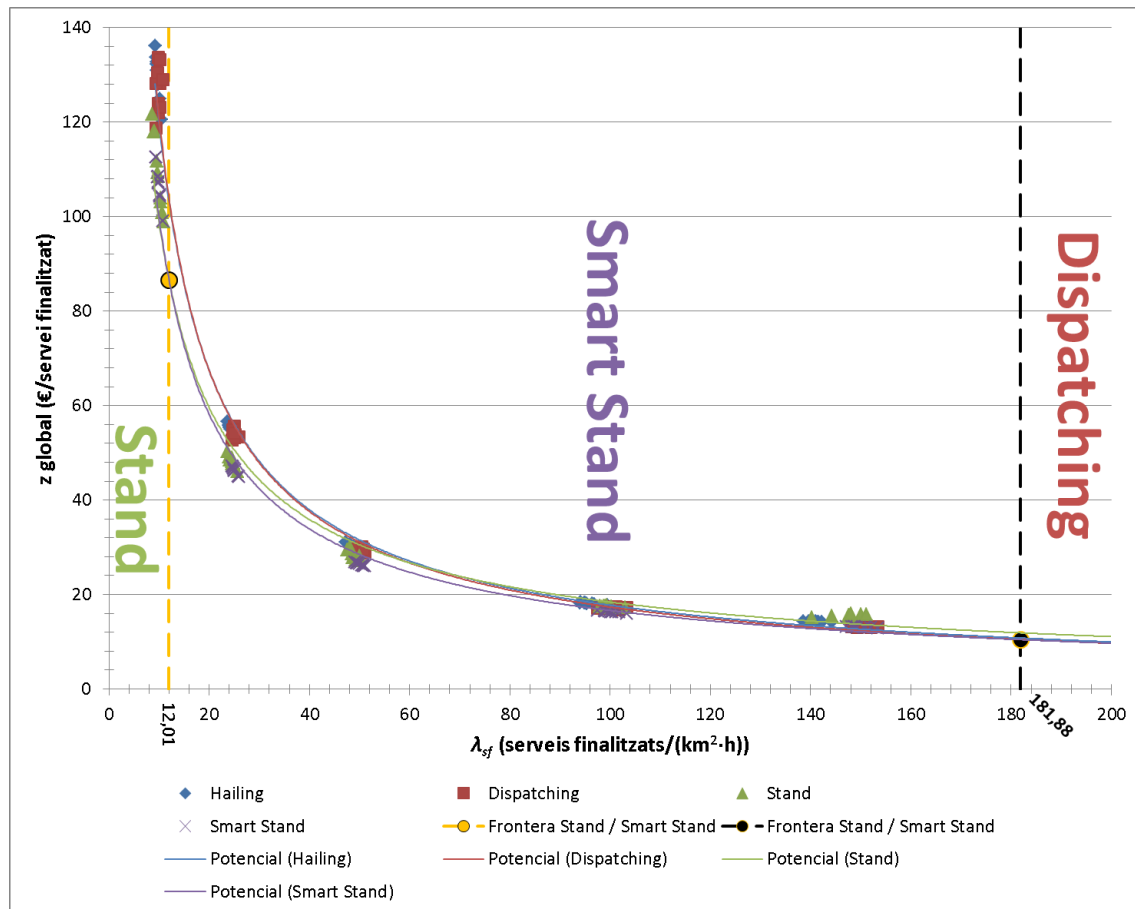


Fig. 7.1 Cost global per servei finalitzat (z) de cada sistema d'assignació en funció de la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i sistema d'assignació idoni per a cada rang de λ_{sf} .

✓ Stand: el sistema d'assignació més adequat per λ_{sf} baixes

Amb les hipòtesis adoptades, per a densitats de serveis finalitzats inferiors a $\lambda_{sf} = 12,0$ serveis finalitzats/($\text{km}^2 \cdot \text{h}$) o, el que és el mateix, $0,165$ serveis finalitzats/(taxi-h), el sistema d'assignació en parada convencional (stand) és el més adequat, en suposar un cost global per servei finalitzat (z) inferior al de la resta de sistemes d'assignació.

Totes les simulacions realitzades per aquest estudi tenen el mateix nombre de taxis operant, independentment de la densitat de generació de la demanda. Així, quan la demanda és molt baixa, els taxis passen la major part del temps lliures. Si disposen de parades a la ciutat els taxis lliures hi resten aturats, estalviant recórrer una gran quantitat de quilòmetres innecessaris.

D'aquesta manera, estalvien combustible i altres despeses relacionades directament amb el quilometratge realitzat (desgast de pneumàtics, olis, etc.). Això fa que, per baixes densitats de carreres finalitzades, aquest sistema d'assignació presenti un cost global inferior al dels sistemes sense parada (hailing i dispatching), en què els taxis han de romandre circulant contínuament encara que estiguin lliures.

A més, per demandes molt baixes, la probabilitat que té un usuari d'arribar a una parada sense taxis lliures és també molt baixa, ja que la major part dels taxis resten lliures aturats d'una manera més o menys repartida per totes les parades de la ciutat. Per aquesta raó, si el sistema de smart stand estigués disponible, molt pocs usuaris recorrerien a utilitzar-lo³⁰. És per això que l'estalvi de temps que comportaria la disponibilitat del smart stand no compensaria el sobrecost que té aquest sistema d'assignació per radioemissora en parada.

En resum, per densitats de serveis finalitzats molt baixes ($\lambda_{sf} < 12,0$ serveis finalitzats/(km²·h)), el sistema d'assignació stand suposa, d'una banda, un cost global per servei inferior al dels sistemes hailing i dispatching per l'avantatge que suposa la disponibilitat de parades. De l'altra, té un global per servei inferior al del sistema smart stand, per la manca d'utilitat d'un sistema d'assignació per radioemissora quan la demanda és baixa.

✓ **Smart Stand: el sistema d'assignació més adequat per λ_{sf} intermèdies**

A mesura que la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) creix, el nombre de taxis que romanen lliures és cada cop menor. Si hi ha parades, doncs, cada cop és més probable que un usuari arribi a una sense taxis lliures. Per tant, la disponibilitat del sistema smart stand a les parades estalvia cada cop més temps d'espera als usuaris.

A partir d'una certa densitat de serveis finalitzats ($\lambda_{sf} = 12,0$ serveis finalitzats/(km²·h)), el sobrecost que comporta la disponibilitat del sistema smart stand es veu compensat pel temps d'espera estalviat pels usuaris. A partir d'aquesta densitat, el sistema smart stand té un cost global per servei finalitzat inferior al sistema de parada convencional (stand).

Tot i que el nombre de taxis lliures vagi decreixent quan λ_{sf} augmenta, el quilometratge estalviat per l'existència de parades segueix compensant el seu cost. Això és així mentre no s'arribi a una certa densitat de serveis finalitzats, que amb les hipòtesis d'aquest estudi és de $\lambda_{sf} = 181,9$ serveis finalitzats/(km²·h). Això equival a 2,501 serveis finalitzats/(taxi·h).

Per tant, per densitats de serveis finalitzats intermèdies (λ_{sf} compreses entre 12,0 i 181,9 serveis finalitzats/(km²·h)), el sistema d'assignació smart stand suposa, d'una banda, un cost global per servei inferior al del sistema stand per l'avantatge que suposa la disponibilitat d'un sistema d'assignació per radioemissora. De l'altra, té un global per servei inferior al dels sistemes hailing i dispatching, per l'estalvi de quilometratge que comporta la disponibilitat de parades.

✓ **Dispatching: el sistema d'assignació més adequat per λ_{sf} elevades**

Si la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) segueix augmentant, el nombre de taxis lliures segueix decreixent. Així, com més gran és aquesta densitat, la disponibilitat de parades suposa un estalvi de quilometratge cada cop menor.

A partir d'una certa densitat de serveis finalitzats, que amb les hipòtesis d'aquest estudi és de $\lambda_{sf} = 181,9$ serveis finalitzats/(km²·h), el sobrecost que suposa l'existència de parades no es veu compensat per l'estalvi quilomètric associat. Aquest sobrecost no és només el d'infraestructura, sinó també l'associat a l'existència d'un temps d'accés que és zero quan no

³⁰ Si està disponible, el sistema d'assignació per radioemissora en parada (smart stand) només és utilitzat pels usuaris quan aquests arriben a una parada sense taxis lliures disponibles.

hi ha parades. A partir d'aquesta λ_{sf} , per tant, el sistema dispatching passa a tenir un cost global per servei finalitzat menor al del smart stand i, per tant, és el més adequat.

Per λ_{sf} elevades ($\lambda_{sf} > 182$ serveis finalitzats/(km²·h)), doncs, el sistema de dispatching és més adient que els de stand i smart stand, per la manca d'utilitat que tenen les parades per densitats molt altes, i més adequat que el de hailing, per l'estalvi de temps d'espera que suposa als usuaris la disponibilitat d'un servei d'assignació per radioemissora.

7.2 SISTEMA D'ASSIGNACIÓ IDONI EN FUNCIÓ DEL PREU DEL GASOIL

Tot i que cada cop hi ha més taxis amb sistemes alternatius, la major part dels taxis de ciutats com Barcelona funcionen amb gasoil com a combustible. Com es pot veure al subapartat **6.5 COST HORARI DEL TRANSPORT**, les despeses en combustible suposen una part important del cost quilomètric del transport.

Per a la realització d'aquest estudi s'ha considerat un preu del gasoil de 1,373 €/l³¹, tanmateix, aquest preu fluctua considerablement al llarg del temps. Per aquesta raó, en aquesta tesina s'estudia la sensibilitat que les conclusions extretes a l'anterior subapartat tenen a les variacions del preu d'aquest combustible. El següent gràfic mostra quin és el sistema d'assignació més adequat per una densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i un preu del gasoil determinats. Mitjançant l'eix vertical secundari, també permet saber quin és el sistema d'assignació idoni donats un preu del gasoil i un nombre de serveis finalitzats per taxi i hora.

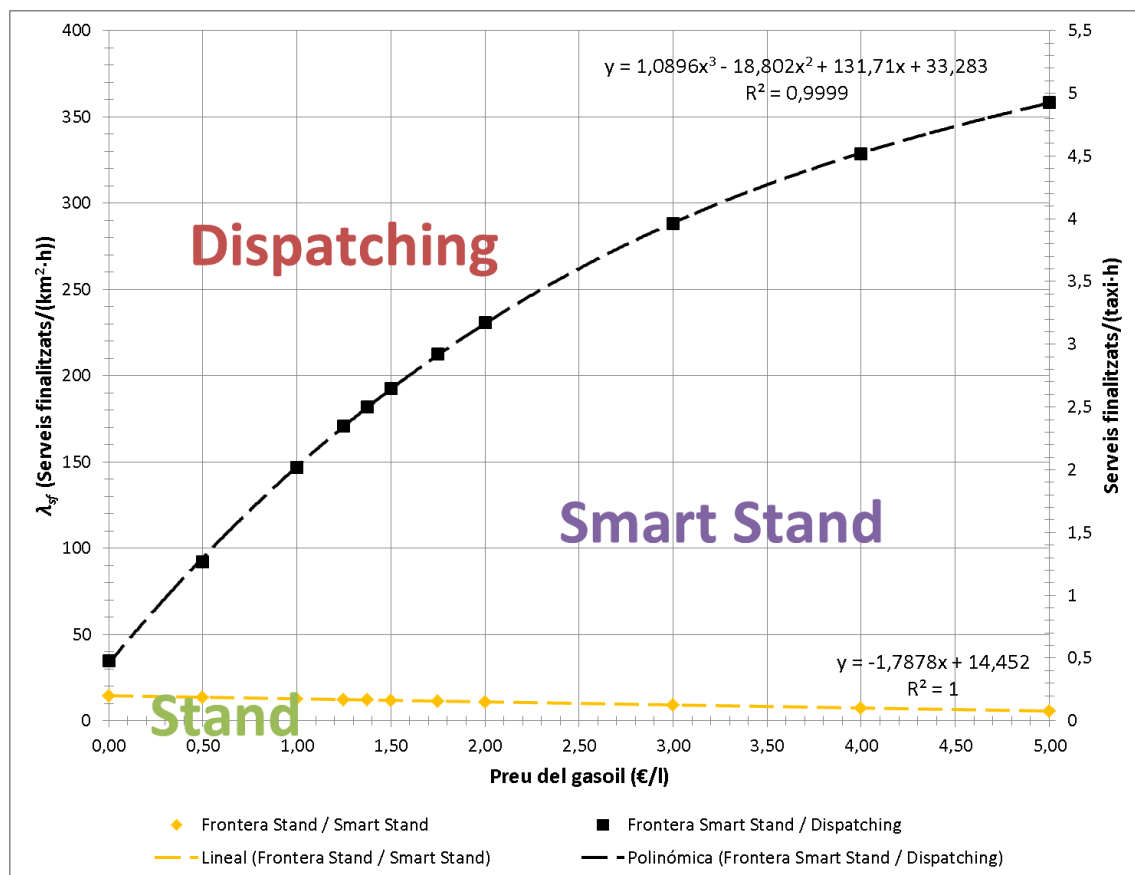


Fig. 7.2 Sistema d'assignació idoni segons la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i el preu del gasoil. L'eix vertical secundari mostra el nombre de serveis finalitzats per taxi i hora equivalent a cada λ_{sf} .³²

³¹ Preu mitjà del gasoil entre gener i desembre de 2012. *Observatori del Taxi*, 2012.

³² Tenint en compte les hipòtesis adoptades a les simulacions: ciutat de 55 km² i 4.000 taxis operant.

D'una banda, al gràfic es pot comprovar que la frontera d'idoneïtat entre els sistemes de stand i smart stand es veu poc afectada per l'increment del preu del combustible. El fet que es vegi una mica afectada es deu a què, tal i com s'explica al subapartat **5.5 DISTÀNCIA EN LLIURE DELS TAXIS ($dist_{ll}$)**, per demandes baixes, el sistema smart stand suposa una major homogeneïtat en la distribució dels taxis lliures en parades. D'aquesta manera, amb el sistema smart stand, la distància recorreguda en lliure pels taxis que busquen un lloc lliure on aturar-se és una mica menor que la que recorren amb el sistema stand. El lleuger estalvi de combustible que això suposa, esdevé més important com major és el preu del gasoil.

Si el gasoil fos gratuït, per exemple, la frontera d'idoneïtat entre stand i smart stand se situaria al voltant dels $\lambda_{sf} = 14,4$ serveis finalitzats/($km^2 \cdot h$) o, el que és el mateix, 0,199 serveis finalitzats/(taxi·h). Si el seu preu pugés fins els 3,00 €/l, en canvi, aquesta frontera d'idoneïtat baixaria fins arribar a $\lambda_{sf} = 9,1$ serveis finalitzats/($km^2 \cdot h$) o, el que és el mateix, 0,125 serveis finalitzats/(taxi·h).

D'altra banda, la frontera entre els sistemes de smart stand i dispatching sí que es veu molt afectada per les variacions del preu del gasoil. Això es deu a què com major és aquest preu, major estalvi implica la disminució del quilometratge que suposa l'existència de parades a la ciutat. Aquest estalvi, doncs, compensa el cost de les parades fins densitats λ_{sf} més elevades com més alt és aquest preu.

Així, si el gasoil no tingués cap cost, la frontera d'idoneïtat entre smart stand i dispatching baixaria fins $\lambda_{sf} = 34,7$ serveis finalitzats/($km^2 \cdot h$) o, el que seria el mateix, 0,476 serveis finalitzats/(taxi·h). Si, en canvi, el preu d'aquest combustible pugés fins els 3,00 €/l, la frontera pujaria fins $\lambda_{sf} = 288,1$ serveis finalitzats/($km^2 \cdot h$) ó 3,96 serveis finalitzats/(taxi·h).

7.3 SISTEMA D'ASSIGNACIÓ IDONI EN FUNCIÓ DE VdT

En ser el nombre de taxis el mateix a totes les simulacions realitzades a l'estudi³³, el cost horari pels usuaris (Z_{us}) té poca importància en el cost horari total (Z) per a baixes densitats de serveis finalitzats (λ_{sf}). La importància d'aquest terme, però, creix amb la densitat. És per això que, per a demandes altes, el valor del temps dels usuaris (VdT) esdevé una variable de pes en el cost global per servei finalitzat (z).

Per a la realització d'aquest estudi s'ha considerat un valor del temps dels usuaris de $VdT = 20,00$ €/h³⁴. Tanmateix, en aquest apartat s'estudia la sensibilitat de les fronteres entre sistemes d'assignació idonis a les variacions del valor del temps dels usuaris (VdT).

El següent gràfic mostra quin és el sistema d'assignació més adequat per una densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i un valor del temps dels usuaris (VdT) donats. Mitjançant l'eix vertical secundari, també permet saber quin és el sistema d'assignació idoni per un VdT i un nombre de serveis finalitzats per taxi i hora determinats.

³³ Veure subapartat **4.6 GENERACIÓ DE LA POSICIÓ INICIAL DELS TAXIS**.

³⁴ Veure subapartat **6.2 COST HORARI PELS USUARIS (Z_{us})**.

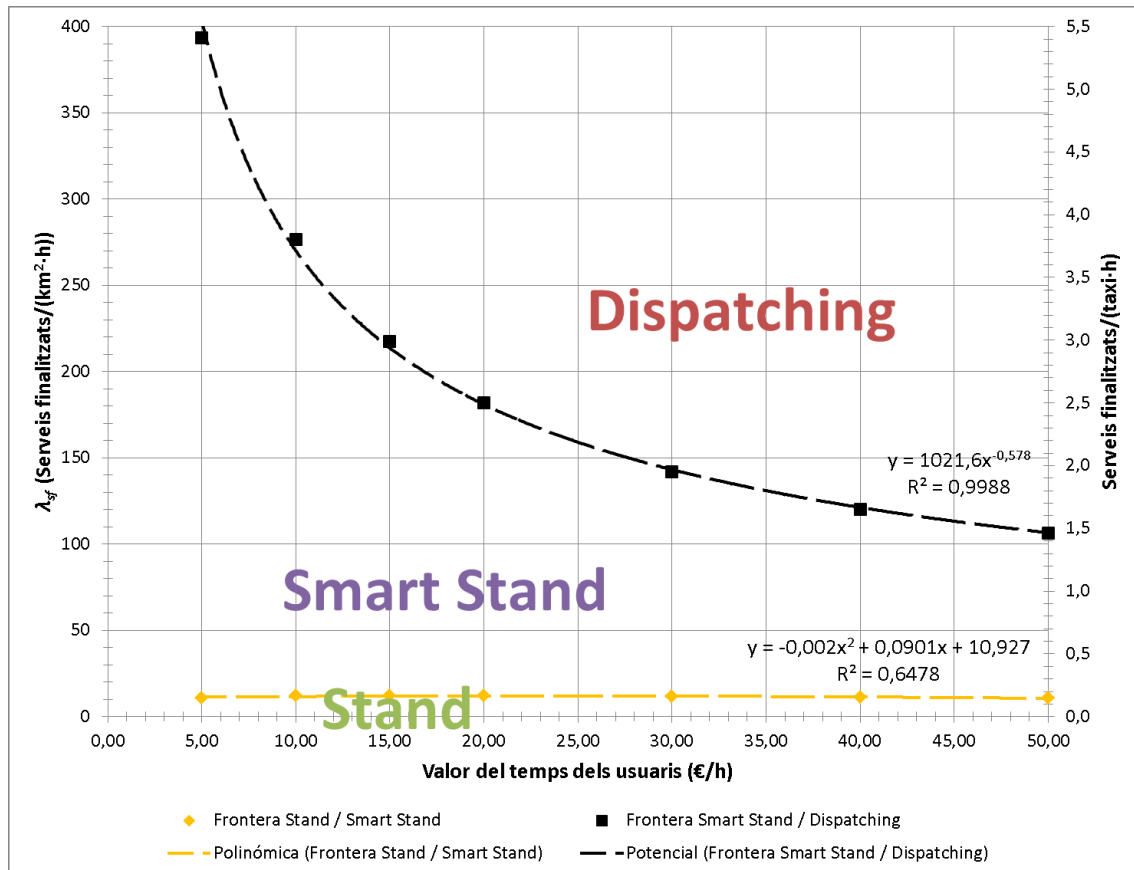


Fig. 7.3 Sistema d'assignació idoni segons la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i el valor del temps dels usuaris (VdT). L'eix vertical secundari mostra el nombre de serveis finalitzats per taxi i hora equivalent a cada λ_{sf} .³⁵

Pel que fa a la frontera d'idoneïtat entre els sistemes de stand i smart stand, el gràfic mostra que aquesta es veu poc afectada per l'increment del valor del temps dels usuaris. Això és així perquè aquesta frontera es troba a una zona de baixa densitat de serveis finalitzats on, com s'ha dit, el cost horari pels usuaris (Z_{us}) té poca importància en el cost horari total (Z).

Així, per $VdT = 5,00$ €/h, aquesta frontera se situa al voltant de $\lambda_{sf} = 10,8$ serveis finalitzats/(km²·h) o, el que és el mateix, 0,149 serveis finalitzats/(taxi·h). Si puja fins $VdT = 40,00$ €/h, aquesta frontera se situa al voltant de $\lambda_{sf} = 11,2$ serveis finalitzats/(km²·h) o, el que és el mateix, 0,148 serveis finalitzats/(taxi·h).

Al subapartat **7.1 SISTEMA D'ASSIGNACIÓ IDONI EN FUNCIÓ DE λ_{sf}** , s'explica que el sistema smart stand passa a ser més adequat que el sistema stand quan l'estalvi de temps que comporta la disponibilitat de l'assignació per radioemissora compensa el sobrecost que té aquest sistema d'assignació. D'aquest gràfic en podem extreure com a conclusió que això passa, no tant perquè creixi molt el temps d'espera dels usuaris (i per tant Z_{us}) amb la densitat λ_{sf} ³⁶, sinó perquè, en créixer el nombre de serveis assignats i mantenir-se constant el cost horari d'infraestructura (Z_{inf})³⁷, decreix també el cost d'infraestructura per servei finalitzat.

³⁵ Tenint en compte les hipòtesis adoptades a les simulacions: ciutat de 55 km² i 4.000 taxis operant.

³⁶ Que la frontera sigui poc sensible a variacions de VdT mostra que el temps d'espera no influeix molt en aquesta frontera. Veure expressió 6.3 al subapartat 6.2 COST HORARI PELS USUARIS (Z_{us}).

³⁷ Z_{inf} no depen de la demanda ja que el nombre de parades és el mateix a totes les simulacions. Veure subapartat 6.5 COST HORARI D'INFRAESTRUCTURA (Z_{inf}).

Pel que fa a la frontera d'ideïtat entre els sistemes de smart stand i dispatching, com més alt és el valor del temps dels usuaris (VdT), el sistema de dispatching passa a ser l'ideï per λ_{sf} menors. Això es deu a què l'existència de parades comporta un sobrecost, que no és només el d'infraestructura, sinó també l'associat a l'existència d'un temps d'accés (que és zero quan no hi ha parades). Aquest temps d'accés esdevé més costós com major és VdT , fent que el sistema de dispatching sigui l'ideï per λ_{sf} menors.

Com a exemple, per $VdT = 5,00$ €/h, aquesta frontera se situa al voltant de $\lambda_{sf} = 393,3$ serveis finalitzats/($\text{km}^2 \cdot \text{h}$) o, el que és el mateix, 5,41 serveis finalitzats/(taxi·h). Si el valor del temps dels usuaris puja fins $VdT = 40,00$ €/h, la frontera d'ideïtat entre smart stand i dispatching baixa fins $\lambda_{sf} = 120,1$ serveis finalitzats/($\text{km}^2 \cdot \text{h}$) ó 1,65 serveis finalitzats/(taxi·h).

7.4 ANÀLISI DES DEL PUNT DE VISTA DE L'USUARI

Als apartats anteriors s'ha estudiat la idoneïtat d'un o altre sistema d'assignació des d'un punt de vista global. Aquest apartat pretén fer-ho, sense entrar en tant detall, des del punt de vista de l'usuari.

A continuació se superposa en un gràfic el valor del cost pels usuaris per servei finalitzat (z_{us}) en funció de λ_{sf} . Els valors han estat obtinguts a partir dels resultats de les simulacions realitzades per a cadascun dels quatre sistemes d'assignació. D'aquesta manera, un sistema d'assignació és l'ideï per l'usuari per un cert rang de λ_{sf} , si el seu valor de z_{us} és inferior al de la resta de sistemes d'assignació en aquest rang de λ_{sf} .

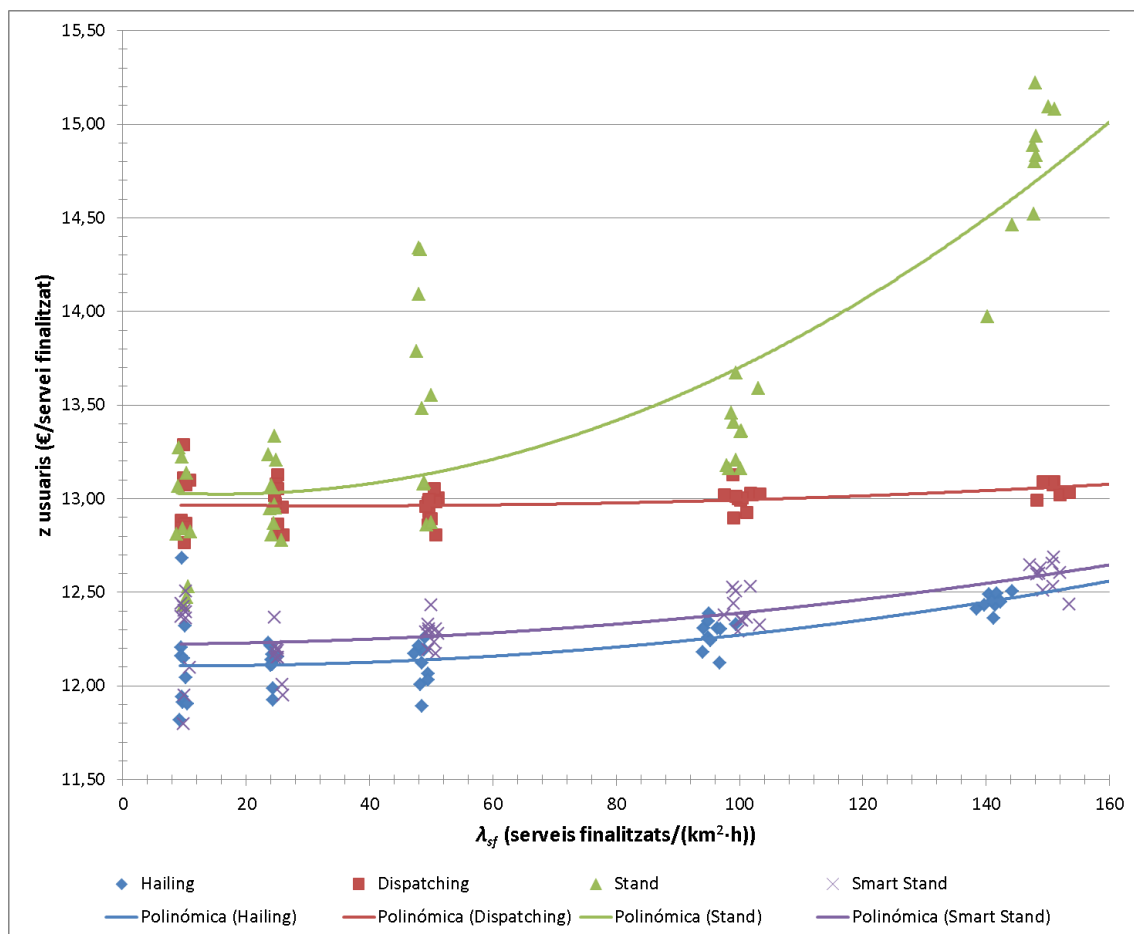


Fig. 7.4 Cost per l'usuari per servei finalitzat (z_{us}) de cada sistema d'assignació en funció de (λ_{sf}).

El gràfic mostra que, amb les hipòtesis adoptades i en el rang de λ_{sf} analitzat, el sistema de hailing és l'ideï des del punt de vista de l'usuari, en presentar un z_{us} menor que la resta de sistemes d'assignació.

Això es deu a què, d'una banda, els avantatges de les parades³⁸ (disponibles als sistemes de stand i smart stand) no compensen per l'usuari el temps d'accés que implica la seva existència. D'altra banda, el temps d'espera estalviat amb l'ús de radioemissora (disponible als sistemes de dispatching i smart stand) no compensa per l'usuari el sobrepreu que ha de pagar per aquest servei³⁹, amb el valor del temps dels usuaris fixat en l'estudi ($VdT = 20,00 \text{ €/h}$).

✓ Sistema d'assignació idoni en funció del valor del temps dels usuaris (VdT)

El valor que els usuaris donen al seu temps (VdT) té una gran importància en el càlcul del cost pels usuaris⁴⁰. En aquest estudi s'ha fixat un $VdT = 20,00 \text{ €/h}$ i, amb ell, s'ha arribat a la conclusió que el hailing és el sistema d'assignació idoni pels usuaris per λ_{sf} situades entre 10 i 150 serveis finalitzats/($\text{km}^2 \cdot \text{h}$).

Tanmateix, això no té perquè ser així per altres VdT o per λ_{sf} més elevades. El següent gràfic mostra quin és el sistema d'assignació idoni pels usuaris per una densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i un valor del temps dels usuaris (VdT) donats⁴¹.

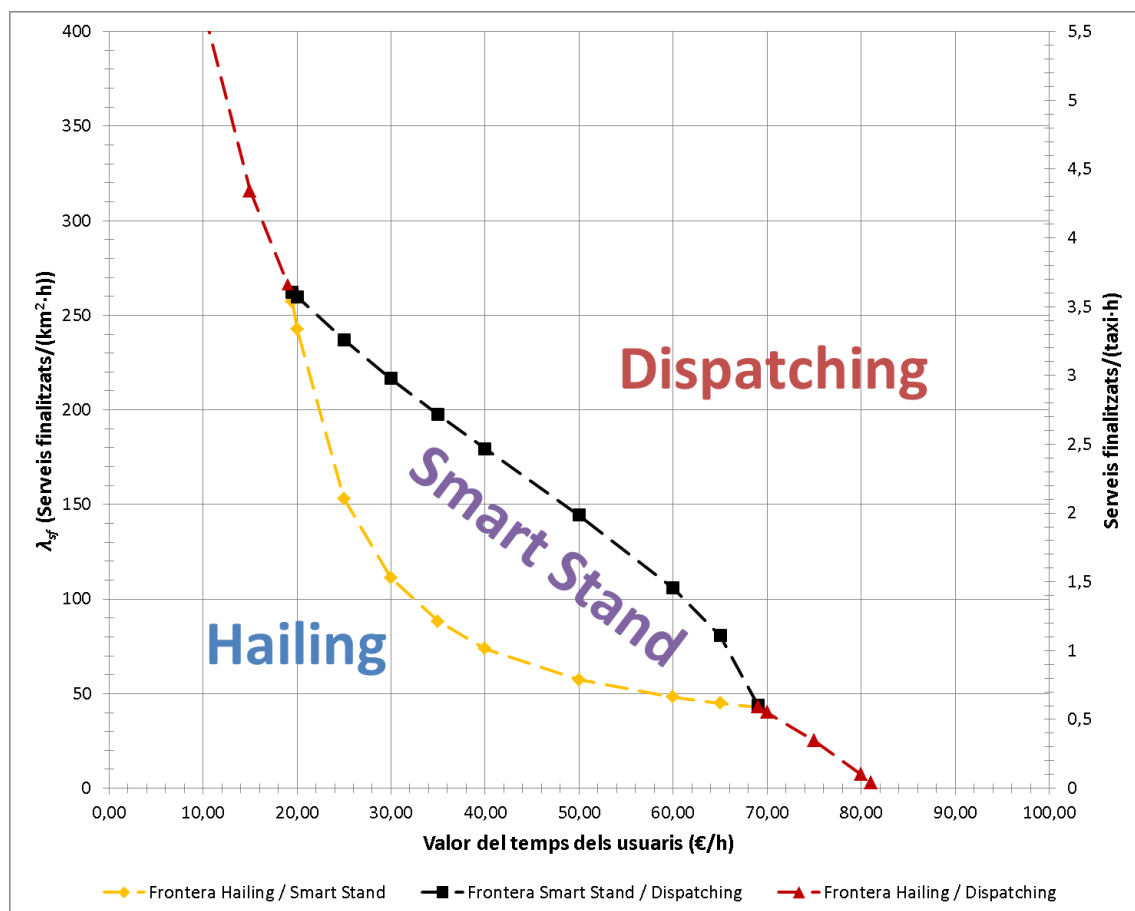


Fig. 7.5 Sistema d'assignació idoni per l'usuari segons la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) i el valor del temps dels usuaris (VdT). L'eix vertical secundari mostra el nombre de serveis finalitzats per taxi i hora equivalent a cada λ_{sf} .

