



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE O TESIS D'ESPECIALITAT

Títol

**ANÀLISI DE LA RENDIBILITAT EMPRESARIAL I
SOCIAL DE LA DISTRIBUCIÓ DE MERCADERIES A
LES CIUTATS DURANT LA NIT**

Autor/a

Daniel Garrido Rubio

Tutor/a

Miquel A. Estrada Romeu

Departament

Infraestructura del Transport i Territori

Intensificació

Transports

Data

26 d'octubre de 2009

Autor: Daniel Garrido Rubio
Tutor: Miquel A. Estrada Romeu

RESUM

La problemàtica generada pels vehicles comercials durant les jornades laborals ordinàries a la societat i al medi ambient, es poden minimitzar mitjançant la proposta de realitzar les mateixes rutes de repartiment de mercaderies però durant la nit. La disminució de la congestió, de l'emissió de gasos nocius a l'atmosfera i la reducció de costos durant el transport, són alguns dels beneficis d'implementar aquest nou model.

Per a la modelització d'aquestes noves rutes de lliurament a grans superfícies i majoristes, s'han utilitzat diversos programes informàtics. S'han fet servir mètodes aproximatius com els algorismes heurístics per resoldre el problema de rutes, davant la impossibilitat d'utilitzar mètodes exactes per a la seva resolució. El problema plantejat és del tipus MDVRP amb finestres de temps, és a dir, un problema de rutes entre nodes partint des de 2 possibles magatzems i a més de les restriccions de capacitat i del compliment del servei dins de la jornada laboral. Es tracta d'un problema de cobertura de nodes del tipus NP-Hard, on la dificultat per torbar la solució òptima creix pràcticament exponencialment a mesura que creix la xarxa de nodes.

S'ha realitzat un estudi de tot el relacionat als problemes de ruteig existent, factors d'influència i relacions entre transportistes-clients-ciutadans, mètodes de càlcul de rutes, i proves pilot i estudis realitzats a la ciutat de Nova York i Barcelona. A més de proposar incentius i millores per a la possible implantació del model, i intentar minimitzar i compensar els petits inconvenients que sorgeixin com l'excés de soroll durant la nit.

A l'hora d'aplicar la metodologia proposada a un cas real, s'ha escollit la xarxa de supermercats del grup Caprabo-Eroski, una empresa de primer nivell dins del sector alimentari amb 82 establiments repartits per la ciutat de Barcelona i 2 magatzems. A l'hora de modelitzar aquesta xarxa dins del graf de Barcelona, s'ha utilitzat el programa *TransCAD* per obtenir les distàncies reals i òptimes entre tots els nodes, per després, utilitzant l'algorisme metaheurístic d'algorismes genètics (GA) trobar la millor solució possible al problema plantejat de ruteig de nodes. En la planificació de millora del model de rutes de repartiment durant la nit a grans superfícies i majoristes, s'han plantejat diferents opcions de millora del servei, com la de utilitzar camions de més capacitat que els actuals, augmentar la velocitat de circulació durant la nit o utilitzar vehicles de baixa contaminació.

Per acabar, les conclusions més rellevants que s'han extret són els importants estalvis que s'obtenen tant des del punt de vista del transportista com ambientalment. El transportista, de forma directa tindria un estalvi d'un 3.407.000€ l'any amb només variant el model de repartiment de rutes diürnes a rutes nocturnes, i fins a 3.981.000€ si realitzés una inversió inicial en vehicles de gran capacitat. L'Estat també obtindrà benefici d'aquest canvi, doncs la reducció d'emissions induirà una disminució de patologies sanitàries degudes a aquests en un valor de 519.300€ l'any. Pel que es recomana l'aplicació d'aquest nou model per al benefici de tothom.

ABSTRACT

The problems generated by commercial vehicles during ordinary working hours to the society and the environment can be minimized by the proposal of holding the same goods delivery route but during the night. The reduction of congestion, emission of harmful gases into the atmosphere and reducing costs during transportation are some of the benefits of implementing this new model.

For the modeling of new routes new routes of delivery to supermarkets and wholesalers, several computer programs have been used. Approximation methods have been used as heuristics algorithms to solve the problem of routes, as accurate methods for solving the problem were impossible to use. The problem raised is a MDVRP type one with time windows, ie a problem of routes between nodes, starting from 2 possible depots and the capacity constraints and the fulfillment of the service within the workday. This is a problem of coverage of NP-hard nodes, where the difficulty to find the optimum solution grows almost exponentially as the number of network nodes grows.

The study of the issues related to existing touring problems, factors of influence and relations between carriers, customers, and citizens, routing calculation methods, and pilot tests and studies conducted in New York city and Barcelona city. Besides, incentives and improvements to the possible implementation of the model are proposed and it is tried to minimize and compensate the small problems that arise, like excessive noise at night.

In order to apply the proposed methodology to a real case, we have chosen the Caprabo-Eroski supermarket network, a first level company in the food industry with 82 establishments in Barcelona city and 2 stores. To modelize this network in Barcelona's, we used the TransCAD program to obtain the optimal and real distances between all nodes; then, by using the metaheuristic algorithm of genetic algorithms (GA), we tried to find the best possible solution to the problem of routing nodes. For the improvement of the overnight delivery routes to supermarkets and wholesalers model planning, various options have been proposed, such as using trucks with more capacity than the current ones, increasing the transport speed during the night or using low-pollution vehicles.

Finally, the most significant conclusions to be drawn are the significant savings are obtained both from the standpoint of transport as environmentally. The carrier, would have a direct savings of 3.407.000€ a year just by changing the distribution pattern of daytime to night-time tours routes and up to 3.981.000€ if an initial investment in vehicles of high capacity. The state also will benefit from this change because the emission reduction will cause a decrease in health due to these diseases in a value of 519.300€ a year. So we therefore recommend the application of this new model for the benefit of everyone

Índex

1 INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.....	1
2 ESTAT DE L'ART	3
2.1 INTRODUCCIÓ AL PROBLEMA.....	3
2.1.1 Classificació.....	3
2.1.2 VRP.....	5
2.1.3 CVRPTW.....	7
2.1.3.1 Formulació.....	8
2.2 MODEL ANALÍTIC DE RUTES	13
2.3 ESTRATÈGIES DE MILLORA	15
2.3.1 Rutes de repartiment per la nit.....	15
2.3.1.1 Teoria de jocs i aplicació	16
2.3.2 Incentius.....	19
2.3.2.1 Polítiques d'incentius.....	20
2.3.2.2 Factors en la programació.....	23
2.3.2.3 Factors externs	24
2.4 EINES DE CÀLCUL APROXIMADES	27
2.4.1 Mètodes heurístics	27
2.4.2 Mètodes metaheurístics.....	30
3 METODOLOGIA PER A L'APLICACIÓ D'UN MODEL DE DISTRIBUCIÓ NOCTURNA A UNA CIUTAT.....	37
3.1 OPERATIVA	37
3.2 FUNCIO DE COST	39
3.2.1 Costos del transportista (C_P).....	40
3.2.2 Costos externs (C_E).....	41
3.3 PARÀMETRES I INDICADORS NECESSARIS	42
3.3.1 Costos inicials i de manipulació (C_I i C_M).....	42
3.3.2 Costos del transport i de personal (C_T i C_{PE}).....	44
3.3.2.1 Costos horaris o fixos.....	45
3.3.2.2 Costos quilomètrics.....	48
3.3.3 Costos atmosfèrics, de soroll, congestió i accidentalitat.	50
3.4 AVALUACIÓ DE LES VARIABLES	55
3.4.1 Variables a la demanda i estratègies de repartiment.....	55
3.4.2 Variables al transport	57
3.4.3 Variables de manipulació i personal.....	61
3.5 ELECCIÓ PER A LA PROGRAMACIÓ.....	63
3.5.1 Heurístic Vs. Metaheurístic	64
3.5.2 Elecció del mètode i explicació	64
3.5.2.1 Algorismes Genètics (GA).....	65

3.6 JOCS DE PROVA I CALIBRATGE DE L'ALGORISME	72
3.6.1 CVRP	73
3.6.1.1 Problema A.....	73
3.6.1.2 Problema B.....	74
3.6.2 MDVRP	76
3.6.2.1 Problema A.....	76
3.6.2.2 Problema B.....	78
3.6.3 Comparació amb el cas real.....	80
4 APLICACIÓ A UN CAS REAL	83
4.1 XARXA I LOCALITZACIÓ DELS ESTABLIMENTS	83
4.2 SIMULACIÓ DE LA DEMANDA	87
4.3 VELOCITATS DE TRAJECTE I DE SERVEI	90
4.4 COSTOS.....	91
4.5 RESULTATS	93
4.5.1 Millores alienes al transportista.....	96
4.5.2 Anàlisi de sensibilitat de la jornada laboral.....	98
5 CONCLUSIONS	101
5.1 FUTURES LÍNIES D'INVESTIGACIÓ	102
6 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....	103
7. ANNEXOS	107
Annex 1: Programació del <i>Genetic Algorihtm (GA)</i>	109
Annex 2: Anuncis dels problemes de calibratge.....	123
Annex 3: Resultats de la comprovació del calibratge del programa.....	131
Annex 4: Inputs utilitzats en el procés de càlcul de la xarxa del Caprabo	135
Annex 5: Resultats obtinguts del càlcul de rutes i vehicles, a la xarxa de Caprabo a Barcelona.....	159

1 INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

Des de el principi dels temps, l'home ha depès de la logística en la mesura en que la gent podia desitjar uns productes que no es produïen en el lloc on es volien consumir o no estaven disponibles quan es desitjava consumir. Quan els sistemes logístics van començar a millorar, el consum i la producció es van anar separant geogràficament. Les diferents zones es van especialitzar en el que podien produir més eficientment.

On té el seu origen la logística moderna és a l'Europa del segle XIX, quan Napoleó I mantenia assetjada tota Europa. Sobretot va destacar en l'àmbit de l'enginyeria militar, que s'ocupa de l'organització del moviment de les tropes en campanya, el seu allotjament, transport i avituallament. A la Segona Guerra Mundial, la logística militar té un paper importantíssim, éssent els centres logístics com els ports i els creuaments de les carreteres, ferrocarrils, etc esdevenen els principals objectius per desestabilitzar a l'enemic. Són necessàries grans inversions en operativitat pel subministrament de recursos: aliments, material mèdic i de combustible, doncs sense aquests recursos era inútil avançar en cap territori. Erwin Rommel va dir: "Guanyar territori no significa vèncer, i en canvi pot constituir una desavantatge". 2 de cada 7 soldats americans estaven destinats al transport i enllaços, quasi el 30% dels soldats. Després de la Segona Guerra Mundial, els professionals que havien gestionat la escassetat de recursos havent de produir i abastir als mercats de forma eficient, es van passar a la investigació operativa i es van incorporar al món empresarial, i és aquí quan les tècniques logístiques van evolucionar ràpidament.

La missió fonamental de la Logística empresarial és col·locar els productes adequats (béns i serveis) en el lloc adequat, en el moment precís i en les condicions desitjades, contribuint el màxim possible a la rendibilitat de la venda del producte. Garantir la qualitat de servei, és a dir la conformitat amb els requisits dels clients, dóna un avantatge competitiu a l'empresa. Fer-ho a cost menor permet millorar el marge de benefici de l'empresa. Aconseguir garantir la seguretat permet a l'empresa evitar sancions però també comunicar en temes actuals com el respecte del medi ambient, els productes ètics... aquests tres paràmetres permeten explicar el caràcter estratègic de la funció logística en moltes empreses.

Alguns dels indicadors claus d'acompliment (KPY, *Key Performance Indicators*) en un servei de subministrament comercial són:

- fiabilitat de la planificació
- termini de lliurament
- taxa de disponibilitat
- taxa de servei
- evolució del número de comandes o de rutes de repartiment

L'objectiu d'aquesta tesina és analitzar el sistema de subministrament a una ciutat, considerant el fenomen de la congestió, millorar el servei d'entregues en ciutats tan congestionades durant la jornada laboral, com en el cas de Barcelona. Concretament,

es realitzarà una aplicació pràctica en l'àmbit de les grans empreses de venda de productes alimentaris en grans superfícies de mercat com són: hipermercats, supermercats, centres comercials i majoristes. Per tant, es planteja el repte de crear les bases d'un nou model de distribució comercial a grans superfícies, tot i la contradicció de que les ciutats no estan preparades per a l'optimització de la distribució urbana. Específicament, aquesta aplicació es durà a terme a la ciutat de Barcelona i utilitzant la xarxa d'establiments del Grup Caprabo-Eroski.

El que també es persegueix amb aquest nou plantejament de distribució, es reduir la contaminació acústica i mediambiental, reduir la congestió del trànsit, propulsar un transport de mercaderies més barat i segur a les ciutats, però amb la dificultat que, mentre el nombre de turismes es redueix a Barcelona, el nombre de vehicles comercials es dispara. Al 2003, amb uns 80.000 vehicles, el parc de vehicles de repartiment havia crescut en un 14,5% en els darrers quatre anys, quelcom que crida especialment l'atenció si es té en compte que el nombre de cotxes es va reduir en un 2,2% en aquest mateix període.

Aquesta congestió creixent, va provocant un descens de la velocitat de circulació, induint a major temps de transport, que fa disminuir l'eficiència de les rutes i n'augmenta el cost. A més que transitant a velocitats de circulació tan baixes, la contaminació acústica i per emissions de gasos augmenta.

En aquest context, es preveu una solució: aprofitar els períodes de menys trànsit a la ciutat per proveir els centres de distribució de la ciutat i substituir els petits camions per vehicles de grans dimensions que permeten realitzar lliuraments nocturns als comerços, respectant al màxim el descans dels veïns.

Així mateix, s'intentarà promoure la substitució dels petits camions per camions de gran capacitat, i basat en diversos fets constatats: els grans camions produeixen menys contaminació, contribueixen a reduir l'efecte hivernacle, ajuden a frenar la congestió del trànsit (ja que un sol camió substitueix bon nombre de camions petits) i permeten reduir el temps de permanència i l'espai d'ocupació a la ciutat durant les operacions de càrrega i descàrrega.

