

# 6

## CONCLUSIONS

## 6.1 RESUM

La present tesi s'ha dividit en un total de vuit capítols. El primer, ha tingut com a objecte d'exposar-ne els antecedents, tant remots com propers, tant marginals com centrals.

Els capítols segon i tercer constitueixen el nucli de la tesi, car entre tots dos expliquen amb detall els dos algorismes que li donen cos. El capítol segon, correspon a l'algorisme de generació. La seva finalitat és de generar una xarxa d'autobusos, entesa com un conjunt de línies, a partir d'una ciutat dividida en zones, a cada una de les quals s'assigna una població i un empleu. El tercer capítol presenta l'altre algorisme, d'assignació. Donada la ciutat i definida la xarxa, distribueix el nombre de busos disponibles de manera que el temps total de viatge es minimitzi. L'estructura d'ambdós capítols és similar. S'enceten per les hipòtesis de partida; després s'exposa la funció a minimitzar, les restriccions i la metodologia de l'algorisme. El capítol es clou amb una anàlisi de llur funcionament i de llur sensibilitat als diversos paràmetres definits.

El suara esmentat funcionament, s'ha fet, en els capítols anteriors, sobre un parell de jocs de prova. Però com que, de fet, els algorismes han d'actuar en ciutats reals, s'hi ha inclòs l'aplicació a la ciutat de Terrassa, que constitueix el capítol quart. Comprèn un seguit de passades encadenades, suport d'un diàleg entre el planificador i la màquina, per tal d'arribar a unes propostes finals.

El capítol cinquè recull aquell desenvolupaments matemàtics que adés per llur complexitat, adés per llur caràcter marginal, no ha semblat adient d'incloure'ls en els capítols segon i tercer, als quals fan esment.

El capítol sisè, que és el present, s'ocupa de les conclusions.

El capítol setè, té dues parts: la primera és una relació de totes les variables que han aparegut al llarg de la tesi, mentre que la segona correspon a la bibliografia.

Finalment, el capítol vuitè recull tota la implementació informàtica: els algorismes de generació i d'assignació, programats, amb llur diagrama de mòduls, les dades d'entrada requerides i les sortides que forneixen.

## 6.2 APORTACIONS

### 6.2.1. ALGORISME DE GENERACIO

- a) L'algorisme de generació és, com ja s'ha dit, l'aportació fonamental de la tesi. Dintre de la Investigació Operativa, no és emmarcable en cap dels dominis habituals, a no ser que el conjunt de mètodes heurístics vulgui considerar-se'n com una part més, o que totes les tècniques de planificació del transport es considerin una branca a part.
- b) L'algorisme no assegura l'òptim: és a dir, la xarxa que genera no és la millor de totes les possibles respecte del criteri d'optimització adoptat. Sí que representa però, una ajuda valuosa de cara a dissenyar una xarxa d'autobusos urbans.
- c) La seva màxima eficiència té lloc quan actua la 2ª opció, anomenada de modificació. Aquest fet és una conseqüència de que l'assoliment de l'òptim no estigui garantit. Aleshores, cal revisar la xarxa generada després de cada execució, i introduir-hi variacions manualment. Empíricament ha pogut comprovar-se l'eficiència d'aquest procediment, com s'ha posat de manifest al capítol 4.
- d) Donada la cura que s'ha tingut per incloure en el model la interacció entre línies, a través de la introducció del concepte d'itinerari, i d'establir la competència amb la marxa a peu, l'algorisme és especialment indicat per a operar en ciutat o àmbits amb una forta densitat de població; és a dir, ciutat llatines o mediterrànies en oposició a anglo-saxones o nord-europees, i àmbits urbans o suburbans en oposició a zones rurals amb nuclis puntuals de població.
- La mena de xarxa idònia per a aquests medis, doncs, és tupida, complexa, amb una gamma ampla de possibilitats per a l'usuari, i amb freqüències de pas altes, de l'ordre de 5 ÷ 10 minuts.
- e) Comparat amb l'algorisme de LAMPKIN i SAALMANS, el present ofereix dues millores:
- una línia és funció de totes les altres, independentment de l'ordre en què han estat generades, gràcies al mètode iteratiu seguit, mentre que en el de LAMPKIN i SAALMANS, la generació d'una línia només prenia en consideració les que ja existien en aquell moment, però no les que encara s'havien de crear.
  - en aquell algorisme, la generació d'una línia estava condicionada a que prèviament se n'hagués fornint l'entrellat, és a dir, un esbós de com havia de ser la línia, definit per 3 ò 4 nusos de pas. El present algorisme, en canvi, àdhuc en la fase de modificació, té la capacitat