³⁸ És a dir, la possibilitat de trobar-hi un taxi lliure i no haver d'esperar.

³⁹ Quan un usuari sol·licita un servei mitjançant radioemissora, es veu obligat a pagar el trajecte del taxi buit fins al lloc d'encotxament (fins un límit establert). A més, el servei contractat mitjançant radioemissora té un preu mínim superior al de l'abaixament de bandera. Veure 5.11 INGRÉS OBTINGUT PELS TAXIS PELS SERVEIS FINALITZATS (τ).

⁴⁰ Veure expressió 6.3 dins el subapartat 6.2 COST HORARI PELS USUARIS (Z_{us}).

⁴¹ Mantenint fixes les tarifes i la resta d'hipòtesis adoptades a l'estudi i exposades en aquest document.

Aquest gràfic mostra que, per usuaris amb un VdT baix⁴³, el hailing és el sistema d'assignació idoni pels usuaris sempre que λ_{sf} no assoleixi valors molt elevats⁴⁴. Això és així perquè, com que valoren molt poc l'estalvi de temps que suposa l'assignació per radioemissora, aquest no compensa el sobrepreu que han de pagar per aquest servei.

Si aquests valors tant elevats de λ_{sf} se superen, però, és tant el temps estalviat amb el sistema d'assignació per radioemissora, que arriba a compensar el sobrepreu pagat, tot i ser el temps relativament poc valuós per aquests usuaris. A partir d'aquestes densitats, el sistema de dispatching és el més adequat per ells.

Per usuaris que valoren més el temps⁴⁵, quan se supera una certa densitat de serveis finalitzats (λ_{sf})⁴⁶, el sistema de smart stand passa a ser el sistema d'assignació més adequat per ells en detriment del hailing. A partir d'aquesta densitat, els avantatges del smart stand⁴⁷ compensen el temps d'accés fins la parada i l'eventual sobrepreu pagat si, en arribar-hi, no hi ha taxis lliures i han de sol·licitar-ne un mitjançant el servei de radioemissora.

Per aquests mateixos usuaris, si λ_{sf} segueix pujant, arriba un punt en què l'estalvi de temps d'espera associat a la possibilitat de trobar un taxi lliure a la parada no es veu compensat pel temps d'accés fins la mateixa. Superada aquesta λ_{sf} ⁴⁸, el sistema d'assignació idoni per aquests usuaris passa a ser el de dispatching.

Per usuaris amb un VdT encara més elevat⁴⁹, el temps d'accés mai es veu compensat pel possible estalvi associat a trobar un taxi lliure esperant a la parada en arribar-hi. Per aquests usuaris, superada una certa λ_{sf} no gaire elevada⁵⁰, el sistema d'assignació més adient des del seu punt de vista passa de ser el hailing a ser el dispatching. Això és així perquè, com que valoren molt el seu temps, un petit estalvi de temps d'espera associat a l'assignació per radioemissora compensa el sobrepreu pagat.

Per usuaris que valoren encara més el seu temps⁵¹, el dispatching és el sistema d'assignació idoni des del punt de vista de l'usuari sigui quina sigui la densitat de serveis finalitzats. Això és així perquè valoren tant el seu temps que qualsevol estalvi de temps, per petit que sigui, compensa el sobrepreu.

⁴² Tenint en compte les hipòtesis adoptades a les simulacions: ciutat de 55 km² i 4.000 taxis operant.

⁴³ Amb les hipòtesis adoptades en aquest estudi, usuaris amb $VdT < 19,5$ €/h.

⁴⁴ Amb les hipòtesis adoptades, per $VdT = 19,5$ €/h, la frontera se situa en $\lambda_{sf} = 261$ serveis finalitzats/ km²·h. Per $VdT = 1$ €/h, aquesta frontera s'eleva fins $\lambda_{sf} = 1.266$ serveis finalitzats/ km²·h.

⁴⁵ VdT situat entre 19,5 i 69 €/h, amb les hipòtesis adoptades en aquest estudi.

⁴⁶ Amb les hipòtesis adoptades, per $VdT = 40$ €/h, per exemple, la frontera se situa en $\lambda_{sf} = 74$ serveis finalitzats/ km²·h.

⁴⁷ És a dir, l'estalvi de temps d'espera associat, d'una banda, a la possibilitat de trobar un taxi lliure a la parada i, de l'altra, a l'assignació per radioemissora.

⁴⁸ Amb les hipòtesis adoptades, per $VdT = 40$ €/h, per exemple, la frontera se situa en $\lambda_{sf} = 180$ serveis finalitzats/ km²·h.

⁴⁹ VdT situat entre 69 i 81 €/h, amb les hipòtesis adoptades en aquest estudi.

⁵⁰ Amb les hipòtesis adoptades, aquesta va entre en $\lambda_{sf} = 43$ serveis finalitzats/ km²·h, per $VdT = 69$ €/h, i $\lambda_{sf} = 3$ serveis finalitzats/ km²·h, per $VdT = 81$ €/h.

⁵¹ $VdT > 81$ €/h, amb les hipòtesis adoptades en aquest estudi.

7.5 RENDIBILITAT DEL SERVEI DEL TAXI

Es considera que el servei del taxi és rendible quan els ingressos obtinguts pels taxistes (τ)⁵² superen les despeses en què han incorregut. Segons el criteri d'aquest estudi, les despeses inclouen el cost propi del transport ($z_{trans} + \tau$)⁵³, però també el cost del servei de radioemissora (z_{TIC})⁵⁴, i el d'infraestructura (z_{TIC})⁵⁵, si els hi ha.

És cert que, mentre les despeses de radioemissora són normalment assumides pels taxistes, no passa el mateix amb el cost associat a la infraestructura de les parades, que sovint és assumit per l'administració pública. Tanmateix, en aquest estudi s'ha considerat que ambdós costos han d'estar inclosos a les despeses a l'hora de calcular la rendibilitat per tal que els diferents sistemes d'assignació siguin comparables.

El següent gràfic mostra l'ingrés i les despeses per servei finalitzat en funció de la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}) per cadascun dels sistemes d'assignació. Es considera que un servei del taxi és rendible, amb les hipòtesis assumides en aquest estudi, per λ_{sf} superiors al llindar de rendibilitat⁵⁶.

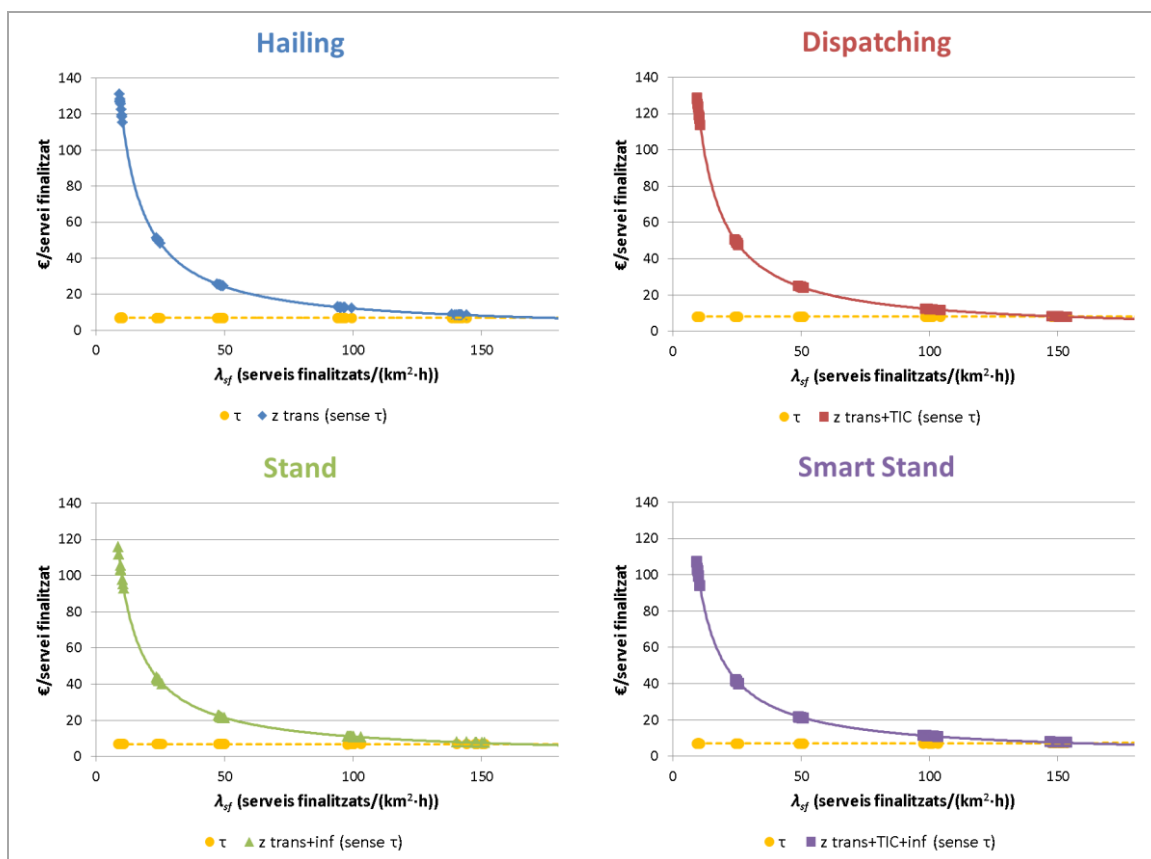


Fig. 7.6 Ingrés (τ) i despeses del transport per servei finalitzat en funció de la densitat de serveis finalitzats (λ_{sf}).

⁵² Veure subapartat 5.11 INGRÉS OBTINGUT PELS TAXIS PELS SERVEIS FINALITZATS.

⁵³ Veure subapartat 6.3 COST HORARI DEL TRANSPORT.

⁵⁴ Veure subapartat 6.4 COST HORARI DE RADIOEMISSORA.

⁵⁵ Veure subapartat 6.3 COST HORARI D'INFRAESTRUCTURA.

⁵⁶ Es defineix **llindar de rendibilitat** com aquella λ_{sf} per la qual ingrés i despeses coincideixen, és a dir, les línies d'ingrés i despeses es creuen.

El següent gràfic mostra el llindar de rendibilitat per cadascun dels sistemes d'assignació, amb les hipòtesis assumides en aquest estudi. Per cada sistema d'assignació se separa la contribució corresponent al propi transport (*trans*), al servei de radioemissora (*TIC*) i a la infraestructura de les parades (*inf*).

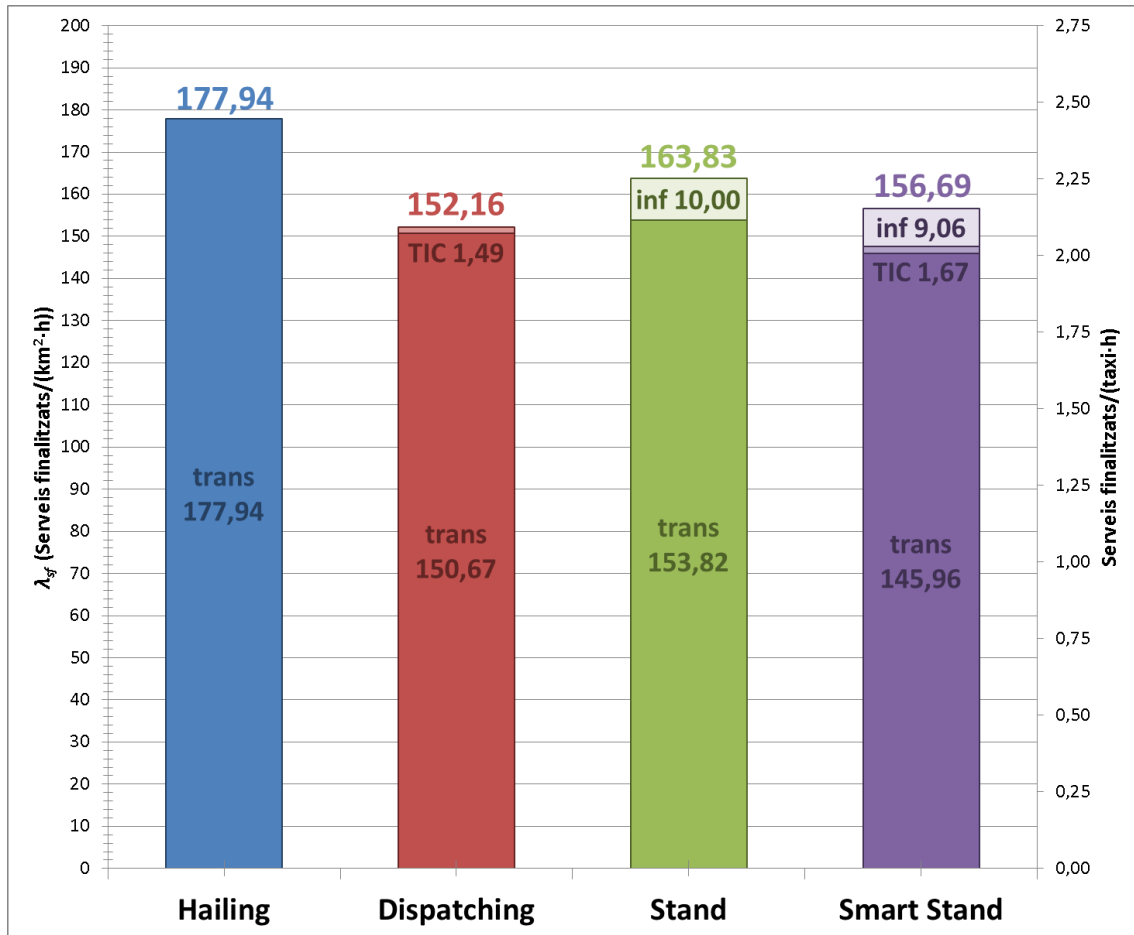


Fig. 7.7 Llindar de rendibilitat per cadascun dels sistemes d'assignació i contribució de transport (*trans*), radioemissora (*TIC*) i infraestructura (*inf*).

✓ Rendibilitat del hailing

Amb les hipòtesis adoptades en aquest estudi, un servei del taxi amb el sistema d'assignació de hailing únicament és rendible per λ_{sf} superiors als 177,94 serveis finalitzats/(km²·h). Això correspon a 2,45 serveis finalitzats/(taxi·h)⁵⁷.

El hailing, per tant, és el sistema d'assignació amb un llindar de rendibilitat més elevat, és a dir, necessita majors densitats que la resta de sistemes per tenir beneficis.

⁵⁷ Tenint en compte les hipòtesis adoptades a les simulacions: ciutat de 55 km² i 4.000 taxis operant.

✓ **Rendibilitat del dispatching**

El sistema d'assignació del dispatching és rendible per λ_{sf} superiors als 152,16 serveis finalitzats/(km²·h). Això correspon a 2,09 serveis finalitzats/(taxi·h).

Aquest és, doncs, el sistema d'assignació més rendible si es tenen en compte totes les despeses exposades. És a dir, necessita densitats menors a les de la resta de sistemes d'assignació per tenir beneficis.

Si només es tingués en compte el cost del transport (i no el de radioemissora), el llindar baixaria encara fins $\lambda_{sf} = 150,67$ serveis finalitzats/(km²·h) o, és a dir, 2,07 serveis finalitzats/(taxi·h).

✓ **Rendibilitat del stand**

El sistema d'assignació stand té beneficis per λ_{sf} superiors a 163,83 serveis finalitzats/(km²·h). Això correspon a 2,25 serveis finalitzats/(taxi·h). Si no es té en compte el cost d'infraestructura, el llindar de rendibilitat d'aquest sistema d'assignació baixa fins $\lambda_{sf} = 153,83$ serveis finalitzats/(km²·h) o, el que és el mateix, 2,12 serveis finalitzats/(taxi·h).

Així, aquest sistema d'assignació és el segon amb un llindar de rendibilitat més elevat després del hailing, tant si es considera el cost d'infraestructura com si no es fa.

✓ **Rendibilitat del smart stand**

Si es tenen en compte totes les despeses, aquest sistema d'assignació dona beneficis per λ_{sf} superiors als 156,69 serveis finalitzats/(km²·h). Això correspon a 2,15 serveis finalitzats/(taxi·h). Per tant, tenint en compte totes les despeses, el smart stand és el segon sistema d'assignació amb un llindar de rendibilitat més baix, només després del dispatching.

Tanmateix, si no es tenen en compte el cost d'infraestructura, el sistema smart stand dona beneficis per λ_{sf} superiors a 147,63 serveis finalitzats/(km²·h) o, el que és el mateix, 2,03 serveis finalitzats/(taxi·h). Així, si només es tenen en compte les despeses del transport i la radioemissora, aquest és el sistema d'assignació amb un llindar de rendibilitat més baix, per sota del del dispatching.

Si només es tingués en compte el cost del transport, el llindar baixaria encara més fins $\lambda_{sf} = 145,96$ serveis finalitzats/(km²·h) o, és a dir, 2,01 serveis finalitzats/(taxi·h).

8 CONCLUSIONS

En aquesta tesina, han estat comparats quatre sistemes possibles d'assignació del servei del taxi: hailing (intercepció de vehicle en pista), dispatching (assignació per radioemissora), stand (parada convencional) i smart stand (parada amb radioemissora).

Per fer-ho, s'ha desenvolupat un model que permet simular el funcionament del sector del taxi a una ciutat durant un període de temps determinat. Aquest model, creat específicament per a la realització de la present tesina, ha estat escrit en llenguatge de programació M i executat amb l'eina de software matemàtic MATLAB.

Les conclusions extretes en aquesta tesina poden ser aplicades a ciutats amb característiques diferents a les simulades, sempre tenint en compte les hipòtesis assumides. A més, s'ha decidit adjuntar el codi del model als annexos d'aquest document de manera que, canviant els valors fixats per als diversos paràmetres del model, es poden executar simulacions completament diferents a les realitzades en aquest estudi.

Per tant, les conclusions presentades en aquest document seran d'utilitat per als gestors del sector del taxi, així com per als responsables del disseny i l'aplicació de les polítiques relacionades amb aquest sector. Tots ells trobaran en aquesta tesina una eina interessant a l'hora de fixar l'estratègia òptima d'explotació del servei del taxi.

8.1 PRINCIPALS RESULTATS OBTINGUTS

✓ Sistema d'assignació idoni des d'un punt de vista global

Des d'un punt de vista global, el **stand** és el sistema d'assignació més adequat per **baixa densitat** de demanda, pel gran estalvi de quilometratge dels taxis lliures que romanen aturats a les parades. Amb les hipòtesis adoptades, aquest és el millor sistema per a densitats de serveis finalitzats inferiors a $\lambda_{sf} = 12,0$ serveis finalitzats/(km²·h) o, el que és el mateix, 0,165 serveis finalitzats/(taxi·h).

Quan la demanda puja, el **smart stand** esdevé el sistema idoni per assignar taxis, en afegir la possibilitat de sol·licitar un taxi per radioemissora si no n'hi ha cap de lliure a la parada, estalviant temps d'espera als usuaris. Aquest sistema d'assignació és, doncs, el més adient per **densitats intermèdies**. Amb les hipòtesis assumides, això vol dir densitats de serveis finalitzats situades entre $\lambda_{sf} = 12,0$ serveis finalitzats/(km²·h) i $\lambda_{sf} = 181,9$ serveis finalitzats/(km²·h) o, el que és el mateix, 2,501 serveis finalitzats/(taxi·h).

Quan la **densitat és molt elevada**, el **dispatching** passa a ser el més adequat. En aquestes circumstàncies, la major part dels taxis estan ocupats gairebé tot el temps. Per tant, l'estalvi de quilometratge que comportaria que els pocs taxis lliures romanguessin aturats en parades, i la baixa probabilitat que els usuaris tindrien de trobar un taxi lliure en arribar-hi, no compensarien els costos associats a la infraestructura i al temps d'accés. Amb les hipòtesis d'aquest estudi, això passa per densitats de serveis finalitzats superiors a $\lambda_{sf} = 181,9$ serveis finalitzats/(km²·h) o, el que és el mateix, 2,501 serveis finalitzats/(taxi·h).

✓ Sensibilitat al preu del gasoil i al valor del temps dels usuaris

Duna banda, pel que fa a la frontera d'idoneïtat entre els sistemes de stand i smart stand, aquesta es desplaça lleugerament cap a densitats més baixes conforme puja el preu del gasoil. Així, si aquest combustible fos gratuït, se situaria en dels $\lambda_{sf} = 14,4$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 0,199 serveis finalitzats/(taxi·h)); mentre que baixaria fins $\lambda_{sf} = 9,1$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 0,125 serveis finalitzats/(taxi·h)) si el seu preu pugés fins els 3,00 €/l.

Aquesta frontera d'idoneïtat entre stand i smart stand pràcticament no es desplaça, en canvi, quan varia el valor del temps dels usuaris (VdT). Així, passa de $\lambda_{sf} = 10,8$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 0,149 serveis finalitzats/(taxi·h)) per $VdT = 5,00$ €/h a $\lambda_{sf} = 11,2$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 0,148 serveis finalitzats/(taxi·h)) per $VdT = 40,00$ €/h.

D'altra banda, la frontera d'idoneïtat entre els sistemes de smart stand i dispatching es veu significativament desplaçada cap a densitats més elevades a mesura que puja el preu del gasoil, ja que el cost de mantenir els taxis lliures en contínua circulació també puja considerablement. Així, si el gasoil no tingués cap cost, la frontera se situaria en $\lambda_{sf} = 34,7$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 0,476 serveis finalitzats/(taxi·h)); mentre que pujaria fins $\lambda_{sf} = 288,1$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 3,96 serveis finalitzats/(taxi·h)) si el preu d'aquest combustible pugés fins els 3,00 €/l.

Per contra, aquesta frontera entre smart stand i dispatching es mou cap a densitats més baixes segons puja VdT , donat que el temps d'accés a la parada es veu cada cop més penalitzat. Com a exemple, per $VdT = 5,00$ €/h, aquesta frontera se situa al voltant de $\lambda_{sf} = 393,3$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 5,41 serveis finalitzats/(taxi·h)); mentre que baixa fins $\lambda_{sf} = 120,1$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 1,65 serveis finalitzats/(taxi·h)) si el valor del temps dels usuaris puja fins $VdT = 40,00$ €/h.

✓ Sistema d'assignació idoni des del punt de vista de l'usuari

Des del punt de vista de l'usuari, el **hailing** és el sistema d'assignació idoni quan la densitat de **demanda és baixa** i/o els usuaris **valoren poc el seu temps**. Quan això passa, el sobrepreu pagat per un servei d'assignació per radioemissora no es veuria compensat per l'eventual reducció del temps d'espera que aquest comportaria.

Així, per exemple, per usuaris amb $VdT = 1$ €/h, aquest és el sistema més adequat sempre que la densitat de serveis finalitzats no superi $\lambda_{sf} = 1.266$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 17,4 serveis finalitzats/(taxi·h)). També ho seria per usuaris amb $VdT = 19,5$ €/h sempre que no se superés $\lambda_{sf} = 261$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 3,59 serveis finalitzats/(taxi·h)).

Per densitats de **demanda intermèdies** i/o usuaris amb un **VdT intermedi**, el sistema d'assignació més adient és el de **smart stand**, per la possibilitat dels usuaris de trobar un taxi lliure aturat a la parada en arribar-hi o sol·licitar-ne un per radioemissora si no en troben.

Com a exemple, aquest seria el sistema idoni per usuaris amb $VdT = 30$ €/h sempre que la densitat de serveis finalitzats se situés entre $\lambda_{sf} = 111,7$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 1,53 serveis finalitzats/(taxi·h)) i $\lambda_{sf} = 216,5$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 2,98 serveis finalitzats/(taxi·h)).

Per **altes densitats** de demanda i/o usuaris amb un **VdT molt elevat**, el sistema d'assignació més adequat és el **dispatching**. En aquestes circumstàncies, d'una banda, el temps d'espera estalviat compensa el sobrepreu pagat pel servei de radioemissora. De l'altra, l'eventual estalvi en temps d'espera, associat a la baixa probabilitat de trobar un taxi lliure en arribar a una parada, no compensaria el temps d'accés fins la mateixa.

Així, per usuaris amb $VdT > 81$ €/h, aquest seria el sistema d'assignació idoni independentment de la densitat de serveis finalitzats. També seria el més adient, per exemple, per usuaris amb $VdT = 10$ €/h sempre que la densitat superés els $\lambda_{sf} = 412,4$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 5,67 serveis finalitzats/(taxi·h)); o per usuaris amb $VdT = 40$ €/h i densitats superiors als $\lambda_{sf} = 179,5$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 2,47 serveis finalitzats/(taxi·h)).

✓ Rendibilitat del servei del taxi

Es considera que el servei del taxi és rendible quan els ingressos obtinguts pels taxistes superen les despeses en què han incorregut. Es defineix lllindar de rendibilitat com aquella densitat per la qual ingressos i despeses coincideixen.

Tant si es tenen en compte únicament les despeses relacionades directament amb el **transport** com si s'hi inclouen també les de **radioemissora**, el **smart stand** és el sistema d'assignació que supera el lllindar de rendibilitat per una densitat de demanda més baixa ($\lambda_{sf} = 147,63$ serveis finalitzats/(km²·h), ó 2,03 serveis finalitzats/(taxi·h)).

Si, a més, s'hi inclou el cost d'**infraestructura** associat a les parades, aquest sistema d'assignació es veu superat pel **dispatchig**, que assoleix el lllindar de rendibilitat per una demanda més baixa que la resta de sistemes d'assignació. En aquest cas, el smart stand és rendible a partir de $\lambda_{sf} = 156,69$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 2,15 serveis finalitzats/(taxi·h)), mentre que el dispatching ho és a partir de $\lambda_{sf} = 152,16$ serveis finalitzats/(km²·h) (ó 2,09 serveis finalitzats/(taxi·h)).

8.2 **LÍNIES DE RECERCA FUTURA**

Tot i haver estat creat expressament per a la realització d'aquesta tesina, el model desenvolupat és una eina amb potencialitat. Les seves possibilitats, doncs, van més enllà de l'estudi concret que s'ha dut a terme.

Fixant valors diferents pels paràmetres definits en el model, i disposant d'un cert temps de computació i d'anàlisi de resultats, es podrien estudiar aspectes complementaris als analitzats en aquesta tesina, o bé arribant a conclusions complementàries, o bé comprovant i corregint les conclusions exposades per hipòtesis diferents a les adoptades. En aquest sentit, es proposen algunes línies de recerca futura:

✓ Densitat d'oferta

Pel que fa a l'oferta de taxis operant a la ciutat, aquesta és la mateixa a totes les simulacions dutes a terme per a la realització d'aquesta tesina. Aquesta circumstància fa que les conclusions extretes siguin aplicables directament a ciutats que, amb un nombre de taxis per quilòmetre quadrat semblant, pateixin variacions en la seva densitat de demanda, en el valor del temps dels usuaris o en el preu del combustible.

Tanmateix, aquestes conclusions no han estat comprovades per ciutats amb una densitat d'oferta diferent. Seria convenient, doncs, realitzar simulacions amb diferents densitats d'oferta per tal de comprovar aquestes conclusions i, si s'escau, determinar factors de correcció que permetin aplicar-les a ciutats amb diferents flotes de taxis.

✓ Velocitat comercial dels taxis

Pel que fa a la velocitat comercial dels taxis, aquesta és també la mateixa a totes les simulacions realitzades. Així, les conclusions d'aquesta tesina són aplicables a ciutats amb una congestió semblant. Però, la seva validesa no ha estat comprovada per a velocitats comercials diferents a la adoptada.

Aquest paràmetre influeix directament en les relacions entre distàncies i temps. Sembla evident, doncs, que s'haurà d'aplicar un factor de correcció als valors obtinguts si aquesta velocitat comercial canvia. Seria útil, per tant, realitzar simulacions amb diferents velocitats per tal de determinar aquests factors de correcció.

✓ **Rendibilitat del servei del taxi**

En aquesta tesina s'ha observat que la rendibilitat del servei del taxi és molt sensible a variacions en la densitat de demanda. Fóra bo realitzar simulacions amb ciutats de diferents dimensions i congestions, per tal d'estudiar la sensibilitat de la rendibilitat a la distància mitjana del servei, d'una banda, i al temps mitjà del servei, de l'altra. Fet això, es podria establir un mètode d'ajustament de tarifes, a partir d'aquests i altres paràmetres, per tal de garantir una certa rendibilitat al servei del taxi.

✓ **Models de ciutat**

Amb l'excepció de la densitat de demanda, que s'ha anat modificant, totes les simulacions dutes a terme en aquesta tesina s'han realitzat a una mateixa ciutat fictícia. És a dir, la resta de característiques de la ciutat s'han mantingut iguals a totes les simulacions. A més a més, tot i que s'han realitzat simulacions amb densitats de demanda diferents, aquestes densitats han seguit sempre una distribució uniforme a tota la ciutat, quan el model permet dividir l'espai en zones amb mides i densitats variades.

Evidentment, existeix una varietat enorme de ciutats amb característiques diferents al món. Tanmateix, seria interessant realitzar un estudi més o menys exhaustiu per tal d'agrupar-les en un nombre relativament reduït de tipus.

Fet això, es podrien establir les hipòtesis i simplificacions necessàries per tal d'introduir les seves característiques al model. D'aquesta manera, es podrien executar simulacions per a cadascuna d'aquestes ciutats tipus, i extreure així conclusions vàlides per a cadascun d'aquests grups de ciutats. Sense ànim de ser exhaustiu ni concret, una primera idea de classificació podria ser la següent:

- Ciutats poc extenses, amb poca densitat de demanda i valor del temps dels usuaris (*VdT*) elevat.
- Ciutats poc extenses, amb molta densitat de demanda i *VdT* elevat.
- Ciutats molt extenses, amb poca densitat de demanda i *VdT* elevat.
- Ciutats molt extenses, amb baix *VdT* i un centre amb molta densitat de demanda.
- Ciutats molt extenses, amb poca densitat de demanda i baix *VdT*.

9 GLOSSARI

Taula 9.1 Paràmetres i valors de les variables d'entrada del model a les simulacions realitzades.

Variable	Descripció	Unitats	Valor a les simulacions
Δxc	Distància horitzontal entre dos carrers verticals consecutius	km	0,10
Δyc	Distància vertical entre dos carrers horitzontals consecutius	km	0,10
Δxp	Distància horitzontal entre dues parades consecutives	km	0,20
Δyp	Distància vertical entre dues parades horitzontals consecutives	km	0,20
λ	Densitat generació de la demanda	usuaris/(km ² ·h)	(*)10, 25, 50, 100 ó 150
λ_{di}	Densitat de demanda amb destinació a la zona i	usuaris/(km ² ·h)	(*)10, 25, 50, 100 ó 150
λ_{oi}	Densitat de demanda amb origen a la zona i	usuaris/(km ² ·h)	(*)10, 25, 50, 100 ó 150
b	Longitud dels costats horitzontals de la ciutat	km	10,0
b_i	Longitud dels costats horitzontals de la zona i de demanda	km	10,0
C_{aTIC}	Cost anual de radioemissora per taxi	€/(any·taxi)	421
C_h	Despesa horària del transport	€/h	12,7796
C_{km}	Cost quilomètric del transport	€/km	0,1845
C_s	Cost pròpia parada	€/parada	8.000
C_{opor}	Cost d'oportunitat de la parada	€/(h·parada)	2,57
D_{treb}	Dies treballats pel taxista per any	dies/any	239
h	Longitud dels costats verticals de la ciutat	km	5,50
H_f	Tant per u d'hores de funcionament	-	0,2572
h_i	Longitud dels costats verticals de la zona i de demanda	km	5,5
i_h	Durada de cadascun dels subperíodes de presentació de resultats	h	1
i_p	Interval entre instants d'emparellament amb dispatching o smart stand	min	1
J_{lab}	Jornada laboral mitjana dels taxistes	h/dia	10,53
max_{tp}	Capacitat de les parades	places/parada	4,00
m_t	Nombre de taxis operant simultàniament a la ciutat	taxis	4.000
n_{di}	Nombre d'usuaris amb destinació a la zona i	usuaris	(*)6.050, 15.125, 30.250, 60.500 ó 90.750
n_e	Nombre de radioemissores	radioemissores	(*) 0 ó 1
n_h	Nombre de subperíodes de presentació de resultats	h	10

(*) En funció de la simulació.