Tot això, a més d'una mesura econòmica per als propis transportistes, també ho és ecològica, ja que segons estudis, es redueix en un 182% les emissions contaminants, queda rebaixat en un 450% el temps de permanència de vehicles de càrrega i descàrrega a la ciutat (amb la consegüent reducció de la congestió) i en un 407% l'espai d'ocupació de la via pública. Com a resultat doncs, pot reduir la contaminació, la congestió i la frustració per als usuaris de les vies públiques.

Tot això requereix el desenvolupament d'iniciatives i comprensió dels impactes que té el lliurament durant les hores nocturnes, a les parts implicades. Com a resultat d'això, es necessita una major anàlisi per:

- Determinar les polítiques i programes que serien eficaços en la inducció d'un canvi de mentalitat en el lliuraments.
- Avaluar l'eficàcia global d'aquest tipus d'iniciatives.
- Comprendre plenament les implicacions per als transportistes, receptors i usuaris regulars.

2 ESTAT DE L'ART

En la vida quotidiana hi ha gran quantitat de problemes on, l'elecció d'un ordre òptim de les accions, pot determinar que la seva realització sigui econòmicament rendible o no. Per això, és necessari una bona classificació del problema i posteriorment escollir el mètode més òptim a l'hora de solucionar-lo segons les seves característiques.

Tot seguit, s'exposen les diferents classificacions de problemes logístics i característiques que les determinen, i juntament amb una gran varietat de mètodes resolutius que fins a l'actualitat s'han treballat i actualitzat.

Concretament s'analitzarà el problema de realitzar rutes durant la nit d'una extensa xarxa de nodes i en un context de congestió com és una ciutat com Barcelona.

2.1 *Introducció al problema*

A l'hora de treballar amb una xarxa real, cal discretitzar-la mitjançant un graf $G(N,A)$. per tal de poder-la analitzar i poder sintetitzar tota l'informació que se'n ha de obtenir per a l'hora d'aplicar els mètodes resolutius que s'explicaran. Es defineixen:

$G(N,A)$ → Graf on N són un conjunt de nodes i A un conjunt d'arcs. Les variables que intervindran són la demanda dels clients, la capacitat dels vehicles, el temps de recorregut i el temps de servei.

i → Número de node (client) $i=1, \dots, n$, éssent n el número de nodes totals.

$a(i,j)$ → Arc des del client i al client j .

k → Número de vehicle utilitzat per la ruta $k=1, \dots, m$, éssent m els vehicles totals.

q_i → Demanda associada a cadascun dels clients i .

C_k → Capacitat associada a cada vehicle. On $C_k \geq \sum_i q_i$; en cada ruta.

c_{ij} → Cost associat al transport entre els clients (i,j)

d_{ij} → Distància entre els nodes i i j . On normalment $d_{ij} \neq d_{ji}$.

t_{ij} → Temps associat entre els nodes i i j .

s_i → Temps de servei en cada node.

Amb aquesta informació mínima bàsica de la xarxa, es podrà definir el problema i plantejar la seva solució.

2.1.1 **Classificació**

Bodin et al. (1983) van fer una gran recopilació de les diferents tipologies de problemes de cobertura de nodes i de cobertura d'arcs, i que s'han anat desenvolupant al llarg de la història. Segons ells, la determinació de recorreguts o *routing* comprèn fonamentalment els següents problemes bàsics:

De cobertura de nodes:

- Problema del viatjant de comerç o TSP (*Travelling Salesman Problem*)
- Problema de les multirutes de viatjants o m-TSP
- Problema de rutes de repartiment o VRP (*Vehicle Routing Problem*)

De cobertura d'arcs

- Problema del carter xinès o CPP (*Chinesse Postman Problem*)

A continuació una taula resum en funció també de la demanda del servei:

TAULA 2.1.

TAXONOMIA DELS PROBLEMES DE RUTES DE LA LOGÍSTICA URBANA

Demanda	Cobertura d'arcs (CPP)	Cobertura de nodes (TSP i VRP)
Estable	Neteja i reg dels carrers. Repartiment a domicili de correu. Recollida a domicili de residus. Gas. Aigua. Sanejament, Telèfon, Electricitat.	Línies de transport públic. Recollida de contenidors d'escombraries. Distribució de mercaderia. Inspecció i recol·lecció de monedes en: telèfons públics, màquines expenedores de productes, etc.
Variable	Lectura de parquímetres.	Distribució de mercaderies. <i>E-commerce</i> . Telecompra. Paqueteria. <i>Car-pool</i> . Rutes de: policia, bombers, ambulància, protecció civil, etc. Enviaments a domicili: supermercats, comerç, menjar, etc.

FONT: Larson i Odoni (1981)

I una taula explicativa dels diferents problemes de nodes descrits anteriorment i les característiques de cadascun.

TAULA 2.2

CLASSIFICACIÓ DELS PROBLEMES DE COBERTURA DE NODES

Problema	Característiques	Optimitzar
TSP (Clàssic)	Dissenyar la ruta per a un sol vehicle que ha de cobrir n nodes a partir d'un sol origen	Longitud de la ruta.
m-TSP	Dissenyar les rutes d' m vehicle que visiten col·lectivament cadascun dels n nodes a partir d'un sol origen	Distància total de les m rutes.
Dipòsits simple VRP	Dissenyar les rutes d' m vehicle que visiten col·lectivament cadascun dels n nodes a partir d'un sol origen i complint amb les restriccions del sistema.	Funció que representa alguns aspectes o el total de costos del sistema
Multi dipòsit VRP	Dissenyar les rutes d' m vehicle que visiten col·lectivament cadascun dels n nodes a partir d'origens varis i complint amb les restriccions del sistema.	

FONT: Larson i Odoni (1981)

Segons Larson & Odoni (1981), els trets bàsics dels problemes en que s'han de cobrir els nodes són el nombre de vehicles, el nombre d'origens de ruta (que també poden arribar a ser possibles destinacions) i l'existència de restriccions (capacitat dels vehicles, màxim llarg de la ruta, etc.).

Sobre la base d'aquests trets bàsics a tenir en compte, es defineix que en general el problema del viatjant és aquell en el que no existeixen restriccions, llavors si es tracta d'una sola ruta amb un sol origen, els autors el defineixen com TSP clàssic. El cas que s'estudiarà és una particularització del TSP, el VRP i més concretament el VRPTW (*vehicle routing problem time window*), és a dir, un problema on m vehicles visitaran n clients, des de un únic magatzem i servint als clients en unes franges horàries concretes de la nit.

2.1.2 VRP

El problema VRP sorgeix naturalment (Dantzig & Ramsar 1959) com un problema central en els àmbits de transport, distribució i logística.

VRP és un nom genèric donat a tota una classe de problemes en els quals, cal determinar un seguit de rutes per a una flota de vehicles que disposa d'un o diversos dipòsits, i per una sèrie de receptors geogràficament dispersos. L'objectiu del VRP és lliurar a un conjunt de clients amb les demandes conegudes, que la ruta per a cada vehicle sigui amb el menor cost possible, i acabin en un dipòsit d'origen.

En les dues figures que a continuació podem veure, són una imatge típica d'una entrada per un problema VRP i un dels seus possibles resultats:

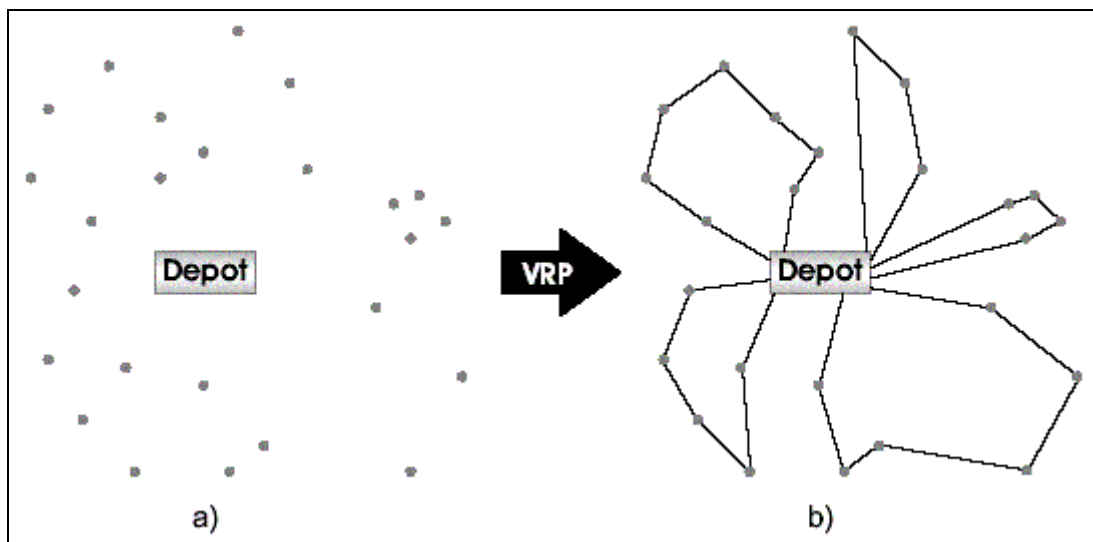


Figura 2.1: Amb l'VRP és troba el cost mínim rutes (b) per servir des d'un dipòsit a un conjunt de clients (punts) distribuïts Geogràficament FONT: <http://neo.lcc.uma.es>

El cas del VRP pertany a un grup d'un tipus de problemes ben conegut de programació d'optimització combinatòria, pertany a la categoria de problemes en que l'esforç computacional necessari per resoldre aquest problema augmenta gairebé exponencialment amb la mida de la xarxa, és un problema NP-hard. Per aquest tipus de problemes, sovint és convenient obtenir solucions aproximades, i així trobar amb prou rapidesa una solució, que a més sigui prou precisa. En general, aquesta tasca s'aconsegueix mitjançant l'ús de diversos mètodes heurístics o metaheurístics, que mes endavant s'estudiaran.

En alguns sectors del mercat, el cost del transport és un alt percentatge del valor afegit a les mercaderies. Per tant, la utilització de mètodes computats per al transport sovint es tradueix en importants estalvis que van del 5% al 20% en el total de les despeses, com s'indica a Toth & Vigo (2001). En general, en el món real VRP's, molts apareixen les limitacions.

Algunes de les restriccions més importants són els següents:

- Cada vehicle té un nombre limitat capacitat (*Capacitated VRP*, CVRP)
- Cada client ha de ser subministrat dins d'una determinada finestra de temps (*VRP with time windows*, VRPTW)
- El transportista utilitza molts dipòsits de subministrament als clients (*Multiple Magatzem VRP*, MDVRP)
- Els clients poden retornar alguns béns per al magatzem (*VRP with Pick-Up and Delivering*, VRPPD)
- Els clients poden ser atesos per diferents vehicles (*Split Delivery VRP*, SDVRP)
- Alguns d'aquests valors (com el nombre de clients, les demandes d'ells, servir de temps o el temps de viatge) són aleatoris (*Stochastic VRP*, SVRP)
- Els lliuraments es pot fer en alguns dies (*Periodic VRP*, PVRP)

Segurament el plantejament més conegut d'aquest problema d'optimització és de Fisher & Jaikumar (1981), que plantegen el següent programa lineal amb variables auxiliars senceres:

Amb $i = 2, \dots, n$ els clients que s'han de visitar, ja que $i = 1$ fa referència al magatzem. Els vehicles de transport es representen amb $k = 1, \dots, m$. Cada client i té assignada una demanda de q_i en unitats de palets o caixes o tones... per unitat de temps. La capacitat d'un vehicle k es representa per C_k i per compatibilitat, en les mateixes unitats que q_i . És possible que C_k vingui determinada també per restriccions temporals.

Per conveniència, els clients i els vehicles són numerats en un ordre decreixent, es a dir que es complirà $q_{i+1} \leq q_i$ i $C_{k+1} \leq C_k$ per tot $i = 2, \dots, n-1$ i $k = 1, \dots, m-1$. La condició es que la ruta de repartiment es per cada vehicle que començarà i acabarà en el mateix magatzem, complint amb totes les demandes dels clients i un cost total del transport mínim.

c_{ij} és el cost del transport entre el client i i el client j .

El problema rau bàsicament en minimitzar la següent expressió del cost total del transport.

$$Z = \sum_i \sum_j c_{ij} \sum_k x_{ijk} \quad (2.1)$$

Sempre i quan:

$$\sum_i q_i y_{ij} \leq C_k \quad \text{per a } k = 1, \dots, m \quad (2.2)$$

$$\sum_j x_{ijk} = \sum_j x_{jik} = y_{ik} \quad \text{per a } i = 1, \dots, n \text{ i } k = 1, \dots, m \quad (2.3)$$

$$\sum_k y_{ik} = 1 \quad \text{per a } i = 2, \dots, n \text{ i } \sum_k y_{1k} = m \quad (2.4)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq \{2, \dots, n\} \quad (2.5)$$

$x_{ijk} = 1$, si el vehicle k visita el client j immediatament després del client i ; 0, en cas contrari. (2.6)

$y_{ik} = 1$, si el client i és servit pel vehicle k ; 0, en cas contrari. (2.7)

La condició (2.2) indica que la capacitat individual de cada vehicle no es pot sobrepassar. La condició (2.3) implica que cada client ha de ser visitat per un vehicle, excepte el magatzem, que es visitat pels m vehicles. La restricció (2.4) imposa que quan un vehicle arriba a un client, aquest no es quedi allí i segueixi fins el següent client o magatzem si és l'últim. Les restriccions (2.5) s'encarreguen d'eliminar cicles interns i sub-rutes, aprofitant un teorema sobre grafs connexos. Les condicions (2.6) i (2.7) representen els 2 únics possibles valors que poden prendre les variables auxiliars x_{ijk} i y_{ik} ; són aquestes variables senceres el que dona al problema una complexitat notable per solucionar-ho i fa difícil la aplicació de coneguts algorismes de solució de programes lineals.