de generar una línia tan sols a partir de la comprovació que la funció econòmica disminueix. El mòdul COMEN, vist al capítol 2, és qui se'n carrega.

f) Comparat amb l'algorisme de VAN OUDHEUDSEN, el present té l'inconvenient de no garantir l'òptim, però en canvi, no té la restricció que totes les línies hagin de convergir en un extrem predeterminat. A més, el present algorisme incorpora la coexistència de diverses línies en un mateix tram.

#### 6.2.2. ALGORISME D'ASSIGNACIO.

L'altre algorisme, d'assignació, no representa una aportació significativa, ja que el model EVARAU, anterior, ve a resoldre el mateix problema.

Si però, que cal esmentar que el present, ofereix la novetat que, amb una metodologia molt semblant, hi introdueix la fórmula de LAMPKIN i SAALMANS en el cas d'un itinerari servit per més de 2 línies.

Com ja s'ha dit al capítol 1, l'algorisme d'assignació representa un complement de l'anterior.

## 6.3 LINIES DE RECERCA

S'inclouen en aquest apartat aquelles limitacions que s'han imposat al mo del i als algorismes que el tracten, les quals poden assimilar-se als punts susceptibles de millora o a les línies de recerca per on caldria seguir.

### 6.3.1. INCORPORACIO DE LA CAPACITAT DELS AUTOBUSOS.

En parlar d'ambdós algorismes s'ha dit que després de cada iteració, i per tant, al final, se sabia quina era la demanda absorbida per cada línia, tant globalment com entre nus i nus.

A partir d'aquestes dades, al capítol 4, en planificar la xarxa de Terrassa, s'ha calculat quina era la capacitat mínima que calia que tinguessin els autobusos de cada línia.

Per tant, la capacitat dels autobusos és un resultat de l'algorisme d'assignació i no una dada, com hauria de ser, ja que no està garantit que la companyia disposi de la mena d'autobusos que l'algorisme li assigna.

Un possible mètode per a resoldre aquest inconvenient és d'entrar com a dada la capacitat dels autobusos, que pot ser única per a tota la flota, o variable segons els tipus. Després de cada canvi, l'algorisme comprova que en cap línia, la demanda no ultrapassi la oferta disponible. En cas contrari, s'ha d'evaluar si la pèrdua és més petita fent que l'escreix de demanda vagi a peu o bé traslladant autobusos d'altres línies a la que n'ofereix el dèficit.

### 6.3.2. IRREGULARITAT DE LES ARRIBADES EN EL CAS D'UN ITINERARI AMB MES D'UNA LINIA.

Al punt 5.1.9. s'ha exposat la fórmula trobada per E.M. HOLROYD i D.A. SCRAGGS, {21}, que lliga l'interval teòric amb el temps d'espera real, com a conseqüència de les perturbacions que el tràfic imposa als autobusos.

La fórmula, però, només és vàlida quan un itinerari comprèn una sola línia, i no resol el cas amb dues o més línies. Caldria una recerca experimental sobre aquest punt, donada la gran importància que s'ha atorgat a la interacció al llarg de tot el treball.

### 6.3.3. INTRODUCCIO "A PRIORI" DELS TRASBORDS.

Al capítol 2, i al llarg de les hipòtesis, s'ha impedit implícitament un viatge amb trasbord. Evidentment, sempre poden considerar-se "a posteriori", per mitjà de l'adaptació d'algun algorisme de camí mínim. Aquesta prova s'ha dut a terme i ha pogut comprovar-se que per a alguns fluxos, podia obtenir-se un viatge amb trasbord el cost del qual era inferior a tots els costos dels viatges sense trasbord.