Variable	Descripció	Unitats	Valor a les simulacions
n_{oi}	Nombre d'usuaris amb origen a la zona i	usuaris	(*)6.050, 15.125, 30.250, 60.500 ó 90.750
N_s	Nomre total de parades	parades	1.375
P_{am}	Període d'amortització de la parada	h	87.600
S	Superfície de la ciutat	km ²	55
t_{des}	Temps de desistiment que espera un usuari abans de desistir si no ha estat assignat	min	15
t_e	Durada del període de generació de demanda	h	11
T_h	Tarifa horària d'estacionament regulat	€/ (h·plaça)	2,50
$tp1_{dc}$	Tant per u de taxis afiliat a alguna radioemissora	-	(**)0 ó 1
$tp1_{tc}$	Tant per u d'usuaris que contacta a alguna radioemissora	-	(**)0 ó 1
t_{tr}	Durada del subperíode d'escalfament o warm up	h	1
v	Velocitat constant dels taxis	km/h	21,89
v_d	Velocitat constant dels usuaris (a peu)	km/h	4,00
VdT	Valor del temps dels usuaris	€/h	20,00

(*) En funció de la simulació.

(**) 0 a les simulacions sense radioemissora, 1 a les simulacions amb radioemissora.

Taula 9.2 Paràmetres resultants i altres variables del model.

Variable	Descripció	Unitats
λ_{sf}	Densitat de serveis finalitzats	serveis finalitzats/(km ² ·h)
τ	Ingrés obtingut per servei finalitzat	€/servei finalitzat
$dist_{as}$	Distància dels taxis assignats	km
$dist_{ll}$	Distància en lliure dels taxis	km
$dist_t$	Distància en servei	km
I	Ingrés obtingut pels taxis en un període determinat	€
N_{sa}	Nombre de serveis assignats	serveis
N_{sf}	Nombre de serveis finalitzats	serveis
N_{ud}	Nombre d'usuaris desistits	usuaris
t_{ac}	Temps d'accés dels usuaris	min
t_{as}	Temps que els taxis passen assignats	min
t_{ll}	Temps que els taxis passen lliures	min
t_{pt}	Temps en parada dels taxis	min
t_t	Temps que els taxis passen en servei	min
t_w	Temps d'espera dels usuaris	min
z	Cost global per servei finalitzat	€/servei finalitzat
Z	Cost horari total	€/h
z_{us}	Cost pels usuaris per servei finalitzat	€/servei finalitzat
Z_{us}	Cost horari pels usuaris	€/h
z_{trans}	Cost del transport per servei finalitzat	€/servei finalitzat
Z_{trans}	Cost horari del transport	€/h
z_{TIC}	Cost de radioemissora per servei finalitzat	€/servei finalitzat
Z_{TIC}	Cost horari de radioemissora	€/h
z_{inf}	Cost d'infraestructura per servei finalitzat	€/servei finalitzat
Z_{inf}	Cost horari d'infraestructura	€/h

10 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Arnott R., 1996. Taxi Travel should be subsidized. *Journal of Urban Economics* 40, 316-333.
- Bailey, W. A. i Clark, T. D., 1992. Taxi management and route control: a systems study and simulation experiment. In *Proceedings of the 24th conference on Winter simulation*, 1217-1222.
- Beesley M. E. i Glaister S., 1983. Information for regulating: the case of taxis. *Royal economic society, The economic journal*, Vol. 93, No. 371, 594-615.
- Beesley M. E., 1973. Regulation of taxis. *Royal economic society, The economic journal*, Vol. 83, No. 329 (Mar., 1973), 150 - 172.
- Chen B. i Cheng H. H., 2010. A Review of the Applications of Agent Technology in Traffic and Transportation Systems. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, Vol. II, No. 2.
- Chen Y. M. i Wang B. Y., 2009. Towards Participatory Design of Multi-agent Approach to Transport Demands. *DCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 4, No 1.
- Cheng S. F. i Nguyen T. D., 2012, Taxisim: A Multiagent Simulation Platform for Evaluating Taxi Fleet Operations. *AAMAS Workshops, LNAI 7068*, 359-360.
- Daganzo C. F., 1978. An approximate analytic model of many-to-many demand responsive transportation systems. *Transport Research*, Vol. 12, 325-333.
- De Vany A., 1975. Capacity Utilization under Alternative Regulatory Restraints: An Analysis of Taxi Markets. *Chicago Journals, The journal of Political Economy*, Vol. 83, No. 1, 83-94.
- Douglas G., 1972. Price Regulation and optimal service standards. *The taxicab Industry*.
- Foerster J. F. i Gilbert G., 1979. Taxicab deregulation: economic consequences and regulatory choices. *Elsevier, Transportation* 8, 371-378.
- Hyunmyung Kim, Jun-Seok Oh i R. Jayakrishnan, 2005. Effect of Taxi Information System on Efficiency and Quality of Taxi Services. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1903, 96-104.
- Kikuchi S., Rhee J. i Teodorovic D., 2002, Applicability of an agent-based modeling concept to modeling of transportation phenomena. *Yugoslav Journal of Operations Research* 12, No. 2, 141-156.
- Kim H., Yang I. i Choi K., 2011, An Agent-based Simulation Model for Analyzing the Impact of Asymmetric Passenger Demand on Taxi Service. *KSCE Journal of Civil Engineering* 15, 187-195.
- Kim, H., Oh. J. D., i Jayakrishnan, R., 2005. Effect of taxi information system on efficiency and quality of taxi services. *Transportation Research Record*, 1903, 96-104.
- Lioris J. E., Cohen G., i La Fortelle A., 2010. Evaluation of Collectivite Taxi Systems by Discrete-Event Simulation. In *proceedings of the ITE Western District, San Francisco*.
- Manski C. F. i Wright J. D., 1976. Nature of equilibrium in the market for taxi services. *Transportation Research Record* 619, 296-306.
- Observatori del taxi, 2010. Document anual 2010.
- Observatori del taxi, 2012. Document anual 2012.
- Salanova J. M., 2013. Modelling of taxi cab fleets in urban environment. *Tesi doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya*.

- Schroeter J. R., 1983. A model of taxi service under fare structure and fleet size regulation. The Rand Company, The Bell Journal of Economics, Vol. 14, No. 1, 81-96.
- Shi W., 2010, Dynamic simulation and quantitative analysis of urban taxi services. Tesina de màster, University of Hong Kong.
- Song, Z. Q., 2006. A Simulation Based Dynamic Taxi Model. Tesina de màster, University of Hong Kong.
- Song, Z. Q. i Tong, C. O., 2006. A simulation based dynamic model of taxi service. In Proceedings of DTA2006: First International Symposium on Dynamic Traffic Assignment.
- Teodorovic D., 2003. Transport modeling by multi-agent systems: a swarm intelligence approach. Transportation planning and Technology, Vol. 26 No. 4, 289-312.
- Wong K. I., Wong S. C. i Yang H., 2001. Modeling urban taxi services in congested road networks with elastic demand. Transport Research B, Vol. 35, 819-842.
- Wong K. I., Wong S. C., Wu J.H., Yang H. i Lam W.H.K., 2004. A combined distribution, hierarchical mode choice, and assignment network model with multiple user and mode classes. Urban and regional transportation modeling.
- Yang H. Lau Y. W. i Wong S. C., 1997. A simultaneous Equation system of customer demand, taxi utilization and level of services. Working paper, Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology.
- Yang H. i Wong S. C., 1998. A network model of urban taxi services. Transport Research B, Vol. 32, No. 4, 235-246.
- Yang h., Ye M., Tang W. H. I Wong S. C., 2005. Regulating taxi services in the presence of congestion externality. Transport Research A, Vol. 39, 17-40.
- Yang H., Fung C. S., Wong K. I. i Wong S. C., 2010b. Nonlinear pricing of taxi services. Transport Research A, Vol. 44, 337-348.

ANNEX I. CODI MATLAB

A continuació es recull el codi desenvolupat específicament per a la realització de les simulacions dutes a terme en aquest estudi. Aquest codi ha estat escrit en el llenguatge de programació M i executat amb l'eina de software matemàtic MATLAB, eina desenvolupada per MathWorks.

A 1.01 x0 inici

```

close all
clear all
clc

difer00=[]; difer01=[]; difer12=[]; difer20=[]; difers=[]; diferp=[];

%VARIABLES ECONÒMIQUES (estan a la funció "resultats i a x2_preu_carrera,
s'ha de veure si s'ha de simplificar)

%VARIABLES

ts=0; %temps (hrs) perdut en entrar i sortir del taxi (de moment el
considerem zero i el programa no admet un altre)
v=21.89; %velocitat mitjana taxis (km/h)
vd=4; %velocitat mitjana persones caminant (km/h)
v_ne=[1]; %vector nombre d'emissores (de major nombre a menor)
nēm=v_ne(1); %nombre màxim d'emissores
mt=4000; %nombre total de taxis en servei
tdes=15; %temps (min) que espera un usuari abans de desistir si no ha estat
assignat

%suposem ciutat dividida en 9 ZONES 1.1 1.2 1.3
% 2.1 2.2 2.3
% 3.1 3.2 3.3
%el programa admet posar el nombre de files i columnes que es vulgui
%(És a dir, no tenen perquè ser 9)

b=[10]; %amplada zones ciutat (km) (i.1 i.2 i.3) per tota i=1,2,3
h=[5.5]; %alçada zones ciutat (km) (1.j 2.j 3.j) per tota j=1,2,3

%Densitats d'origen i destinació de cada zona
%si després posem una OD diferent de zero, es tindrà en compte OD
%(i no les lambdes)

%CENTRALETA/NO CENTRALETA
tpl_tc=0; %tant per 1 de taxis afiliats a algun call center
tpl_dc=0; %tant per 1 d'usuaris que truca a algun call center

%DENSITATS
v_lambda_o=[150]; %densitat origen de demanda (pax/km2*h)
v_lambda_d=v_lambda_o; %densitat destinació demanda
(pax/(km2*h))

%hem suposat les dues lambdes iguals,
%però el programa admet que siguin
diferents

%PUNTS SINGULARS (són com parades, però amb una demanda major)

PS=[];%[5 5; 7.5 7.5]; %situació punts singulars d'origen/destinació
(x1 y1; x2 y2)

%per exemple, estació central i aeroport
%el programa permet afegir-ne més
%passatgers origen cada hora en els punts
ndh_o_PS=[];%[10, 5];
singulars (pax/h)
ndh_d_PS=ndh_o_PS; %passatgers destinació cada hora en els
punts singulars (pax/h)
nt_max_PS=[];%[5 3]; %nombre màxim de taxis que poden estar
esperant a cada PS

%CARRERS
xc=0:0.1:sum(b); %posició x carrers ciutat (km)
yc=0:0.1:sum(h); %posició y carrers ciutat (km)

```

```

%PARADES (en aquesta versió han de trobar-se en cruïlles)
parades=1;      %0:no hi ha parades
                %1:hi ha parades (només es pot agafar un taxi a les
parades)
                %2:hi ha parades amb opció de trucada (si no hi ha taxi, en
                crida un de la parada més propera on n'hi hagi)

xp=xc(1:2:length(xc));%posició x parades (km)
yp=yc(1:2:length(yc));%posició y parades (km)

max_tp=4;      %nombre màxim de taxis per parada
TP=[];         %recull els taxis a cada parada
                %1:instant d'arribada,2:xp,3:yp,4:id_taxi
DP=[];         %recull els usuaris a cada parada
                %1:instant d'arribada,2:xp,3:yp,4:id_usuari

%VARIABLES DE SIMULACIÓ

disp('Quant (min) vol que duri el període de warm up?')
disp(' ')
ttr=input(' ')
disp('Quant (min) vol que durin els períodes de presentació de
resultats?')
disp(' ')
ih=input(' ')
disp('Quants períodes de presentació de resultats vol que se simulin?')
disp(' ')
nh=input(' ')

ttr=ttr/60;    %durada (hrs) del transitori inicial durant el qual no
s'enregistren resultats (no s'analitza)
tem=ih*nh/60; %durada (hrs) del període analitzat
te=ttr+tem;   %temps (hrs) total durant el qual es genera demanda
sh=(ttr*60):ih:(te*60); %instants de separació de períodes d'estudi

if parades==1; %model d'assignació mitjançant parades sense botó

    dis_max=0;
    sp=[]; %instants en què es realitzaran els emparellaments (en aquest cas
no se n'han de fer)

elseif parades==2 || parades==0; %model d'assignació mitjançant botó en
parades o centraleta

    dis_max=0;
    disp('Cada quant (min) vol que el sistema realitzi els emparellaments?')
    disp(' ')
    ip=input(' ')

    sp=0:ip:te*60; %instants en què es realitzaran els emparellaments

end

%MATRIU RESULTATS

R=[]; %matriu que emmagatzemarà els resultats de cada simulació

for lambda_o=v_lambda_o
    lambda_d=lambda_o

%F(VARIABLES)

bc=sum(b); %amplada total ciutat (km)
hc=sum(h); %alçada total ciutat (km)
S=(b'*h)'; %matriu àrea de cada zona (km2)
St=sum(S); %àrea total ciutat (km2)
nd_o=round(lambda_o.*S*te); %nombre d'usuaris durant temps d'estudi amb origen
a cada zona
nd_d=round(lambda_o.*S*te); %nombre d'usuaris durant temps d'estudi amb
destinació a cada zona
nd_z=sum(sum(nd_o)); %nombre total d'usuaris a totes les zones (sense
punts singulars)
nd_d_z=sum(sum(nd_d)); %ha de ser igual comptat per les dues bandes

```

```

nd_o_PS=round(ndh_o_PS*te); %nombre d'usuaris durant temps d'estudi amb origen
a cada punt singular
nd_d_PS=round(ndh_d_PS*te); %nombre d'usuaris durant temps d'estudi amb
destinació a cada punt singular
nd=sum(sum(nd_o))+sum(nd_o_PS); %nombre total d'usuaris
%nd=sum(sum(nd_d))+sum(nd_d_PS); %ha de ser igual comptat per les dues
bandes
lambda=nd/(St*te); %densitat mitjana demanda (pax/km2*h) (aprox per
aplicar Daganzo)
[l x0 y0] = x1_distancia_mitjana(b, h, nd_o, nd_d, PS, nd_o_PS, nd_d_PS, nd);
%distància mitjana de trajecte (km) suposant xarxa viària ortogonal!!!
[n_PS c]=size(PS); %nombre de PS

%GENERACIÓ PUNTS SINGULARS (com parades, però amb generació de demanda extra)
(de moment NO DISPONIBLE)

%PSi = genPS(PS, nt_max_PS);

%GENERACIÓ DEMANDA (uniformement distribuïda dins cadascuna de les zones)
Di = x1_gendemanda(nd, nd_o, nd_d, nd_o_PS, nd_d_PS, b, h, xc, yc, te, PS);

for ne=v_ne %bucle diferent nombre emissores (comencem pel nombre
màxim que necessitarà més taxis)
%assignarem aquest nombre de taxis a tots els
models per poder comparar

%flota mínima per emissora

%GENERACIÓ POSICIÓ INICIAL TAXIS
if ne==nem %només generem els taxis pel nombre màxim d'emissores (un cop)
m=round(mt*nd_o/nd); %nombre de taxis a cada zona (arrodonim en
cada zona)
m_PS=round(mt*nd_o_PS/nd); %nombre de taxis a cada punt singular
Ti = x1_gentaxis(mt, m, m_PS, b, h, PS, x0, y0, xc, yc, v, ts); %generació
taxis uniformement distribuïts
end

%MATRIU CARRERES
C=[]; %matriu que emmagatzemarà les carreres que s'inicien durant el període
d'estudi (no abans)
%1:id usuari; 2:id taxi
%USUARI: 3:temps accés; 4:temps espera;
%TAXI: 5:temps espera parada; 6:dist lliure; 7:dist assign.;
%COMUNS: 8:dist servei; 9:preu carrera
%10: tipus de carrera/assignació (1.Hailing 2.Dispatching
3.Stand 4.SmartStand); %11. instant d'assignació

%REPARTIMENT TAXIS I DEMANDA ENTRE DIFERENTS EMISORES
[D T] = x1_repartiment(ne, nd, mt, Di, Ti, tp1_tc, tp1_dc);

%RESTAURACIÓ DELS PUNTS SINGULARS
%PS=PSi;

%DESTINACIÓ PARADA
if parades~=0
[D T]=x1_objectiu_parada(D, T, vd, v, xp, yp, xc, yc); %envia els usuaris
que no truquen a call-center
end %i tots els taxis
cap a la parada més propera

```

```

%COMENÇA EL PROCÉS TEMPORAL

%VECTOR SUCCESSOS
%(tots els successos o esdeveniments es donaran en un instant contingut
als seus components) (min)
s=sort(unique(D(:,4))'); %afegim instants d'aparició usuaris (en
cas de parades, és l'instant en què arriben a la parada)
s=sort(unique([s sh sp (T(:,4)'))]); %afegim instants d'arribada de taxis
a semidestinació
is=1; %component del vector successos
t=s(is); %instant d'avaluació (minuts)
tant=0; %per el primer instant, l'instant emmagatzemat anterior es
tant=0
Tno0=T(T(:,3)>=1,:); %submatriu dels taxis que no estan lliures ni en
parada
[n_tno0 c]=size(Tno0); %nombre de taxis que no estan lliures ni en parada

while t<=te*60 || ncnf~=0 %comença a córrer el temps fins que acabi el temps
d'estudi i totes les carreres assignades durant el mateix

    t=s(is); %instant d'avaluació (minuts)

    if find(t==1:1:(te*60))
        lambda
        t
    end

    %EMMAGATZEMATGE RESULTATS DEL PERÍODE QUE FINALITZA

    if find(t==sh(2:length(sh))) %si en aquest t comença un nou període
        [R]=x1_resultats(R, C, D, T, lambda, ttr, tdes, ih, parades, t, v);
    end

    %TRUCADA/APARICIÓ NOUS USUARIS

    if parades==0 && t<te*60%si no hi ha parades i no ha acabat el temps
d'estudi
        D(D(:,4)==t,3)=1; %els usuaris que truquen a l'instant t passen a
estar esperant un taxi (1)
    end

    %DESAPARICIÓ USUARIS QUE DESISTEIXEN

    D((D(:,3)==1 | D(:,3)==1.5) & D(:,4)<(t-tdes),3)=5; %els usuaris que
porten un temps d'espera superior a tdes sense ser assignats desisteixen

    %MOVIMENT TAXIS %tots els taxis es desplacen distep cap a destinació

    [T]=x1_moviment_taxis_carrers(T, t, v); %mou els taxis pròpiament

    %ARRIBADA USUARIS A PARADA

    if parades~=0 && t<te*60 %si hi ha parades i no ha acabat el temps
d'estudi
        [D DP]=x1_usuari_parada(D, DP, t); %els usuaris que arriben a una
parada l'instant t
    end %passen a estar esperant en parada
    (1.5)

    %PAS PER PARADA %si un taxi passa per una parada (no plena) amb més
usuaris que taxis, hi para

    if parades~=0 && t<te*60 %si hi ha parades i no ha acabat el temps
d'estudi
        [T TP s diferp]=x1_pas_parada(s, T, TP, DP, t, v, diferp, xp, yp,
max_tp);
    end

```

```

%SEMIDESTINACIÓ SEGÜENT %quan un taxi arriba a una semidestinació, fa
còrrer a la següent semidestinació

[T s difers]=x1_semidest_següent(s, T, t, v, difers, parades, xp, yp);

%ALLIBERAMENT TAXIS %taxis que passen de servei (2) a lliures (0)

[C T D difer20]=x1_alliberament(C, T, D, t, v, difer20);

%NOVA DESTINACIÓ TAXIS LLIURES %assigna nova destinació als taxis lliures
que arriben a destinació

if t<te*60 %si no ha acabat el temps d'estudi
    [T TP PS s difer00]=x1_nova_dest_cp(s, T, TP, t, nd_o_PS, nd_o, nd,
PS, x0, y0, xc, yc, xp, yp, v, difer00, parades, max_tp);
end

%ASSIGNACIÓ TAXIS %taxis que passen de lliures (0) a assignats (1)

if t<te*60 %si no ha acabat el temps d'estudi
    if parades~=0 %si hi ha parades
        [s C T D TP DP]=x1_assignacio_parades(C, T, D, TP, DP, s, t, ttr,
te, v, xc, yc, parades); %assigna taxis en parades

    elseif parades==0 && tp1_dc>0 %si no hi ha parades i hi ha call-
center
        if find(t==sp) %si l'instant actual coincideix amb un
d'aquells en què toca assignar taxis
            [s C D T DP TP]=x1_assignacio_centraleta(s, C, D, T, DP, TP,
t, ttr, te, v, xc, yc, ne, parades); %assigna taxis per call-center
        end
    end
end

%RECOLLIDA USUARIS %taxis que passen d'assignats (1) a en servei (2)

[C T D s difer12]=x1_recollida(s, C, T, D, t, xc, yc, v, difer12,
parades);

%ASSIGNACIÓ TAXIS MITJANÇANT SISTEMA BOTÓ EN PARADA %cada cert temps
(ip) assigna taxis de parades sense usuaris a usuaris en parades sense taxis

if parades==2 && t<te*60 %si s'ha escollit el sistema de trucada en parada
i no ha acabat el temps d'estudi
    if find(t==sp) %si l'instant actual coincideix amb un d'aquells en
què toca assignar taxis
        [s C D T DP TP]=x1_assignacio_centraleta(s, C, D, T, DP, TP, t,
ttr, te, v, xc, yc, ne, parades); %assigna taxis mitjançant botó en parada
    end
end

%PREVISIÓ RECOLLIDA USUARIS PRÓXIM STEP %assigna els taxis que toparan
pel carrer amb un usuari durant el següent step

if parades==0 && tp1_dc<1 && t<te*60 %si no ha acabat el temps d'estudi i
només si no hi ha parades. si n'hi ha està prohibit recollir usuaris fora
d'aquestes (a més s'hauria d'implementar l'actualització de la posició real
dels usuaris en moviment)
    [C T D s]=x1_assignacio_no_centraleta(C, T, D, t, ttr, te, s, is, v,
xc, yc, parades);
end

```

```

%ACTUALITZACIÓ PARÀMETRES DE TEMPS
    tant=t;           %emmagatzama t com instant anterior per la seg,ent
iteració
    is=is+1;         %passa al seg,ent succés del vector s

    nc=size(C,1);    %nombre de carreres emmagatzemades
    if nc==0         %si no hi ha cap carrera emmagatzemada
        ncnf=0;      %no hi ha cap carrera no finalitzada
    else
        [ncnf c]=size(C(C(:,9)==0,:)); %nombre de carreres no finalitzades
    end

end                 %fi bucle temps

end                 %fi bucle diferent nombre emissores

xlswrite(sprintf('C%d',lambda, '.xls'), C)
xlswrite(sprintf('T%d',lambda, '.xls'), T)
xlswrite(sprintf('D%d',lambda, '.xls'), D)
end                 %fi bucle diferent lambda

xlswrite(sprintf('Resultats%d', lambda, '.xls'), R)

R

difer00=sort(difer00)
difer01=sort(difer01)
difer12=sort(difer12)
difer20=sort(difer20)
difers=sort(difers)
diferp=sort(diferp)

```

A 1.02 x1 alliberament

```

%clc; clear all; t=20; v=20; difer20=[]; tant=0.9; C=zeros(4,10);
C(:,1)=(2:5)'; C(:,2)=(2:5)'; D=[(1:5)' zeros(5,10)];
%T=[(1:5)' zeros(5,19)]; T(:,3)=[0 1 2 2 2]'; T(:,4)=20*[1 1 1 1 2]';
T(:,15)=[0 (2:5)]'; T(:,11)=-1*ones(1,5)';

%actualitza l'estat dels taxis que passen de servei (2) a lliures (0)
function [C T D difer20]=x1_alliberament(C, T, D, t, v, difer20)

%SERVEI --> LLIURE

Tt2=T(T(:,4)==t & T(:,3)==2 & T(:,11)==-1,:); %aïlla la submatriu de taxis
en servei que arriben a destinació a l'instant t

ntt2=size(Tt2,1); %nombre de taxis en servei que arriben a destinació a
l'instant t

if ntt2>0 %si hi ha algun taxi en servei que arriba a destinació
a l'instant t
    if round(10*Tt2(:,5))~=round(10*Tt2(:,9)) |
round(10*Tt2(:,6))~=round(10*Tt2(:,10)) %comprova que realment hagi arribat
        disp('x1 alliberament: les coordenades no coincideixen al cas
[Tt2(:,5) Tt2(:,6) Tt2(:,9) Tt2(:,10)]=')
        disp([Tt2(:,5) Tt2(:,6) Tt2(:,9) Tt2(:,10)])
        tsa=Tt2(:,23); %instant d'arribada a la semidestinació anterior
        difer20=[difer20 ((abs(Tt2(:,5))-Tt2(:,9))+abs(Tt2(:,6)-
Tt2(:,10)))/(t*ones(length(tsa))'-tsa)*v/60)']; %emmagatzema les
diferències/distància des de la semidestinació anterior
    end

    Tt2(:,5)=Tt2(:,9); %corregeix la x perquè coincideixi amb la de
destinació
    Tt2(:,6)=Tt2(:,10); %corregeix la y perquè coincideixi amb la de
destinació
    Tt2(:,7)=Tt2(:,8); %la dd antiga passa a ser la nova do

```

```

for it=1:ntt2      %per tots els taxis en servei que arriben a destinació en
l'instant t

    tt=Tt2(it,4);      %instant d'arribada
    tce=Tt2(it,16);   %instant canvi d'estat
    xt=Tt2(it,5);     %posició en x del taxi
    yt=Tt2(it,6);     %posició en y del taxi
    idt=Tt2(it,1);    %identificador del taxi
    idu=Tt2(it,15);   %identificador de l'usuari

    %COMPROVACIÓ
    if tt~=t
        disp('x1_alliberament: instants no coincideixen')
    end

    z=0;              %0:no parada;1:està a parada;2:es queda a la parada

    %EMMAGATZAMENT RESULTATS MATRIU CARRERES (C)

    nc=size(C,1);    %nombre de carreres emmagatzemades
    if nc~=0         %si hi ha alguna carrera emmagatzemada
        Ci=C(:,1)==idu,:;      %aïlla la carrera corresponent a
l'usuari transportat

        nci=size(Ci,1);      %nombre de carreres aïllades

        if nci~=0; %si existeix la carrera (fet que voldrà dir que ha
estat assignada a un cert ttr<t<te

            if C(:,2)~=idt;      %si l'identificador de taxi no
coincideix amb l'emmagatzemat
                disp('x1_alliberament: identificador de taxi no coincideix
amb emmagatzemat')
            end

            Ci(:,8)=v/60*(t-tce); %8:dist servei

            pc=x2_preu_carrera(Ci);
            Ci(:,9)=pc;          %9:preu carrera

            C(C(:,1)==idu,:)=Ci; %recomposa la matriu Carreres
        end
    end
end

%ACTUALITZACIÓ MATRIU USUARI

ius=(Tt2(:,15))'; %vector amb els identificadors d'usuari
D(ius,3)=4;      %l'usuari passa a estar en destinació

%ACTUALITZACIÓ MATRIU TAXI

Tt2(:,3)=0;      %el taxi passa a estar lliure
Tt2(:,15)=0;     %ja ha deixat el grup d'usuaris, per tant l'esborra
Tt2(:,16)=t;

end

%RECOMPOSICIÓ MATRIU

T(T(:,4)==t & T(:,3)==2 & T(:,11)==-1,:)=Tt2; %recomposa la matriu

```


A 1.03 x1 assignacio centraleta

```

%clc; clear all; map=2; s=0:0.1:1.5; t=6; ttr=1; te=2; v=20; xc=0:0.1:10;
yc=round(0:1:100)/10; ne=1; parades=1; C=[]; D=zeros(20,11); T=zeros(10,20);

%D(:,1)=(1:20)'; D(:,2)=[0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
D(2:2:20,3)=1;D(:,4)=(0.25:0.25:5)'; D(1:2:20,4)=D(1:2:20,4)+5;
D(:,5)=round(100*rand(1,20))/10; D(:,6)=10*rand(1,20);

%T(:,1)=(1:10)'; T(:,2)=[0 0 0 0 1 1 1 1 1 1]; T(1:2:10,3)=1;
T(2:2:10,16)=(1:5); T(:,5)=10*rand(1,10); T(:,6)=round(100*rand(1,10))/10;

%DP1=10*rand(10,3); DP2=1:10; DP=[DP1 DP2'];
TP1=10*rand(5,3); TP2=1:5; TP=[TP1 TP2'];

%cada cert temps (ip), assigna taxis i usuaris per centraleta

function [s C D T DP TP]=x1_assignacio_centraleta(s, C, D, T, DP, TP, t, ttr,
te, v, xc, yc, ne, parades)

if parades==2 %si hi ha sistema d'assignació per parades amb botó
    ne=1; %funciona com si tots els taxis fóssin d'una mateixa emissora
    (però només agafarà els que estiguin a la parada)
end

for ie=1:ne %bucle per les diferents emissores

    [nde nte Dle T0e]=x2_submatrius(ie, D, T, parades); %nombre d'usuaris
    esperant un taxi de l'emissora ie (files Dle); nombre de taxis lliures de
    l'emissora ie (files T0e); també aïlla Dle i T0e

    DE=[Dle(:,4) Dle(:,5) Dle(:,6) Dle(:,1)]; %matriu usuaris esperant taxi
    d'aquella emissora; 1:instant de trucada,2:x,3:y,4:id_usuari

    TE=[T0e(:,16) T0e(:,5) T0e(:,6) T0e(:,1)]; %matriu usuaris taxis lliures
    d'aquella emissora; 1:instant en què ha quedat lliure,2:x,3:y,4:id_taxi

    if nte>0 && nde>0 %si hi ha algun taxi lliure de l'emissora ie i algun
    usuari esperant d'aquella emissora

        DT=[]; %matriu dels emparellaments usuari-taxi
        %1.id usuari, 2.id taxi, 3.distància entre ambdós, 4.t en
        què ha quedat lliure el taxi

        DE=sortrows(DE,1); %endreça els usuaris per ordre de trucada

        if nde>nte %si hi ha més usuaris que taxis d'aquella emissora
            DE=DE(1:nte,:); %agafa els nte primers usuaris
            nde=nte; %ara hi ha el mateix nombre d'usuaris i de taxis
        end

        %EMPARELLAMENTS

        for i=1:nde %per a cada usuari esperant taxi d'aquella emissora

            DTi=[DE(1,4)*ones(nte,1) TE(:,4) (abs(DE(1,2)-
            TE(:,2))+abs(DE(1,3)-TE(:,3))) TE(:,1)]; %tots els possibles emparellaments
            d'aquell usuari amb tots els taxis de l'emissora no assignats amb la distància
            entre ambdós
            DTi=sortrows(DTi,[3 4]); %endreça els possibles emparellaments per
            distància (a igualtat de distància assigna el taxi més antic)
            id=DTi(1,1); %identificador usuari
            it=DTi(1,2); %identificador taxi més proper
            DT=[DT; DTi(1,:)]; %emmagatzema l'emparellament amb el taxi
            més proper
            DE=DE(DE(:,4)~=id,:); %esborra l'usuari de la matriu usuaris
            esperant taxi d'aquella emissora
            TE=TE(TE(:,4)~=it,:); %esborra el taxi de la matriu taxis
            lliures d'aquella emissora
            nte=size(TE,1); %ara hi haurà un taxi menys
        end

        ndt=size(DT,1);
    end
end

```

```

    if ndt>0
        %ACTUALITZACIÓ DP i TP %esborra de les matrius de parada els
        usuaris i taxis ja assignats
        if parades~=0 %si hi ha parades
            [DP TP]=x2_actual_parades(DP,TP,DT,ndt); %esborra els taxis
            assignats
        end
        %ASSIGNACIÓ TAXIS
        if parades==0
            boto=0; %no s'està assignant mitjançant botó en parada
        elseif parades==2
            boto=1; %sí s'està assignant mitjançant botó en parada
        end
        [C T D s]=x2_assignacio_parelles(C, T, D, s, t, ttr, te, v, DT,
        ndt, xc, yc, parades, boto);
    end
end %fi bucle diferents emissores