2.1.3 CVRPTW

La versió més elemental del VRP és el problema amb restriccions de capacitats als vehicles que fan els lliuraments (CVRP). El CVRP es descriu de la següent manera: n clients han de ser servits des d'un mateix dipòsit. Cada client sol·licita una quantitat de béns q_i ($i = 1, \dots, n$) i un vehicle de capacitat Q està disponible per proporcionar béns. Com la capacitat dels vehicles és limitada, el vehicle ha de tornar periòdicament al dipòsit d'emmagatzematge de la càrrega. Al CVRP, és considera que no és possible dividir la comanda al client. Per tant, una solució CVRP és representa per un número de viatges, on cada client és visitat una sola vegada i el total de la demanda de cada viatge és com a molt de Q .

Al problema que és tracta, cal tenir en compte un altre restricció a afegir al CVRP, és el problema de ruta de vehicles amb finestres de temps (VRPTW). A més de les esmentades característiques CVRP, aquest problema inclou, per al dipòsit de cada client c_i ($i = 0, \dots, n$) una finestra de temps $[b_i, e_i]$ durant el qual el client ha de ser servit (amb b_0 l'hora d'inici més aviat i la darrera E_0 el temps màxim de retorn de cada vehicle al dipòsit). Les visites són realitzades per una flota de v vehicles idèntics. Una restricció addicional és que el temps en que ha de començar el servei a cada node c_i ($i = 1, \dots, n$) ha de ser major o igual a b_i , el començament de la finestra de temps, i l'hora d'arribada a cada node c_i ha de ser inferior o igual a e_i , el moment final de la finestra de temps. En cas de que l'hora d'arribada sigui inferior a b_i , el vehicle ha d'esperar fins al començament de la finestra de temps abans de començar els serveis als clients. La mida de la flota v és sovint una variable, passant a ser com objectiu reduir al mínim v .

El problema és torna més complex, quan el client demana ser servit en una finestra de temps. Una finestra de temps pot ser dura (*hard time window*) i tova (*soft time window*). En el primer cas, si un vehicle arriba massa aviat a servir a un client, se li permet esperar fins que aquest estigui preparat; en canvi, no se li permet arribar després del moment d'inici del servei. En el segon cas, aquest intervals de temps es poden veure infringits, però només es veurien penalitzats amb un sobrecost per culpa de la caiguda del nivell de servei.

L'objectiu és reduir al mínim la flota de vehicles i la suma del temps de viatge i el temps d'espera necessari per servir a tots els clients a les seves hores assignades.

CVRPTW es caracteritza també per les següents restriccions:

- Una solució és converteix en inviable si un client es presenta després que el límit superior de la seva finestra de temps.
- Cada ruta ha de començar i acabar en temps associats amb la finestra de temps del dipòsit.

2.1.3.1 Formulació

La variant de CVRPTW, que ha rebut la major atenció, considera que només té un sol dipòsit. Tots els vehicles es basen en aquest dipòsit, i hi ha de tornar després de fer tota la ruta i visitar tots clients. Tanmateix, és comú dividir el dipòsit en un inici i destinació per fer una còpia de l'original del node com a dipòsit. D'aquesta manera, el començament i el destí del dipòsit és converteixen en 2 nodes idèntics.

Les tècniques disponibles per a la resolució d'aquest problema es poden classificar en diferents categories, com ara les tècniques heurístiques, meta-heurístiques, optimització basada en heurística, i l'optimització dels algorismes que es detallen en el *Cordeau et al., 2002*.

Cordeau *et al.* (2002), va formulà el CVRPTW definint un Graf $G = (N, A)$. El dipòsit es representa per dos nodes: "o" i "d". Totes les possibles rutes corresponen a camins que van desde el node o al node d. A està format pels diferents arcs (i, j) , on $i \neq j$, que duen un cost C_{ij} i un temps T_{ij} , ón s'inclou el temps de servei en el node i, associats a cada arc. Cada vehicle té una capacitat Q i cada client té una demanda q_i .

Les finestres de temps estàn definides com $[a_i, b_i]$, i van associades amb els clients i. El model conté dos conjunts de variables de decisió: x i s.

Per a cada arc (i, j) , on:

$$\begin{aligned} i &\neq j \\ i &\neq n + 1 \\ j &\neq 0 \end{aligned}$$

és defineix x_{ijk} per a cada cada vehicle k com:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 0, & \text{si el vehicle "k" no pasa per l'arc } (i, j) \\ 1, & \text{si el vehicle "k" pasa per l'arc } (i, j) \end{cases}$$

La variable de decisió s_{ik} és defineix per a cada vèrtex i i cada vehicle k, i denota el moment en que el vehicle k comença a servei al client i. En el cas que el vehicle k no dongui servei al client i, s_{ik} no significarà res.

Per trobar el mínim cost de les rutes de repartimetn i per a cada vehicle $k \in V$, ha de ser dissenyat de manera que cada client sigui servit exactament una sola vegada, cada ruta s'origina al vèrtex o i acaba en el vèrtex d, i tenin en compte les finestres de temps i la capacitat del vehicle.

Derivat de Cordeau *et al.* (2002), el CVRPTW es pot formular matemàticament, com es mostra a continuació:

La funció objectiu (2.8) és minimitzar el cost associat a la variable de decisió x_{ijk} .

$$Z_{CVRPTW} = \sum_{k \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} \cdot x_{ijk} \quad (2.8)$$

per estar en un CVRPTW cal que compleixi les següents condicions:

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1 \quad ; \quad \forall i \in N \setminus \{o, d\} \quad (2.9)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{o, d\}} q_i \cdot \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq Q \quad ; \quad \forall k \in V \quad (2.10)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ojk} = 1 \quad ; \quad \forall k \in V \quad (2.11)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ihk} - \sum_{j \in N} x_{hjk} = 0 ; \forall h \in N \setminus \{0, d\}, \forall k \in V \quad (2.12)$$

$$\sum_{j \in N} x_{jdk} = 1 ; \forall k \in V \quad (2.13)$$

$$s_{ik} + t_{ij} - M(1 - x_{ijk}) \leq s_{jk} ; \forall i, j \in N, \forall k \in V \quad (2.14)$$

$$a_i \leq s_{ik} \leq b_i ; \forall i \in N, \forall k \in V \quad (2.15)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} ; \forall i, j \in N, \forall k \in V \quad (2.16)$$

$$s_{ik} \geq 0 ; \forall i \in N, \forall k \in V \quad (2.17)$$

La limitació (2.9) implica complir que el lliurament a un client es realitza sencer en un sol viatge i en el mateix vehicle

Restricció (2.10) requereix que la suma dels pesos de la demanda en cada ruta, no pot excedir la capacitat del vehicle (Q).

Les limitacions (2.11), (2.12) i (2.13) són les limitacions de flux de conservació per a cada vehicle.

L'equació (2.15) imposa que l'arribada del lliurement es produeixi dins de la finestra de temps.

Les equacions (2.14), (2.16) i (2.17) representen les limitacions en les finestres de temps, i les restriccions a l'hora d'arribada s_{ik} al node i amb el vehicle k .

Seguidament es definirà el model base, citat per R. Cordone i R. Wolfler

Es defineix el graf $G = (N, A)$ on $N = (0, 1, \dots, n)$ són el conjunt de nodes, i $A = \{(i, j) : i, j \in N, i \neq j\}$ el conjunt d'arcs. El node 0 representa el magatzem i $N' = \{1, \dots, n\}$ el conjunt de nodes a ser visitats.

Les dades que ens ha de proporcionar el problema són:

- $c_{ij} \geq 0$ Cost associat a l'arc (i, j)
- $t_{ij} \geq 0$ Temps de viatge, recórrer arc (i, j)
- q_i Quantitat demandada
- s_i Temps de servei

- $[e_i, l_i]$ Finestra temporal
- Q : Capacitat de vehicle
- h : Cost del vehicle

S'assumeix que el cost depèn del temps de recorregut, és a dir, $c_{ij} = t_{ij}, \forall (i, j) \in A$ i que h és prou gran com per garantir que minimitzar el nombre de vehicles forma part de la funció objectiu.

Sense pèrdua de generalitat es pot fer la següent simplificació

$$e_i = \max(e_0 + t_{0i}, e_i) \quad l_i = \min(l_0 + t_{i0}, l_i)$$

A continuació les variables que influeixen en el problema, la primera és de tipus binària i les altres dues senceres:

- x_{ij} flux per arc (i, j)
- y_i càrrega del vehicle a la sortida del node i
- p_i començament del servei en el node i

Per últim és presenta la funció objectiu (2.19) i les restriccions a les que el problema està subjecte:

$$\min \left(\sum_{j \in N'} hx_{0j} + \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \right) \quad (2.18)$$

Que queda subjecte a les condicions:

$$\sum_{j \in N'} hx_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall i \in N' \quad (2.19)$$

$$\sum_{j \in N'} hx_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall j \in N' \quad (2.20)$$

$$\text{Si } x_{ij} = 1 \Rightarrow p_i + s_i + t_{ij} \leq p_j \quad ; \quad \forall (i, j) \in A \quad (2.21)$$

$$e_i \leq p_i \leq l_i \quad \forall i \in N' \quad (2.22)$$

$$\text{Si } x_{ij} = 1 \Rightarrow y_i + q_j \leq y_j \quad ; \quad \forall (i, j) \in A \quad (2.23)$$

$$q_i \leq y_i \leq Q \quad \forall i \in N' \quad (2.24)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i, j) \in A \quad (2.25)$$

On les restriccions (2.19) i (2.20) asseguren que a cada client se li assigna exactament una ruta simple, la (2.21) i la (2.22) es refereixen a restriccions a la finestra de temps i la (2.24) i la (2.25) són restriccions de capacitat.

Un cop acabat el modelat del VRPTW bàsic es poden enumerar tres variants prou interessants des del punt de vista pràctic.

- En primer lloc hi ha un m-VRPTW, que és un VRPTW amb nombre limitat de vehicles.
El m-VRPTW es defineix de la manera en que atès m (nombre de vehicles) i el cas VRPTW, trobar m o menys rutes amb funció objectiu primària de maximitzar el número total de clients atesos i amb funció objectiu secundària de minimitzar la distància total de viatge. És canvia l'enfocament, ja que en aquest cas se sap la grandària de la flota i l'objectiu és atendre a tots els clients.
- El segon cas possible és el VRPTW amb diversos dipòsits i una flota heterogènia de vehicles.
Aquesta és la situació més semblant a un cas real. La funció objectiu és reduir costos, per una banda els costos fixos associats a l'ús dels vehicles i de l'altra els variables que són costos d'operació (igual que el VRPTW bàsic), i a més penalitza per període de treball majors o violació de la finestra temporal.
- Finalment, el cas més complicat és el de VRPTW estocàstic (SVRPTW). Seria el cas d'una empresa de transports encarregada del repartiment de menjar delicat i que és pugui fer malbé. Té un caràcter estocàstic inherent: condicions variables de trànsit (vehicles més cars i més costosos), naturalesa perible del menjar, temps de viatge i forma de preservar el menjar

A la figura 2.2 és pot veure una representació d'un problema resolt de VRPTW.

Blau i blanc són les barres que representen la finestra de temps (és a dir, hores de treball), i l'àrea en blanc on representa quan podem fer un lliurament a aquest client. D'altra banda, la línia vermella mostra quan es va fer el lliurament d'aquesta solució particular.

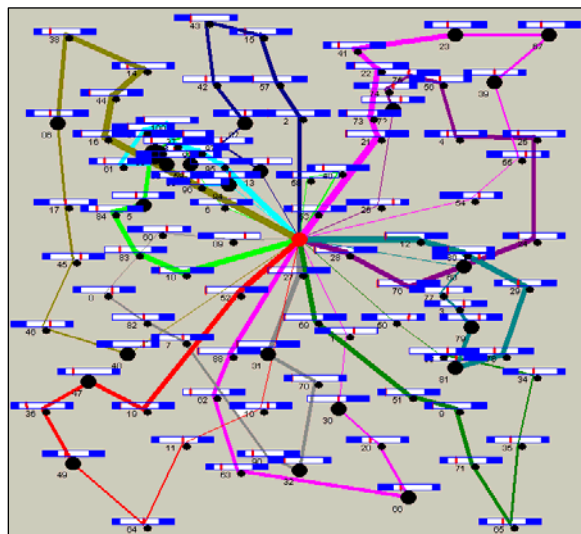


Figura 2.2: Representació gràfica d'un problema resolt de VRPTW
FONT: <http://neo.lcc.uma.es>

2.2 Model analític de rutes

Els models analítics permeten la resolució de problemes d'una forma molt més practica i simplificada. El que es pretén amb aquest models es la determinació d'una variable mitjançant la modelització d'una funció continua que acabi minimitzant el cost del sistema modelitzat.

Òbviament no es tracten de funcions d'optimitzacions d'un model real, en canvi són molt propers als òptims sense haver tingut que pensar complexos models numèrics.

Amb tot això, Daganzo va remarcar algunes de les avantatges d'utilitzar les funcions compostes d'un nombre reduït de variables:

- Proporciona una millor comprensió física del problema
- Es un eficaç pont de comunicació entre l'analista i el client al moment que s'hagin de justificar accions i recomanacions
- Poden assenyalar altres solucions que les contingudes en el text originalment. Això pot dur a reconsiderar qüestions originals del problema o ajudar a ampliar l'abast de l'anàlisi.