El punt que es debat, però, no és aquest. El camí de recerca que s'assenyala aquí és el fet d'ampliar l'algorisme de generació de manera que els quatre mòduls, en incidir damunt d'una línia, tinguin en compte la possibilitat de trasbordar a altres línies que passen pels nusos afectats. Val a dir, però, que un intent en aquest sentit va haver d'aturar-se per causa de la gran complexitat que adquiria aleshores l'algorisme.

#### 6.3.4. REDEFINICIO DE LA FUNCIO OBJECTIU.

La funció objectiu definida al punt 2.2.1., pretén de minimitzar el temps mitjà de viatge de l'usuari, amb la restricció que el nombre d'autobusos roman constant al llarg del procés. Per tant, donats els costos d'explotació de la companyia, que se suposen proporcionals al nombre de busos, els algorismes tracten de treure'n el millor partit possible per als usuaris.

Aquest plantejament, però, no és gaire realista, si es té en compte que quasi la totalitat de les companyies a l'hora actual son públiques. Per tant, seria més adequat de prendre una funció objectiva que inclogués el cost social, el qual seria la suma del valor del temps esmerçat pels usuaris i dels costos d'explotació de la companyia. Aleshores, seguint amb la hipòtesi, força admissible que el nombre de busos és proporcional als costos directes, l'algorisme no només forniria la xarxa i els autobusos assignats a cada línia, sinó també el nombre de busos que minimitza el cost social.

Aquest plantejament ha estat adoptat per l'RATP en els seus models AUTOMEDON i ALKIMEDON, {50}, per bé que la variable d'acció era la flota d'autobusos, però no l'itinerari de les línies.

#### 6.3.5. MILLORA DEL TEMPS D'EXECUCIO.

Aquest darrer punt no es refereix a la concepció dels algorismes sinó a llur implementació informàtica. Ha pogut comprovar-se que per a xarxes complexes, amb un nombre de línies i d'autobusos crescut, el temps d'execució que comporten esdevé quasi prohibitiu.

Hi ha hagut millores substancials en tots dos algorismes. Així, en el de generació, la linealització de la funció  $\varphi_x$ , guany per a la resta de la xarxa, estudiada al punt 2.2.5.6. ha fet caure el temps d'execució a la meitat del valor anterior. Pel que fa a l'algorisme d'assignació, la inclusió de la 1<sup>a</sup> fase, RSHLU, vista al punt 3.2.4.2. ha escurçat notablement el nombre de canvis.

Nogensmenys, el temps d'execució segueix essent alt. La recerca en aquest terreny s'hauria d'orientar probablement, vers la introducció de filtres que impedissin l'anàlisi de línies "madures" en les iteracions finals de l'algorisme de generació, o la possible generació de noves línies. Quant a l'algorisme d'assignació, caldria desenrotllar mètodes anàlegs, encaminats a aprofitar les observacions fetes sobre les freqüències crítiques vistes al punt 3.3.6. Segons això, les línies amb freqüències altes només acceptarien busos, mentre que amb freqüències baixes només en perdrien. Els càlculs relatius a la suposició contrària, doncs, podrien estalviar-se d'antuvi.

### 6.3.6. ALGORISME CONJUNT DE GENERACIO-ASSIGNACIO.

Tota la tesi ha estat presidida per una dicotomia: hi ha dos algorismes, el de generació i el d'assignació, que actuen en cascada. Aquesta divisió és arbitrària en el sentit que no respon a la naturalesa del problema tractat, sinó que ha calgut fer-ho així per tal que els dos subproblemes resultants fossin abordables individualment.

Com a conseqüència, la hipòtesi H12), que imposa la unicitat d'interval per a totes les línies en l'algorisme de generació, és gratuïta; només troba la raó de ser en la simplicitat que es deriva de la seva introducció.

Probablement s'obtidrien solucions millors si s'emprengués el problema com un tot, mitjançant un sol algorisme de generació-assignació, que no tan sols variés els traçats sinó que, a més, assignés simultàniament la flota disponible d'autobusos a les línies generades i/o modificades.