```

A 1.04 x1 assignacio no centraleta

```

%clc; clear all; t=61; ttr=1; te=2; s=[1,100]; is=1; v=20; xc=0:0.1:10;
yc=0:0.1:10; parades=0; C=[]; T=zeros(12,20); D=zeros(10,11);

%T(:,1)=(1:12)'; T(:,5)=[0.5:0.5:3 2*ones(1,6)]; T(:,6)=[ones(1,6) 1.5:0.5:4];
T(:,9:10)=T(:,5:6); T(1:3,9)=T(1:3,9)+5; T(4:6,9)=T(4:6,9)-5;
T(7:9,10)=T(7:9,10)+5; T(10:12,10)=T(10:12,10)-5;

%D(:,1)=(1:10)'; D(:,3)=1; D(:,5)=[5*rand(1,5) 2*ones(1,5)]; D(:,6)=[ones(1,5)
5*rand(1,5)]; D(:,7)=ones(10,1); D(6:10,7)=2*D(6:10,7); D(:,8)=ones(10,1);
D(:,9)=10*rand(10,1); D(:,10)=round(100*rand(10,1))/10;

%assignació usuaris-taxis que es trobaran pel carrer durant el pròxim step
function [C T D s]=x1_assignacio_no_centraleta(C, T, D, t, ttr, te, s, is, v,
xc, yc, parades)

diststepfut=v*(s(is+1)-t)/60; %distància prevista en el següent step (km)

ADT=[]; %matriu on s'emmagatzemaran els emparellaments usuari-taxi de
carrers horitzontals
BDT=[]; %matriu on s'emmagatzemaran els emparellaments usuari-taxi de
carrers verticals

%0. COMPROVACIÓ

D01C=D(D(:,3)==1 & D(:,2)==0 & D(:,7)==0,:); %aïlla la submatriu dels usuaris
que:
                    %estan esperant un taxi
                    %no han trucat a cap emissora
                    %no tenen preferència horitzontal o
vertical (no s'hauria de donar aquest cas)
if size(D01C)~=0
    disp('x1_assignacio_no_centraleta: hi ha usuaris sense preferència
direccional')
end

```

```

%A. USUARIS EN CARRERS HORITZONTALS

D01H=D(D(:,3)==1 & D(:,2)==0 & D(:,7)==1,:); %aïlla la submatriu dels usuaris
que:
                                %estan esperant un taxi (s'hauria de
canviar per apareguts abans del proper step (i no d'aquest))
                                %no han trucat a cap emissora
                                %es troben en un carrer horitzontal

DA=[D01H(:,1), D01H(:,5), D01H(:,6)]; %submatriu amb 1.identificador, 2.x0 i
3.y0 dels usuaris

nda=size(DA,1); %nombre d'usuaris esperant en carrers horitzontals

if nda>0 %si hi ha algun usuari esperant en carrer horitzontal

    %1. TAXIS MOVIMENT HORITZONTAL X+

    Ti1=T(T(:,3)==0 & T(:,10)==T(:,6) & T(:,9)>T(:,5),:); %aïlla la submatriu
dels taxis que:

    %estan lliures

    %s'han de moure horitzontalment el pròxim step

    %s'han de moure en sentit positiu en x

    TA=[Ti1(:,1), Ti1(:,5), Ti1(:,6), Ti1(:,5)+distepfut]; %submatriu amb
1.identificador, 2.x0, 3.y i 4.xfut dels taxis

    for i=1:nda %per cada usuari esperant en carrer horitzontal

        TA1=TA(TA(:,3)==DA(i,3) & TA(:,2)<DA(i,2) & TA(:,4)>=DA(i,2),:);
%taxis que passaran davant l'usuari el pròxim step

        nta1=size(TA1,1);

        if nta1>0

            ADT=[ADT; DA(i,1)*ones(нта1,1), TA1(:,1), abs(DA(i,2)-TA1(:,2))];
%matriu dels usuaris/taxis que està previst que es trobin
%1.id usuari, 2.id taxi, 3.distància entre ambdós
            end
        end

    %2. TAXIS MOVIMENT HORITZONTAL X-

    Ti2=T(T(:,3)==0 & T(:,10)==T(:,6) & T(:,9)<T(:,5),:); %aïlla la submatriu
dels taxis que:

    %estan lliures

    %s'han de moure horitzontalment el pròxim step

    %s'han de moure en sentit negatiu en x

    TA=[Ti2(:,1), Ti2(:,5), Ti2(:,6), Ti2(:,5)-distepfut]; %submatriu amb
1.identificador, 2.x0, 3.y i 4.xfut dels taxis

    for i=1:nda %per cada usuari esperant en carrer horitzontal

        TA2=TA(TA(:,3)==DA(i,3) & TA(:,2)>DA(i,2) & TA(:,4)<=DA(i,2),:);
%taxis que passaran davant l'usuari el pròxim step

        nta2=size(TA2,1);

        if nta2>0

            ADT=[ADT; DA(i,1)*ones(нта2,1), TA2(:,1), abs(DA(i,2)-TA2(:,2))];
%matriu dels usuaris-taxis que està previst que es trobin
%1.id usuari, 2.id taxi, 3.distància entre ambdós
            end
        end
    end
end

```

```

%B. USUARIS EN CARRERS VERTICALS

D01V=D(D(:,3)==1 & D(:,2)==0 & D(:,7)==2,:); %aïlla la submatriu dels usuaris
que:
    %estan esperant un taxi
    %no han trucat a cap emissora
    %es troben en un carrer vertical

DB=[D01V(:,1), D01V(:,5), D01V(:,6)]; %submatriu amb 1.identificador, 2.x0 i
3.y0 dels usuaris

ndb=size(DB,1); %nombre d'usuaris esperant en carrers verticals

if ndb>0
    %si hi ha algun usuari esperant en carrer vertical

    %3. TAXIS MOVIMENT VERTICAL Y+

    Ti3=T(T(:,3)==0 & T(:,9)==T(:,5) & T(:,10)>T(:,6),:); %aïlla la submatriu
dels taxis que:
    %estan lliures
    %s'han de moure verticalment el pròxim step
    %s'han de moure en sentit positiu en y

    TB=[Ti3(:,1), Ti3(:,5), Ti3(:,6), Ti3(:,6)+distepfut]; %submatriu amb
1.identificador, 2.x, 3.y0 i 4.yfut dels taxis

    for i=1:ndb %per cada usuari esperant en carrer vertical

        TB3=TB(TB(:,2)==DB(i,2) & TB(:,3)<DB(i,3) & TB(:,4)>=DB(i,3),:);
%taxis que passaran davant l'usuari el pròxim step

        ntb3=size(TB3,1);

        if ntb3>0

            BDT=[BDT; DB(i,1)*ones(ntb3,1), TB3(:,1), abs(DB(i,3)-TB3(:,3))];
%matriu dels usuaris/taxis que està previst que es trobin

            %1.id usuari, 2.id taxi, 3.distància entre ambdós

            end

        end

        %4. TAXIS MOVIMENT VERTICAL Y-

        Ti4=T(T(:,3)==0 & T(:,9)==T(:,5) & T(:,10)<T(:,6),:); %aïlla la submatriu
dels taxis que:

        %estan lliures

        %s'han de moure verticalment el pròxim step

        %s'han de moure en sentit negatiu en y

        TB=[Ti4(:,1), Ti4(:,5), Ti4(:,6), Ti4(:,6)-distepfut]; %submatriu amb
1.identificador, 2.x, 3.y0 i 4.yfut dels taxis

        for i=1:ndb %per cada usuari esperant en carrer vertical

            TB4=TB(TB(:,2)==DB(i,2) & TB(:,3)>DB(i,3) & TB(:,4)<=DB(i,3),:);
%taxis que passaran davant l'usuari el pròxim step

            ntb4=size(TB4,1);
            if ntb4>0

                BDT=[BDT; DB(i,1)*ones(ntb4,1), TB4(:,1), abs(DB(i,3)-TB4(:,3))];
%matriu dels usuaris-taxis que està previst que es trobin
            %1.id usuari, 2.id taxi, 3.distància entre ambdós

                end

            end

        end
end

```

```

%C. EMPARELLAMENTS
DT=[ADT;BDT]; %matriu amb totes les possibles trobades usuari-taxi
                %1.id usuari, 2.id taxi, 3.distància entre ambdós
ndt=size(DT,1);
if ndt>1

    DT=sortrows(DT,3); %endreça les trobades usuari-taxi , de manera que
                    %posa primer les que es donaran abans

    for i=1:ndt
        z=0;
        j=1;
        for j=1:(i-1)
            if DT(i,1)==DT(j,1) || DT(i,2)==DT(j,2);
                DT(i,:)=0;
            end
        end
    end
    DT=DT(DT(:,1)~=0,:); %emparellaments usuari-taxi
end

%D. ASSIGNACIÓ
if ndt>0

    DT=[DT t+60*DT(:,3)/v]; %afegeix columna 4. instant (en h) en què es
    %produirà la trobada fortuïta usuari-taxi

    DT=DT(DT(:,4)<=60*te,:); %emparellaments usuari-taxi de trobades
    %fortuïtes que es produiran dins el temps d'estudi
end

ndt=size(DT,1);

if ndt>0

    boto=0; %indica que no s'està assignant mitjançant botó en parada

    [C T D s]=x2_assignacio_parelles(C, T, D, s, t, ttr, te, v, DT, ndt, xc,
    yc, parades, botó);
end

```

A 1.05 x1 assignacio parades

```

%clc; clear all; s=[0:0.1:1.5]; t=1; ttr=1; te=2; v=20; xc=1:0.1:10;
yc=1:0.1:10; parades=1; C=[];
%TP1=10*rand(7,1); TP2=[1 2 2 3 3 3 5]; TP3=1:7; TP=[TP1 TP2' TP2' TP3']
%DP1=10*rand(7,1); DP2=[1 1 2 2 3 3 4]; DP3=1:7; DP=[DP1 DP2' DP2' DP3']

%emparella usuaris i taxis en les parades

function [s C T D TP DP]=x1_assignacio_parades(C, T, D, TP, DP, s, t, ttr, te,
v, xc, yc, parades)

ntp=size(TP,1); %nombre de taxis esperant en parades
ndp=size(DP,1); %nombre d'usuaris esperant en parades

if ntp>0 && ndp>0 %si hi ha algun taxi i algun usuari esperant en alguna
parada

    DT=[]; %matriu amb tots els emparellaments usuari-taxi
            %1.id usuari, 2.id taxi, 3.distància entre ambdós

    p=[2 3 1]; %vector per ordentat les matrius de parada (x parada, y parada,
ordre d'arribada)
    TP=sortrows(TP,p); %matriu taxis a parades ordenada segons p
    DP=sortrows(DP,1); %matriu usuaris a parades ordenada segons ordre
d'arribada

    for id=1:ndp %per a cada usuari

        TPi=TP(TP(:,2)==DP(id,2) & TP(:,3)==DP(id,3),:); %submatriu dels taxis
en aquella parada
        ntpi=size(TPi,1); %nombre de taxis en aquella parada

        if ntpi>0

            TPi=sortrows(TPi,1);
            DT=[DT;DP(id,4) TPi(1,4)]; %assigna el primer taxi a l'usuari

            DP(id,:)=0; %esborra de la matriu d'usuaris en parades
l'identificador de l'usuari que ja està assignat

            TP(TP(:,4)==TPi(1,4),:)=0; %esborra de la matriu de taxis en
parades l'identificador del taxi que ja està assignat
            TP=TP(TP(:,4)~=0,:); %esborra definitivament de la matriu de
taxis en parades el taxi assignat

        end
    end

    DP=DP(DP(:,4)~=0,:); %esborra definitivament de la matriu d'usuaris els
usuaris assignats durant el procés

%ASSIGNACIÓ

ndt=size(DT,1);

if ndt>0

    boto=0; %indica que no s'està assignant mitjançant botó en parada

    [C T D s]=x2_assignacio_parelles(C, T, D, s, t, ttr, te, v, DT, ndt,
xc, yc, parades, bot0);
end

end

```

A 1.06 x1 distància mitjana

```

%calcula l'esperança de la distància de trajecte mitjana de la ciutat
%suposem xarxa ortogonal de carrers

function [l x0 y0] = x1_distancia_mitjana(b, h, nd_o, nd_d, PS, nd_o_PS,
nd_d_PS, nd)

%vectors x i y acumulada fins zona

    x0=zeros(1,length(b)+1);
    y0=zeros(1,length(h)+1);

for i=2:(length(b)+1)
    x0(i)=x0(i-1)+b(i-1);
end
for i=2:(length(h)+1)
    y0(i)=y0(i-1)+h(i-1);
end

%vectors x i y centre de cada zona

    xc=zeros(1,length(b));
    yc=zeros(1,length(h));

for i=1:length(b)
    xc(i)=x0(i)+b(i)/2;
end
for i=1:length(h)
    yc(i)=y0(i)+h(i)/2;
end

Po=nd_o/nd; %Probabilitat d'origen a cada zona
Pd=nd_d/nd; %Probabilitat de destinació a cada zona
Po_PS=nd_o_PS/nd; %Probabilitat d'origen a cada punt singular
Pd_PS=nd_d_PS/nd; %Probabilitat de destinació a cada punt singular

l=0;

%origen i destinació a alguna de les zones

for io=1:length(h)
    for jo=1:length(b)
        for id=1:length(h)
            for jd=1:length(b)
                if io==id && jo==jd
                    l=l+Po(io,jo)*Pd(id,jo)*(b(jo)+h(io))/3;
                elseif io==id && jo~=jd
                    l=l+Po(io,jo)*Pd(id,jd)*((b(jo)+b(jd))/2+h(io))/3+abs(xc(jo)-xc(jd))-
                    (b(jo)+b(jd))/2);
                elseif jo==jd && io~=id
                    l=l+Po(io,jo)*Pd(id,jd)*((h(io)+h(id))/2+b(jo))/3+abs(yc(io)-yc(id))-
                    (h(io)+h(id))/2);
                else
                    l=l+Po(io,jo)*Pd(id,jd)*((h(io)+h(id)+b(jo)+b(jd))/2+abs(yc(io)-yc(id))-
                    (h(io)+h(id))/2+abs(xc(jo)-xc(jd))-b(jo)+b(jd))/2);
                end
            end
        end
    end
end

%origen PS - destinació alguna de les zones i viceversa

for k=1:length(nd_o_PS)
    for i=1:length(h)
        for j=1:length(b)

            l=l+(Po_PS(k)*Pd(i,j)+Pd_PS(k)*Po(i,j))*((h(i)+b(j))/2+abs(PS(k,2)-yc(i))-
            h(i)/2+abs(PS(k,1)-xc(j))-b(j))/2);
        end
    end
end

```

```

%origen i destinació algun dels PS
for k=1:length(nd_o_PS)
    for q=1:length(nd_d_PS)
        l=1+(Po_PS(k)*Pd_PS(q)+Pd_PS(k)*Po_PS(q))*(abs(PS(k,2)-
PS(q,2))+abs(PS(k,1)-PS(q,1)));
    end
end

%Eliminem possibilitat d'origen i destinació mateix PS
P_tontos=Po_PS*Pd_PS'; %Probabilitat origen i destinació el mateix punt
singular
d'eliminar %normalment és molt petita, però conceptualment l'hem
%donat que a gendemanda hem fet que aquesta situació
no es pugui donar, %hem d'excloure aquesta possibilitat i
readaptarP_tontos=Po_PS*Pd_PS'; %Probabilitat origen i destinació el mateix
punt singular
d'eliminar %normalment és molt petita, però conceptualment l'hem
%donat que a gendemanda hem fet que aquesta situació
no es pugui donar, %hem d'excloure aquesta possibilitat i readaptar les
probabilitats

if P_tontos~=[]
    I=1/(1-P_tontos);
end

```


A 1.07 x1 gendemanda

```

%clc; clear all; nd_o=[2 4 4; 3 3 4; 4 4 10]; nd_d=nd_o; nd=sum(sum(nd_o));
nd_o_PS=[]; nd_d_PS=[]; b=[1 2 3]; h=b; xc=0:0.1:sum(b); yc=0:0.1:sum(h);
te=1; PS=[];

%GENERACIÓ DEMANDA per zones (uniformement distribuïda dins cadascuna de les
zones)
    %actualització respecte gendemanda4: carrers

function Di = x1_gendemanda(nd, nd_o, nd_d, nd_o_PS, nd_d_PS, b, h, xc, yc,
te, PS)

xo=[]; %5. vector x origen (km)
yo=[]; %6. vector y origen (km)
xd=[]; %9. vector x destinació (km)
yd=[]; %10. vector y destinació (km)

    %vectors x i y acumulada fins zona

    x0=zeros(1,length(b));
    y0=zeros(1,length(h));

for i=2:length(b)
    x0(i)=x0(i-1)+b(i-1);
end
for i=2:length(h)
    y0(i)=y0(i-1)+h(i-1);
end

    %vectors x i y origen i destinació dels usuaris (en qualsevol punt de la
ciutat)

for i=1:length(h) %bucle per les diferents zones (files)
    for j=1:length(b) % (columnes)

        xo=[xo x0(j)+b(j)*rand(1,nd_o(i,j))]; %5. vector x origen (km)
        yo=[yo y0(i)+h(i)*rand(1,nd_o(i,j))]; %6. vector y origen (km)
        xd=[xd x0(j)+b(j)*rand(1,nd_d(i,j))]; %9. vector x destinació (km)
        yd=[yd y0(i)+h(i)*rand(1,nd_d(i,j))]; %10. vector y destinació (km)

    end
end

%desordenem els vectors x i y (de no fer-ho així, només es mourien dins la
zona d'origen i tots tindrien la mateixa emissora)

id=1:nd; %1. identificador d'usuari
emid=zeros(1,nd); %2. emissora a la que truca
ed=zeros(1,nd); %3. estat usuari (0:no aparegut;0.5:no aparegut
parada;1:aparegut;1.5:aparegut parada;2:assignat;3:viatjant;4:destinació)
td=te*60*rand(1,nd); %4. vector moment d'aparició d'usuari (minuts)
(en cas de parada, després s'actualitza a instant d'arribada a parada)

xo=x2_desordenar(xo); %5. vector x origen (km)
yo=x2_desordenar(yo); %6. vector y origen (km)
do=zeros(1,nd); %7. direcció inicial (indica la direcció del
carrer on comença l'usuari))

%(1:horitzontal;2:vertical;0:indiferent/encreuament)
dd=zeros(1,nd); %8. direcció final (indica la direcció en què
acabarà movent-se el taxi))

%(1:horitzontal;2:vertical;0:indiferent/encreuament)

xd=x2_desordenar(xd); %9. vector x destinació (km)
yd=x2_desordenar(yd); %10. vector y destinació (km)

ta=zeros(1,nd); %11. temps d'accés fins la parada

```

```

%carrers (converteix cada origen o destinació en els punts més propers sobre
un carrer)
for i=1:length(xo)
    [xo(i) yo(i) do(i)]=x2_arrodonir_element_proper(xo(i), yo(i), xc, yc);
    [xd(i) yd(i) dd(i)]=x2_arrodonir_element_proper(xd(i), yd(i), xc, yc);
end

%afegim punts singulars
for k=1:length(nd_o_PS)      %bucle pels diferents punts singulars
    xo=[xo PS(k,1)*ones(1,nd_o_PS(k))];      %ampliem els vectors anteriors
    yo=[yo PS(k,2)*ones(1,nd_o_PS(k))];
    xd=[xd PS(k,1)*ones(1,nd_d_PS(k))];
    yd=[yd PS(k,2)*ones(1,nd_d_PS(k))];
end

%desordenem els vectors pel mateix que abans (però, ara per parelles perquè
%als punts singulars xo-yo i xd-yd van emparellats respectivament)
c=1;
while c~=0 %eliminem la possibilitat d'origen i destinació el mateix PS
    c=0;
    vo=x2_desordenar([xo; yo; do]);
    vd=x2_desordenar([xd; yd; dd]);
    xo=vo(1,:);
    yo=vo(2,:);
    do=vo(3,:);
    xd=vd(1,:);
    yd=vd(2,:);
    dd=vd(3,:);
    for i=1:nd
        if xo(i)==xd(i) && yo(i)==yd(i)
            c=c+1;
        end
    end
end

Di=[id' emid' ed' td' xo' yo' do' dd' xd' yd' ta'];      %matriu demanda

```

A 1.08 x1 gentaxis

```

%clc; clear all; mt=11; nd_o=[2 4 4; 3 3 4; 4 4 10]; nd_d=nd_o;
nd=sum(sum(nd_o)); nd_o_PS=[]; nd_d_PS=[]; b=[1 2 3]; h=b;
%xc=0:0.1:sum(b); yc=0:0.1:sum(h); te=1; PS=[]; v=21; ts=0;
m=round(mt*nd_o/nd); m_PS=round(mt*nd_o_PS/nd); [x0 y0] =
x1_distancia_mitjana(b, h, nd_o, nd_d, PS, nd_o_PS, nd_d_PS, nd);

%GENERACIÓ POSICIÓ INICIAL TAXIS (uniformement distribuïts dins cadascuna de
les zones)
%actualització respecte gentaxis5: carrers (i per tant preferència
direccional)

function Ti = x1_gentaxis(mt, m, m_PS, b, h, PS, x0, y0, xc, yc, v, ts)

xto=[]; %5. vector x posició (km)
yto=[]; %6. vector y posició (km)
xtd=[]; %9. vector x destinació (km)
ytd=[]; %10. vector y destinació (km)

%vectors x i y origen i destinació dels taxis
for i=1:length(h) %bucle per les diferents zones (files)
for j=1:length(b) % (columnes)

xto=[xto x0(j)+b(j)*rand(1,m(i,j))]; %5. vector x posició (km)
yto=[yto y0(i)+h(i)*rand(1,m(i,j))]; %6. vector y posició (km)

xtd=[xtd x0(j)+b(j)*rand(1,m(i,j))]; %9. vector x destinació (km)
ytd=[ytd y0(i)+h(i)*rand(1,m(i,j))]; %10. vector y destinació (km)

end
end

%desordenem els vectors (de no fer-ho així, cada zona sencera seria d'una
emissora)

id=1:mt; %1. identificador del taxi
emit=zeros(1,mt); %2. emissora a què pertany
et=zeros(1,mt); %3. vector estat taxi (0:lliure;0.5:en
parada;1:assignat;2:servei;3:fora de servei)
ttd=zeros(1,mt); %4. instant en què arribarà a la semidestinació1
(min)

xto=x2_desordenar(xto); %5. vector x posició (km)
yto=x2_desordenar(yto); %6. vector y posició (km)

do=zeros(1,mt); %7. direcció inicial (indica la direcció en què es
mourà el taxi fins que arribi a la semidestinació1)

%(1:horitzontal;2:vertical;0:indiferent/encreuament)
dd=zeros(1,mt); %8. direcció final (indica la direcció en què
acabarà movent-se el taxi))

%(1:horitzontal;2:vertical;0:indiferent/encreuament)

xtd=x2_desordenar(xtd); %9. x semidestinació1 - x on es dirigeix el taxi
(km)
ytd=x2_desordenar(ytd); %10. y semidestinació1 - y on es dirigeix el taxi
(km)

xtd2=-1*ones(1,mt); %11. x semidestinació2 - x on es dirigirà el taxi
un cop arribi a la semidestinació1 (xtd2=-1: no té semidestinació2)
ytd2=-1*ones(1,mt); %12. y semidestinació2 - y on es dirigirà el taxi
un cop arribi a la semidestinació1 (ytd2=-1: no té semidestinació2)

xtd3=-1*ones(1,mt); %13. x semidestinació3 - x on es dirigirà el taxi
un cop arribi a la semidestinació2 (xtd3=-1: no té semidestinació3)
ytd3=-1*ones(1,mt); %14. y semidestinació3 - y on es dirigirà el taxi
un cop arribi a la semidestinació2 (ytd3=-1: no té semidestinació3)

ut=zeros(1,mt); %15. identificador de l'usuari assignat a aquest
taxi
tce=zeros(1,mt); %16. instant en què ha canviat d'estat el taxi(min)

```

```

    xpp=-1*ones(1,mt);      %17. x de la seg,ent parada per què passara buit
sense haver-se d'aturar (-1: no en passarà per cap fins destinació)
    ypp=-1*ones(1,mt);      %18. y de la seg,ent parada per què passara buit
sense haver-se d'aturar (-1: no en passarà per cap fins destinació)
    tpp=-1*ones(1,mt);      %19. instant en què passarà buit per la seg,ent
parada en què no s'ha d'aturar (-1: no en passarà per cap fins destinació)

    dll=zeros(1,mt);        %20. distància lliure fins la parada

    %carrers (converteix cada origen o destinació en el punt més propers sobre
un carrer)

for i=1:length(xto)

    [xto(i) yto(i) do(i)]=x2_arrodonir_element_proper(xto(i), yto(i), xc, yc);
    [xtd(i) ytd(i) dd(i)]=x2_arrodonir_element_proper(xtd(i), ytd(i), xc, yc);

end

    %afegim punts singulars

for k=1:length(m_PS)      %bucle pels diferents punts singulars

    xto=[xto PS(k,1)*ones(1,m_PS(k))];      %ampliem els vectors anteriors
    yto=[yto PS(k,2)*ones(1,m_PS(k))];
    xtd=[xtd PS(k,1)*ones(1,m_PS(k))];
    ytd=[ytd PS(k,2)*ones(1,m_PS(k))];

end

%desordenem els vectors pel mateix que abans (però, ara per parelles perquè
    %els punts singulars xo-yto i xtd-ytd van emparellats respectivament)

ci=1;
while ci~=0 %eliminem la possibilitat d'origen i destinació el mateix PS
    ci=0;

    vo=x2_desordenar([xto; yto; do]);
    vd=x2_desordenar([xtd; ytd; dd]);

    xto=vo(1,:);
    yto=vo(2,:);
    do=vo(3,:);
    xtd=vd(1,:);
    ytd=vd(2,:);
    dd=vd(3,:);

    for i=1:mt
        if xto(i)==xtd(i) && yto(i)==ytd(i)
            ci=ci+1;
        end
    end
end

    %trobem l'itinerari a seguir

for i=1:mt
    [xtd(i) ytd(i) xtd2(i) ytd2(i) xtd3(i) ytd3(i)]=x2_itinerari(xc, yc,
xto(i), yto(i), do(i), xtd(i), ytd(i));
end

ttd=((abs(xtd-xto)+abs(ytd-yto))/v)*60; %ara tenim un nou instant en què
arribarà a la semidestinació1 (min)

    %semidestinació anterior (comença essent el propi punt inicial)

    xsa=xto;      %21. x semidestinació anterior (per càlcul de
posició x1_moviment_taxis_carrers)
    ysa=yto;      %22. y semidestinació anterior (per càlcul de
posició x1_moviment_taxis_carrers)
    tsa=zeros(1,mt); %23. t semidestinació anterior (per càlcul de
posició x1_moviment_taxis_carrers)

Ti=[id' emit' et' ttd' xto' yto' do' dd' xtd' ytd' xtd2' ytd2' xtd3' ytd3' ut'
tce' xpp' ypp' tpp' dll' xsa' ysa' tsa'];

```

A 1.09 x1 moviment taxis carrers

```

%clc; clear all; T=zeros(4,21); t=5.5; v=20;
%T(:,5)=5; T(:,6)=15; T(:,9)=[0 10 5 5]'; T(:,10)=[15 15 10 20]'; T(:,21)=5;
T(:,22)=15; T(:,23)=1;

%Desplaça tots els taxis

function [T]=x1_moviment_taxis_carrers(T, t, v)

%1. HORIZZONTAL

Th=T(T(:,10)==T(:,6) & T(:,9)~=T(:,5),:); %aïlla la submatriu dels taxis que
s'han de moure horitzontalment aquest step

nth=size(Th,1); %nombre de taxis que s'han de moure horitzontalment

MMh=(Th(:,9)-Th(:,21))./abs(Th(:,9)-Th(:,21));
if length(find(abs(MMh)~=1))~=0
    MMh
end

th=(t*ones(nth,1)-Th(:,23));
if length(find(th<0))~=0
    th
end

Th(:,5)=Th(:,21)+(Th(:,9)-Th(:,21))./abs(Th(:,9)-Th(:,21)).*(t*ones(nth,1)-
Th(:,23))*v/60; %actualitza posició x
T(T(:,10)==T(:,6) & T(:,9)~=T(:,5),:)=Th; %recomposa la matriu

%2. VERTICAL

Tv=T(T(:,9)==T(:,5) & T(:,10)~=T(:,6),:); %aïlla la submatriu dels taxis que
s'han de moure verticalment aquest step

ntv=size(Tv,1); %nombre de taxis que s'han de moure horitzontalment

MMv=(Tv(:,10)-Tv(:,22))./abs(Tv(:,10)-Tv(:,22));
if length(find(abs(MMv)~=1))~=0
    MMv
end

tv=(t*ones(ntv,1)-Tv(:,23));
if length(find(tv<0))~=0
    tv
end

Tv(:,6)=Tv(:,22)+(Tv(:,10)-Tv(:,22))./abs(Tv(:,10)-Tv(:,22)).*(t*ones(ntv,1)-
Tv(:,23))*v/60; %actualitza posició x
T(T(:,9)==T(:,5) & T(:,10)~=T(:,6),:)=Tv; %recomposa la matriu

```

A 1.10 x1 nova dest cp

```
%clc; clear all; s=[0 0.5 1 2]; t=1; parades=0; v=20; difer00=[]; tant=0.5;
max_tp=2;
%nd_o_PS=[]; nd_o=[1 2 1; 3 5 3; 1 2 1]; nd=sum(sum(nd_o))+sum(nd_o_PS);
PS=[];
%x0=[0 1 4 5]; y0=[0 2 6 8]; xc=0:0.1:5; yc=0:0.1:8; xp=0:0.5:5; yp=0:0.5:8;
T=[(1:8)' zeros(8,19)]; TP=[];
%T(:,3)=[0 0 0 1 2 0 1 2]; T(:,4)=[1 1 1 1 1 2 2 3]; T(:,5)=zeros(1,8);
T(:,6)=T(:,5); T(:,9)=T(:,5); T(:,10)=T(:,6);
%T(:,11)=-1*ones(1,8); T(:,12)=T(:,11); T(:,13)=-1*ones(1,8); T(:,14)=T(:,13);
T(:,19)=ones(1,8);
```