En *Daganzo(1984)*, es va desenvolupar la següent fórmula pèl càlcul del cost del transport des de un origen a molts receptors (clients):

$$CTT = \underbrace{C_s N \left\{ \frac{v}{V \max} + L \right\}}_{COST_PARADA} + \underbrace{C_d 2r_m v \left\{ \frac{N}{V \max} \right\}}_{COST_LLARGA_DISTANCIA} + \underbrace{\frac{C_d K L N \delta^{-1/2}}{}}_{COST_DISTANCIA_LOCAL} \quad (2.26)$$

- CTT*: Cost total de transport del sistema
C_s: Cost de parada
N: Número de destinacions a la sub-regió
v: Demanda de cada client
V max: Capacitat màxima del vehicle
L: Número d'enviaments (1)
C_d: Cost per unitat de distancia
K: Constant adimensional (K_{EIXAMPLE} = 1,36, K_{C.VELLA} = 2,26)
r_m: Distancia mitjana entre el magatzem i els clients
δ: Densitat de punts $\left(\delta_i = \frac{N_i}{A_i} \right)$

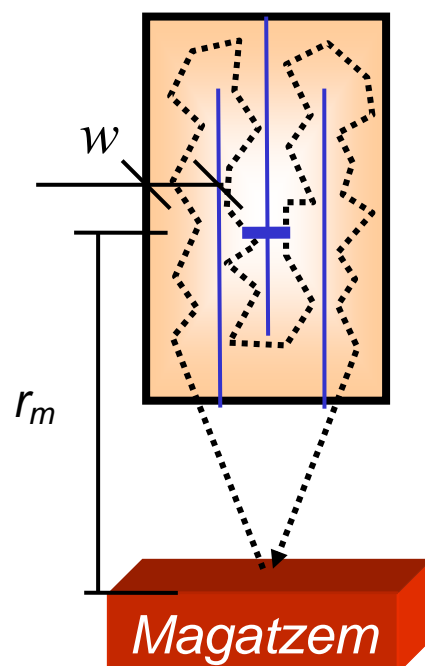


Figura 2.3: Representació gràfica del problema TSP
 FONT: Logistics Systems Analysis. Daganzo, Carlos F.

Al problema del viatjant de comerç (TSP), la expectativa de distància recorreguda (l) dins d'una regió d'àrea A , amb $N \rightarrow \infty$ punts uniforme i independentment distribuïts es

$$l \approx \phi \sqrt{A \cdot N} \quad (2.27)$$

on ϕ és una constant desconeguda que adopta el valor 0,75 per la mètrica euclídea.

Segons *Daganzo (1984a)*, la distància esperada del recorregut en el problema del viatjant de comerç, es modificada per la zona de la forma en que es reparteixen els punts.

Per determinar la distància total recorreguda pel viatjant de comerç, s'adopta un ample de banda w i va pels punts de destinació continguts en ella a mida que avança (mai retrocedint) en la direcció del costat major.

En un exemple d'aplicació d'aquest model que va fer *Daganzo (1991)*, un hipotètic fabricant d'ordinadors i videojoc té 3 fàbriques i 100 centres de distribució, on les fàbriques dels mòduls pels ordinadors es troben a A , a B les consoles de videojocs i a C els monitors per ambdós equips.

El model va intentar trobar una estratègia de distribució que minimitzés els costos totals de transport i el cost anual d'emmagatzematge.

Al finalitzar l'experiència, *Daganzo* va analitzar el model mitjançant mètodes numèrics i va comparar els resultats obtinguts, amb els del seu model analític. Els resultats d'aquell estudi es poden veure a la taula 2.3

TAULA 2.3
COMPARACIÓ ENTRE ELS RESULTATS APROXIMATS
I ELS D'ANÀLISI NUMÈRICA

Estratègies de distribució	Cost logístic estimat (milions \$/any)	Cost logístic exacte (milions \$/any)
1- Lliuraments directes amb vehicles plens	47,0	47,0
2- Lliuraments a través d'una terminal amb vehicles plens	10,9	10,8
3- Lliuraments directes més econòmics	6,8	6,7
4- Lliuraments a través d'una terminal més econòmics	4,6	4,5

FONT: *Daganzo (1991)*

Presentada la taula, va poder veure que els resultats de l'anàlisi aproximada diferien molt poc dels anàlisi numèric (més precisos). *Daganzo* també posa l'accent en la solidesa del model enfront dels errors en les dades d'entrada del model.

2.3 Estratègies de millora

2.3.1 Rutes de repartiment per la nit

Aquest mètode de disseny de rutes, permetrà el càlcul de noves rutes de repartiment i més concretament, a la nit. A continuació s'analitzaran les raons per les quals es considera millor realitzar aquest servei a la nit i quin ho desaconsellen. Quina relació hi ha entre els diferents actors i com es veuria afectat el sector segons les decisions que prenguéss cadascun.

Primer cal definir les parts que s'han de tenir en compte a l'hora del disseny de rutes, és veuen clarament a la següent il·lustració:

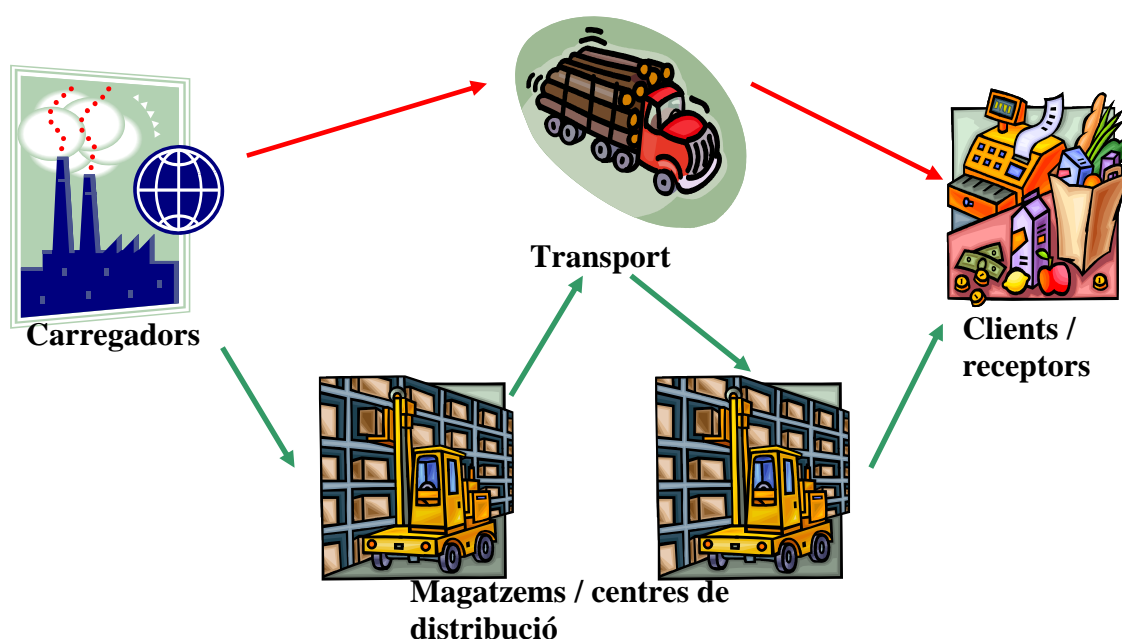


Figura 2.4: Esquema dels actors en una ruta de repartiment
FONT: José Holguín-Veras (2007)

Els principals actors a tenir en compte per definir les característiques a l'hora de descriure les rutes són els següents:

- Carregadors:
 - Mida enviament.
 - Freqüència dels trasllats.
 - Nivell de servei esperat.
- Receptors:
 - Els terminis de lliurament.
 - Requisits per a la càrrega / descàrrega.

- Transport:
 - Rutes.
 - Tipus de transport.
 - La seqüència de recollida i lliurament (subjecte a les limitacions dels carregadors i receptors)
- Els conductors de camions:
 - Rutes.
 - La seqüència de recollida i lliurament.

No només s'ha de vigilar individualment cada actor, si no també caldria tenir en compte les possibles interaccions que hi hauran entre aquest 3 actors com són:

- Les interaccions determinaran la forma d'elecció entre els carregadors i els transportistes.
- Les interaccions entre els transportistes i receptors determinarà els terminis de lliurament i, en conseqüència, el temps de viatge i la capacitat dels transportistes per respondre a la tarifació viària.

Clar que també hi pot haver el cas particular on el carregador i el transportista o el transportista i el receptor pertanyin a la mateixa empresa. En aquest cas, l'empresa podria interioritzar la totalitat dels costos i beneficis de l'operació, tenint la possibilitat d'escollir quins terminis de lliurament són els millors per a tota la companyia.

2.3.1.1 Teoria de jocs i aplicació

La teoria del joc es una aproximació diferent i multidisciplinària per l'estudi del comportament humà. Les disciplines que més estan relacionades amb la teoria del joc són les matemàtiques, l'economia i altres ciències del comportament humà. La teoria del joc va ser formulada pel matemàtic John von Neumann. Amb el primer llibre important "*The Theory of Games and Economic Behavior*"(1944), escrit per John von Neumann en col·laboració amb l'economista matemàtic Oskar Morgenstern.

La Teoria de Jocs parteix d'una sèrie de supòsits:

- Els participants en la relació, són conscients d'aquesta, i busquen el màxim profit d'aquesta relació i actuen racionalment
- Hi ha un cost de la relació i s'obté un benefici d'ella. Cost i Benefici són quantitats mesurables
- Les transaccions s'efectuen mitjançant els anomenats "torns de joc", en els que tots a la vegada fan la seva selecció. En principi no podem saber a priori quina serà l'elecció del contrincant, sinó només suposar que escollirà l'opció òptima per a ell
- Les "partides" poden ser a un únic torn o múltiples torns. De la mateixa manera, poden ser entre dues persones, o entre grups de persones, en aquest

cas suposem que es juga "tots contra tots" (encara que posteriorment puguin sorgir diversos tipus d'aliances)

- El principal objectiu de la teoria dels jocs és determinar els papers de conducta racional en situacions de "joc" en les que els resultats són condicionals a les accions de jugadors interdependents, i la cerca d'un model d'actuació òptim per a tots els casos.

Hi ha dos tipus de jocs als que plantegen una problemàtica molt diferent i requereixen una forma d'anàlisi diferent:

- 1 Si els jugadors poden comunicar-se entre ells i negociar els resultats es tractarà de jocs amb transferència d'utilitat (també anomenats jocs cooperatius), en els que la problemàtica es concentra en l'anàlisi de les possibles coalicions i la seva estabilitat.
- 2 En els jocs sense transferència d'utilitat, (també anomenats jocs no cooperatius) els jugadors no poden arribar a acords previs, és el cas dels jocs coneguts com "la guerra dels sexes", el "dilema del presoner" o el model "falcó-colom".

Un exemple, que il·lustra els problemes típics que tracta la Teoria de Jocs, és el problema del repartiment equitatiu. En essència es tracta d'aconseguir que un grup de persones es sentin contents amb la part que els hagi tocat en un repartiment. La modelització d'aquest problema pressuposa que a tothom li agradaria que li toqués el 100% de la quantitat total a repartir, i que es sentirà a disgust si considera que algú té més que ell. En sociologia això es coneix pel nom de Model de Cooperació Egoista: quan dues o més persones s'interrelacionen per obtenir alguna cosa a canvi. Es denomina "egoista" perquè es pressuposa que cada participant busca l'interès propi, o com a màxim l'interès comú, no l'interès de l'altre.

A principi dels anys cinquanta, en una sèrie d'articles, el matemàtic John Nash publica "Non-cooperative games"(1950), trencant dues de les barreres que Von Neumann & Morgenstern s'havien auto-impost, i definint que si hi ha un conjunt d'estratègies tal que cap jugador es beneficia canviant la seva estratègia mentre els altres no canvien la seva, llavors aquest conjunt d'estratègies i els guanys corresponents constitueixen un equilibri de Nash.

L'economista alemany Heinrich Freiherr von Stackelberg, descriu el seu model en la seva obra "Markform und Gleichgewicht" (1934). En conceptes de teoria de jocs, els participants d'aquest joc són un líder i un seguidor que competeixen en quantitats. El líder en Stackelberg també sol ser anomenat Líder de mercat. Hi ha certs requisits perquè s'aconsegueixi donar un equilibri de Stackelberg. El líder ha de saber que el seguidor observa les seves accions. El seguidor no hauria de tenir forma de saber les accions que realitzarà el futur seguidor i el líder ha de ser conscient d'això, de fet, si el seguidor pogués saber les accions que realitzarà el líder, la millor resposta d'aquest seria jugar l'acció del seguidor.

Les empreses poden caure en la competència de Stackelberg si una té certa classe d'avantatge permetent que es mogui primer. Una vegada que el líder ha realitzat la

seva jugada, no la pot desfer. Aquesta situació podria arribar a donar-se si el líder és una de les empreses principals de la indústria i el seguidor és un nou integrant del mercat. En un cas general, els líders serien els majoristes i grans superfícies, i els transportistes actuarien de seguidors.

Aquesta última teoria d'*Stackelberg*, resulta la més adequada per realitzar un anàlisi de totes les interaccions descrites anteriorment, ja que en el cas real que s'està plantejant en aquest estudi amb els supermercats, els transportistes actuarien de "líder del mercat" i els receptors i vianants de "seguidors". El seu objectiu no és l'anàlisi de l'atzar o dels elements aleatoris sinó dels comportaments estratègics dels jugadors. Es diu d'un comportament que és estratègic quan s'adopta tenint en compte la influència conjunta sobre el resultat propi i del altre jugador de les decisions pròpies i alienes. Amb això es podrà veure clarament on ha de cedir cada actor de manera que ambdues parts en puguin treure un màxim rendiment d'un acord comú entre elles.

José Holguín-Veras (2006) va realitzar les següents taules, on de forma esquemàtica es veu l'afectació dels actors entre si:

TAULA 2.4

TEORIA DELS JOCS APLICADA A LA RELACIÓ ENTRE
CARREGADORS I TRANSPORTISTES

	Estratègia	Transportista	
		En cooperació	No cooperatiu
Carregadors	En cooperació	(+,+) ^(I)	(-,-) ^(II)
	No cooperatiu	(-,-) ^(III)	(-,-) ^(IV)

FONT: José Holguín-Veras

En aquesta taula és tracta la forma en que carregador i transportista han de col·laborar per tal de determinar les mides òptimes de cara als enviaments.

Queda clar que els dos actors, carregadors i transportistes, han de col·laborar, doncs qualsevol altra estratègia que adoptin, no els hi aportaria cap tipus de benefici. És normal que aquests dos actors pertanyin a una mateixa per evitar tots aquests problemes

TAULA 2.5

TEORIA DELS JOCS APLICADA A LA RELACIÓ ENTRE
TRANSPORTISTES I CLIENTS/RECEPTORS

	Estratègia	Clients/Receptors	
		Hores regulars	Hores nocturnes
Transportista	Hores regulars	(-,+) ^(I)	(-,-) ^(II)
	Hores nocturnes	(-,-) ^(III)	(+,-) ^(IV)

FONT: José Holguín-Veras

Aquest és el cas amb una solució poc clara. Per una banda hi ha el transportistes i per l'altre el clients, i com és veu les preferències són ben oposades. Actualment la situació es la del quadrant (I), on el transportista lliure les comandes a l'hora que al client li va be, però quan a ell li és més car. Els quadrants (II) i (III) són solucions incompatibles. I el quadrant (IV) és cap on hi ha tendència a realitzar els serveis de comandes, ja que al transportista li és més econòmic i provoca menys molèsties a la vida urbana quotidiana.

TAULA 2.6

TEORIA DELS JOCS APLICADA A LA RELACIÓ ENTRE RECEPTORS I VIANANTS

	Estratègia	Vianants	
		Hores regulars	Hores nocturnes
Receptors	Hores regulars	(+,-) ^(I)	(-,-) ^(II)
	Hores nocturnes	(-,-) ^(III)	(-,+) ^(IV)

FONT: Pròpia

Es podria considerar una tercera relació, tot i no ser un actor directament implicat, si que podria tenir més força de la que exerceix actualment. Aquest actor es veu perjudicat per les complicacions que produeixen els transportistes en la circulació diària, els embussos, col·lapses en petits carrers, malestar...

A la taula es pot apreciar com al quadrant (I) es quan al receptor li va millor realitzar la recepció de mercaderia, en canvi, és quan resulta més molest per al ciutadà en els àmbits que s'acaben d'explicar. Els quadrants (II) i (III) són solucions incompatibles. Per part del quadrant (IV) és la opció més favorable al ciutadà, estalviant problemes aquest, i millorant la percepció que és te de la pròpia ciutat.

Tot i això, actualment els receptors són els qui tenen el poder de forma unilateral, sense que els transportistes hi puguin dir res, ja que llavors el client simplement canviaria de proveïdor. El que es tractaria és de crear uns incentius de manera que al menys ambdós actors poguessin negociar, i així equilibrar la balança del poder de decisió.

2.3.2 Incentius

Els planificadors logístics del transport i la societat en general, són conscients dels beneficis que comportaria una major explotació del lliurament de mercaderies fora de les hores punta. Per als planificadors logístics, representa un augment de la eficiència en les rutes de repartiment, disminuir els costos totals destinats al lliurament i una optimització del temps utilitzat. Mentre que a la societat el que veu és una reducció significativa de la congestió generada pels camions transportistes, i també un ús més sostenible de la capacitat del trànsit.

Es troba molta bibliografia que tracta sobre el lliurament de mercaderia fora d'hores punta, però no en el cas dels supermercats. S'han realitzat estudis a la ciutat de Nova

York pel professor José Holguín-Veras, on s'hi ha tractat profundament el lliurament de productes directament al comerciant, com són el paper, productes farmacèutics, alimentació i begudes alcohòliques a restaurants i expenedors de begudes, fusta, metalls, mobles, productes electrònics i tèxtil, però no el cas particular del lliurament a grans superfícies dedicades exclusivament a l'alimentació.

A Barcelona hi ha repartits uns 200 supermercats aproximadament, sense comptar els hipermercats, entre els grups Caprabo-eroski, Dia, Carrefour, Mercadona i Jespac, el que provoca un gran moviment de camions transportistes dins de la ciutat. Menys d'un 10% fa el subministrament dels establiments fora de les hores punta, cosa que fa pensar en incentivar aquest mètode repartiment mitjançant diferents polítiques per tal de que tan els transportistes, com els receptors i com la societat, quedin satisfets amb aquest nou model de repartiment.

Per a la realització de l'estudi i poder-ne avaluar la possible aplicació, es definiran el conjunt de polítiques i programes que poden induir a un canvi en els lliuraments a les hores punta., es realitzarà un cas pràctic mitjançant una simulació dins del sector alimentari i s'avaluarà l'eficàcia d'aquestes iniciatives mitjançant diferents indicadors.

A continuació s'explicaran de manera més detallada les parts més importants a tenir en compte en l'estudi.

2.3.2.1 Polítiques d'incentius

Primer de tot cal diferenciar entre dos parts amb idees contràries dins del àmbit del repartiment: els transportistes i els receptors, ambdues parts tenen interessos ben definits i contraris entre ells, per això segurament, aquest punt de les polítiques d'incentius, és la més important de tots dins de l'estructura.

Una primera mesura que es podria ocorre, és una política d'imposició, però no hi ha hagut cap cas en que hagi funcionat. Com a exemple més antic segurament, es troba el cas de l'antiga Roma de Juli Cèsar, que va emetre la *Lex Iuliana Municipalis* que ordenava que tots els lliuraments a Roma havien de fer-se en la nit. Però, aquesta mesura va provocar nombroses queixes dels ciutadans romans pel soroll durant les hores nocturnes.

En un cas més recent, principis del 1990, es va considerar una regulació que prohibia el lliurament de mercaderies durant el dia a Los Angeles, USA. Aquesta mesura va promoure una gran oposició per part del sector empresarial, obligant a abandonar aquets projecte.

La situació més recent, i probablement la de major aplicació de lliurament de la mercaderia fora de les hores punta, és troba a Beijing, Xina, on el govern va ordenar que es fessin totes les entregues complint aquesta mesura. Però finalment aquest projecte no es va considerar factible.

Amb aquests 3 exemples, queda desestimada totalment l'opció d'imposició política. Com ja s'ha tractat anteriorment, els receptors, que són els clients, són qui tenen l'última paraula a l'hora d'acceptar la recepció de la mercaderia fora de les hores diürnes.

TAULA 2.7

TEORIA DELS JOCS APLICADA A LA RELACIÓ ENTRE TRANSPORTISTES I CLIENTS/RECEPTORS

	Estratègia	Clients/Receptors	
		Hores regulars	Hores nocturnes
Transportista	Hores regulars	(-,+) ^(I)	(-,-) ^(II)
	Hores nocturnes	(-,-) ^(III)	(+,-) ^(IV)

FONT: José Holguín-Veras

Se'n poden extreure 3 punts importants per a l'èxit d'aquesta estratègia:

- La voluntat dels receptor a acceptar les entregues fora de les hores punta.
- Els costos marginals associats a les entregues fora de les hores punta.
- Els incentius financers

Si no hi ha cap voluntat per part dels receptors per rebre les comandes fora de les hores regulars, mai es podrà realitzar, ja que sempre serà més fàcil continuar rebent la mercaderia durant les hores regulars i sempre hi haurà un transportista que oferirà aquest servei.

Per tant, calen diferents incentius financers tan pels transportistes com pels receptors de manera que aquests costos marginals derivats de les entregues fora de les hores punta es vegin compensats i a més incitin als comerciants i als transportistes a realitzar aquest canvi de estratègia logística.

Per part dels receptors, a més de ser qui tindran l'última paraula en l'acceptació de les entregues fora d'hores regulars, són més difícil de donar incentius.

Els dos escenaris proposats per tal d'augmentar la probabilitat que els receptors es comprometin a acceptar els lliuraments fora d'hores regulars són:

- 1) Rebut una deducció dels impostos a pagar per a cada empleat que treballi durant les hores nocturnes
- 2) Descomptes en el cost d'enviament per als lliuraments que es produeixin fora de les hores regulars.

Hi ha un tercer cas particular:

- 3) En el cas que l'empresa transportista sigui la mateixa que rep els productes, es a dir, que disposi d'una flota pròpia de vehicles de transport tal i com passa en el cas dels supermercats, els costos marginal i els beneficis s'internalitzen

Tot i que qualsevol de les dues són perfectament vàlides, caldria comprovar a quina de les dues la indústria dels supermercats resulta ser més sensible. Segons l'article publicat per *J.Holguín-Veras, et al.* sobre els lliuraments de mercaderies de tot tipus a la ciutat de Nova York, s'extreu que segons quina sigui la indústria amb que tractem, tindrà més sensibilitat a un tipus de política o altre. En aquest cas, els supermercats, s'acosten més a una indústria alimentària, pel que segons aquest article, la indústria alimentària es molt sensible a aquestes dues polítiques d'incentiu.

Per altra banda, els transportistes també tenen polítiques d'incentivació per realitzar els seus lliuraments fora de les hores regulars. En primer lloc, i punt imprescindible a afegir a qualsevol altre política, es la necessitat que el receptor sol·liciti el rebut dels productes en horari nocturn, sense aquesta premissa no es podria continuar. Partint d'aquesta base, hi ha quatre possibles incentius per als transportistes:

- 1) Disposar d'aparcament durant l'horari de repartiment nocturn.

Al principi, quan pocs establiments ho sol·licitessin, podria funcionar, i faria estalviar multes als transportistes, ja que segons l'estudi de *J.Holguín-Veras, et al.* a la ciutat de Nova York, les empreses transportistes han de pagar prop de 380\$ per conductor i més en concepte d'amonestacions per infraccions a l'estacionament dels vehicles a l'hora de les descàrregues. Per tant, seria un bon incentiu al principi, i crear zones de càrrega i descàrrega nocturnes, però en cas de proliferar l'idea, seria insostenible col·locar una zona per a descarrega nocturna davant de cada establiment que ho sol·licités.

Per tant no serviria com a incentiu perpetu, a no ser que s'imposessin uns volums mínims de descàrrega a la setmana, per que un establiment pugui accedir a una zona de carrega i descarrega nocturna. En cap cas doncs, tindria validesa per a tots els tipus de transportistes, i per tant no seria un bon incentiu a llarg termini.

- 2) Estalvi als peatges per als transportistes

Aquest incentiu si que seria bo a llarg termini, ja que es podria aplicar sempre a qualsevol transportista i sense afectar a altres usuaris de la via pública com si que passa en el primer cas.

S'hauria de veure fins quin punt els peatges a l'entrada de Barcelona representen un obstacle a les empreses, i en quin grau podrien motivar a aquestes a realitzar els transports durant la nit, ja que molts magatzems estan suficientment ben comunicats amb Barcelona sense la necessitat de pagar peatges. Tot i així, és un bon incentiu per aquelles empreses amb accessos amb peatges.

3) Gratificació econòmica per cada km. recorregut pel transportista durant les hores nocturnes.

Aquesta sens dubte és, a priori, d'incentiu més "objectiu", ja que valora per igual a tots els transportistes, i incentiva a acceptar i realitzar més entregues durant l'horari nocturn.

4) Permetre l'estacionament en doble fila dels transportistes per l'entrega dels productes

Aquesta mesura és semblant a la primera, tot i que seria de més fàcil aplicació, i eliminaria en un bon grau, una de les principals raons de despeses dels transportistes, les multes per infraccions de l'estacionament. Aquesta mesura seria aplicable en vies de més d'un carril, i seria complementaria a la primera mesura de disposar d'aparcament durant l'horari nocturn.

Òbviament cadascuna d'aquestes possibilitats d'incentivar el transport de mercaderies durant hores nocturnes, serien combinables entre elles en cas de ser necessari per complementar-se.

Aquí s'han definit diferents polítiques d'incentivació tan pels transportistes com pels receptors, però no són els únics obstacles per arribar a acceptar un servei de transport de mercaderies durant la nit. Més endavant es definiran altres aspectes a solucionar, que preocupen a transportistes i receptors.

2.3.2.2 Factors en la programació

Per una millor avaluació de l'estudi i de les millores tècniques en quant a eficiència de les noves rutes de repartiment durant la nit, es realitzarà una simulació de rutes de repartiment, basat en una distribució existent de supermercats, a la ciutat de Barcelona, de la coneguda cadena Caprabo-Eroski.

Es realitzarà una simulació de demanda utilitzant el cens de la ciutat de Barcelona, i per quantificar la demanda. Es tindran en compte els consums anuals per persona utilitzant un conjunt representatiu d'aliments i de productes bàsics. A més, coneixent la distribució dels supermercats a cada barri s'aconseguirà un model de demanda per a cada establiment.

Una part que condicionarà la futura simulació de rutes, es la de utilitzar els vehicles necessaris i que més convinguin a l'hora de transportar la mercaderia. Considerar si es poden posar tots els productes necessaris en un sol palet, o pel contrari, es separen els palets segons els productes. Tots aquests condicionants influiran en un menor o major grau, en el número de camions necessaris en les rutes de repartiment.

També caldrà tenir en compte a l'hora de preparar la simulació de demandes, que la forma de servir el producte no es correspon a un model *JIT (Just in Time)*, on els

productes es serveixen al moment en que es sol·liciten, si no que respon més a un model de previsions. Es a dir, caldrà proposar diferents escenaris, on la reposició del receptor es produeixi des de un cop a la setmana o fins a un cop al dia. Aquesta decisió influirà en el volum de productes totals que s'hauran de reposar diàriament en la totalitat de la xarxa d'establiments.

En punts posteriors es tractaran tots aquests punts de manera més específica i detallada.

2.3.2.3 Factors externs

- **Acústics**

A part de les polítiques d'incentius explicades anteriorment, per tal de motivar tant a transportistes com a receptors a acceptar un canvi, per tal realitzar les entregues de mercaderia durant la nit, hi ha altres factors no menys importants que obstaculitza la decisió favorable a realitzar les entregues durant la nit.

TAULA 2.8
QUALITAT ACÚSTICA PER SOROLLS APLICABLES A ÀREES URBANITZADES EXISTENTS

Tipus àrea acústica		Índex de soroll		
		L _d	L _e	L _n
e	Sectors del territori amb predomini del sòl d'ús sanitari, docent i cultural que requereixi una especial protecció contra la contaminació acústica.	60	60	50
a	Sectors del territori amb predomini de sòl d'ús residencial.	65	65	55
d	Sectors del territori amb predomini de sòl d'ús terciari diferent del contemplat a c).	70	70	65
c	Sectors del territori amb predomini de sòl d'ús recreatiu i d'espectacles.	73	73	63
b	Sectors del territori amb predomini de sòl d'ús industrial.	75	75	65
f	Sectors del territori afectats a sistemes generals d'infraestructures de transport, o altres equipaments públics que els reclamen.	Sense determinar	Sense determinar	Sense determinar

FONT: Ministeri de Medi Ambient

A l'hora de treballar durant la nit, caldrà maquinària el més silenciosa possible per pogué transportar els palets des del camió fins al magatzem. Ja que la normativa durant la nit, en quant a nivells màxims acústics al carrer, és més restrictiva que durant l'horari diürn. Per tant, d'utilització de maquinària elèctrica ajudarà al compliment de la normativa vigent descrita a la taula 2.8 de manera esquemàtica.