%assigna nova destinació als taxis lliures que arriben a destinació

```
function [T TP PS s difer00]=x1_nova_dest_cp(s, T, TP, t, nd_o_PS, nd_o, nd,
PS, x0, y0, xc, yc, xp, yp, v, difer00, parades, max_tp)

%LLIURE --> LLIURE

Tt0=T(T(:,4)==t & T(:,3)==0 & T(:,11)==-1,:); %aïlla la submatriu de taxis
lliures que arriben a destinació a l'instant t

ntt0=size(Tt0,1); %nombre de taxis lliures que arriben a destinació a
l'instant t

if ntt0>0 %si hi ha algun taxi lliure que arriba a destinació a
l'instant t

    if round(10*Tt0(:,5))~=round(10*Tt0(:,9)) |
round(10*Tt0(:,6))~=round(10*Tt0(:,10)) %comprova que realment hagi arribat

        disp('x1 nova dest cp: les coordenades no coincideixen al cas
[Tt0(:,5) Tt0(:,6) Tt0(:,9) Tt0(:,10)]=')
disp([Tt0(:,5) Tt0(:,6) Tt0(:,9) Tt0(:,10)])
tsa=Tt0(:,23); %instant d'arribada a la semidestinació anterior
difer00=[difer00 ((abs(Tt0(:,5))-Tt0(:,9))+abs(Tt0(:,6)-
Tt0(:,10)))/(t*ones(length(tsa))'-tsa)*v/60)']; %emmagatzema les
diferències/distància des de la semidestinació anterior
    end

    Tt0(:,5)=Tt0(:,9); %corregeix la x perquè coincideixi amb la de
destinació
    Tt0(:,6)=Tt0(:,10); %corregeix la y perquè coincideixi amb la de
destinació
    Tt0(:,7)=Tt0(:,8); %la dd antiga passa a ser la nova do

    for it=1:ntt0 %per tots els taxis en servei que arriben a destinació en
l'instant t

        tt=Tt0(it,4); %instant d'arribada a la destinació
        xt=Tt0(it,5); %posició en x del taxi
        yt=Tt0(it,6); %posició en y del taxi
        idt=Tt0(it,1); %identificador del taxi

        z=0; %indicador si hi ha parades: 0:no parada;1:està a
parada;2:es queda a la parada

        if parades==0 %si no hi ha parades

            z=1; %si no hi ha parades l'indicador també valdrà 1

            %PARADES

        else %si hi ha parades

            if find(xt==xp) & find(yt==yp) %si el taxi ha arribat a una parada
z=1; %el taxi està a una parada
ntp=size(TP,1); %nombre total de taxis en parades

            if ntp==0
z=2; %el taxi es queda a la parada
            else
TPi=TP(TP(:,2)==xt & TP(:,3)==yt,:); %matriu taxis de la
parada on ha arribat el taxi
TPi=sortrows(TPi,1); %ordenada segons
```

```

ordre d'arribada dels taxis
    ntpi=size(TPi,1);

    if ntpi<max_tp      %si la parada no està plena
        z=2;          %el taxi es queda a la parada
    end
end

    if z==2
        Tt0(it,3)=0.5;          %actualitza l'estat del
taxi a "en parada"
        Tt0(it,20)=(t-Tt0(it,16))*v/60; %emmagatzema la distància
recorreguda en lliure fins la parada
        Tt0(it,16)=t;          %actualitza l'instant de
canvi d'estat
        TP=[TP;tt,xt,yt,idt];  %afageix les dades del
taxi a la matriu de taxis en parades
    end
end

%NO ESTÀ A CAP PARADA z=0

    if z==0 %si hi ha parades i el taxi no està a cap parada
        %voldrà dir que acaba de deixar l'usuari

        %disp('x1 nova_dest_cp: funciona associat amb x1_alliberament. Ja
es pot esborrar això')

        [xtp ytp dd dist]=x2_parada_propera(xt, yt, xp, yp); %es dirigeix
a la parada més propera

        Tt0(it,9)=xtp;
        Tt0(it,10)=ytp;
        Tt0(it,8)=dd;

        %NO ES QUEDA A LA PARADA o NO HI HA PARADES z=1

    elseif z==1 %si el taxi està a una parada però no s'hi queda (està
plena) o bé no hi ha parades

        k=0;

        while k==0

            [xi yi dd]=x2_coord_ale_dens_carrer(nd_o_PS, nd_o, nd, PS, x0,
y0, xc, yc); %genera un parell de coordenades noves sobre un carrer

            %i una nova preferència direccional final
            if parades==0 %si no hi ha parades

                xtp=xi;
                ytp=yi;

            else %si hi ha parades

                [xtp ytp dd dist]=x2_parada_propera(xi, yi, xp, yp);
%troba la parada més propera a aquelles coordenades

            end

            if xtp~=xt && ytp~=yt
                k=1;
            end
end

            Tt0(it,9)=xtp;
            Tt0(it,10)=ytp;
            Tt0(it,8)=dd;
end

        %ITINERARI %Troba un itinerari per arribar des de l'origen
(xt,yt) fins la %parada (xtp,ytp) passant pels carrers de la xarxa viària

        if z~=2 %si el taxi no es queda a la parada

```

```

    [Tt0(it,9) Tt0(it,10) Tt0(it,11) Tt0(it,12) Tt0(it,13)
Tt0(it,14)]=x2_itinerari(xc, yc, Tt0(it,5), Tt0(it,6), Tt0(it,7), Tt0(it,9),
Tt0(it,10));
    end

    %SEMIDESTINACIÓ ANTERIOR

    Tt0(it,21)=Tt0(it,5); %la nova x de la semidestinació anterior
serà la que fins ara era la x de la semidestinaciól (=x actual)
    Tt0(it,22)=Tt0(it,6); %la nova y de la semidestinació anterior
serà la que fins ara era la y de la semidestinaciól (=y actual)
    Tt0(it,23)=t; %el nou instant de la semidestinació
anterior serà el que fins ara era el t de la semidestinaciól (=t actual)

    %PAS PER PROPERA PARADA

    if parades~=0 && z~=2 %si hi ha parades i no es queda a cap parada

        xto=Tt0(it,5);
        yto=Tt0(it,6);
        xtd=Tt0(it,9);
        ytd=Tt0(it,10);

        [tpp xpp ypp]=x2_prop_parada_trajecte(xto, yto, xtd, ytd, xp, yp, t,
v);

        Tt0(it,19)=tpp; %emmagatzema l'instant en què passarà per la propera
parada (min)
        Tt0(it,17)=xpp; %emmagatzema la x de la propera parada per què passarà
(km)
        Tt0(it,18)=ypp; %emmagatzema la y de la propera parada per què passarà
(km)
    else
        Tt0(:,19)=-1; %no passarà per cap parada
    end
end

    %INSTANT t d'arribada a la semidestinació i VECTOR SUCCESSOS

    dis2=abs(Tt0(:,9)-Tt0(:,5))+abs(Tt0(:,10)-Tt0(:,6)); %distància a recórrer
fins la semidestinaciól (km)
    Tt0(:,4)=t+(dis2/v)*60; %instant en què
arribarà a la semidestinaciól (min)
    s=sort(unique([s Tt0(:,4)' Tt0(:,19)'])); %nou succés arribada
del taxi al punt de destinació i a la propera parada dins el vector successos
(min)

    %RECOMPOSICIÓ MARIU

    T(T(:,4)==t & T(:,3)==0 & T(:,11)==-1,:)=Tt0; %recomposa la matriu
end

```


A 1.11 x1 objectiu parada

```

%envia els usuaris que no truquen a call-center i tots els taxis cap a la
parada més propera

function [D T]=x1_objectiu_parada(D, T, vd, v, xp, yp, xc, yc)

%USUARIS %envia a la parada més propera els usuaris que no truquen a cap call
center

D0=D(D(:,2)==0,:); %submatriu d'usuaris que no truquen a cap call center

nd0=size(D0,1);

if nd0>0
    for i=1:nd0

        ti=D0(i,4); %instant d'aparició de l'usuari
        xoi=D0(i,5); %x d'origen de l'usuari
        yoi=D0(i,6); %y d'origen de l'usuari

        [xoi yoi do dist]=x2_parada_propera(xoi, yoi, xp, yp);

        til=ti+dist*60/vd; %instant d'arribada a la parada

        D0(i,4)=til; %s'actualitza l'instant d'aparició (ara és el
d'arribada a la parada)
        D0(i,5)=xoi; %la nova x d'origen serà la de la parada
        D0(i,6)=yoi; %la nova y d'origen serà la de la parada
        D0(i,3)=0.5; %s'actualitza l'estat a "no aparegut parada"
        D0(i,11)=dist*60/vd; %s'emmagatzema el temps que tardarà en arribar
a la parada
        D0(i,7)=do; %s'actualitza la direcció inicial
    end
    D(D(:,2)==0,:)=D0; %reconstrueix la matriu de demanda
end

%TAXIS %envia els taxis a la parada més propera

nt=size(T,1);

if nt>0
    for i=1:nt

        xt=T(i,5); %x posició del taxi
        yt=T(i,6); %y posició del taxi

        [xtp ytp dd dist]=x2_parada_propera(xt, yt, xp, yp);

        T(i,9)=xtp;
        T(i,10)=ytp;
        T(i,8)=dd;

        %ITINERARI %Troba un itinerari per arribar des de l'origen (xt,yt)
fins la %parada (xtp,ytp) passant pels carrers de la xarxa viària

        [T(i,9) T(i,10) T(i,11) T(i,12) T(i,13) T(i,14)]=x2_itinerari(xc, yc,
T(i,5), T(i,6), T(i,7), T(i,9), T(i,10));

        %INSTANT t d'arribada a la semidestinació1

        dis2=abs(T(i,9)-T(i,5))+abs(T(i,10)-T(i,6));%distància a recórrer fins
la semidestinació1 (km)
        T(i,4)=(dis2/v)*60; %instant en què arribarà a
la semidestinació1 (min)
    end
end

```

A 1.12 x1 pas parada

```
%clc; clear all; s=[0 1]; T=[(1:15)' zeros(15,19)];
%TP=[(0.1:0.1:0.5)' ([1 1 2 2 3])' ([1 1 2 2 3])' (11:15)'];
DP=[(0.1:0.05:0.6)' ([1 2 2 2 2 4 4 5 5 5 5])' ([1 2 2 2 2 4 4 5 5 5 5])'
(1:11)'];
%t=1; v=20; diferp=[]; tant=0.9; xp=1:0.5:10; yp=1:0.5:10; max_tp=3;
%T(:,5)=([1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 1 1 1 1 1]'); T(:,6)=([1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 1 1 1 1 1]');
T(:,9)=T(:,5); T(:,10)=2*T(:,6);
%T(:,17)=([1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 -1 -1 1 1 1]'); T(:,18)=([1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 -1 -1 1 1 1]');
T(:,19)=([1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 2 3 3]');
```

%si un taxi passa per una parada (no plena) amb més usuaris que taxis, hi para

```
function [T TP s diferp]=x1_pas_parada(s, T, TP, DP, t, v, diferp, xp, yp,
max_tp)

Ttp=T(T(:,19)==t, :); %aïlla la submatriu de taxis que passen per una parada
a l'instant t %sense que aquesta parada tiguí perquè ser la seva
destinació

nttp=size(Ttp,1); %nombre de taxis que passen per una parada a l'instant t

if nttp>0 %si hi ha algun taxi que passa per una parada a
l'instant t

    if round(10*Ttp(:,5))~=round(10*Ttp(:,17)) |
round(10*Ttp(:,6))~=round(10*Ttp(:,18)) %comprova que realment hagi arribat

        disp('x1_pas_parada: les coordenades no coincideixen al cas [Ttp(:,5)
Ttp(:,6) Ttp(:,17) Ttp(:,18)]=')
disp([Ttp(:,5) Ttp(:,6) Ttp(:,17) Ttp(:,18)])
tsa=Ttp(:,23); %instant d'arribada a la semidestinació anterior
diferp=[diferp ((abs(Ttp(:,5))-Ttp(:,9))+abs(Ttp(:,6)-
Ttp(:,10)))/(t*ones(length(tsa))'-tsa)*v/60)']; %emmagatzema les
diferències/distància des de la semidestinació anterior

    end

    Ttp(:,5)=Ttp(:,17); %corregeix la x perquè coincideixi amb la de la
parada
    Ttp(:,6)=Ttp(:,18); %corregeix la y perquè coincideixi amb la de la
parada

    for it=1:nttp %per a cada taxi que passa per una parada

        k=0;

        xto=Ttp(it,5); %coordenades actuals del taxi (km)
        yto=Ttp(it,6);
        xtd=Ttp(it,9); %coordenades on es dirigeix el taxi (semidestinació1)
(km)
        ytd=Ttp(it,10);
        idt=Ttp(it,1); %identificador del taxi

        ntp=size(TP,1); %nombre de taxis en alguna parada

        if ntp>0 %si hi ha algun taxi esperant en alguna parada
            TPi=TP(TP(:,2)==xto & TP(:,3)==yto, :); %submatriu taxis de la
parada per on està passant el taxi
            ntpi=size(TPi,1); %nombre de taxis en aquella parada
        else
            ntpi=0; %si no hi ha taxis en cap parada tampoc n'hi haurà en
aquella
        end

        ndp=size(DP,1); %nombre d'usuaris esperant en alguna parada

        if ndp>0 %si hi ha algun usuari esperant en alguna parada

            DPi=DP(DP(:,2)==xto & DP(:,3)==yto, :); %submatriu usuaris de la
parada per on està passant el taxi
            ndpi=size(DPi,1); %nombre d'usuaris en aquella parada

            if ndpi>ntpi && ntpi<max_tp %si hi ha més usuaris que taxis a la
```

```

parada i
permisos a la parada
                                %i no se supera el màxim de taxis
                                k=1; %el taxi es queda a la parada

                                TP=[TP;t,xto,yto,idt]; %afageix les dades del taxi a la matriu
de taxis en parades

                                Ttp(it,3)=0.5; %actualitza l'estat del taxi a "en parada"
                                Ttp(it,9)=xto; %es queda a la parada
                                Ttp(it,10)=yto;
                                Ttp(it,4)=-1; %esborra l'instant d'arribada a
semidestinació1, perquè ja no hi va

                                Ttp(it,11)=-1; %esborra les semidestinacions perquè ja no hi
passarà

                                Ttp(it,12)=-1;
                                Ttp(it,13)=-1;
                                Ttp(it,14)=-1;

                                Ttp(it,17)=-1; %esborra el pas per la següent parada, es
queda a aquesta

                                Ttp(it,18)=-1;
                                Ttp(it,19)=-1;

                                Ttp(it,20)=(t-Ttp(it,16))*v/60; %emmagatzema la distància
recorreguda en lliure fins la parada
                                Ttp(it,16)=t; %actualitza l'instant de
canvi d'estat

                                end
                                end

                                if k==0 %si la parada ja està plena o no hi sobren usuaris

                                [tpp xpp ypp]=x2_prop_parada_trajecte(xto, yto, xtd, ytd, xp, yp,
t, v); %segueix el seu trajecte sense parar fins la propera parada que es
trobi

                                Ttp(it,19)=tpp; %emmagatzema l'instant en què passarà per la
propera parada (min)
                                Ttp(it,17)=xpp; %emmagatzema la x de la propera parada per què
passarà (km)
                                Ttp(it,18)=ypp; %emmagatzema la y de la propera parada per què
passarà (km)
                                end
                                end
                                end

                                s=sort(unique([s Ttp(:,19)'])); %nou succés pas per propera parada dins
el vector successos (min)

                                T(T(:,19)==t,:)=Ttp; %recomposa la matriu

```

A 1.13 x1 recollida

```

%clc; clear all; s=[0:0.1:1.5]; t=1; ttr=1; te=2; v=20; xc=1:0.1:10;
yc=1:0.1:10; parades=0; difer12=[]; tant=0.9;
%C=zeros(8,10); C(:,1)=(11:18)'; C(:,2)=(1:8)'; T=zeros(10,20);
D=zeros(20,11);
%T(:,1)=(1:10)'; T(:,3)=ones(10,1); T(1:8,4)=t; T(1:8,5)=[1 1 2 2 2 3 3 3];
T(:,6)=T(:,5)+0.05; T(:,8)=2; T(:,9:10)=T(:,5:6); T(:,11:14)=-1;
T(1:8,15)=(11:18); T(:,16)=0.1:0.05:0.55; T(:,17:20)=-1;
%D(:,1)=(1:20)'; D(11:18,3)=2; D(:,4)=0.1:0.05:1.05; D(11:18,5:6)=T(1:8,5:6);
D(:,7:8)=2; D(:,9)=round(100*rand(20,1))/10;D(:,10)=10*rand(20,1)';

%actualitza l'estat dels taxis que passen d'assignats (1) a en servei (2)
function [C T D s difer12]=x1_recollida(s, C, T, D, t, xc, yc, v, difer12,
parades)

%ASSIGNAT --> SERVEI

Tt1=T(T(:,4)==t & T(:,3)==1 & T(:,11)==-1,:); %aïlla la submatriu de taxis
assignats que arriben a l'usuari a l'instant t
ntt1=size(Tt1,1); %nombre de taxis assignats que arriben a l'usuari a
l'instant t

if ntt1>0 %si hi ha algun taxi assignat que arriba a l'usuari a
l'instant t

    if round(10*Tt1(:,5))~=round(10*Tt1(:,9)) |
round(10*Tt1(:,6))~=round(10*Tt1(:,10)) %comprova que realment hagi arribat

        disp('x1_recollida: les coordenades no coincideixen al cas [Tt1(:,5)
Tt1(:,6) Tt1(:,9) Tt1(:,10)]='
disp([Tt1(:,5) Tt1(:,6) Tt1(:,9) Tt1(:,10)])
        tsa=Tt1(:,23); %instant d'arribada a la semidestinació anterior
        difer12=[difer12 ((abs(Tt1(:,5))-Tt1(:,9))+abs(Tt1(:,6)-
Tt1(:,10)))/(t*ones(length(tsa))'-tsa)*v/60)']; %emmagatzema les
diferències/distància des de la semidestinació anterior
    end
    ius=(Tt1(:,15))'; %vector amb els identificadors d'usuari

    %EMMAGATZAMENT RESULTATS MATRIU CARRERES (C)

    nc=size(C,1); %nombre de carreres emmagatzemades
    if nc~=0 %si hi ha alguna carrera emmagatzemada
        for idu=ius
            Ci=C(C(:,1)==idu,:); %aïlla la carrera corresponent a l'usuari
transportat

            nci=size(Ci,1); %nombre de carreres aïllades

            if nci~=0; %si existeix la carrera (fet que voldrà dir que ha
estat assignada a un cert t tal que ttr<t<te)

                idt=Ci(:,2); %identificador del taxi
                tce=Tt1(Tt1(:,1)==idt,16); %instant canvi d'estat
                size(tce);
                if size(tce)==[0 1]
                    tce=0;
                    size(C(C(:,2)==idt,:));
                end

                if C(:,2)~=idt; %si l'identificador de taxi no coincideix
amb l'emmagatzemat
                    disp('x1_recollida: identificador de taxi no
coincideix amb emmagatzemat a C')
                end

                %USUARI:
                Ci(:,4)=t-D(idu,4); %4:temps espera

                %TAXI:
                emissora=D(D(:,1)==idu,2); %emissora a què ha trucat
                if parades==0 && emissora==0 %si no hi ha parades i no ha
trucat a cap emissora vol dir que ha estat una trobada fortuïta taxi-usuari al
carrer (Hailing)
                    Ci(:,7)=0; %7:dist assignat

```

```

                                %ELIMINAT PERQU» JA S'HA SUMAT QUAN S'HA ASSIGNAT
Ci(:,6)=Ci(:,6)+v/60*(t-tce); %6:dist lliure
                                else
                                Ci(:,7)=v/60*(t-tce); %7:dist assignat
                                end
                                %RECOMPOSICIÓ C
                                C(C(:,1)==idu,:)=Ci; %recomposa la matriu Carreres
                                end
                                end
                                end

                                Tt1(:,3)=2; %el taxi passa a estar en servei

                                Tt1(:,5)=Tt1(:,9); %corregeix la x perquè coincideixi amb la de
destinació
                                Tt1(:,6)=Tt1(:,10); %corregeix la y perquè coincideixi amb la de
destinació

                                Tt1(:,9)=D(ius,9); %el taxi passa a tenir la x de destinació de l'usuari
                                Tt1(:,10)=D(ius,10); %el taxi passa a tenir la y de destinació de l'usuari
                                Tt1(:,7)=Tt1(:,8); %la dd antiga passa a ser la nova do
                                Tt1(:,8)=D(ius,8); %la dd de l'usuari passa a ser la nova dd

                                Tt1(:,11)=-1; %esborra les semidestinacions que encara no utilitza
                                Tt1(:,12)=-1;
                                Tt1(:,13)=-1;
                                Tt1(:,14)=-1;

                                Tt1(:,16)=t; %emmagatzema l'instant de canvi d'estat

                                Tt1(:,21)=Tt1(:,5); %la nova x de la semidestinació anterior serà la que
                                fins ara era la x de la semidestinació1 (=x actual)
                                Tt1(:,22)=Tt1(:,6); %la nova y de la semidestinació anterior serà la que
                                fins ara era la y de la semidestinació1 (=y actual)
                                Tt1(:,23)=t; %el nou instant de la semidestinació anterior serà el
                                que fins ara era el t de la semidestinació1 (=t actual)

                                D(ius,3)=3; %l'usuari passa a estar en viatjant

                                %ITINERARI %Troba un itinerari per arribar des de l'origen (xto,yto) fins
                                la destinació (xtd,ytd) passant pels carrers de la xarxa viària
                                for i=1:ntt1
                                [Tt1(i,9) Tt1(i,10) Tt1(i,11) Tt1(i,12) Tt1(i,13)
                                Tt1(i,14)]=x2_itinerari(xc, yc, Tt1(i,5), Tt1(i,6), Tt1(i,7), Tt1(i,9),
                                Tt1(i,10));
                                end

                                %NOU INSTANT t i VECTOR SUCCESSOS

                                dis2=abs(Tt1(:,9)-Tt1(:,5))+abs(Tt1(:,10)-Tt1(:,6)); %distància a recórrer
                                fins la nova destinació (km)
                                Tt1(:,4)=t+dis2/v*60; %nou instant en què arribarà a destinació (min)

                                s=sort(unique([s Tt1(:,4)'])); %nou succés arribada del taxi al punt de
                                destinació dins el vector successos (min)

                                %RECOMPOSICIÓ MATRIU

                                T(T(:,4)==t & T(:,3)==1 & T(:,11)==-1,:)=Tt1; %recomposa la matriu
                                end

```

A 1.14 x1 repartiment

```

%clc; clear all; Di=[1:31; zeros(10, 31)]'; Ti=[1:11; zeros(10, 11)]'; ne=1;
tpl_tc=0.6; tpl_dc=0.8; [nd c]=size(Di); [mt c]=size(Ti);

%Reparteix els taxis i usuaris entre les diferents emissores
%novetats respecte 2:
    %part dels taxis i usuaris no assignats a cap centraleta

function [D T] = x1_repartiment(ne, nd, mt, Di, Ti, tpl_tc, tpl_dc)

%REESTABLIMENT VALORS INICIALS T i D
D=Di;
T=Ti;

%REPARTIMENT TAXIS I DEMANDA ENTRE DIFERENTS EMISORES
ndc=round(nd*tpl_dc); %nombre d'usuaris que truquen a alguna emissora
mtc=round(mt*tpl_tc); %nombre de taxis que pertanyen a alguna emissora
deltaD=round(ndc/ne); %nombre d'usuaris per emissora
deltaT=round(mtc/ne); %nombre de taxis per emissora

if ne==1 %si només hi ha una emissora, tot assignat a aquesta
    D(1:ndc,2)=1;
    T(1:mtc,2)=1;
else %si n'hi ha més d'una, assignem la part proporcional a
    cadascuna
for ie=1:(ne-1) %per a cadascuna de les emissores (menys la darrera)
    %INT>RVALS
    Do=(ie-1)*deltaD+1; %primer usuari de l'emissora ie
    Df=ie*deltaD; %darrer usuari de l'emissora ie
    To=(ie-1)*deltaT+1; %primer taxi de l'emissora ie
    Tf=ie*deltaT; %darrer taxi de l'emissora ie
    %REPARTIMENT
    D(Do:Df,2)=ie;
    T(To:Tf,2)=ie;
end
    %potser no són divisibles entre ne, per tant,
    %tots els que queden són per la darrera emissora
    D(Df+1:ndc,2)=ie+1;
    T(Tf+1:mtc,2)=ie+1;
end

```

A 1.15 x1 resultats

```

%clear all; clc; close all;

function [R]=x1_resultats(R, C, D, T, lambda, ttr, tdes, ih, parades, t, v)

%C=; %1:id usuari; 2:id taxi
    %USUARI: 3:temps accés; 4:temps espera;
    %TAXI: 5:temps espera parada; 6:dist lliure; 7:dist assign.;
    %COMUNS: 8:dist servei; 9:preu carrera;
    %10:tipus assignació; 11: instant assignació

RL=zeros(11,1);

%INICI I FINAL PERÍODE

ip=t-ih; %instant inicial del període (minuts)
fp=t; %instant final del període (minuts)

%TÍTOL

RL(1)=lambda; %R1. Densitat de demanda (pax/(km2*h))
RL(2)=(t-ttr)/ih; %R2. N'mero de període

```

```

%R3. TEMPS D'ACC...S DELS USUARIS

if parades~=0 %si hi ha parades

    D1=D((D(:,4)-D(:,11))<ip & D(:,4)>fp,:);
    %matriu d'usuaris que han aparegut abans d'ip i a fp encara no han arribat a
    la parada
    R31=size(D1,1)*ih;
    D2=D((D(:,4)-D(:,11))<ip & D(:,4)>ip & D(:,4)<fp,:);
    %matriu d'usuaris que han aparegut abans d'ip i han arribat a la parada abans
    de fp
    R32=sum(D2(:,4)-ip);
    D3=D((D(:,4)-D(:,11))>=ip & (D(:,4)-D(:,11))<=fp & D(:,4)>=ip &
    D(:,4)<=fp,:); %matriu d'usuaris que han aparegut després d'ip i han arribat
    a la parada abans de fp
    R33=sum(D3(:,11));
    D4=D((D(:,4)-D(:,11))>ip & (D(:,4)-D(:,11))<fp & D(:,4)>fp,:);
    %matriu d'usuaris que han aparegut després d'ip però abans de fp i arribaran a
    la parada després de fp
    R34=sum(fp-(D4(:,4)-D4(:,11)));
    RL(3)=R31+R32+R33+R34;
else %si no hi ha parades
    RL(3)=0;
end

%R4. TEMPS D'ESPERA DELS USUARIS

C1=C((C(:,11)+C(:,7)*60/v-C(:,4))<ip & (C(:,11)+C(:,7)*60/v)>=ip,:);
%matriu de les carreres en què l'usuari espera des d'abans d'ip i en què la
recollida s'ha produït durant el període
R41=sum(C1(:,11)+C1(:,7)*60/v-ip);
C2=C((C(:,11)+C(:,7)*60/v-C(:,4))>=ip & (C(:,11)+C(:,7)*60/v)<=fp,:);
%matriu de les carreres en què l'usuari ha començat a esperar després d'ip i
la recollida s'han produït durant el període
R42=sum(C2(:,4));
D3=D(D(:,3)>=1 & D(:,3)<=2 & D(:,4)<ip,:); %matriu dels usuaris que
estan apareguts des d'abans d'ip però encara no recollits
R43=size(D3,1)*ih;
D4=D(D(:,3)>=1 & D(:,3)<=2 & D(:,4)>=ip,:); %matriu dels usuaris que
han aparegut durant el període però encara no han estat recollits
R44=sum(fp-D4(:,4));

D5=D(D(:,3)==5 & (D(:,4))<ip & (D(:,4)+tdes)>=ip &
(D(:,4)+tdes)<=fp,:); %matriu dels usuaris que han desistit durant el període
i havien aparegut abans d'ip
R45=sum((D5(:,4)+tdes)-ip);
D6=D(D(:,3)==5 & (D(:,4))>=ip & (D(:,4)+tdes)>=ip &
(D(:,4)+tdes)<=fp,:); %matriu dels usuaris que han aparegut i desistit durant
el període
R46=size(D6,1)*tdes;
RL(4)=(R41+R42+R43+R44+R45+R46);

%R5. TEMPS ESPERA PARADA TAXIS

if parades~=0 %si hi ha parades

    C1=C((C(:,11)-C(:,5))<ip & C(:,11)>=ip,:); %matriu de les carreres
    en què el taxi ja era a la parada abans d'ip i s'han assignat després d'ip
    (durant el període)
    R51=sum(C1(:,11)-ip);
    C2=C((C(:,11)-C(:,5))>=ip & C(:,11)>=ip,:); %matriu de les carreres
    en què el taxi ha arribat a la parada després d'ip i s'han assignat després
    d'ip (durant el període)
    R52=sum(C2(:,5));
    T3=T(T(:,3)==0.5 & T(:,16)<ip,:); %matriu dels taxis que estan en
    parada i hi han arribat abans d'ip
    R53=size(T3,1)*ih;
    T4=T(T(:,3)==0.5 & T(:,16)>=ip,:); %matriu dels taxis que estan en
    parada i hi han arribat després d'ip (durant el període)
    R54=sum(fp-T4(:,16));
    RL(5)=R51+R52+R53+R54;
else %si no hi ha parades
    RL(5)=0;
end

```

```

%R6. DISTÀNCIA TAXIS LLIURES

%NO S'HAURIA REGISTRAT C1=C((C(:,11)-C(:,5))-C(:,6)*60/v)<ip &
(C(:,11)-C(:,5))>fp,:); %matriu de les carreres en què el taxi ja estava
lliure a abans d'ip i no s'ha aturat a parada
%R61=size(C1,1)*ih; % (si
n'hi ha) ni ha estat assignat (si no hi ha parades) encara a fp
C2=C((C(:,11)-C(:,5))-C(:,6)*60/v)<ip & (C(:,11)-C(:,5))>=ip,:); %&
(C(:,11)-C(:,5))<fp,:); %matriu de les carreres en què el taxi ja estava
lliure a abans d'ip
R62=sum(C2(:,11)-C2(:,5)-ip);
%i ha estat assignat durant el període
C3=C((C(:,11)-C(:,5))-C(:,6)*60/v)>=ip,:); %& (C(:,11)-C(:,5))-
C(:,6)*60/v)<=fp & (C(:,11)-C(:,5))>=ip & (C(:,11)-C(:,5))<=fp,:); %matriu de
les carreres en què el taxi s'ha alliberat i s'ha aturat a parada
R63=sum(C3(:,6)*60/v);
%(si n'hi ha) o ha estat assignat (si no hi ha parades) durant el període
%NO S'HAURIA REGISTRAT C4=C((C(:,11)-C(:,5))-C(:,6)*60/v)>ip &
(C(:,11)-C(:,5))-C(:,6)*60/v)<fp & (C(:,11)-C(:,5))>fp,:); %matriu de les
carreres en què el taxi s'ha alliberat durant el període i no s'ha aturat a
parada
%R64=sum(fp-(C4(:,11)-C4(:,5))-C4(:,6)*60/v);
%(si n'hi ha) ni ha estat assignat (si no hi ha parades) encara a fp
T5=T(T(:,3)==0 & T(:,16)<ip,:); %matriu dels taxis que estan
lliures i s'han alliberat abans d'ip
R65=size(T5,1)*ih;
T6=T(T(:,3)==0 & T(:,16)>=ip,:); %matriu dels taxis que estan
lliures i s'han alliberat després d'ip (durant el període)
R66=sum(fp-T6(:,16));
T7=T(T(:,3)==0.5 & (T(:,16)-T(:,20))*60/v)<ip & T(:,16)>ip,:);
%matriu dels taxis que estan lliures des d'abans d'ip i han arribat a parada
després d'ip (durant el període) i segueixen en parada
R67=sum(T7(:,16)-ip);
T8=T(T(:,3)==0.5 & (T(:,16)-T(:,20))*60/v)>=ip & T(:,16)>ip,:);
%matriu dels taxis que s'han alliberat i han arribat a parada després d'ip
(durant el període) i segueixen en parada
R68=sum(T8(:,20));
RL(6)=(R62+R63+R65+R66+R67)*v/60+R68;%(R61+R62+R63+R64+R65+R66+R67)*v/60+R68;

%R7. DISTÀNCIA TAXIS ASSIGNATS

C1=C(C(:,11)<ip & (C(:,11)+C(:,7))*60/v)>=ip,:); %matriu de les
carreres assignades abans d'ip i en què la recollida s'ha produït durant el
període
R71=sum(C1(:,11)+C1(:,7)*60/v-ip);
C2=C(C(:,11)>=ip & (C(:,11)+C(:,7))*60/v)<=fp,:); %matriu de les
carreres en què l'assignació i la recollida s'han produït durant el període
R72=sum(C2(:,7)*60/v);
T3=T(T(:,3)==1 & T(:,16)<ip,:); %matriu dels taxis que estan
assignats i s'han assignat abans d'ip
R73=size(T3,1)*ih;
T4=T(T(:,3)==1 & T(:,16)>=ip,:); %matriu dels taxis que estan
assignats i s'han assignat després d'ip (durant el període)
R74=sum(fp-T4(:,16));

RL(7)=(R71+R72+R73+R74)*v/60;

%R8. DISTÀNCIA SERVEI

C1=C((C(:,11)+C(:,7))*60/v)<ip & (C(:,11)+(C(:,7)+C(:,8))*60/v)>=ip,:);
%matriu de les carreres recollides abans d'ip i en què l'alliberament s'ha
produït durant el període
R81=sum(C1(:,11)+(C1(:,7)+C1(:,8))*60/v-ip);
C2=C((C(:,11)+C(:,7))*60/v)>=ip &
(C(:,11)+(C(:,7)+C(:,8))*60/v)<=fp,:); %matriu de les carreres en què la
recollida i l'alliberament s'han produït durant el període
R82=sum(C2(:,8)*60/v);
T3=T(T(:,3)==2 & T(:,16)<ip,:); %matriu dels taxis que estan en
servei i han recollit l'usuari abans d'ip
R83=size(T3,1)*ih;
T4=T(T(:,3)==2 & T(:,16)>=ip,:); %matriu dels taxis que estan en
servei i han recollit l'usuari després d'ip (durant el període)
R84=sum(fp-T4(:,16));

RL(8)=(R81+R82+R83+R84)*v/60;