El fet de treballar amb maquinària elèctrica, no significarà cap limitació a l'hora de treballar, ja que en el mercat actual s'hi poden trobar tot tipus de màquines i tan funcionals com les convencionals.

Un recull de la possible maquinària necessària per a la descàrrega dels palets i transport fins al magatzem seria:

➤ Transpaleta elèctrica

Màquina molt útil en el cas que la descàrrega no es produeixi al mateix magatzem directament, però sigui molt propera

Pot carregar 2,5 tones i transportar-les on calgui, el nivell de seguretat es màxim per al treballador. No serveix per apilonar palets.



Figura 2.5: Transpaleta elèctrica del tipus ERE 225
FONT: Empresa Jungheinrich www.jungheinrich.es

➤ Carretó apiladora elèctrica

En cas que la descarrega es fes relativament lluny, aquest vehicle podria circular pel carrer sense cap problema a una velocitat adequada.

Pot carregar de 3 a 5 tones i apilonar palets fins a 3 metres d'alçada.



Figura 2.6: Transpaleta elèctrica del tipus EFG 535-550
FONT: Empresa Jungheinrich www.jungheinrich.es

La diferencia de cost d'una maquinària manual o de benzina/diesel, en comparació amb les elèctriques no es desorbitat, tenint en compte que una transpaleta manual són uns 1.000 euros, i una transpaleta elèctrica uns 1.500 euros. A més, cap la possibilitat del rènting en aquesta maquinària també, cosa que abarateix el seu cost i manteniment.

• **Seguretat**

Un aspecte que també inquieta tan a transportistes com a receptors és en matèria de seguretat i la possible falta d'accés als edificis que hagin de rebre els productes en horari nocturn.

En quant a la seguretat, caldria tenir en compte aquells barris on és perillosa la circulació nocturna tan de vehicles com de vianants. Cal dir però, que en el cas de Barcelona, els establiments de Caprabo-eroski que es veurien afectats per aquesta situació serien casos puntuals, que en cap cas s'han de menysprear per la bon funcionament del sistema.

En el tema d'accés als edificis que hagin de rebre mercaderies durant l'horari nocturn, es planteja la solució d'habilitar una sala situada immediatament a continuació de l'entrada principal del magatzem des del carrer. Amb això, s'aconseguiria aïllar tot el magatzem d'hipotètics robatoris, mentre que en el magatzem dedicat a la descàrrega nocturna, només s'hi apilarien els palets per a la reposició del supermercat del dia següent.

La maquinària necessària per a la descàrrega estaria en aquesta avantsala, i la clau per accedir-hi només la tindria el personal de la pròpia empresa. En tot cas, el magatzem principal romandria tancat. Per a més seguretat es poden instal·lar càmeres de seguretat en la part del magatzem de descàrrega nocturna.

La figura 2.7 mostra un hipotètic cas de redistribució de la part interior d'un magatzem, preparat per a rebre la mercaderia durant les hores nocturnes amb seguretat.

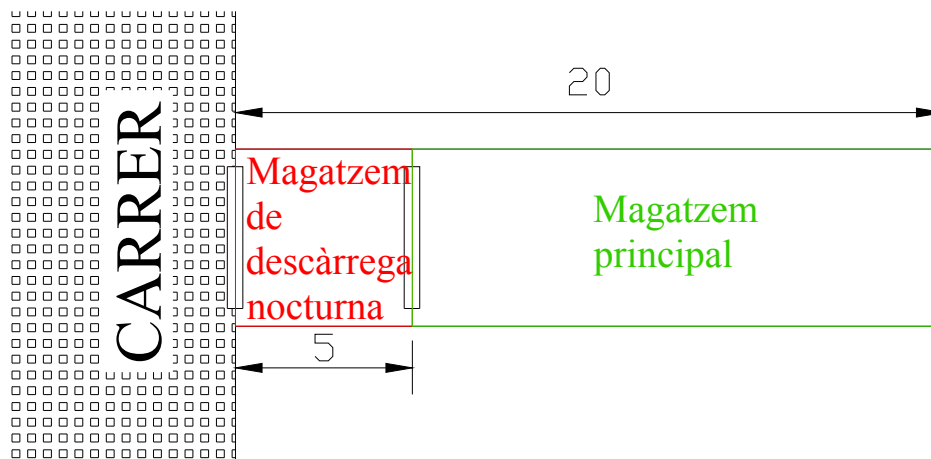


Figura 2.7: Croquis d'un magatzem adequat per a rebre comandes durant la nit
FONT: Pròpia

- **Personal a contractar**

Un altre problema amb que es troben els transportistes, és amb la contractació de personal durant l'horari nocturn.

En el cas que es tracta, hi hauria la solució de que el transport i la descàrrega el realitzessin les mateixes persones. Tenint en compte que dins de la cabina d'un camió hi poden anar tres persones, ja és un número suficient per pogué realitzar la descàrrega amb facilitat.

D'aquesta manera, un mateix equip transportista serviria per descarregar diversos establiments, i així no caldria contractar personal per cadascun d'ells. A més, al ser més persones treballant juntes, la descàrrega es realitzaria amb més seguretat.

Com ja s'ha comentat anteriorment, el responsable de cada ruta disposaria de la clau d'accés a la zona destinada a la descàrrega nocturna on hi serà la maquinària i l'espai

necessari per l'emmagatzemen de la mercaderia, a més dels palets utilitzats a l'anterior descàrrega. Cal recordar que no s'haurien de classificar els productes ni desembalar-los, això seria feina dels treballadors d'horari diürn.

2.4 Eines de càlcul aproximades

El VRP i les problemes derivats amb les corresponents restriccions (VRPTW, CVRP, MVRP,...) són un problema del tipus NP-Hard (Savelsberg, 1985).

Els models de solució habituals es poden dividir en dos tipus: Algorismes exactes o d'aproximació basats en heurístiques. Els mètodes heurístics produeixen bones solucions amb poc esforç computacional, i els metaheurístics que es basen en construcció de ruta i millora mitjançant cerca local, tenen una potència computacional de l'ordre de fins a 500 clients

2.4.1 Mètodes heurístics

En contraposició amb els mètodes exactes que proporcionen una solució òptima del problema, els mètodes heurístics es limiten a proporcionar una bona solució del problema no necessàriament òptima. Lògicament, el temps invertit per un mètode exacte per trobar la solució òptima d'un problema difícil, si és que existeix tal mètode, és d'un ordre de magnitud molt superior al de l'heurístic (pot arribar a ser tan gran en molts casos, que sigui inaplicable).

Els mètodes heurístics són de naturalesa molt diferents, hi ha els següents mètodes:

- De Descomposició: els quals descomposen el problema en subproblemes més senzills de resoldre.
- Els mètodes inductius: pretenen generalitzar de versions petites al cas complet.
- Els mètodes de cerca local: són aquells que comencen amb una solució del problema i la milloren progressivament (els algorismes genètics pertanyen a aquesta categoria).
- Els mètodes constructius: són deterministes i consisteixen en construir pas a pas una solució del problema, i solen millorar l'elecció en cada iteració (Els algorismes d'aproximació com l'algorisme de *Christofides* pertanyen a aquesta categoria).

En programació es diu que un algorisme és heurístic quan la solució no es determina en forma directa, sinó mitjançant assaigs, proves i tornar a assajar.

El mètode consisteix en generar candidats de solucions possibles d'acord a un patró donat, llavors els candidats són sotmesos a proves d'acord a un criteri que caracteritza la solució. Si un candidat no és acceptat, es genera un altre; i els passos

donats amb el candidat anterior no es consideren. És a dir, existeix inherentment una volta enrere, per començar a generar un nou candidat; per aquesta raó, aquest tipus d'algorisme també es denomina "amb volta enrere" (*backtracking*).

Els autors *Larson & Odoni (1981)* van plantejar que per a l'aplicació d'algorismes al sistema m-TSP es podem seguir les següent estratègies:

- *Cluster first, route second*. Primer es divideix la regió en districtes o grups de clients, i després es dissenyen les rutes simples dins de cadascun d'ells. Usualment aquest ordre produeix millors resultats que fent-ho al revés.
- *Route first, cluster second*. Primer es dissenya una gran ruta òptima per a tota la regió i després es subdivideix la ruta en altres subrutes més petites que seran cobertes per diferents vehicles.

A continuació es descriuran diferents algorismes heurístics com el mètode dels "estalvis" de *Clarke & Wright*, que és un dels més antics i a la vegada més coneguts pels especialistes, el mètode del "escombrat" de *Gillett & Miller (1974)*, o l'algorisme de *Fisher & Jaikumar*.

Clarke & Wright

El mètode dels estalvis, desenvolupat per *Clarke & Wright (1964)* és basa en una idea molt simple, si s'ha de portar una determinada mercaderia des de A a B i una altra des de A a C, no farà dos viatges diferents, cadascun d'ells d'anada i tornada, des de A a cada un dels destins esmentats. En el seu lloc es farà un únic viatge sortint de A passant per B i C i retornant a A. Aquest concepte d'estalvi de distància, temps i costos, és precisament en el qual es basa el mètode dels estalvis. És l'aplicació del sentit comú a l'hora de construir rutes de transport.

La seua esquema iteratiu es resumeix en 6 passos:

- Pas 1.** Calcular els estalvis $s(i, j) = c(D, i) + c(D, j) - c(i, j)$ per a tots els parells de clients i i j
- Pas 2.** Ordenar els estalvis en ordre decreixent.
- Pas 3.** Començar pel començament de la llista ordenada, i executar els següents passos:
- Pas 4.** Buscar el primer arc factible segons les restriccions imposades al problema de disseny de rutes (capacitat dels vehicles, nombre de vehicles), que es pot fer servir en allargar un dels dos extrems de la ruta en construcció.
- Pas 5.** Si la ruta no es pot allargar més, s'acaba. S'escull el primer arc factible a la llista ordenada per començar una nova ruta.
- Pas 6.** Repetir els passos 4 i 5 fins que no es pugui escollir més arcs.

Es possible que aquest algorisme deixi clients "penjats" (sense assignació a una ruta particular) o bé es produeixin rutes circulars. S'ha comprovat la seua inoperància per

alguns casos concrets, per exemple, quan els clients ocupen posicions equidistants en els vèrtex d'una xarxa quadriculada.

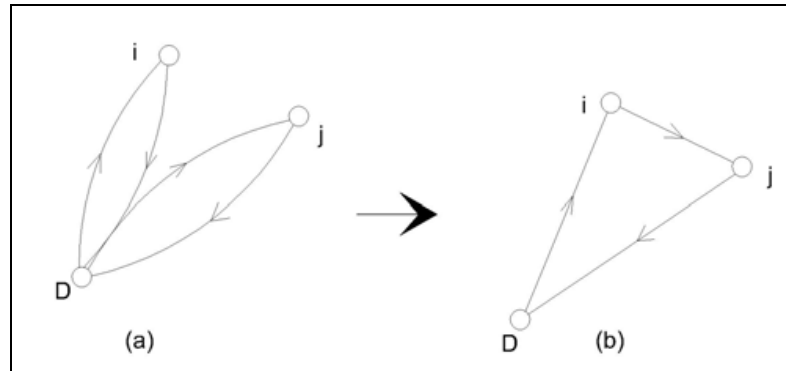


Figura 2.8: Unió de dos nodes per formar una ruta única
 FONT: <http://upcommons.upc.edu>

Gillet & Miller

El conegut com mètode del “escombrat” es caracteritza per ser dels pocs que per a la construcció de les rutes, no caldria del poder computacional d'un processador, ja que és podria aplicar de forma gràfica, simplement consistiria en anar “escombrant” la zona de clients sobre un mapa amb una línia imaginària i formar una ruta amb tots els clients que hagin estat escombrats en el procés. Tot node que no quedi inclòs en l'escombrat formarà part d'un altre ruta.

Aquest mètode assumeix que són conegudes les coordenades polars (r_i, θ_i) de tots els punts que han de ser visitats. El dipòsit es pot considerar com l'origen per $r_i = 0$.

Pertany al grups dels algorismes que consisteixen en agrupar primer i dissenyar la ruta després (*Cluster first, route second*)

Per realitzar l'ordre de visita dels punts, es pot usa l'algorisme següent:

- Pas 1.** Prendre un vehicle k que encara no hagi sigut utilitzat
- Pas 2.** Començant pel client i que encara no hagi sigut assignat a cap ruta i tingui un menor angle θ_i , incloure els següents $i+1, i+2$, etc., en la ruta k mentres no superi la capacitat C_k del vehicle.
- Pas 3.** Si s'han cobert tots els punts o s'han utilitzat tots els vehicles, es passa al pas 4. Si no, tornar al pas 1.
- Pas 4.** Conectar els punts dins de cada sector circular començant i finalitzant al magatzem

La solució adoptada per aquets algorisme no és òptima i depèn molt de la elecció que es faci primer per començar a escombrar i de l'ordre en el que s'assignin els vehicles.

Fisher & Jaikumar

Fisher & Jaikumar (1981) dissenyen un algorisme considerat per diversos autors com *Haouri (1990)*, i *Laporte (1992)* com un dels mètodes constructius de major eficàcia. La idea és plantejar-ho com un problema d'assignació no lineal generalitzada, de la manera següent:

Siguin m el número de rutes totals; 1 del punt origen, $\{2, \dots, n\}$ el conjunt de punts de visita, $q_{(i)}$, $i = 2, \dots, n$ la càrrega a portar a cada punt; Q la capacitat de cada vehicle.

Fisher & Jaikumar (1981) proposen definir uns punts ficticis o punts llavor e_j , $j = 1, \dots, m$, i definir la següent funció objectiu lineal a minimitzar:

$$\min Z = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (2.28)$$

Subjecte a:

$$\sum_{i=2}^n x_{ij} q_{(i)} \leq Q \quad j = 1, \dots, m, \text{ es a dir, la càrrega dels punts assignats a cada ruta no superarà la capacitat dels vehicles.} \quad (2.29)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad i = 2, \dots, n, \text{ es a dir, que cada enviament s'haurà de realitzar per una ruta.} \quad (2.30)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i = 2, \dots, n \quad (2.31)$$

Amb la variable:

$x_{ij} = 1$, si s'assigna l'enviament i a la ruta j ; i 0 en cas contrari. $i = 2, \dots, n$, $j = 1, \dots, m$
 On: c_{ij} és el cost d'insertar el punt i en la ruta que va de l'origen 1, al punt semilla e_j ; si el cost coincideix amb la distància recorreguda, llavors $c_{ij} = d_{1,i} + d_{1,2j} - d_{1,ej}$

Amb:

- $d_{1,i}$ la distància del origen al punt de visita i .
- $d_{1,2j}$ distància de i al punt semilla e_j
- $d_{1,ei}$ distància del origen a e_j

2.4.2 Mètodes metaheurístics

Les metaheurístiques són una classe de mètodes d'aproximació, que es dissenyen per atacar problemes difícils per on les heurístiques de propòsit especial han fracassat en donar resultats efectius i eficients. Les metaheurístiques proporcionen marcs generals que permeten crear nous híbrids combinant diferents conceptes derivats de la heurística clàssica, la intel·ligència artificial, l'evolució biològica, els sistemes

neuronals, la mecànica estadística i el psicoanàlisi freudià. Aquestes famílies d'enfocaments inclouen, però no estan limitades a algorismes genètics, GRASP, xarxes neuronals, cerca tabú i recuit simulat.

Són estratègies que guien i modifiquen altres heurístiques per obtenir solucions més enllà de les generades normalment en la recerca de la solució local. No garanteixen que la millor solució trobada, quan es satisfan els criteris de parada, sigui una solució òptima global del problema. Tanmateix, l'experimentació d'implementacions metaheurístiques mostra que les estratègies de cerca dins d'aquests procediments són capaços de trobar solucions d'alta qualitat a problemes difícils a la indústria, negocis i ciència.

Per permetre una millora addicional en la qualitat de les solucions, la recerca en aquest camp en les últimes dues dècades ha centrat la seva atenció en el disseny de tècniques de propòsit general per guiar la construcció de solucions o la recerca local a les diferents heurístiques. Desenvolupant així els mètodes de la metaheurística, que com ja he dit, consisteix en conceptes generals emprats per definir mètodes heurístics. Dit d'una altra manera, una metaheurística pot veure com un marc de treball general referit a algorismes que es pot aplicar a diversos problemes d'optimització (combinatòria) amb pocs canvis significatius si ja existeix prèviament algun mètode heurístic específic per al problema.

TAULA 2.9
CLASSIFICACIÓ DE METAHEURÍSTICS

Grup	Descripció	Exemples
Optimització local	També es podrien dir <i>tradicionals</i> i busquen un òptim local, es a dir, una solució la qual no en tingui cap altre millor al seu voltant, que ella mateixa.	Algorisme exhaustiu de descens GRASP
Hill-climbing	Aquests poden escapar dels òptims locals, mitjançant la adopció de solucions que poden ser "pitjors" que al preferible.	Recuit simulat (SA) Cerca Tabú Algorismes genètics

FONT: Francesc Robusté i Dante Galván

El nom dels metaheurístics, estan generalment donats pel tipus de recerca, i entre aquests es troben el recuit simulat o SA (*Simulated Annealing*), la recerca tabú (*tabú search*), els algorismes genètics (*genetic algorithms*), etc.

TS (Tabu Search)

A partir d'una solució inicial, per a cada iteració de TS, trasllada la solució actual p a la millor solució de les solucions veïnes, fins i tot si això provoca un deteriorament de la funció objectiu. Per evitar comenci a fer un cicle, algunes solucions posseeixen unes característiques particulars (llista Tabú) que fan que és declarin prohibides per un determinat nombre de iteracions.

Aquesta llista normalment conté regles tabú (propietats o transformacions) que corresponen a les solucions que es desitgen evitar i no a les solucions mateixes perquè consumiria molta memòria, molts de temps i seria poc restrictiva. El fet de prohibir altres solucions que poden ser interessants per algun motiu, genera que el TS faci us del concepte de *nivell d'aspiració*.

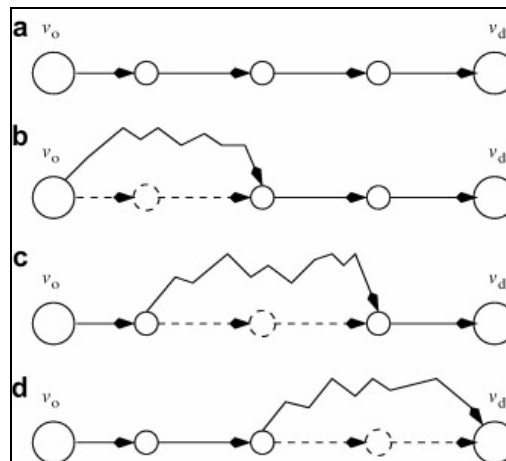


Figura 2.8: Representació del Tabú search
 FONT: <http://neo.lcc.uma.es>

L'esquema de l'algorisme seria:

Pas 1. Es dona una solució inicial x

Pas 2. Mentre no es verifiqui un cert criteri de finalització.

Selecció d'una solució x' pròxima a x , no tabú o que satisfaci un criteri d'aspiració amb mínim cost al veïnat de x .

Fer $x = x'$ i actualitzar la llista tabú i criteri d'aspiració.

Executar una estratègia de diversificació o intensificació i tornar a repetir.

Pas 3. Retornar a la millors solució trobada.

SA (Simulated Annealing)

El SA és basa en l'analogia en el recuit dels metalls i consisteix en escalfar a alta temperatura el sistema que s'intenta optimitzar, per després disminuir la temperatura mol lentament fins que no succeeixen canvis al sistema. La variació de temperatura en el procés físic es produeix de forma continua, mentre que al SA només es pot fer esglaonadament.

El recuit simulat és una de les metaheurístiques més clàssiques. La seva simplicitat i bons resultats en nombrosos problemes, l'han convertit en una eina molt popular, amb centenars d'aplicacions als més variats camps. La seva fonamentació es basa en el treball de Metrópolis et al. (1953) en el camp de la termodinàmica estadística. Bàsicament, Metrópolis modelar el procés de recuit simulant els canvis energètics en un sistema de partícules a mesura que decreix la temperatura, fins que convergeix a un estat estable (congelat).

S'ha demostrat que donades certes condicions, aquest convergeix asintòticament al òptim global amb probabilitat 1. La demostració es basa en el fet que el SA pot considerar-se com un algorisme que contínuament intenta transformar la configuració en una de les seves configuracions veïnes.

Descripció de l'algorisme:

Pas 1. Es dona una solució inicial x i una temperatura inicial t

Pas 2. Mentre no es verifiqui un cert criteri de finalització.

- Repetir el següent cicle L cops:
 - Solucionar aleatòriament una solució x' pròxima a x
 - Calcular $dc = \cos t(x') - \cos t(x)$;
 - Si $dc \leq 0 \Rightarrow x = x'$
 - si $dc > 0 \Rightarrow x = x'$ amb probabilitat $\exp(-dc/t)$
- Escollir $t = r.t$ (sentit de r l'esglaó de la temperatura)

Pas 3. Retornar a la millors solució trobada.

GA (Genetic Algorithms)

Els algorismes genètics són un tipus d'algorisme heurístic adaptatiu basat en el concepte de l'evolució de Darwin, la supervivència dels més forts. Van ser desenvolupats per *J. Holland* a la universitat de Michigan l'any 1975, mentre que la seva utilitat per resoldre problemes complexos es deu a *De Jong (1975)* i *Goldberg (1989)*. Es poden trobar detalls a *Mühlenbein (1997)* i a *Alander (2000)*.

Els algorismes genètics tenen bàsicament 4 etapes:

- **Representació.** Cal una forma senzilla de representar les rutes i els nodes assignats a cada ruta.
- **Selecció.** Cal un mecanisme de selecció de les millors solucions, que crearan la següent generació.
- **Recombinació.** Cal un esquema de combinació dels cromosomes triats com a parels per generar els fills.
- **Mutació.** Per assegurar que explorem tot l'espai de solucions, es muten els cromosomes obtinguts.

Es comença amb una població inicial, on cada solució és un cromosoma. Aquesta primera població pot ser generada de forma aleatòria o mitjançant un algorisme heurístic (en el segon cas es convergirà més ràpid a la solució òptima). S'avalua cada solució per escollir les millors, i mitjançant un mecanisme de combinació generem la següent població. El següent pas és mutar part de la nova població, introduint un grau d'aleatorietat que evitarà convergir en mínims locals. El criteri de parada serà aleshores un número màxim de generacions totals, o de generacions sense millora de l'òptim o si la solució obtinguda és satisfactòria.

REPRESENTACIÓ

L'aspecte principal dels algorismes genètics es la codificació de la solució, una opció és la de convertir-la en forma de bits. En el cas dels problemes de ruteig, interessa una ordenació dels nodes, i és més pràctic utilitzar permutacions codificades.

Si hi ha el següent esquema de rutes, la codificació és la aquesta:

Ruta 1: 3 2 7

Ruta 2: 4 9 1 10

Ruta 3: 8 6 5

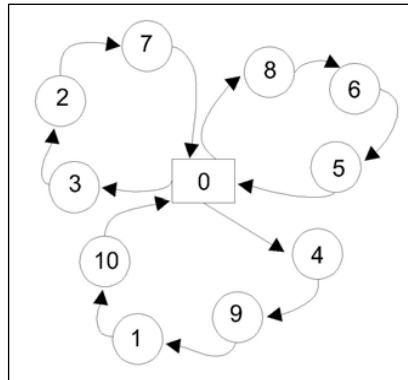


Figura 2.9: Rutes de VRP
 FONT: <http://upcommons.upc.edu>

SELECCIÓ

Hi ha dos mecanismes de selecció, la ruleta i el torneig.

La ruleta funciona:

- És suma el valor de totes les solucions de la població (S) i s'ordenen.
- Escollir de forma aleatòria un numero s entre 0 i S.
- Escollir el primer membre de la població ordenada, de manera que la suma de les solucions anteriors i la seva te un valor s.

D'aquesta manera la probabilitat d'escollir un membre de la població augmenta quant més petit sigui el seu cost

Al torneig hi ha dues poblacions idèntiques ordenades de diferent forma. Es comparen a cada una de les ordenacions per separat cada parell de cromosomes, i s'utilitzarà la millor solució. D'aquesta manera es dona prioritat a les millors solucions, però també es dona una oportunitat a les no tan bones de sobreviure, si estan al costat d'una pitjor.

RECOMBINACIÓ

Els operadors de recombinació ("crossover") no es basen en un intercanvi de material genètic entre els pares, sinó que funcionen de la següent manera: un dels pares rep un fragment de material genètic (més precisament, una ruta) de l'altre i l'introdueix a la seva primera ruta. Després de la inserció, es comproven les rutes originals de el individu que ha rebut la informació i es suprimeixen els nodes de la ruta rebuda. Això assegura que el nou cromosoma es coherent, sense nodes repetits.

Individu 1

Ruta 1: 3 2 7 4

Ruta 2: **9 1 10**

Ruta 3: 8 6 5

Individu 2

Ruta 1: **1 4**

Ruta 2: 2 **9** 3 8 7

Ruta 3: **10**

Ruta 4: 6 5

Descendent

Ruta 1: 9 1 10

Ruta 2: 4

Ruta 3: 2 3 8 7

Ruta 4: 6 5

Hi ha 4 mecanismes de recombinació: “*One-Point Crossover*”, “*Multi-Point Crossover*”, “*Partially Mapped Crossover*” i “*Ordered Crossover*”.

- “*One-Point*”. S’escull una posició, i s’intercanvien els cromosomes des d’aquella posició.
- “*Multi-Point*”. S’escull més d’una posició, i s’intercanvien els cromosomes des d’aquestes de forma aleatòria.
- “*Partially Mapped Crossover*”. Es fa servir quan els cromosomes són permutacions codificades ja que conserva la posició de la majoria de gens als dos cromosomes. És un mecanisme que modifica gens duplicats, mentre que la resta romandrà a la mateixa posició.
- “*Ordered crossover*”. Escollim dos punts de tall aleatoris dels cromosomes, i en traiem tots els gens escollits per l’intercanvi, mantenint l’ordre de la resta de gens. Intercanviem aleshores la part central d’ambdós cromosomes.

MUTACIÓ

Consisteix en modificar alguns gens de forma aleatòria d’alguns individus, per assegurar diversitat (ens assegurem que s’estudia tot l’espai de solucions).

Hi ha 4 formes generals de mutació:

- **Intercanvi**: S’escullen dos nodes (clients) i s’intercanvien, els nodes poden pertànyer a rutes diferents.
- **Inversió**: S’escull una sub-ruta i s’inverteix.
- **Inserció**: S’escull un node i s’insereix en una altre ruta. La ruta on s’insereix es tria de forma aleatòria i és possible crear un nou itinerari partint d’aquest node.
- **Desplaçament**: S’escull una sub-ruta i s’insereix en una altre ruta. També es pot crear una nova ruta partint de la sub-ruta.

3 METODOLOGIA PER A L'APLICACIÓ D'UN MODEL DE DISTRIBUCIÓ NOCTURNA A UNA CIUTAT

En aquest capítol es tractarà de determinar i definir, els passos a seguir a la implantació del model de rutes de repartiment durant les hores nocturnes, definint eines de càlcul de rutes, i plantejant el problema des de un punt de vista estratègic, operatiu i tàctic.