```



```

%R9. PREU CARRERES finalitzades durant aquest període (?tarifes
16.12.2012)
    Cfp=C(C(:,9)>0 & (C(:,11)+(C(:,7)+C(:,8))*60/v)>=ip &
(C(:,11)+(C(:,7)+C(:,8))*60/v)<fp,:); %matriu de les carreres finalitzades
durant aquest període
    RL(9)=sum(Cfp(:,9));

%R10. NOMBRE DE CARRERES FINALITZADES durant aquest període

    RL(10)=size(Cfp,1);

%R11. NOMBRE D'USUARIS DESISTITS durant aquest període

    Ddp=D(D(:,3)==5 & (D(:,4)+tdes)>=ip & (D(:,4)+tdes)<fp,:); %matriu
dels usuaris que han desistit durant aquest període
    RL(11)=size(Ddp,1);

%R12. NOMBRE DE CARRERES ASSIGNADES durant aquest període

    Cap=C(C(:,11)>=ip & C(:,11)<fp,:); %matriu de les carreres
assignades durant aquest període
    RL(12)=size(Cap,1);

    RL(13)=size(Cap(Cap(:,10)==1,:),1); %R13. Nombre total de carreres
assignades mitjançant Hailing (trobada fortuïta)
    RL(14)=size(Cap(Cap(:,10)==2,:),1); %R14. Nombre total de carreres
assignades mitjançant Dispatching (centraleta)
    RL(15)=size(Cap(Cap(:,10)==3,:),1); %R15. Nombre total de carreres
assignades mitjançant Stand (parada)
    RL(16)=size(Cap(Cap(:,10)==4,:),1); %R16. Nombre total de carreres
assignades mitjançant Smart Stand (parada amb botó)
    R=[R RL] %afegeix les columnes de RL a la matriu R
A 1.16 x1 semidest següent

%clc; clear all; s=[0 1]; T=[(1:8)' zeros(8,19)]; t=1; v=20; difers=[];
tant=0.9; parades=1; xp=0:0.5:10; yp=0:0.5:10;
%T(:,3)=[0 0 0 1 2 0 1 2]; T(:,4)=[1 1 1 1 1 2 2 3]; T(:,5)=0:7; T(:,6)=0:7;
T(:,9)=[(0:4) zeros(1,3)]; T(:,10)=T(:,9);
%T(:,11)=[4 3 -1 1 0 0 0 0]; T(:,12)=[0 1 -1 3 4 0 0 0]; T(:,13)=-1*ones(1,8);
T(:,14)=T(:,13);

%quan un taxi arriba a una semidestinació, fa córrer a la següent
semidestinació

function [T s difers]=x1_semidest_següent(s, T, t, v, difers, parades, xp, yp)

Tts=T(T(:,4)==t & T(:,11)~= -1,:); %aïlla la submatriu de taxis que arriben
a la semidestinació a l'instant t
%i encara no arriben a la destinació
final

ntts=size(Tts,1); %nombre de taxis que arriben a la semidestinació (que
no és encara la final) a l'instant t

if ntts>0 %si hi ha algun taxi que arriba a la semidestinació
(que encara no és la final) a l'instant t

    if round(10*Tts(:,5))~=round(10*Tts(:,9)) |
round(10*Tts(:,6))~=round(10*Tts(:,10)) %comprova que realment hagi arribat

        disp('x1 semidest següent: les coordenades no coincideixen al cas
[Tts(:,5) Tts(:,6) Tts(:,9) Tts(:,10)]=')
        disp([Tts(:,5) Tts(:,6) Tts(:,9) Tts(:,10)])
        tsa=Tts(:,23); %instant d'arribada a la semidestinació anterior
        difers=[difers ((abs(Tts(:,5))-Tts(:,9))+abs(Tts(:,6)-
Tts(:,10)))/(t*ones(length(tsa))'-tsa)*v/60)']; %emmagatzema les
diferències/distància des de la semidestinació anterior

    end
end

```

```

Tts(:,5)=Tts(:,9); %corregeix la x perquè coincideixi amb la de la
semidestinació1
Tts(:,6)=Tts(:,10); %corregeix la y perquè coincideixi amb la de la
semidestinació1

Tts(:,21)=Tts(:,5); %la nova x de la semidestinació anterior serà la que
fins ara era la x de la semidestinació1 (=x actual)
Tts(:,22)=Tts(:,6); %la nova y de la semidestinació anterior serà la que
fins ara era la y de la semidestinació1 (=y actual)
Tts(:,23)=t; %el nou instant de la semidestinació anterior serà el
que fins ara era el t de la semidestinació1 (=t actual)

Tts(:,9)=Tts(:,11); %la nova x de la semidestinació1 serà la que fins ara
era la x de la semidestinació2
Tts(:,10)=Tts(:,12); %la nova y de la semidestinació1 serà la que fins ara
era la y de la semidestinació2

Tts(:,11)=Tts(:,13); %la nova x de la semidestinació2 serà la que fins
ara era la x de la semidestinació3
Tts(:,12)=Tts(:,14); %la nova y de la semidestinació2 serà la que fins
ara era la y de la semidestinació3

Tts(:,13)=-1; %ja no hi haurà semidestinació3
Tts(:,14)=-1; %ja no hi haurà semidestinació3

dis2=(abs(Tts(:,9)-Tts(:,5))+abs(Tts(:,10)-Tts(:,6)));
Tts(:,4)=t+dis2*60/v; %ara tenim un nou instant en què arribarà a la
semidestinació1 (min)

%if parades==0
% Tts(:,19)=-1; %no passarà per cap parada

if parades~=0 %si hi ha parades
for it=1:ntts

if Tts(it,3)==0 %i el taxi està lliure (i no assignat)

xto=Tts(it,5);
yto=Tts(it,6);
xtd=Tts(it,9);
ytd=Tts(it,10);

[tpp xpp ypp]=x2_prop_parada_trajecte(xto, yto, xtd, ytd, xp,
yp, t, v); %busca la propera parada per què passarà

Tts(it,19)=tpp; %emmagatzema l'instant en què passarà per la
propera parada (min)
Tts(it,17)=xpp; %emmagatzema la x de la propera parada per què
passarà (km)
Tts(it,18)=ypp; %emmagatzema la y de la propera parada per què
passarà (km)
end
end
end

s=sort(unique([s Tts(:,4)' Tts(:,19)'])); %nou succés arribada del taxi
al punt de semidestinació1 i pas per propera parada dins el vector successos
(min)

T(T(:,4)==t & T(:,11)~=-1,:)=Tts; %recomposa la matriu
end

```

A 1.17 x1 usuari parada

```

%clc; clear all; DP=[]; t=1.1; D=[(1:10)' rand(10,10)];

%els usuaris que arriben a una parada l'instant t passen a estar esperant en
parada (1.5)

function [D DP]=x1_usuari_parada(D, DP, t)

Dpt=D(D(:,4)==t & D(:,3)==0.5,:); %aïlla la submatriu d'usuaris que arriben a
una parada l'instant t

n_dpt=size(Dpt,1);

if n_dpt>0

    %ACTUALITZACIÓ USUARIS

    D(D(:,4)==t & D(:,3)==0.5,3)=1.5; %els usuaris que arriben a una parada
l'instant t, passen a estar esperant un taxi a la parada (1.5)

    %ACTUALITZACIÓ PARADES

    t=Dpt(:,4); %instant d'arribada a la parada
    x=Dpt(:,5); %posició en x dels usuaris
    y=Dpt(:,6); %posició en y dels usuaris
    id=Dpt(:,1); %identificador dels usuaris

    DP=[DP;t,x,y,id]; %afageix les dades dels usuaris a la matriu d'usuaris en
parades

end

```

A 1.18 x2 actual parades

%esborra de les matrius de parada els usuaris i taxis ja assignats

```

function [DP TP]=x2_actual_parades(DP,TP,DT,ndt)

for i=1:ndt;

    DP(DP(:,4)==DT(i,1),4)=0;
    TP(TP(:,4)==DT(i,2),4)=0;

end

DP=DP(DP(:,4)~=0,:);
TP=TP(TP(:,4)~=0,:);

```

A 1.19 x2 arrodonir element proper

```

%arrodoneix una coordenada a la coordenada més propera sobre un carrer

function [x y d]=x2_arrodonir_element_proper(x, y, xc, yc)

%distància en x

dist_x=1000*xc(length(xc)); %distància més gran que totes les possibles
(1000*separació entre els dos carrers més llunyans)
dist_x1=dist_x;
xc=[xc 0];
ix=1;

while dist_x1<=dist_x && ix<=length(xc)+1
    dist_x0=dist_x;
    dist_x=dist_x1;
    dist_x1=abs(x-xc(ix));
    ix=ix+1;
end

if round(1000*dist_x)==round(1000*dist_x0) %si està a la mateixa distància de
dos carrers(diferència menor a 1m)
    ix=ix-round(rand); %n'escull aleatòriament 1 dels 2
end

if round(1000*dist_x)==round(1000*dist_x1) %si està a la mateixa distància de
dos carrers(diferència menor a 1m)
    ix=ix+round(rand); %n'escull aleatòriament 1 dels 2
end

%distància en y

dist_y=1000*yc(length(yc)); %distància més gran que totes les possibles
(1000*separació entre els dos carrers més llunyans)
dist_y1=dist_y;
yc=[yc 0];
iy=1;

while dist_y1<=dist_y && iy<=length(yc)+1
    dist_y0=dist_y; dist_y=dist_y1; dist_y1=abs(y-yc(iy));
    iy=iy+1;
end

if round(1000*dist_y)==round(1000*dist_y0) %si està a la mateixa distància de
dos carrers(diferència menor a 1m)
    iy=iy-round(rand); %n'escull aleatòriament 1 dels 2
end

if round(1000*dist_y)==round(1000*dist_y1) %si està a la mateixa distància de
dos carrers(diferència menor a 1m)
    iy=iy+round(rand); %n'escull aleatòriament 1 dels 2
end

%se situa sobre el carrer més proper

if dist_x<dist_y
    d=2; %arrodonirà x situant-se sobre un carrer vertical
elseif dist_x>dist_y
    d=1; %arrodonirà y situant-se sobre un carrer horitzontal
elseif dist_x==dist_y
    d=1+round(rand);%arrodonirà x ó y aleatòriament
end

if d==2
    x=xc(ix-2);
elseif d==1
    y=yc(iy-2);
end

```

A 1.20 x2 assignacio parelles

```

%actualitza T, D i s amb les parelles assignades en parada
%es diferencia d'"assignacio_parelles" en què aquí passen a viatjar
%directament en trobar-se ja en el mateix punt

function [C T D s]=x2_assignacio_parelles(C, T, D, s, t, ttr, te, v, DT, ndt,
xc, yc, parades, boto)

for i=1:ndt

    iu=DT(i,1);           %1: identificador de l'usuari
    it=DT(i,2);           %2: identificador del taxi

    if size(C)>0
        if find(iu==C(:,1)) %si ja existeix una fila a la matriu C
corresponent a l'usuari que s'està assignant
            disp('x2_assignacio_parelles: Usuari ja assignat prèviament')
            Diu=D(iu,:)
            d_serv=abs(Diu(:,10)-Diu(:,6))+abs(Diu(:,9)-Diu(:,5))
            Ciu=C(C(:,1)==iu,:)
            Tiu=T(Ciu(2),:)
        end
    end

    eu=D(iu,2);           %emissora a què truca l'usuari (0: no truca a cap
centraleta)

    if t<te*60 %t>=ttr*60 && %si l'instant està dins l'interval en què s'ha
demmagatzemar
        tce=T(it,16);     %instant darrer canvi d'estat taxi

        %EMMAGATZAMENT RESULTATS MATRIU CARRERES (C)

        ta=D(iu,11);      %3: temps accés

        if parades==0 %si no hi ha parades

            tepu=0;        %4: temps espera parada usuari
            tept=0;        %5: temps espera parada taxi
            dll=v/60*(t-tce); %6: dist lliure

            if eu==0 %si no ha trucat a cap centraleta i no hi ha parades
vol dir que serà trobada fortuïta (Hailing)

                dll=dll+DT(i,3); %6: suma la distància usuari-taxi a la
distància lliure
                %perquè no s'ha produït una assignació
                %trucada i, per tant, no es cobrarà la
                distància fins encotxament
                tac=1;      %10: la carrera és del tipus Hailing
                (trobada fortuïta)
                ia=t+DT(i,3)*60/v; %11: instant d'assignació (suma el temps
que tardarà fins la trobada, perquè no hi ha una assignació pròpiament dita)
            else
                tac=2;      %10: la carrera és del tipus Dispatching
                (centraleta)
                ia=t;        %11: instant d'assignació (s'assigna en
aquest instant)
            end
        else %si hi ha parades

            if boto==0 %si la parella no ha estat assignada mitjançant
botó en parada (i per tant es troba a la mateixa parada)

                tepu=t-D(iu,4); %4: temps espera parada usuari (ja que passa
directament d'esperar a viatjar)
                tac=3;      %10: la carrera és del tipus Stand (parada)
            else
                tepu=0;      %4: temps espera parada usuari (és zero perquè
encara no ha estat recollit)
                tac=4;      %10: la carrera és del tipus Smart Stand (botó
parada)
            end
        end
    end
end

```

```

tept=(t-tce);           %5: temps espera parada taxi
dll=T(it,20);          %6: dist lliure fins parada
ia=t;                  %11: instant d'assignació (s'assigna en aquest
instant)
end

C=[C; iu it ta tepu tept dll 0 0 0 tac ia]; %crea la nova fila a la
matriu Carreres
end

%MODIFICACIÓ D i T

if parades~=0 && boto==0 %si hi ha parades i la parella no ha estat
assignada mitjançant botó en parada
if T(it,3)==1 || T(it,3)==2
disp('x2_assignacio_parelles: El taxi ja estava assignat o en
servei')
else
D(iu,3)=3;           %l'usuari passa a estar viatjant
T(it,3)=2;           %el taxi passa a estar en servei

T(it,9)=D(iu,9);     %es dirigeix a la x destinació de l'usuari
T(it,10)=D(iu,10);  %es dirigeix a la y destinació de l'usuari

T(it,8)=D(iu,8);     %la nova direcció final és la final de l'usuari
end
else %si no hi ha parades o n'hi ha però la parella ha estat
assignada mitjançant botó en parada
if T(it,3)==1 || T(it,3)==2
disp('x2_assignacio_parelles: El taxi ja estava assignat o en
servei')
else
D(iu,3)=2;           %l'usuari passa a estar assignat
T(it,3)=1;           %el taxi passa a estar en assignat

T(it,9)=D(iu,5);     %es dirigeix a la x origen de l'usuari
T(it,10)=D(iu,6);   %es dirigeix a la y origen de l'usuari

T(it,8)=D(iu,7);     %la nova direcció final és la inicial de
l'usuari
end
end

T(it,15)=iu; %se li assigna aquest usuari

T(it,11)=-1; %esborra les semidestinacions que encara no utilitza
T(it,12)=-1;
T(it,13)=-1;
T(it,14)=-1;

T(it,17)=-1; %esborra el pas per la seg,ent parada, perquè ja no està
buit
T(it,18)=-1;
T(it,19)=-1;

T(it,21)=T(it,5); %la nova x de la semidestinació anterior serà la que
fins ara era la x de la semidestinaciól (=x actual)
T(it,22)=T(it,6); %la nova y de la semidestinació anterior serà la que
fins ara era la y de la semidestinaciól (=y actual)
T(it,23)=t; %el nou instant de la semidestinació anterior serà el
que fins ara era el t de la semidestinaciól (=t actual)

if parades==0 && eu==0 %si no hi ha parades i l'usuari no ha trucat a cap
centraleta vol dir que serà trobada fortuïta

T(it,16)=DT(i,4); %no està pròpiament assignat i, per tant, canviarà
d'estat quan es trobi amb l'usuari
else
T(it,16)=t; %emmagatzema l'instant en què ha canviat d'estat
end

```

```

%DIRECCIÓ INICIAL TAXI do
    if find(yc==T(it,6)) & find(xc~=T(it,5))    %si la coordenada y del taxi
correspon a una y en què hi ha carrer
        T(it,7)=1;                               %el taxi es troba en un carrer
horitzontal
    elseif find(xc==T(it,5)) & find(yc~=T(it,6))%si la coordenada x del taxi
correspon a una x en què hi ha carrer
        T(it,7)=2;                               %el taxi es troba en un carrer
vertical
    elseif find(xc==T(it,5)) & find(yc==T(it,6))%si les dues coordenades
corresponen a coordenades en què hi ha carrer
        T(it,7)=0;                               %el taxi es troba en una
cruïlla
    else
        disp('x2_assignacio_parelles: el taxi no es troba a cap carrer [it x
y]=')
        [it T(it,5) T(it,6)]
        xc
        yc
    end

    %ITINERARI %Troba un itinerari per arribar des de l'origen (xto,yto) fins
la
la                               %destinació (xtd,ytd) passant pels carrers de la xarxa
viària

    [T(it,9) T(it,10) T(it,11) T(it,12) T(it,13)
T(it,14)]=x2_itinerari(xc, yc, T(it,5), T(it,6), T(it,7), T(it,9), T(it,10));

    %NOU INSTANT t i VECTOR SUCCESSOS

    dist_sd=abs(T(it,9)-T(it,5))+abs(T(it,10)-T(it,6)); %distància a
recòrrer fins la primera semidestinació (km)
    T(it,4)=t+dist_sd/v*60;    %nou instant en què arribarà a la primera
semidestinació (min)

    s=sort(unique([s T(it,4)']));    %nou succés arribada del taxi al punt
de semidestinació dins el vector successos (min)
end

```

A 1.21 x2 coord ale dens carrer

```

%clc; clear all; nd_o_PS=[5 5]; nd_o=[1 2 1; 3 5 3; 1 2 1];
nd=sum(sum(nd_o))+sum(nd_o_PS); PS=[0 0; 5 5]; x0=[0 1 4 5]; y0=[0 2 6 8];
xc=0:0.1:5; yc=0:0.1:8;

% dona unes coordenades aleatòries
% situades damunt un carrer o PS
% ajustant les probabilitats a la densitat d'origen demanda de cada zona i
punt singular

function [x y dd]=x2_coord_ale_dens_carrer(nd_o_PS, nd_o, nd, PS, x0, y0, xc,
yc)

[f c]=size(nd_o); % nombre de files i columnes de la retícula de zones
nad_v=[0 nd_o_PS reshape(nd_o', 1, f*c)]; % vector nombre d'usuaris (en línia)

for i=2:length(nad_v)
    nad_v(i)=nad_v(i-1)+nad_v(i); % vector nombre acumulat d'usuaris
end

num=nd*rand; % genera un nombre aleatori per escollir zona (o punt singular)

for k=1:length(nd_o_PS) % bucle pels diferents PS
    if num>nad_v(k) && num<=nad_v(k+1) % si num és major que el nombre
        acumulat d'usuaris fins el PS k
            % i menor que el nombre acumulat tenint en compte els del PS k
            % assignem les coordenades d'aquell PS
            x=PS(k,1);
            y=PS(k,2);
            dd=1+round(rand);
        end
    end

for k=1:(f*c) % bucle per les diferents zones
    if num>nad_v(k+length(nd_o_PS)) && num<=nad_v(1+k+length(nd_o_PS))
        % si num és major que el nombre acumulat d'usuaris fins la zona k
        % i menor que el nombre acumulat tenint en compte els de la zona k
        % generem unes coordenades aleatòries dins aquella zona

        i=ceil(k/c); % fila de la zona
        j=k-(ceil(k/c)-1)*c; % columna de la zona

        x=x0(j)+(x0(j+1)-x0(j))*rand; % coordenada x aleatòria dins la zona k
        y=y0(i)+(y0(i+1)-y0(i))*rand; % coordenada y aleatòria dins la zona k

        % carrers (converteix les coordenades en el punt més proper sobre
un carrer)

        for i=1:length(x)
            [x y dd]=x2_arrodonir_element_proper(x, y, xc, yc);
        end
    end
end
end

```

A 1.22 x2 desordenar

```

% desordena les components del vector x0

function x1 = x2_desordenar(x0)

k=randperm(length(x0)); % vector permutació aleatoria del vector [1, 2,
..., length(x0)]

for i=1:length(x0);
    j=k(i);
    x1(:,i)=x0(:,j);
end

```


A 1.23 x2 itinerari

```

%clc; clear all; xc=0:0.1:6; yc=0:0.1:6; xto=0; yto=0.5; do=0; xtd=0.0513;
ytd=0.4;

%Troba un itinerari per arribar des de l'origen (xto,yto) fins la destinació
(xtd,ytd) passant pels carrers de la xarxa viària

function [xtd ytd xtd2 ytd2 xtd3 ytd3]=x2_itinerari(xc, yc, xto, yto, do, xtd,
ytd)

if xtd==xto && ytd==yto
    disp('x2_itinerari: xy_destinació = xy_origen [xto yto xtd ytd]=')
    [xto yto xtd ytd]
end

xtd2=-1*ones(1,length(xtd));
ytd2=-1*ones(1,length(ytd));
xtd3=-1*ones(1,length(xtd));
ytd3=-1*ones(1,length(ytd));

xc=[-1 xc 1000*xc(length(xc))];
yc=[-1 yc 1000*yc(length(yc))];

%CRUÏLLA

if do==0 %si es troba en una cruïlla, escull aleatòriament començar
horitzontalment o vertical
    do=1+round(rand(1));
end

%ORIGEN HORITZONTAL

if do==1 && yto~=ytd %si es troba en un carrer horitzontal i està a diferent y
%si y fos la mateixa voldria dir que es troba al
mateix carrer de la destinació
%i no caldria fraccionar l'itinerari

if xto<xtd %MOVIMENT CAP A LA DRETA
    i=1;
    while xc(i)<=xtd %mentre no es passi la x de destinació
        i=i+1; %passa a la seg,ent component d'xc
    end

    xtd2=xtd;
    ytd2=ytd;
    xtd=xc(i-1); %intercala una semidestinació1
    ytd=yto;

    %[xto yto xtd ytd xtd2 ytd2 xtd3 ytd3]

    if round(1000*xtd)~=round(1000*xtd2) %en cas contrari, no caldria
seguir fraccinant l'itinerari

        if ytd<ytd2 %MOVIMENT CAP AMUNT
            i=1;
            while yc(i)<=ytd2 %mentre no es passi la y de destinació
                i=i+1; %passa a la seg,ent component d'yc
            end

            xtd3=xtd2;
            ytd3=ytd2;
            ytd2=yc(i-1); %intercala una semidestinació2
            xtd2=xtd;

        elseif ytd>ytd2 %MOVIMENT CAP ABAIX
            i=length(yc);
            while i>0 && yc(i)>=ytd2 %mentre no es passi la y destinació
                i=i-1; %passa a la seg,ent component d'yc
            end

            xtd3=xtd2;
            ytd3=ytd2;
            ytd2=yc(i+1); %intercala una semidestinació2
            xtd2=xtd;
        end
    end
end

```

```

elseif xto>xtd %MOVIMENT CAP A L'ESQUERRA
    i=length(xc);
    while i>0 && xc(i)>=xtd %mentre no es passi la x de destinació
        i=i-1; %passa a la seg,ent component d'xc
    end

    xtd2=xtd;
    ytd2=ytd;
    xtd=xc(i+1); %intercala una semidestinació1
    ytd=yto;

    %[xto yto xtd ytd xtd2 ytd2 xtd3 ytd3]

    if round(1000*xtd)~=round(1000*xtd2) %en cas contrari, no caldria
seguir fraccinant l'itinerari

        if ytd<ytd2 %MOVIMENT CAP AMUNT
            i=1;
            while yc(i)<=ytd2 %mentre no es passi la y de destinació
                i=i+1; %passa a la seg,ent component d'yc
            end

            xtd3=xtd2;
            ytd3=ytd2;
            ytd2=yc(i-1); %intercala una semidestinació2
            xtd2=xtd;

        elseif ytd>ytd2 %MOVIMENT CAP ABAIX
            i=length(yc);
            while i>0 && yc(i)>=ytd2 %mentre no passi la y destinació
                i=i-1; %passa a la seg,ent component d'yc
            end

            xtd3=xtd2;
            ytd3=ytd2;
            ytd2=yc(i+1); %intercala una semidestinació2
            xtd2=xtd;
        end
    end
end
end
end

%ORIGEN VERTICAL

if do==2 && xto~=xtd %si es troba en un carrer vertical i està a diferent x
    %si x fos la mateixa voldria dir que es troba al
    mateix carrer de la destinació
    %i no caldria fraccionar l'itinerari

    if yto<ytd %MOVIMENT CAP AMUNT
        i=1;
        while yc(i)<=ytd %mentre no es passi la y de destinació
            i=i+1; %passa a la seg,ent component d'yc
        end

        xtd2=xtd;
        ytd2=ytd;
        ytd=yc(i-1); %intercala una semidestinació1
        xtd=xto;

        %[xto yto xtd ytd xtd2 ytd2 xtd3 ytd3]

        if round(1000*ytd)~=round(1000*ytd2) %en cas contrari, no caldria
seguir fraccinant l'itinerari

            if xtd<xtd2 %MOVIMENT CAP A LA DRETA
                i=1;
                while xc(i)<=xtd2 %mentre no es passi la x de destinació
                    i=i+1; %passa a la seg,ent component d'xc
                end

                xtd3=xtd2;
                ytd3=ytd2;
                xtd2=xc(i-1); %intercala una semidestinació2
                ytd2=ytd;
            end
        end
    end
end

```

```

elseif xtd>xtd2 %MOVIMENT CAP A L'ESQUERRA
    i=length(xc);
    while i>0 && xc(i)>=xtd2 %mentre no passi la x destinació
        i=i-1; %passa a la seg,ent component d'xc
    end

    xtd3=xtd2;
    ytd3=ytd2;
    xtd2=xc(i+1); %intercala una semidestinació2
    ytd2=ytd;
end
end

elseif yto>ytd %MOVIMENT CAP ABAIX

    i=length(yc);
    while i>0 && yc(i)>=ytd %mentre no es passi la y de destinació
        i=i-1; %passa a la seg,ent component d'yc
    end

    xtd2=xtd;
    ytd2=ytd;
    ytd=yc(i+1); %intercala una semidestinació1
    xtd=xto;

    %[xto yto xtd ytd xtd2 ytd2 xtd3 ytd3]

    if round(1000*ytd)~=round(1000*ytd2) %en cas contrari, no caldria
seguir fraccinant l'itinerari

        if xtd<xtd2 %MOVIMENT CAP A LA DRETA
            i=1;
            while xc(i)<=xtd2 %mentre no es passi la x de destinació
                i=i+1; %passa a la seg,ent component d'xc
            end

            xtd3=xtd2;
            ytd3=ytd2;
            xtd2=xc(i-1); %intercala una semidestinació2
            ytd2=ytd;

        elseif xtd>xtd2 %MOVIMENT CAP A L'ESQUERRA
            i=length(xc);
            while i>0 && xc(i)>=xtd2 %mentre no passi la x destinació
                i=i-1; %passa a la seg,ent component d'xc
            end

            xtd3=xtd2;
            ytd3=ytd2;
            xtd2=xc(i+1); %intercala una semidestinació2
            ytd2=ytd;
        end
    end
end

if xto==xtd && yto==ytd %si xy_semidestinacio_1=xy_origen

    xtd=xtd2; %se salta la semidestinacio_1
    ytd=ytd2;
    xtd2=xtd3;
    ytd2=ytd3;
    xtd3=-1;
    ytd3=-1;

    if xto==xtd && yto==ytd %si encara passa
disp('x2 itinerari: xy_semidestinacio_1 = xy_origen [xto yto xtd ytd
xtd2 ytd2 xtd3 ytd3]=')
        [xto yto xtd ytd xtd2 ytd2 xtd3 ytd3]
    elseif xtd==-1 || ytd==-1
disp('x2 itinerari: xy_semidestinacio_1 = -1 [xto yto xtd ytd xtd2
ytd2 xtd3 ytd3]=')
        [xto yto xtd ytd xtd2 ytd2 xtd3 ytd3]
    end
end

    %[xto yto xtd ytd xtd2 ytd2 xtd3 ytd3]

```

A 1.24 x2 parada propera

```

%clc; clear all; xp=0:0.6:10; yp=0:0.6:10; x=9.3 ;y=0.15; t=0;v=4;

%troba la parada més propera a una posició

function [x y d dist]=x2_parada_propera(x, y, xp, yp)

%distància en x

dist_x=1000*xp(length(xp)); %distància més gran que totes les possibles
(1000*separació entre les dues parades més llunyanes)
dist_xl=dist_x; xp=[xp 0]; ix=1;

while dist_xl<=dist_x && ix<=length(xp)+1
    dist_x0=dist_x;
    dist_x=dist_xl;
    dist_xl=abs(x-xp(ix));
    ix=ix+1;
end

if round(1000*dist_x)==round(1000*dist_x0) %si està a la mateixa distància de
dues parades (diferència menor a 1m) %n'escull aleatòriament 1 de les 2
    ix=ix-round(rand);
end

if round(1000*dist_x)==round(1000*dist_xl) %si està a la mateixa distància de
dues parades (diferència menor a 1m) %n'escull aleatòriament 1 de les 2
    ix=ix+round(rand);
end

%distància en y

dist_y=1000*yp(length(yp)); %distància més gran que totes les possibles
(1000*separació entre les dues parades més llunyanes)
dist_yl=dist_y;
yp=[yp 0];
iy=1;

while dist_yl<=dist_y && iy<=length(yp)+1

    dist_y0=dist_y;
    dist_y=dist_yl;
    dist_yl=abs(y-yp(iy));
    iy=iy+1;
end

if round(1000*dist_y)==round(1000*dist_y0) %si està a la mateixa distància de
dues parades (diferència inferior a 1m) %n'escull aleatòriament una de les
dues
end

if round(1000*dist_y)==round(1000*dist_yl) %si està a la mateixa distància de
dues parades (diferència inferior a 1m) %n'escull aleatòriament una de les
dues
end

%se situa a la parada més propera

x=xp(ix-2);
y=yp(iy-2);

dist=dist_x+dist_y; %distància fins la parada
%tp=(dist_x+dist_y)/v*60; %temps fins la parada

d=1+round(rand); %nova preferència direccional (aleatori perquè les parades
estan en cruïlles)

```

A 1.25 x2 preu carrera

```

%Calcula el preu de la carrera

function pc=x2_preu_carrera(Ci)

%VARIABLES ECONÓMIQUES (tarifa aplicada a partir del 16/12/2012)

bb=2.05; %baixada de bandera (EUR)
pkm=0.93; %preu per km (EUR/Km)
phe=20.0; %preu per hora d'espera (EUR/h)
pmfe=3.4; %preu màxim fins encotxament (EUR) INCLOU BAIXADA DE BANDERA
ims=7; %import mínim d'un servei amb radioemissora (EUR)

p1=bb+pkm*Ci(:,7); %fins encotxament

if p1>pmfe
    p1=pmfe; %màxim fins encotxament
end

p2=pkm*Ci(:,8); %distància en servei

pc=p1+p2; %preu carrera

if Ci(:,10)==2 | Ci(:,10)==4 %si el servei ha estat assignat
    mitjançant radioemissora (dispatching o smart stand)
    if pc<ims
        pc=ims; %import mínim d'un servei amb radioemissora
    end
end
end

```

A 1.26 x2 prop parada trajecte

```

%clc; clear all; t=1; v=20; xp=round(10*(0:0.2:10))/10;
yp=round(10*(0:0.2:5.5))/10; xto=0.3; yto=2.4; xtd=0.4; ytd=2.4;
%[xto yto xtd ytd]

%troba la propera parada per què té previst passar el taxi sense aturar-s'hi
%entre la posició actual i la propera semidestinació

function [tpp xpp ypp]=x2_prop_parada_trajecte(xto, yto, xtd, ytd, xp, yp, t,
v)

xpp=-1; ypp=-1; tpp=-1; %posant -1 indica que no hi ha propera parada (en cas
que n'hi hagi canviarà)

%1. HORITZONTAL

if xto~=xtd && yto==ytd %si es mou per un carrer horitzontal

    %1.1 CARRER HORITZONTAL AMB PARADES

    if find(yto==yp) %si es mou per un carrer horitzontal amb parades

        %1.1.1 HORITZONTAL +

        if xto<xtd %si es mou en el sentit positiu de les x
            xpi=xp(xp>xto & xp<=xtd); %troba la posició de les parades que
            hi ha en el seu trajecte
            n_xpi=length(xpi); %nombre de parades en el semitrajecte

            if n_xpi>0 %si hi ha alguna parada en el semitrajecte
                xpp=xpi(1); %posició x de la primera parada que trobarà (km)
                ypp=yto; %posició en y de la parada (la del carrer)
                tpp=t+(abs(xpp-xto)+abs(ypp-yto))/v)*60; %instant en què
                passarà per la parada (min)
            else %si no hi ha cap parada en el semitrajecte
                xpp=-1; ypp=-1; tpp=-1; %"-1" a tots els camps per indicar-ho
            end
        end
    end
end

```

```

%1.1.2 HORIZTONTAL -
elseif xto>xtd %si es mou en el sentit negatiu de les x
    xpi=xp(xp<xto & xp>=xtd); %troba la posició de les parades que
hi ha en el seu trajecte
    n_xpi=length(xpi); %nombre de parades en el semitrajecte
    if n_xpi>0 %si hi ha alguna parada en el semitrajecte
        xpp=xpi(n_xpi); %posició en x de la la parada que trobarà (km)
        ypp=yto; %posició en y de la parada (la del carrer)
        tpp=t+(abs(xpp-xto)+abs(ypp-yto))/v)*60; %instant en què
passarà per la parada (min)
    else %si no hi ha cap parada en el semitrajecte
        xpp=-1; ypp=-1; tpp=-1; %"-1" a tots els camps per indicar-ho
    end
end

%1.2 CARRER HORIZTONTAL SENSE PARADES
else %si es mou per un carrer horitzontal sense parades
    xpp=-1; ypp=-1; tpp=-1; %"-1" a tots els camps per indicar
que no hi ha parades fins la següent semidestinació
end

%2. VERTICAL
elseif xto==xtd && yto~=ytd %si es mou per un carrer vertical

%2.1 CARRER VERTICAL AMB PARADES
if find(xto==xp) %si es mou per un carrer vertical amb parades

%2.1.1 VERTICAL +
if yto<ytd %si es mou en el sentit positiu de les y
    ypi=yp(yp>yto & yp<=ytd); %troba la posició de les parades que
hi ha en el seu trajecte
    n_ypi=length(ypi); %nombre de parades en el semitrajecte
    if n_ypi>0 %si hi ha alguna parada en el semitrajecte
        ypp=ypi(1); %posició en y de la la parada que trobarà (km)
        xpp=xto; %posició en x de la parada (la del carrer)
        tpp=t+(abs(xpp-xto)+abs(ypp-yto))/v)*60; %instant en què
passarà per la parada (min)
    else %si no hi ha cap parada en el semitrajecte
        xpp=-1; ypp=-1; tpp=-1; %"-1" a tots els camps per indicar-ho
    end
end

%2.1.2 VERTICAL -
elseif yto>ytd %si es mou en el sentit negatiu de les y
    ypi=yp(yp<yto & yp>=ytd); %troba la posició de les parades que
hi ha en el seu trajecte
    n_ypi=length(ypi); %nombre de parades en el semitrajecte
    if n_ypi>0 %si hi ha alguna parada en el semitrajecte
        trobarà (km)
        ypp=ypi(n_ypi); %posició en y de la primera parada que es
        xpp=xto; %posició en x de la parada (la del carrer)
        tpp=t+(abs(xpp-xto)+abs(ypp-yto))/v)*60; %instant en què
passarà per la parada (min)
    else %si no hi ha cap parada en el semitrajecte
        xpp=-1; ypp=-1; tpp=-1; %"-1" a tots els camps per indicar-ho
    end
end
end

```

```

%2.2 CARRER VERTICAL SENSE PARADES

else    %si es mou per un carrer vertical sense parades
        xpp=-1; ypp=-1; tpp=-1;  %"-1" a tots els camps per indicar
que no hi ha parades fins la següent semidestinació
end

%3. SEMIDESTINACIÓ

elseif xto==xtd && yto==ytd %si ha arribat a la semidestinació, la propera
parada de pas la trobarà quan fixi una nova semidestinació
        %de moment no hi ha cap parada perquè ja no queda
semitrajecte
        xpp=-1; ypp=-1; tpp=-1;  %"-1" a tots els camps per indicar-ho

else
    disp('Error a x2_prop_parada_trajecte amb el cas [xto yto xtd ytd]=')
    disp([xto yto xtd ytd])
end

%[tpp xpp ypp]

```

A 1.27 x2 submatrius

```

function [n_ule n_t0e D1e T0e] = x2_submatrius(ie, D, T, parades)

if parades==2    %si hi ha parades amb botó

    D1e=D(D(:,3)==1.5, :);    %ailla la submatriu dels usuaris que esperen un
taxi a parada
    T0e=T(T(:,3)==0.5, :);    %ailla la submatriu dels taxis lliures en parada

else            %si no hi ha parades amb botó

    D1e=D(D(:,3)==1 & D(:,2)==ie, :);    %ailla la submatriu dels usuaris que
esperen un taxi de l'emissora ie
    T0e=T(T(:,3)==0 & T(:,2)==ie, :);    %ailla la submatriu dels taxis lliures
de l'emissora ie

end

n_ule=size(D1e,1);                %nombre d'usuaris esperant un taxi de
l'emissora ie
n_t0e=size(T0e,1);                %nombre de taxis lliures de l'emissora ie

```

ANNEX II. RESULTATS DE LES SIMULACIONS

A 2.1 RESULTATS TOTALS DE LES SIMULACIONS

En aquest apartat es recullen els resultats totals de cadascun dels 10 subperíodes de les 5 simulacions amb densitats de demanda diferents realitzades per cada sistema d'assignació.

La definició, presentació i interpretació d'aquests resultats pot ser consultat a l'apartat 5. RESULTATS DE LES SIMULACIONS d'aquesta tesina.

Taula A.1 Resultats totals de les simulacions amb densitat de generació de demanda $\lambda = 10$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 10$ usuaris/(km ² -h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Temps accés usuaris t_{ac} (min)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	793	829	855	887	785	721	792	899	859	797	8.217
	Smart Stand	846	808	830	787	797	809	836	802	905	825	8.246
Temps espera usuaris t_w (min)	Hailing	879	862	786	821	810	790	836	816	945	778	8.322
	Dispatching	414	395	414	405	378	396	422	401	380	371	3.977
	Stand	792	919	817	929	935	1.030	1.470	1.670	1.472	1.261	11.295
	Smart Stand	38	38	41	38	50	55	46	48	43	57	455
Temps espera parada taxis t_{pt} (min)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	222.039	220.388	219.297	218.015	218.081	218.045	217.195	214.179	213.190	213.059	2.173.489
	Smart Stand	227.565	227.305	227.256	227.794	227.487	227.855	226.610	228.023	226.734	227.133	2.273.763
Distància lliure taxis $dist_{ll}$ (km)	Hailing	84.824	84.858	84.655	84.817	85.052	84.615	84.935	84.616	84.714	84.718	847.804
	Dispatching	84.490	84.729	84.481	84.686	84.895	84.734	84.626	84.599	84.659	84.771	846.670
	Stand	3.728	4.173	4.329	4.532	4.635	4.777	4.806	5.460	5.673	5.774	47.888
	Smart Stand	1.705	1.686	1.742	1.721	1.725	1.650	1.890	1.721	1.784	1.714	17.340
Nombre usuaris desistits N_{ud}	Hailing	8	13	7	11	12	9	11	9	19	11	110
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	0	0	0	0	1	0	1	3	6	19	30
	Smart Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nombre serveis assignats N_{sa}	Hailing	527	557	557	541	490	537	523	545	566	546	5.389
	Dispatching	572	550	572	564	510	564	563	551	539	525	5.510
	Stand	518	549	546	601	520	473	525	604	579	538	5.453
	Smart Stand	561	549	556	535	515	540	565	540	594	551	5.506
Distància taxis assignats $dist_{as}$ (km)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	47	45	48	44	43	45	47	44	44	40	447
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Smart Stand	7	7	7	7	9	11	9	9	8	11	85
Distància servei $dist_t$ (km)	Hailing	2.736	2.702	2.905	2.743	2.508	2.945	2.625	2.944	2.846	2.842	27.796
	Dispatching	3.023	2.786	3.031	2.830	2.623	2.781	2.887	2.917	2.857	2.749	28.483
	Stand	2.734	2.807	2.848	2.962	2.661	2.483	2.675	3.001	3.005	2.831	28.009
	Smart Stand	2.825	2.938	2.900	2.725	2.830	2.770	2.986	2.640	3.048	2.970	28.631
Nombre serveis finalitzats N_{sf}	Hailing	519	530	577	523	508	526	524	557	543	562	5.369
	Dispatching	591	546	575	565	522	546	569	537	543	525	5.519
	Stand	495	568	536	583	539	479	497	599	570	528	5.394
	Smart Stand	520	560	540	545	545	519	563	538	593	561	5.484
Ingrés pels serveis finalitzats I (€)	Hailing	3.542	3.557	3.952	3.580	3.442	3.717	3.579	3.899	3.680	3.913	36.861
	Dispatching	4.715	4.350	4.632	4.548	4.141	4.339	4.531	4.338	4.376	4.228	44.197
	Stand	3.442	3.938	3.721	3.993	3.695	3.283	3.398	4.082	3.964	3.708	37.225
	Smart Stand	3.592	3.956	3.770	3.748	3.891	3.602	4.019	3.653	4.073	3.947	38.251

Taula A.2 Resultats totals de les simulacions amb densitat de generació de demanda $\lambda = 25$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 25$ usuaris/(km ² ·h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Temps accés usuaris t_{ac} (min)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	2.030	2.062	2.130	2.012	2.060	2.110	2.071	1.941	2.055	2.105	20.575
	Smart Stand	2.021	2.020	2.117	2.049	2.104	2.062	2.038	2.069			
Temps espera usuaris t_w (min)	Hailing	2.175	2.090	2.348	2.321	2.250	2.316	2.266	2.319			22.606
	Dispatching	966	974	978	1.011	997	1.002	975	1.038	1.032	996	9.968
	Stand	1.847	2.491	2.553	2.753	3.252	3.654	3.673	3.745	4.306	4.453	32.729
	Smart Stand	138	167	137	152	178	154	168	168			1.578
Temps espera parada taxis t_{pt} (min)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	204.978	203.362	199.969	198.100	194.879	193.552	191.991	190.635	188.655	185.286	1.951.407
	Smart Stand	212.055	211.990	211.341	211.379	211.404	211.249	212.246	212.363			2.117.535
Distància lliure taxis $dist_{ll}$ (km)	Hailing	80.793	80.641	80.884	80.729	80.667	80.712	80.753	80.449			807.035
	Dispatching	80.432	80.359	80.528	80.419	80.337	80.331	80.437	80.112	80.183	80.458	803.596
	Stand	5.363	5.894	6.524	7.299	7.732	8.303	8.682	9.129	9.674	10.249	78.849
	Smart Stand	3.152	3.214	3.260	3.345	3.325	3.311	3.157	3.106			32.337
Nombre usuaris desistits N_{ud}	Hailing	41	22	40	37	38	44	33	37			365
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	0	0	0	0	0	0	1	6	15	60	82
	Smart Stand	0	0	0	0	0	0	0	0			0
Nombre serveis assignats N_{sa}	Hailing	1.286	1.340	1.316	1.354	1.324	1.336	1.324	1.365			13.306
	Dispatching	1.318	1.366	1.356	1.384	1.374	1.360	1.359	1.415	1.409	1.363	13.704
	Stand	1.327	1.364	1.415	1.317	1.394	1.376	1.341	1.323	1.349	1.369	13.575
	Smart Stand	1.357	1.346	1.410	1.370	1.426	1.394	1.346	1.358			13.759
Distància taxis assignats $dist_{as}$ (km)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0			0
	Dispatching	111	113	111	117	116	115	114	122	118	115	1.152
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Smart Stand	26	30	27	28	34	30	31	31			297
Distància servei $dist_t$ (km)	Hailing	6.767	6.919	6.676	6.831	6.893	6.848	6.807	7.111			68.565
	Dispatching	7.017	7.087	6.921	7.024	7.107	7.114	7.009	7.326	7.259	6.987	70.852
	Stand	7.124	6.954	7.344	6.884	7.300	6.978	6.989	6.856	6.743	7.081	70.255
	Smart Stand	7.017	6.975	7.169	7.069	7.074	7.149	6.937	6.945			70.419
Nombre serveis finalitzats N_{sf}	Hailing	1.299	1.318	1.338	1.341	1.330	1.328	1.317	1.380			13.314
	Dispatching	1.330	1.347	1.371	1.388	1.351	1.389	1.348	1.411	1.394	1.367	13.696
	Stand	1.348	1.328	1.413	1.314	1.365	1.359	1.355	1.328	1.300	1.349	13.459
	Smart Stand	1.377	1.366	1.382	1.425	1.367	1.418	1.357	1.349			13.801
Ingrés pels serveis finalitzats I (€)	Hailing	8.979	9.076	9.073	9.061	9.134	9.094	8.972	9.506			91.121
	Dispatching	10.728	10.816	10.910	11.023	10.812	11.163	10.761	11.327	11.219	10.870	109.630
	Stand	9.546	9.135	9.784	9.134	9.585	9.305	9.270	9.199	8.926	9.331	93.216
	Smart Stand	9.651	9.487	9.557	9.837	9.419	9.756	9.494	9.587			95.986

Taula A.3 Resultats totals de les simulacions amb densitat de generació de demanda $\lambda = 50$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 50$ usuaris/(km ² -h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Temps accés usuaris t_{ac} (min)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	4.238	4.175	4.033	4.157	4.189	4.177	4.028	4.215	3.999	4.182	41.392
	Smart Stand	4.201	4.098	4.258	4.060	4.038	4.148	4.082	4.060	4.020	4.166	41.130
Temps espera usuaris t_w (min)	Hailing	5.365	5.331	4.844	5.083	5.004	5.108	5.050	5.058	5.131	4.943	50.917
	Dispatching	2.104	2.113	1.979	2.027	2.089	2.038	2.027	2.122	2.056	2.085	20.642
	Stand	5.404	6.940	6.950	8.832	10.325	12.714	13.504	15.540	17.666	18.864	116.738
	Smart Stand	460	441	475	407	439	431	445	421	424	410	4.353
Temps espera parada taxis t_{pt} (min)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	182.392	177.445	173.951	170.046	166.017	161.563	158.705	154.006	150.593	146.702	1.641.421
	Smart Stand	186.590	187.900	186.350	188.110	187.830	187.180	188.010	187.690	187.690	188.180	1.875.530
Distància lliure taxis $dist_{ll}$ (km)	Hailing	73.595	73.757	73.963	74.026	73.681	73.870	74.125	73.888	73.996	74.272	739.173
	Dispatching	72.742	72.899	73.295	73.247	72.985	73.076	73.240	73.028	73.204	73.577	731.293
	Stand	6.170	7.429	8.359	9.333	10.347	11.333	12.437	13.713	14.823	15.934	109.877
	Smart Stand	4.961	4.819	5.077	5.078	4.689	4.749	4.668	5.112	4.851	4.682	48.686
Nombre usuaris desistits N_{ud}	Hailing	99	90	79	87	73	90	81	91	90	77	857
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	0	0	0	1	0	12	20	35	93	301	462
	Smart Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nombre serveis assignats N_{sa}	Hailing	2.706	2.734	2.636	2.653	2.715	2.674	2.591	2.666	2.631	2.674	26.680
	Dispatching	2.799	2.828	2.704	2.737	2.807	2.730	2.699	2.770	2.694	2.752	27.520
	Stand	2.756	2.789	2.660	2.719	2.718	2.714	2.643	2.649	2.641	2.676	26.965
	Smart Stand	2.778	2.739	2.808	2.670	2.760	2.778	2.750	2.699	2.745	2.763	27.490
Distància taxis assignats $dist_{as}$ (km)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	255	254	239	246	250	250	254	263	248	254	2.512
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Smart Stand	84	84	90	74	82	79	83	79	80	76	809
Distància servei $dist_t$ (km)	Hailing	13.965	13.803	13.597	13.534	13.879	13.690	13.435	13.672	13.564	13.288	136.427
	Dispatching	14.562	14.407	14.026	14.067	14.325	14.235	14.066	14.270	14.108	13.729	141.795
	Stand	14.140	14.124	13.858	13.798	13.888	14.003	13.498	13.689	13.602	13.411	138.010
	Smart Stand	14.441	14.104	14.406	13.778	14.262	14.444	14.217	13.893	14.154	14.146	141.845
Nombre serveis finalitzats N_{sf}	Hailing	2.691	2.724	2.650	2.656	2.688	2.723	2.596	2.670	2.638	2.669	26.705
	Dispatching	2.811	2.796	2.733	2.743	2.764	2.805	2.681	2.765	2.733	2.735	27.566
	Stand	2.708	2.748	2.678	2.689	2.664	2.749	2.617	2.642	2.640	2.652	26.787
	Smart Stand	2.808	2.732	2.791	2.719	2.725	2.747	2.778	2.702	2.726	2.792	27.520
Ingrés pels serveis finalitzats I (€)	Hailing	18.440	18.476	18.273	17.828	18.423	18.549	17.638	18.184	18.110	17.951	181.873
	Dispatching	22.547	22.285	22.008	21.750	22.090	22.474	21.474	22.087	21.941	21.783	220.438
	Stand	18.686	18.764	18.703	18.258	18.384	18.828	17.908	18.141	18.209	18.065	183.945
	Smart Stand	19.730	19.184	19.598	19.072	19.069	19.429	19.491	19.010	19.127	19.530	193.241

Taula A.4 Resultats totals de les simulacions amb densitat de generació de demanda $\lambda = 100$ usuaris/(km²·h).

		$\lambda = 100$ usuaris/(km ² ·h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Temps accés usuaris t_{ac} (min)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	8.289	8.336	8.356	8.310	7.951	8.457	8.016	8.232	8.360	8.323	82.630
	Smart Stand	8.122	8.324	8.260	8.438	8.112	8.167	8.263	8.235	8.488	7.912	82.321
Temps espera usuaris t_w (min)	Hailing	12.409	11.816	12.188	13.077	12.676	11.990	12.584	12.523	12.138	12.253	123.654
	Dispatching	4.411	4.250	4.360	4.610	4.368	4.325	4.381	4.335	4.367	4.363	43.771
	Stand	17.981	19.141	21.687	20.389	20.516	20.817	23.018	23.248	25.653	25.992	218.442
	Smart Stand	1.265	1.278	1.305	1.322	1.309	1.278	1.306	1.350	1.347	1.270	13.029
Temps espera parada taxis t_{pt} (min)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	155.540	154.410	153.760	155.700	156.710	152.910	155.850	155.300	153.680	152.410	1.546.270
	Smart Stand	147.410	146.220	147.540	146.100	149.040	146.740	146.670	146.550	145.840	147.870	1.469.980
Distància lliure taxis $dist_{ll}$ (km)	Hailing	60.268	61.413	60.764	59.330	60.326	60.755	60.976	60.423	60.626	60.821	605.702
	Dispatching	58.128	59.373	58.677	57.127	58.174	58.760	58.898	58.206	58.558	58.966	584.866
	Stand	2.895	3.142	2.950	2.960	2.919	3.086	2.967	3.000	3.040	2.745	29.705
	Smart Stand	5.352	5.369	5.191	4.882	5.423	5.415	5.180	5.490	5.105	5.205	52.613
Nombre usuaris desistits N_{ud}	Hailing	252	232	231	242	239	223	238	252	230	216	2.355
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	17	58	248	323
	Smart Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nombre serveis assignats N_{sa}	Hailing	5.298	5.126	5.273	5.508	5.244	5.215	5.273	5.212	5.240	5.271	52.660
	Dispatching	5.546	5.374	5.504	5.751	5.481	5.451	5.503	5.450	5.478	5.464	55.002
	Stand	5.482	5.416	5.536	5.482	5.373	5.584	5.374	5.461	5.498	5.633	54.839
	Smart Stand	5.485	5.585	5.482	5.560	5.376	5.483	5.510	5.493	5.653	5.374	55.001
Distància taxis assignats $dist_{as}$ (km)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	595	573	584	635	598	589	600	591	590	594	5.949
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Smart Stand	235	249	261	265	259	265	274	283	275	255	2.621
Distància servei $dist_t$ (km)	Hailing	27.292	26.147	26.796	28.230	27.234	26.805	26.584	27.137	26.934	26.739	269.898
	Dispatching	28.837	27.614	28.299	29.798	28.788	28.210	28.063	28.763	28.413	28.000	284.784
	Stand	27.917	28.084	28.513	27.794	27.468	28.688	27.734	27.900	28.451	29.211	281.761
	Smart Stand	28.192	28.597	28.282	29.113	27.501	28.343	28.596	28.319	28.972	28.151	284.066
Nombre serveis finalitzats N_{sf}	Hailing	5.304	5.171	5.220	5.470	5.332	5.243	5.179	5.230	5.222	5.323	52.694
	Dispatching	5.562	5.402	5.442	5.742	5.561	5.466	5.415	5.457	5.504	5.511	55.062
	Stand	5.408	5.468	5.514	5.507	5.385	5.512	5.447	5.427	5.468	5.668	54.804
	Smart Stand	5.492	5.563	5.509	5.598	5.362	5.521	5.468	5.438	5.683	5.446	55.080
Ingrés pels serveis finalitzats I (€)	Hailing	36.212	35.145	35.449	37.290	36.495	35.694	35.267	35.808	35.812	36.013	359.185
	Dispatching	44.496	43.185	43.388	46.060	44.648	43.864	43.360	43.905	44.276	44.043	441.225
	Stand	36.907	37.386	37.626	37.524	36.377	37.671	37.349	37.058	37.430	38.897	374.226
	Smart Stand	38.614	39.471	39.025	40.280	38.104	39.124	39.072	39.046	40.298	38.964	391.998

Taula A.5 Resultats totals de les simulacions amb densitat de generació de demanda $\lambda = 150$ usuaris/(km²·h).

		$\lambda = 150$ usuaris/(km ² ·h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Temps accés usuaris t_{ac} (min)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0				0
	Stand	12.352	12.373	12.443	12.400	12.313	12.494	12.553	12.399	12.418	12.414	124.159
	Smart Stand	12.504	12.480	12.581	12.538	12.111	12.527	12.292	12.305	12.266	12.315	123.919
Temps espera usuaris t_w (min)	Hailing	22.738	22.928	23.237	22.980	22.126	23.766	24.248	22.613	23.500	23.667	231.803
	Dispatching	7.254	7.223	7.225	7.252	7.032	7.341	7.449				50.775
	Stand	44.012	55.527	61.001	67.261	68.120	70.107	73.773	69.278	76.130	76.644	661.853
	Smart Stand	3.084	3.294	3.173	3.246	2.991	3.075	2.938	3.077	3.233	3.163	31.275
Temps espera parada taxis t_{pt} (min)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0				0
	Stand	125.440	121.420	119.940	119.300	119.910	119.260	117.270	120.350	118.080	117.480	1.198.450
	Smart Stand	109.730	108.830	108.820	108.920	110.670	109.470	111.750	110.900	109.980	111.300	1.100.370
Distància lliure taxis $dist_{ll}$ (km)	Hailing	48.321	47.992	47.960	47.598	48.247	47.877	47.047	48.890	47.716	47.673	479.321
	Dispatching	44.330	43.846	43.700	43.487	44.386	43.525	42.563				305.837
	Stand	2.011	2.010	2.162	1.993	2.030	1.969	1.938	2.178	2.178	2.189	20.658
	Smart Stand	4.319	3.909	4.148	4.190	4.407	4.149	4.184	4.243	4.397	4.078	42.023
Nombre usuaris desistits N_{ud}	Hailing	484	469	501	467	454	488	538	465	462	516	4.844
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0				0
	Stand	0	0	0	0	3	5	19	82	277	1.036	1.422
	Smart Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nombre serveis assignats N_{sa}	Hailing	7.697	7.759	7.740	7.836	7.699	7.834	7.863	7.671	7.779	7.832	77.710
	Dispatching	8.144	8.272	8.199	8.324	8.158	8.331	8.366				57.794
	Stand	7.793	8.028	8.076	8.105	8.113	8.195	8.271	8.069	8.216	8.271	81.137
	Smart Stand	8.309	8.294	8.360	8.320	8.139	8.390	8.152	8.228	8.108	8.194	82.494
Distància taxis assignats $dist_{as}$ (km)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	1.141	1.138	1.123	1.135	1.081	1.166	1.214				7.998
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Smart Stand	598	644	615	631	577	599	563	594	630	622	6.074
Distància servei $dist_t$ (km)	Hailing	39.239	39.568	39.600	39.962	39.313	39.683	40.513	38.670	39.844	39.887	396.279
	Dispatching	42.089	42.576	42.736	42.938	42.093	42.869	43.783				299.085
	Stand	39.783	41.252	41.641	42.041	41.783	42.081	42.837	41.476	42.302	42.511	417.708
	Smart Stand	42.608	43.303	43.095	43.001	42.199	42.875	42.042	42.264	42.408	42.253	426.048
Nombre serveis finalitzats N_{sf}	Hailing	7.682	7.722	7.783	7.792	7.769	7.752	7.931	7.617	7.820	7.827	77.695
	Dispatching	8.109	8.181	8.315	8.256	8.201	8.279	8.449				57.790
	Stand	7.712	7.929	8.127	8.119	8.130	8.144	8.255	8.145	8.140	8.313	81.014
	Smart Stand	8.297	8.305	8.360	8.291	8.152	8.438	8.209	8.089	8.188	8.174	82.503
Ingrés pels serveis finalitzats I (€)	Hailing	52.068	52.637	52.829	53.162	52.738	52.336	54.073	51.654	53.169	53.085	527.750
	Dispatching	65.134	65.777	66.825	66.443	65.734	66.296	68.124				464.333
	Stand	52.609	54.358	55.480	55.906	55.354	55.671	56.661	55.700	55.730	56.835	554.304
	Smart Stand	59.835	60.549	60.752	60.377	59.082	60.542	59.217	58.540	59.479	59.244	597.618

A.2.2 RESULTATS PER USUARI GENERAT DE LES SIMULACIONS

En aquest apartat es recullen els resultats per usuari generat de cadascun dels 10 subperíodes de les 5 simulacions amb densitats de demanda diferents realitzades per cada sistema d'assignació.

La definició, presentació i interpretació d'aquests resultats pot ser consultat a l'apartat 5. **RESULTATS DE LES SIMULACIONS** d'aquesta tesina.

Taula A.6 Resultats per usuari generat de les simulacions amb $\lambda = 10$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 10$ usuaris/(km ² ·h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Temps accés usuaris $t_{ac}/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	1,44	1,51	1,55	1,61	1,43	1,31	1,44	1,63	1,56	1,45	1,49
	Smart Stand	1,54	1,47	1,51	1,43	1,45	1,47	1,52	1,46	1,65	1,50	1,50
Temps espera usuaris $t_w/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	1,60	1,57	1,43	1,49	1,47	1,44	1,52	1,48	1,72	1,41	1,51
	Dispatching	0,75	0,72	0,75	0,74	0,69	0,72	0,77	0,73	0,69	0,67	0,72
	Stand	1,44	1,67	1,49	1,69	1,70	1,87	2,67	3,04	2,68	2,29	2,05
	Smart Stand	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,10	0,08	0,09	0,08	0,10	0,08
Temps espera parada taxis $t_{pt}/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	403,71	400,71	398,72	396,39	396,51	396,44	394,90	389,42	387,62	387,38	395,18
	Smart Stand	413,75	413,28	413,19	414,17	413,61	414,28	412,02	414,59	412,24	412,97	413,41
Distància lliure taxis $dist_{ll}/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	154,23	154,29	153,92	154,21	154,64	153,84	154,43	153,85	154,03	154,03	154,15
	Dispatching	153,62	154,05	153,60	153,97	154,35	154,06	153,86	153,82	153,93	154,13	153,94
	Stand	6,78	7,59	7,87	8,24	8,43	8,69	8,74	9,93	10,31	10,50	8,71
	Smart Stand	3,10	3,07	3,17	3,13	3,14	3,00	3,44	3,13	3,24	3,12	3,15
Nombre usuaris desistits $N_{ud}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01
	Smart Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nombre serveis assignats $N_{sa}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,96	1,01	1,01	0,98	0,89	0,98	0,95	0,99	1,03	0,99	0,98
	Dispatching	1,04	1,00	1,04	1,03	0,93	1,03	1,02	1,00	0,98	0,95	1,00
	Stand	0,94	1,00	0,99	1,09	0,95	0,86	0,95	1,10	1,05	0,98	0,99
	Smart Stand	1,02	1,00	1,01	0,97	0,94	0,98	1,03	0,98	1,08	1,00	1,00
Distància taxis assignats $dist_{as}/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,08
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Smart Stand	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
Distància servei $dist_s/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	4,97	4,91	5,28	4,99	4,56	5,36	4,77	5,35	5,17	5,17	5,05
	Dispatching	5,50	5,06	5,51	5,15	4,77	5,06	5,25	5,30	5,19	5,00	5,18
	Stand	4,97	5,10	5,18	5,39	4,84	4,52	4,86	5,46	5,46	5,15	5,09
	Smart Stand	5,14	5,34	5,27	4,95	5,15	5,04	5,43	4,80	5,54	5,40	5,21
Nombre serveis finalitzats $N_{sf}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,94	0,96	1,05	0,95	0,92	0,96	0,95	1,01	0,99	1,02	0,98
	Dispatching	1,07	0,99	1,05	1,03	0,95	0,99	1,03	0,98	0,99	0,95	1,00
	Stand	0,90	1,03	0,97	1,06	0,98	0,87	0,90	1,09	1,04	0,96	0,98
	Smart Stand	0,95	1,02	0,98	0,99	0,99	0,94	1,02	0,98	1,08	1,02	1,00
Ingrés pels serveis finalitzats $I/(\lambda \cdot S)$ (€/usuari)	Hailing	6,44	6,47	7,19	6,51	6,26	6,76	6,51	7,09	6,69	7,11	6,70
	Dispatching	8,57	7,91	8,42	8,27	7,53	7,89	8,24	7,89	7,96	7,69	8,04
	Stand	6,26	7,16	6,77	7,26	6,72	5,97	6,18	7,42	7,21	6,74	6,77
	Smart Stand	6,53	7,19	6,85	6,81	7,07	6,55	7,31	6,64	7,41	7,18	6,95

Taula A.7 Resultats per usuari generat de les simulacions amb $\lambda = 25$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 25$ usuaris/(km ² -h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Temps accés usuaris $t_{ac}/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	1,48	1,50	1,55	1,46	1,50	1,53	1,51	1,41	1,49	1,53	1,50
	Smart Stand	1,47	1,47	1,54	1,49	1,53	1,50	1,48	1,50			1,50
Temps espera usuaris $t_w/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	1,58	1,52	1,71	1,69	1,64	1,68	1,65	1,69			1,64
	Dispatching	0,70	0,71	0,71	0,74	0,72	0,73	0,71	0,76	0,75	0,72	0,72
	Stand	1,34	1,81	1,86	2,00	2,37	2,66	2,67	2,72	3,13	3,24	2,38
	Smart Stand	0,10	0,12	0,10	0,11	0,13	0,11	0,12	0,12			0,11
Temps espera parada taxis $t_{pt}/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	149,08	147,90	145,43	144,07	141,73	140,77	139,63	138,64	137,20	134,75	141,92
	Smart Stand	154,22	154,17	153,70	153,73	153,75	153,64	154,36	154,45			154,00
Distància lliure taxis $dist_{ll}/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	58,76	58,65	58,82	58,71	58,67	58,70	58,73	58,51			58,69
	Dispatching	58,50	58,44	58,57	58,49	58,43	58,42	58,50	58,26	58,31	58,51	58,44
	Stand	3,90	4,29	4,74	5,31	5,62	6,04	6,31	6,64	7,04	7,45	5,73
	Smart Stand	2,29	2,34	2,37	2,43	2,42	2,41	2,30	2,26			2,35
Nombre usuaris desistits $N_{ud}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03			0,03
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01
	Smart Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00
Nombre serveis assignats $N_{sa}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,94	0,97	0,96	0,98	0,96	0,97	0,96	0,99			0,97
	Dispatching	0,96	0,99	0,99	1,01	1,00	0,99	0,99	1,03	1,02	0,99	1,00
	Stand	0,97	0,99	1,03	0,96	1,01	1,00	0,98	0,96	0,98	1,00	0,99
	Smart Stand	0,99	0,98	1,03	1,00	1,04	1,01	0,98	0,99			1,00
Distància taxis assignats $dist_{as}/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00
	Dispatching	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Smart Stand	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02			0,02
Distància servei $dist_s/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	4,92	5,03	4,86	4,97	5,01	4,98	4,95	5,17			4,99
	Dispatching	5,10	5,15	5,03	5,11	5,17	5,17	5,10	5,33	5,28	5,08	5,15
	Stand	5,18	5,06	5,34	5,01	5,31	5,08	5,08	4,99	4,90	5,15	5,11
	Smart Stand	5,10	5,07	5,21	5,14	5,14	5,20	5,05	5,05			5,12
Nombre serveis finalitzats $N_{sf}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,94	0,96	0,97	0,98	0,97	0,97	0,96	1,00			0,97
	Dispatching	0,97	0,98	1,00	1,01	0,98	1,01	0,98	1,03	1,01	0,99	1,00
	Stand	0,98	0,97	1,03	0,96	0,99	0,99	0,99	0,97	0,95	0,98	0,98
	Smart Stand	1,00	0,99	1,01	1,04	0,99	1,03	0,99	0,98			1,00
Ingrés pels serveis finalitzats $I/(\lambda \cdot S)$ (€/usuari)	Hailing	6,53	6,60	6,60	6,59	6,64	6,61	6,53	6,91			6,63
	Dispatching	7,80	7,87	7,93	8,02	7,86	8,12	7,83	8,24	8,16	7,91	7,97
	Stand	6,94	6,64	7,12	6,64	6,97	6,77	6,74	6,69	6,49	6,79	6,78
	Smart Stand	7,02	6,90	6,95	7,15	6,85	7,10	6,90	6,97			6,98

Taula A.8 Resultats per usuari generat de les simulacions amb $\lambda = 50$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 50$ usuaris/(km ² -h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Temps accés usuaris $t_{ac}/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	1,54	1,52	1,47	1,51	1,52	1,52	1,46	1,53	1,45	1,52	1,51
	Smart Stand	1,53	1,49	1,55	1,48	1,47	1,51	1,48	1,48	1,46	1,51	1,50
Temps espera usuaris $t_w/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	1,95	1,94	1,76	1,85	1,82	1,86	1,84	1,84	1,87	1,80	1,85
	Dispatching	0,77	0,77	0,72	0,74	0,76	0,74	0,74	0,77	0,75	0,76	0,75
	Stand	1,97	2,52	2,53	3,21	3,75	4,62	4,91	5,65	6,42	6,86	4,25
	Smart Stand	0,17	0,16	0,17	0,15	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16
Temps espera parada taxis $t_{pt}/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	66,32	64,53	63,25	61,83	60,37	58,75	57,71	56,00	54,76	53,35	59,69
	Smart Stand	67,85	68,33	67,76	68,40	68,30	68,07	68,37	68,25	68,25	68,43	68,20
Distància lliure taxis $dist_{ll}/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	26,76	26,82	26,90	26,92	26,79	26,86	26,95	26,87	26,91	27,01	26,88
	Dispatching	26,45	26,51	26,65	26,64	26,54	26,57	26,63	26,56	26,62	26,76	26,59
	Stand	2,24	2,70	3,04	3,39	3,76	4,12	4,52	4,99	5,39	5,79	4,00
	Smart Stand	1,80	1,75	1,85	1,85	1,71	1,73	1,70	1,86	1,76	1,70	1,77
Nombre usuaris desistits $N_{ud}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,11	0,02
	Smart Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nombre serveis assignats $N_{sa}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,98	0,99	0,96	0,96	0,99	0,97	0,94	0,97	0,96	0,97	0,97
	Dispatching	1,02	1,03	0,98	1,00	1,02	0,99	0,98	1,01	0,98	1,00	1,00
	Stand	1,00	1,01	0,97	0,99	0,99	0,99	0,96	0,96	0,96	0,97	0,98
	Smart Stand	1,01	1,00	1,02	0,97	1,00	1,01	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00
Distància taxis assignats $dist_{as}/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Smart Stand	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Distància servei $dist_s/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	5,08	5,02	4,94	4,92	5,05	4,98	4,89	4,97	4,93	4,83	4,96
	Dispatching	5,30	5,24	5,10	5,12	5,21	5,18	5,12	5,19	5,13	4,99	5,16
	Stand	5,14	5,14	5,04	5,02	5,05	5,09	4,91	4,98	4,95	4,88	5,02
	Smart Stand	5,25	5,13	5,24	5,01	5,19	5,25	5,17	5,05	5,15	5,14	5,16
Nombre serveis finalitzats $N_{sf}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,98	0,99	0,96	0,97	0,98	0,99	0,94	0,97	0,96	0,97	0,97
	Dispatching	1,02	1,02	0,99	1,00	1,01	1,02	0,97	1,01	0,99	0,99	1,00
	Stand	0,98	1,00	0,97	0,98	0,97	1,00	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97
	Smart Stand	1,02	0,99	1,01	0,99	0,99	1,00	1,01	0,98	0,99	1,02	1,00
Ingrés pels serveis finalitzats $I/(\lambda \cdot S)$ (€/usuari)	Hailing	6,71	6,72	6,64	6,48	6,70	6,75	6,41	6,61	6,59	6,53	6,61
	Dispatching	8,20	8,10	8,00	7,91	8,03	8,17	7,81	8,03	7,98	7,92	8,02
	Stand	6,79	6,82	6,80	6,64	6,69	6,85	6,51	6,60	6,62	6,57	6,69
	Smart Stand	7,17	6,98	7,13	6,94	6,93	7,07	7,09	6,91	6,96	7,10	7,03

Taula A.9 Resultats per usuari generat de les simulacions amb $\lambda = 100$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 100$ usuaris/(km ² ·h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Temps accés usuaris $t_{ac}/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	1,51	1,52	1,52	1,51	1,45	1,54	1,46	1,50	1,52	1,51	1,50
	Smart Stand	1,48	1,51	1,50	1,53	1,47	1,48	1,50	1,50	1,54	1,44	1,50
Temps espera usuaris $t_w/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	2,26	2,15	2,22	2,38	2,30	2,18	2,29	2,28	2,21	2,23	2,25
	Dispatching	0,80	0,77	0,79	0,84	0,79	0,79	0,80	0,79	0,79	0,79	0,80
	Stand	3,27	3,48	3,94	3,71	3,73	3,78	4,19	4,23	4,66	4,73	3,97
	Smart Stand	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,23	0,24	0,25	0,24	0,23	0,24
Temps espera parada taxis $t_{pt}/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	28,28	28,07	27,96	28,31	28,49	27,80	28,34	28,24	27,94	27,71	28,11
	Smart Stand	26,80	26,59	26,83	26,56	27,10	26,68	26,67	26,65	26,52	26,89	26,73
Distància lliure taxis $dist_{ll}/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	10,96	11,17	11,05	10,79	10,97	11,05	11,09	10,99	11,02	11,06	11,01
	Dispatching	10,57	10,80	10,67	10,39	10,58	10,68	10,71	10,58	10,65	10,72	10,63
	Stand	0,53	0,57	0,54	0,54	0,53	0,56	0,54	0,55	0,55	0,50	0,54
	Smart Stand	0,97	0,98	0,94	0,89	0,99	0,98	0,94	1,00	0,93	0,95	0,96
Nombre usuaris desistits $N_{ud}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01
	Smart Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nombre serveis assignats $N_{sa}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,96	0,93	0,96	1,00	0,95	0,95	0,96	0,95	0,95	0,96	0,96
	Dispatching	1,01	0,98	1,00	1,05	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00
	Stand	1,00	0,98	1,01	1,00	0,98	1,02	0,98	0,99	1,00	1,02	1,00
	Smart Stand	1,00	1,02	1,00	1,01	0,98	1,00	1,00	1,00	1,03	0,98	1,00
Distància taxis assignats $dist_{as}/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,11	0,10	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Smart Stand	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Distància servei $dist_s/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	4,96	4,75	4,87	5,13	4,95	4,87	4,83	4,93	4,90	4,86	4,91
	Dispatching	5,24	5,02	5,15	5,42	5,23	5,13	5,10	5,23	5,17	5,09	5,18
	Stand	5,08	5,11	5,18	5,05	4,99	5,22	5,04	5,07	5,17	5,31	5,12
	Smart Stand	5,13	5,20	5,14	5,29	5,00	5,15	5,20	5,15	5,27	5,12	5,16
Nombre serveis finalitzats $N_{sf}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,96	0,94	0,95	0,99	0,97	0,95	0,94	0,95	0,95	0,97	0,96
	Dispatching	1,01	0,98	0,99	1,04	1,01	0,99	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00
	Stand	0,98	0,99	1,00	1,00	0,98	1,00	0,99	0,99	0,99	1,03	1,00
	Smart Stand	1,00	1,01	1,00	1,02	0,97	1,00	0,99	0,99	1,03	0,99	1,00
Ingrés pels serveis finalitzats $I/(\lambda \cdot S)$ (€/usuari)	Hailing	6,58	6,39	6,45	6,78	6,64	6,49	6,41	6,51	6,51	6,55	6,53
	Dispatching	8,09	7,85	7,89	8,37	8,12	7,98	7,88	7,98	8,05	8,01	8,02
	Stand	6,71	6,80	6,84	6,82	6,61	6,85	6,79	6,74	6,81	7,07	6,80
	Smart Stand	7,02	7,18	7,10	7,32	6,93	7,11	7,10	7,10	7,33	7,08	7,13

Taula A.10 Resultats per usuari generat de les simulacions amb $\lambda = 150$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 150$ usuaris/(km ² ·h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Temps accés usuari $t_{ac}/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00
	Stand	1,50	1,50	1,51	1,50	1,49	1,51	1,52	1,50	1,51	1,50	1,50
	Smart Stand	1,52	1,51	1,52	1,52	1,47	1,52	1,49	1,49	1,49	1,49	1,50
Temps espera usuari $t_w/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	2,76	2,78	2,82	2,79	2,68	2,88	2,94	2,74	2,85	2,87	2,81
	Dispatching	0,88	0,88	0,88	0,88	0,85	0,89	0,90				0,88
	Stand	5,33	6,73	7,39	8,15	8,26	8,50	8,94	8,40	9,23	9,29	8,02
	Smart Stand	0,37	0,40	0,38	0,39	0,36	0,37	0,36	0,37	0,39	0,38	0,38
Temps espera parada taxis $t_{pt}/(\lambda \cdot S)$ (min/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00
	Stand	15,20	14,72	14,54	14,46	14,53	14,46	14,21	14,59	14,31	14,24	14,53
	Smart Stand	13,30	13,19	13,19	13,20	13,41	13,27	13,55	13,44	13,33	13,49	13,34
Distància lliure taxis $dist_{ll}/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	5,86	5,82	5,81	5,77	5,85	5,80	5,70	5,93	5,78	5,78	5,81
	Dispatching	5,37	5,31	5,30	5,27	5,38	5,28	5,16				3,71
	Stand	0,24	0,24	0,26	0,24	0,25	0,24	0,23	0,26	0,26	0,27	0,25
	Smart Stand	0,52	0,47	0,50	0,51	0,53	0,50	0,51	0,51	0,53	0,49	0,51
Nombre usuaris desistits $N_{ud}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,13	0,02
	Smart Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nombre serveis assignats $N_{sa}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,93	0,94	0,94	0,95	0,93	0,95	0,95	0,93	0,94	0,95	0,94
	Dispatching	0,99	1,00	0,99	1,01	0,99	1,01	1,01				1,00
	Stand	0,94	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	1,00	0,98	1,00	1,00	0,98
	Smart Stand	1,01	1,01	1,01	1,01	0,99	1,02	0,99	1,00	0,98	0,99	1,00
Distància taxis assignats $dist_{as}/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,15				0,14
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Smart Stand	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07
Distància servei $dist_s/(\lambda \cdot S)$ (km/usuari)	Hailing	4,76	4,80	4,80	4,84	4,77	4,81	4,91	4,69	4,83	4,83	4,80
	Dispatching	5,10	5,16	5,18	5,20	5,10	5,20	5,31				5,18
	Stand	4,82	5,00	5,05	5,10	5,06	5,10	5,19	5,03	5,13	5,15	5,06
	Smart Stand	5,16	5,25	5,22	5,21	5,12	5,20	5,10	5,12	5,14	5,12	5,16
Nombre serveis finalitzats $N_{sf}/(\lambda \cdot S)$	Hailing	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,96	0,92	0,95	0,95	0,94
	Dispatching	0,98	0,99	1,01	1,00	0,99	1,00	1,02				1,00
	Stand	0,93	0,96	0,99	0,98	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	1,01	0,98
	Smart Stand	1,01	1,01	1,01	1,00	0,99	1,02	1,00	0,98	0,99	0,99	1,00
Ingrés pels serveis finalitzats $I/(\lambda \cdot S)$ (€/usuari)	Hailing	6,31	6,38	6,40	6,44	6,39	6,34	6,55	6,26	6,44	6,43	6,40
	Dispatching	7,90	7,97	8,10	8,05	7,97	8,04	8,26				8,04
	Stand	6,38	6,59	6,72	6,78	6,71	6,75	6,87	6,75	6,76	6,89	6,72
	Smart Stand	7,25	7,34	7,36	7,32	7,16	7,34	7,18	7,10	7,21	7,18	7,24

ANNEX III. COSTOS

En aquest annex es recullen els costos totals i per servei finalitzat de cadascun dels 10 subperíodes de les 5 simulacions amb densitats de demanda diferents realitzades per cada sistema d'assignació. La definició d'aquests costos pot ser consultada a l'apartat **6. FUNCIO OBJECTIU** d'aquesta tesina.

Taula A.11 Costos amb densitat de generació de demanda $\lambda = 10$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 10$ usuaris/(km ² -h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Z_{us} (€)	Hailing	6.335	6.313	6.869	6.360	6.003	6.671	6.256	6.861	6.595	6.769	65.032
	Dispatching	7.615	7.027	7.539	7.269	6.663	7.012	7.309	7.137	7.113	6.863	71.546
	Stand	6.469	7.085	6.881	7.305	6.699	6.136	6.596	7.680	7.487	6.981	69.320
	Smart Stand	6.468	6.923	6.709	6.513	6.759	6.421	7.041	6.348	7.174	6.954	67.310
Z_{trans} (€)	Hailing	63.061	63.046	62.651	63.023	63.161	62.886	63.024	62.704	62.923	62.690	629.169
	Dispatching	61.888	62.253	61.971	62.055	62.462	62.264	62.072	62.265	62.227	62.375	621.833
	Stand	48.200	47.799	48.053	47.839	48.101	48.506	48.432	47.928	48.086	48.329	481.273
	Smart Stand	47.694	47.348	47.538	47.523	47.401	47.665	47.331	47.603	47.269	47.369	474.741
Z_{TIC} (€)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	669	669	669	669	669	669	669	669	669	669	6.689
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Smart Stand	669	669	669	669	669	669	669	669	669	669	6.689
Z_{inf} (€)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	36.617
	Smart Stand	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	36.617
Z (€)	Hailing	69.396	69.359	69.520	69.383	69.164	69.557	69.280	69.565	69.518	69.459	694.201
	Dispatching	70.172	69.949	70.179	69.993	69.794	69.945	70.050	70.071	70.009	69.908	700.069
	Stand	58.330	58.546	58.595	58.806	58.462	58.303	58.690	59.270	59.235	58.972	587.210
	Smart Stand	58.493	58.602	58.578	58.367	58.491	58.416	58.703	58.281	58.774	58.653	585.358
0												
Z_{us} (€/servei finalitzat)	Hailing	12,21	11,91	11,90	12,16	11,82	12,68	11,94	12,32	12,15	12,04	12,11
	Dispatching	12,88	12,87	13,11	12,86	12,76	12,84	12,85	13,29	13,10	13,07	12,96
	Stand	13,07	12,47	12,84	12,53	12,43	12,81	13,27	12,82	13,14	13,22	12,86
	Smart Stand	12,44	12,36	12,42	11,95	12,40	12,37	12,51	11,80	12,10	12,40	12,27
Z_{trans} (€/servei finalitzat)	Hailing	121,51	118,95	108,58	120,50	124,33	119,55	120,28	112,57	115,88	111,55	117,37
	Dispatching	104,72	114,02	107,78	109,83	119,66	114,04	109,09	115,95	114,60	118,81	112,85
	Stand	97,37	84,15	89,65	82,06	89,24	101,26	97,45	80,01	84,36	91,53	89,71
	Smart Stand	91,72	84,55	88,03	87,20	86,97	91,84	84,07	88,48	79,71	84,44	86,70
Z_{TIC} (€/servei finalitzat)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	1,13	1,23	1,16	1,18	1,28	1,23	1,18	1,25	1,23	1,27	1,21
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Smart Stand	1,29	1,19	1,24	1,23	1,23	1,29	1,19	1,24	1,13	1,19	1,22
Z_{inf} (€/servei finalitzat)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	7,40	6,45	6,83	6,28	6,79	7,64	7,37	6,11	6,42	6,94	6,82
	Smart Stand	7,04	6,54	6,78	6,72	6,72	7,06	6,50	6,81	6,17	6,53	6,69
Z (€/servei finalitzat)	Hailing	133,71	130,87	120,48	132,66	136,15	132,24	132,21	124,89	128,03	123,59	129,48
	Dispatching	118,73	128,11	122,05	123,88	133,70	128,10	123,11	130,49	128,93	133,16	127,03
	Stand	117,84	103,07	109,32	100,87	108,46	121,72	118,09	98,95	103,92	111,69	109,39
	Smart Stand	112,49	104,65	108,48	107,09	107,32	112,56	104,27	108,33	99,11	104,55	106,88

Taula A.12 Costos amb densitat de generació de demanda $\lambda = 10$ usuaris/(km²/h). $\lambda = 25$ usuaris/(km²·h)

Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Z_{us} (€)	Hailing	15.887	16.095	15.955	16.076	16.181	16.123	15.947	16.777			129.041
	Dispatching	17.461	17.616	17.560	17.778	17.638	17.997	17.489	18.367	18.195	17.586	177.687
	Stand	17.347	17.007	18.055	17.013	18.026	17.602	17.570	17.358	17.208	17.987	175.172
	Smart Stand	16.783	16.588	16.859	17.030	16.643	17.026	16.567	16.679			134.175
Z_{trans} (€)	Hailing	57.623	57.527	57.530	57.542	57.469	57.509	57.631	57.097			459.927
	Dispatching	55.875	55.787	55.693	55.580	55.791	55.440	55.842	55.276	55.384	55.733	556.400
	Stand	43.208	43.684	43.224	43.932	43.638	43.964	44.070	44.199	44.552	44.316	438.788
	Smart Stand	42.679	42.848	42.821	42.539	42.955	42.628	42.824	42.722			342.017
Z_{TIC} (€)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0			0
	Dispatching	669	669	669	669	669	669	669	669	669	669	6.689
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Smart Stand	669	669	669	669	669	669	669	669			5.351
Z_{inf} (€)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0			0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	36.617
	Smart Stand	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662			29.294
Z (€)	Hailing	73.511	73.621	73.485	73.618	73.651	73.631	73.578	73.873			588.968
	Dispatching	74.005	74.072	73.921	74.027	74.097	74.106	74.000	74.312	74.249	73.988	740.776
	Stand	64.217	64.353	64.941	64.606	65.325	65.228	65.303	65.219	65.421	65.965	650.577
	Smart Stand	63.792	63.767	64.011	63.899	63.929	63.985	63.722	63.732			510.837
0												
Z_{us} (€/servei finalitzat)	Hailing	12,23	12,21	11,92	11,99	12,17	12,14	12,11	12,16			12,12
	Dispatching	13,13	13,08	12,81	12,81	13,06	12,96	12,97	13,02	13,05	12,87	12,97
	Stand	12,87	12,81	12,78	12,95	13,21	12,95	12,97	13,07	13,24	13,33	13,02
	Smart Stand	12,19	12,14	12,20	11,95	12,17	12,01	12,21	12,36			12,15
Z_{trans} (€/servei finalitzat)	Hailing	44,36	43,65	43,00	42,91	43,21	43,30	43,76	41,37			43,20
	Dispatching	42,01	41,42	40,62	40,04	41,30	39,91	41,43	39,17	39,73	40,77	40,64
	Stand	32,05	32,89	30,59	33,43	31,97	32,35	32,52	33,28	34,27	32,85	32,62
	Smart Stand	30,99	31,37	30,98	29,85	31,42	30,06	31,56	31,67			30,99
Z_{TIC} (€/servei finalitzat)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00
	Dispatching	0,50	0,50	0,49	0,48	0,50	0,48	0,50	0,47	0,48	0,49	0,49
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Smart Stand	0,49	0,49	0,48	0,47	0,49	0,47	0,49	0,50			0,48
Z_{inf} (€/servei finalitzat)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	2,72	2,76	2,59	2,79	2,68	2,69	2,70	2,76	2,82	2,71	2,72
	Smart Stand	2,66	2,68	2,65	2,57	2,68	2,58	2,70	2,71			2,65
Z (€/servei finalitzat)	Hailing	56,59	55,86	54,92	54,90	55,38	55,45	55,87	53,53			55,31
	Dispatching	55,64	54,99	53,92	53,33	54,85	53,35	54,90	52,67	53,26	54,12	54,10
	Stand	47,64	48,46	45,96	49,17	47,86	48,00	48,19	49,11	50,32	48,90	48,36
	Smart Stand	46,33	46,68	46,32	44,84	46,77	45,12	46,96	47,24			46,28

Taula A.13 Costos amb densitat de generació de demanda $\lambda = 50$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 50$ usuaris/(km ² ·h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Z_{us} (€)	Hailing	32.988	32.864	32.310	31.888	32.772	32.760	31.597	32.361	32.214	31.740	323.494
	Dispatching	36.553	36.153	35.483	35.278	35.875	36.159	35.001	35.832	35.516	35.021	356.871
	Stand	34.819	35.373	35.025	35.194	35.911	37.253	36.085	37.233	37.858	38.000	362.750
	Smart Stand	34.478	33.583	34.338	33.150	33.592	34.152	33.990	33.197	33.541	33.980	338.000
Z_{trans} (€)	Hailing	48.163	48.127	48.330	48.775	48.180	48.054	48.965	48.419	48.493	48.652	484.157
	Dispatching	44.056	44.318	44.595	44.853	44.513	44.129	45.129	44.516	44.662	44.820	445.592
	Stand	35.511	35.662	35.845	36.459	36.536	36.295	37.326	37.364	37.485	37.799	366.282
	Smart Stand	34.315	34.772	34.462	34.869	34.892	34.576	34.458	34.960	34.843	34.407	346.554
Z_{TIC} (€)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	669	669	669	669	669	669	669	669	669	669	6.689
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Smart Stand	669	669	669	669	669	669	669	669	669	669	6.689
Z_{inf} (€)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	36.617
	Smart Stand	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	36.617
Z (€)	Hailing	81.151	80.991	80.641	80.663	80.952	80.814	80.561	80.780	80.706	80.391	807.650
	Dispatching	81.278	81.140	80.747	80.800	81.056	80.957	80.800	81.017	80.847	80.510	809.152
	Stand	73.992	74.697	74.532	75.315	76.109	77.210	77.072	78.258	79.005	79.460	765.648
	Smart Stand	73.123	72.686	73.131	72.350	72.814	73.059	72.778	72.488	72.714	72.718	727.860
0												
Z_{us} (€/servei finalitzat)	Hailing	12,26	12,06	12,19	12,01	12,19	12,03	12,17	12,12	12,21	11,89	12,11
	Dispatching	13,00	12,93	12,98	12,86	12,98	12,89	13,06	12,96	13,00	12,80	12,95
	Stand	12,86	12,87	13,08	13,09	13,48	13,55	13,79	14,09	14,34	14,33	13,55
	Smart Stand	12,28	12,29	12,30	12,19	12,33	12,43	12,24	12,29	12,30	12,17	12,28
Z_{trans} (€/servei finalitzat)	Hailing	17,90	17,67	18,24	18,36	17,92	17,65	18,86	18,13	18,38	18,23	18,13
	Dispatching	15,67	15,85	16,32	16,35	16,10	15,73	16,83	16,10	16,34	16,39	16,17
	Stand	13,11	12,98	13,39	13,56	13,71	13,20	14,26	14,14	14,20	14,25	13,68
	Smart Stand	12,22	12,73	12,35	12,82	12,80	12,59	12,40	12,94	12,78	12,32	12,60
Z_{TIC} (€/servei finalitzat)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Smart Stand	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24
Z_{inf} (€/servei finalitzat)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	1,35	1,33	1,37	1,36	1,37	1,33	1,40	1,39	1,39	1,38	1,37
	Smart Stand	1,30	1,34	1,31	1,35	1,34	1,33	1,32	1,36	1,34	1,31	1,33
Z (€/servei finalitzat)	Hailing	30,16	29,73	30,43	30,37	30,12	29,68	31,03	30,25	30,59	30,12	30,25
	Dispatching	28,91	29,02	29,55	29,46	29,33	28,86	30,14	29,30	29,58	29,44	29,36
	Stand	27,32	27,18	27,83	28,01	28,57	28,09	29,45	29,62	29,93	29,96	28,60
	Smart Stand	26,04	26,61	26,20	26,61	26,72	26,60	26,20	26,83	26,67	26,04	26,45

Taula A.14 Costos amb densitat de generació de demanda $\lambda = 100$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 100$ usuaris/(km ² ·h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Z_{us} (€)	Hailing	65.284	62.973	63.995	67.442	65.603	64.182	63.750	64.776	64.467	64.527	646.998
	Dispatching	72.313	69.832	70.696	74.822	72.407	71.080	70.460	71.630	71.691	71.080	716.011
	Stand	71.170	72.205	73.692	72.484	70.963	73.641	73.033	73.042	74.763	77.025	732.018
	Smart Stand	67.501	68.800	68.054	70.133	66.371	68.169	68.388	68.115	70.047	67.745	683.321
Z_{trans} (€)	Hailing	30.391	31.458	31.154	29.313	30.108	30.909	31.336	30.795	30.791	30.590	306.845
	Dispatching	22.107	23.418	23.215	20.543	21.955	22.739	23.243	22.698	22.327	22.560	224.805
	Stand	19.227	18.824	18.628	18.599	19.678	18.640	18.764	19.092	18.829	17.448	187.730
	Smart Stand	18.067	17.290	17.648	16.490	18.468	17.602	17.660	17.693	16.489	17.687	175.093
Z_{TIC} (€)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	669	669	669	669	669	669	669	669	669	669	6.689
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Smart Stand	669	669	669	669	669	669	669	669	669	669	6.689
Z_{inf} (€)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stand	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	36.617
	Smart Stand	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	36.617
Z (€)	Hailing	95.675	94.431	95.148	96.755	95.711	95.090	95.086	95.571	95.257	95.118	953.843
	Dispatching	95.090	93.919	94.581	96.034	95.030	94.488	94.372	94.997	94.687	94.309	947.506
	Stand	94.059	94.691	95.981	94.746	94.303	95.943	95.459	95.796	97.253	98.134	956.365
	Smart Stand	89.899	90.421	90.032	90.953	89.169	90.101	90.378	90.139	90.867	89.762	901.720
0												
Z_{us} (€/servei finalitzat)	Hailing	12,31	12,18	12,26	12,33	12,30	12,24	12,31	12,39	12,35	12,12	12,28
	Dispatching	13,00	12,93	12,99	13,03	13,02	13,00	13,01	13,13	13,03	12,90	13,00
	Stand	13,16	13,20	13,36	13,16	13,18	13,36	13,41	13,46	13,67	13,59	13,36
	Smart Stand	12,29	12,37	12,35	12,53	12,38	12,35	12,51	12,53	12,33	12,44	12,41
Z_{trans} (€/servei finalitzat)	Hailing	5,73	6,08	5,97	5,36	5,65	5,90	6,05	5,89	5,90	5,75	5,83
	Dispatching	3,97	4,33	4,27	3,58	3,95	4,16	4,29	4,16	4,06	4,09	4,09
	Stand	3,56	3,44	3,38	3,38	3,65	3,38	3,44	3,52	3,44	3,08	3,43
	Smart Stand	3,29	3,11	3,20	2,95	3,44	3,19	3,23	3,25	2,90	3,25	3,18
Z_{TIC} (€/servei finalitzat)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Smart Stand	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Z_{inf} (€/servei finalitzat)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stand	0,68	0,67	0,66	0,66	0,68	0,66	0,67	0,67	0,67	0,65	0,67
	Smart Stand	0,67	0,66	0,66	0,65	0,68	0,66	0,67	0,67	0,64	0,67	0,66
Z (€/servei finalitzat)	Hailing	18,04	18,26	18,23	17,69	17,95	18,14	18,36	18,27	18,24	17,87	18,10
	Dispatching	17,10	17,39	17,38	16,72	17,09	17,29	17,43	17,41	17,20	17,11	17,21
	Stand	17,39	17,32	17,41	17,20	17,51	17,41	17,53	17,65	17,79	17,31	17,45
	Smart Stand	16,37	16,25	16,34	16,25	16,63	16,32	16,53	16,58	15,99	16,48	16,37

Taula A.15 Costos amb densitat de generació de demanda $\lambda = 150$ usuaris/(km²/h).

		$\lambda = 150$ usuaris/(km ² ·h)										
Subperíode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Z_{us} (€)	Hailing	95.498	96.431	96.755	97.333	96.032	96.514	99.171	94.523	97.406	97.417	967.082
	Dispatching	106.007	107.086	108.279	108.091	106.536	107.910	110.609				754.519
	Stand	107.746	114.681	118.007	120.871	120.341	121.652	124.575	120.821	123.896	125.362	1.197.951
	Smart Stand	103.960	105.371	105.377	104.927	102.671	104.916	102.706	102.282	103.392	103.008	1.038.612
Z_{trans} (€)	Hailing	14.535	13.966	13.774	13.441	13.865	14.267	12.530	14.949	13.434	13.518	138.280
	Dispatching	1.469	826	-222	160	869	307	-1.521				1.888
	Stand	5.551	4.073	3.051	2.667	3.178	2.906	2.049	2.803	2.925	1.861	31.063
	Smart Stand	-618	-1.271	-1.473	-1.106	72	-1.307	-135	599	-278	-132	-5.650
Z_{TIC} (€)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	669	669	669	669	669	669	669				4.682
	Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Smart Stand	669	669	669	669	669	669	669	669	669	669	6.689
Z_{inf} (€)	Hailing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dispatching	0	0	0	0	0	0	0				0
	Stand	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	36.617
	Smart Stand	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	3.662	36.617
Z (€)	Hailing	110.033	110.397	110.530	110.775	109.897	110.782	111.701	109.472	110.840	110.935	1.105.362
	Dispatching	108.145	108.580	108.727	108.920	108.074	108.887	109.758				761.090
	Stand	116.958	122.416	124.719	127.200	127.180	128.220	130.285	127.285	130.483	130.884	1.265.631
	Smart Stand	107.673	108.431	108.235	108.152	107.074	107.940	106.901	107.212	107.444	107.207	1.076.268
0												
Z_{us} (€/servei finalitzat)	Hailing	12,43	12,49	12,43	12,49	12,36	12,45	12,50	12,41	12,46	12,45	12,45
	Dispatching	13,07	13,09	13,02	13,09	12,99	13,03	13,09				13,06
	Stand	13,97	14,46	14,52	14,89	14,80	14,94	15,09	14,83	15,22	15,08	14,78
	Smart Stand	12,53	12,69	12,60	12,66	12,59	12,43	12,51	12,64	12,63	12,60	12,59
Z_{trans} (€/servei finalitzat)	Hailing	1,89	1,81	1,77	1,72	1,78	1,84	1,58	1,96	1,72	1,73	1,78
	Dispatching	0,18	0,10	-0,03	0,02	0,11	0,04	-0,18				0,03
	Stand	0,72	0,51	0,38	0,33	0,39	0,36	0,25	0,34	0,36	0,22	0,39
	Smart Stand	-0,07	-0,15	-0,18	-0,13	0,01	-0,15	-0,02	0,07	-0,03	-0,02	-0,07
Z_{TIC} (€/servei finalitzat)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08				0,08
	Stand	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Smart Stand	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Z_{inf} (€/servei finalitzat)	Hailing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dispatching	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00
	Stand	0,47	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44	0,45	0,45	0,44	0,45
	Smart Stand	0,44	0,44	0,44	0,44	0,45	0,43	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44
Z (€/servei finalitzat)	Hailing	14,32	14,30	14,20	14,22	14,15	14,29	14,08	14,37	14,17	14,17	20,33
	Dispatching	13,34	13,27	13,08	13,19	13,18	13,15	12,99				13,17
	Stand	15,17	15,44	15,35	15,67	15,64	15,74	15,78	15,63	16,03	15,74	15,62
	Smart Stand	12,98	13,06	12,95	13,04	13,13	12,79	13,02	13,25	13,12	13,12	13,05