Es calcularan els costos associats a una distribució urbana nocturna en el sector de l'alimentació per a una gran cadena de supermercats, per comparar-ne els resultats amb l'actual model de repartiment durant la jornada laboral diürna, mitjançant els costos juntament amb d'altres paràmetres i indicadors que s'explicaran en el present apartat. No s'abordarà el cas de petits comerços ja que els incentius no són suficients per justificar personal per a la nit

El procés que es seguirà en la metodologia del problema des de la definició del mateix fins l'obtenció de resultats, seguirà la següent estructura:

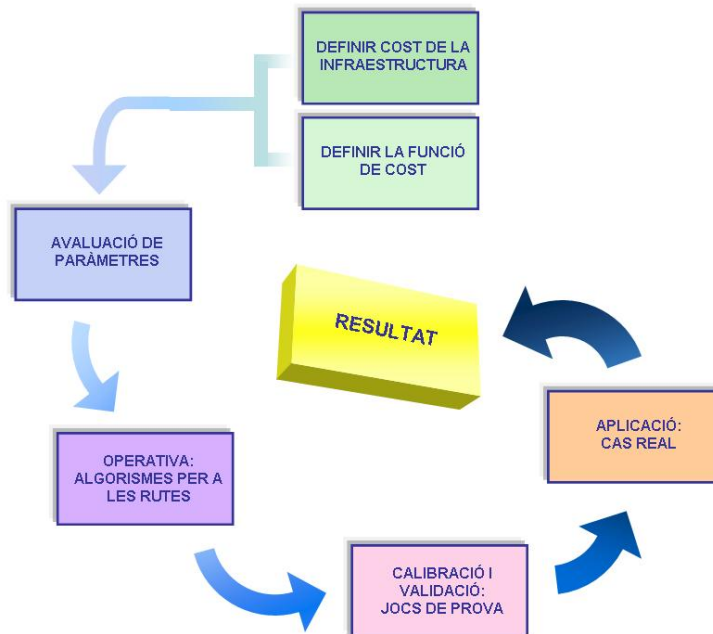


Figura 3.1: Passos a seguir en la metodologia del problema
FONT: Pròpia

3.1 Operativa

Concretament s'utilitzaran tres de les restriccions proposades per a la resolució d'aquest model, la restricció de capacitat als vehicles (CVRP), la condició d'utilitzar més d'un magatzem de sortida del vehicles (MDVRP), i la restricció d'utilitzar finestres de temps com a delimitació de la jornada laboral (VRPTW).

En quant a la part del problema condicionada a CVRP, es tractarà el cas en que la matriu de costos (distàncies) serà asimètrica (ACVRP), doncs no tots els carrers de la ciutat tenen ambdós sentits de circulació. La solució serà factible si la quantitat total de productes assignats a cada ruta, no excedeixi la capacitat del vehicle que la serveix. Aquesta condició formulada correspon a:

$$C_k \geq \sum_i q_i \quad (3.1)$$

Éssent k el número de la ruta i i els nodes que formen part de la de la ruta k .

Al CVRP tots els clients tenen assignades unes entregues, les demandes són deterministes, conegudes per endavant i no poden dividir-se. Es considera que els vehicles són idèntics en característiques d'emmagatzematge.

La següent restricció, ens acostarà més al cas real que s'estudiarà. Una empresa pot tenir diversos magatzems dels que pot servir als seus clients, i si els clients i els dipòsits es barregen llavors el nou problema a solucionar és del tipus *Multi-Magatzem Vehicle Routing Problem*, MDVRP.

Tot vehicle surt d'un dipòsit, realitza el servei dels clients assignats a aquest dipòsit, i torna al mateix dipòsit, i la demanda total de productes sol·licitats pels clients, ha de ser servida des dels diversos dipòsits.

Es considerarà que una solució és factible si cada ruta satisfà les restriccions estàndard de VRP i comença i acaba en el mateix dipòsit i s'utilitzen tots els dipòsits e el global del problema. L'influència en la formulació d'aquest cas s'anota com el conjunt de vèrtexs $V = \{v_1, \dots, v_n\} \cup V_0$, on $V_0 = \{v_{01}, \dots, v_{0d}\}$ són els vèrtex que representen els dipòsits. On, una ruta i es defineix $R_i = \{d, v_1, \dots, v_n, d\}$, amb $d \in V_0$.

La darrera restricció que farà que es passi d'un problema teòric, a un problema el més real possible, és la implantació de finestres de temps, limitacions temporals per als transportistes per condicionar a realitzar el serveis dins de la jornada laboral estandard.

La restricció temporal no serà excessivament complexa, doncs es preveu que el propi transportista realitzi la descàrrega del vehicle, sense la necessitat que el lliurament de la mercaderia es realitzi dins d'una estreta finestra de temps per a cada client, ni serà necessària la presència del client durant l'entrega. L'única limitació temporal a complir serà la de realitzar tots els lliuraments i rutes dins d'una mateixa finestra de temps, i complint doncs la restricció $e_0 \leq T_k \leq l_0$, éssent T_k el temps total de totes les rutes servides pel vehicle k

$$T_k = \sum_{R_k} t_{i,j} ; (i,j) \in R_k \quad (3.2)$$

Així doncs, l'objectiu final és reduir al mínim la flota de vehicles, tenint en compte tots aquests condicionants físics i temporals.

3.2 Funció de cost

Rus Mendoza, G. a *Economia del transporte*(2003) explica que tota acció té un cost. Al cas de les activitats del transport, el seu cost per a la societat ve definit per valor monetari de tots els *inputs* consumits per transportar mercaderia d'un lloc a l'altre. Aquesta relació entre els costos i les possibilitats de combinació tècnica dels recursos productius, estableix un vincle també entre l'anàlisi de la tecnologia i l'estudi de costos del transport.

La utilització del concepte de "cost d'oportunitat" per valorar monetàriament el consum d'*inputs* realitzat en les activitats del transport, implica considerar que al traslladar mercaderia entre dos punts, no només es consumeix certa quantitat de factors productius típics com són vehicles o energia, sinó que també forma una part important del cost del transport el temps invertit per l'usuari en la realització dels viatges i el impacte que el transport produeix a d'altres en forma de contaminació, alteració del medi ambient o pèrdues humanes i materials com a conseqüència dels accidents.

Això permet realitzar una classificació general dels costos del transport tenint en compte sobre qui recauen els mateixos. Es distingeix entre:

- Costos incorreguts pels transportistes/productors del servei: C_P
- Costos externs, adreçats a altres membres de la societat sense ser usuaris ni productors: C_E

La suma de tots dos, proporciona el cost social total (C_S) al que la societat ha de fer front per gaudir de cert nivell de prestació de serveis i infraestructures de transport:

$$C_S = C_P + C_E \quad (3.3)$$

Els costos del productor inclouen totes les despeses associades a l'adquisició, operació i manteniment dels vehicles utilitzat per al transport de càrrega, així com totes les despeses operatives per produir els serveis com despeses en personal, energia, recanvis, etc.

La partida més important en C_P , és la valoració monetària del temps invertit per aquests a l'activitat del transport. Inclou no només el temps que es passa al vehicle, sinó també els corresponents temps d'espera tant del transportista com del usuari, així com els transbords i els desplaçaments entremitjos. La inclusió del cost del temps resulta fonamental per computar el veritable cost d'oportunitat del transport per a la societat i el productor, permetent analitzar problemes específics d'aquesta activitat com la congestió del trànsit.

La congestió es produeix quan, com a conseqüència de les limitacions de capacitat d'alguna infraestructura (carreteres, carreres, magatzems,..), la presència d'excés d'usuaris de les infraestructures augmenta els costos, i no només de temps, si no també del consum de combustible per exemple. Tot i que això podria considerar-se com a C_E , en el sentit que normalment repercuteix sobre tercers, es tracta en canvi

d'un cost intern que suporten els usuaris com a grup de manera que és afegir a la seva funció de costos.

El veritables costos externs del transport, són els que es traslladen a la resta de la societat, en el qual també s'inclouen, tot i que no com a grups específics, productors i usuaris. No resulta senzill traçar una línia fronterera prou nítida definint quan aquests elements de cost han d'incloure dins dels costos externs i quan no. En general el criteri més freqüent en aquests casos és tractar d'assignar en la mesura del possible, la major part dels costos als productors, i considerar costos externs aquells que únicament que repercuteixin en major mesura sobre la resta de la societat. L'aplicació d'aquest criteri, porta a considerar la contaminació derivada del transport com les emissions de gas i soroll, com un cost extern que afecta a tota la societat, sigui usuaris o no del transport. El mateix passa amb el impacte mediambiental de certes infraestructures i amb els accidents, que la seva repercussió no només afecta als usuaris del transport.

Mitjançant aquesta funció de cost, s'avaluarà la millora o no del model de rutes de repartiment durant la nit envers al repartiment de mercaderies durant la jornada laboral tradicional.

3.2.1 Costos del transportista (C_P)

Els costos d'operació del equip mòbil, constitueixen per si sols un dels elements més importants de les partides de cost del productor. La operació de qualsevol vehicle als serveis de transport de mercaderies genera per al conductor dels mateixos dos costos immediats i directes:

- El temps del conductor i del personal que hi vagi, que és remunerat a través del corresponents salaris.
- El consum de combustible/energia.

Existeixen altres costos que també s'han de tenir en consideració, com la periodificació dels costos d'adquisició d'aquests equips quan l'empresa el té en propietat, l'amortització. En d'altres casos, aquets mateix tipus de cost associat al servei que donen els vehicles cada període es tradueix en els pagament per lloguer que es realitza per als mateixos, es a dir, si l'empresa no compra els vehicles, si no que els utilitza en règim de lloguer o *leasing*. Altres costos addicionals seran els corresponents als realitzats en manteniment i reparacions, recanvis, etc.

Altres despeses a tenir en compte a l'hora de preveure el cost total són:

- El cost de les assegurances.
- Manteniment del vehicle.
- Dietes
- Peatges

Aquests i d'altres paràmetres s'explicaran més a fons en els apartats següents, doncs són despeses que afecten directament al cost del transport.

Tenint en compte tots aquests factors, la nostra funció de costos del productor tindrà la següent composició

$$C_P = C_I + C_M + C_T + C_{PE} \quad (3.4)$$

- C_I : Costos inicials d'inversió.
 C_M : Costos de manipulació dels productes.
 C_T : Costos associats al transport.
 C_{PE} : Costos de personal.

3.2.2 Costos externs (C_E)

Una de les característiques que diferencien al transport de la producció d'altres béns és l'existència d'importants externalitats negatives, que són les que provoquen un cost important sobre el conjunt de la societat si no s'introdueixen mecanismes correctors.

La producció de serveis de transport també genera externalitats negatives. Quan s'avalua la magnitud dels danys causats i el nombre de persones afectades, els efectes externs són fins i tot més importants que els derivats de construcció d'infraestructures. Fonamentalment hi ha tres externalitats generades pels serveis de transport:

- La contaminació atmosfèrica.
- El soroll.
- Els accidents.

Les dues primeres són clarament externalitats d'acord amb la definició usada tradicionalment en Teoria Econòmica: *“es tracta d'efectes els costos dels quals recauen sobre individus diferents del agent que els genera”*. Els accidents també entren dins d'aquesta categoria ja que, si bé una part de els costos que comporten els pateix directament el mateix agent implicat (danys personals i al seu vehicle), o ha de pagar-los a tercers (bé directament amb indemnitzacions o a través de la contractació d'assegurances), hi ha altres costos addicionals que s'imposen a la societat en conjunt.

Hi ha una darrera externalitat molt rellevant en la indústria del transport, però que té una naturalesa molt diferent a les anteriors, ja que es tracta d'un efecte extern que els usuaris de serveis de transport es causen entre si: el problema de la congestió o saturació puntual de les infraestructures. Aquest és un fenomen que es produeix principalment en el transport en automòbils privats, encara que també passa en altres maneres. L'externalitat es produeix perquè cada usuari, al prendre la seva decisió de seguir un camí o un altre, només té en compte el cost que li suposa el temps que va a emprar en el viatge, més el cost monetari d'utilització del vehicle, però no valora que en circular amb el seu automòbil està fent que el trànsit sigui més fluid per a tots els usuaris. Per tant, l'últim usuari que entra en una via congestionada està imposant un cost en termes de temps extra a la resta de automòbils a la via que aquest usuari no paga.

Així doncs, a l'hora d'avaluar tots els costos externs generats sobre la societat per una flota de vehicles de transport seria:

$$C_E = C_A + C_S + C_{AC} + C_C \quad (3.5)$$

C_A : Costos associats a les emissions atmosfèriques.

C_S : Costos associats al soroll.

C_{AC} : Costos deguts a l'accidentalitat.

C_C : Costos de congestió de les vies urbanes.

3.3 Paràmetres i indicadors necessaris

Un cop definits tots els camps d'influència de cadascun dels costos associats al transport, trobem que la funció de costos resultant queda de la manera següent:

$$C_S = C_I + C_M + C_T + C_{PE} + C_A + C_S + C_{AC} + C_C \quad (3.6)$$

Per tal de poder avaluar econòmicament cadascun d'aquests costos, cal determinar quins paràmetres i indicadors seran necessaris a l'hora de determinar-ne el valor i de quina manera.

3.3.1 Costos inicials i de manipulació (C_I i C_M)

Cada negoci és diferent i té les seves específiques necessitats d'efectiu a diferents etapes del seu desenvolupament, per la qual cosa no hi ha un mètode genèric de determinar-ne els costos inicials. Alguns negocis poden llançar-se amb un pressupost molt estret mentre que altres demanen una inversió considerable en inventari o equips.

Per tal de determinar tots els costos inicials que afectin, s'han d'identificar totes les despeses en què incorrerà durant la fase de posada en marxa d'un nou model de rutes. Algunes d'aquestes despeses seran costos a pagar una sola vegada, com la compra de nova maquinària per al transport o l'adequació de nous magatzems.

En l'estudi que realitzem, cal tenir en compte que part de la base de la planificació i posada en servei de rutes de repartiment de mercaderies ja està implantada, doncs els locals i els magatzems són els mateixos els que s'utilitzen durant la jornada laboral ordinària, que els previstos per dur a terme la posada en servei de les rutes de repartiment nocturnes.

Aquesta inversió inicial només afectaria en el cas de voler maximitzar l'eficiència de realitzar rutes a la nit, maximitzant la capacitat dels vehicles encarregats de realitzar les rutes. És a dir, que caldria fer una inversió inicial per a nous vehicles de transport amb més capacitat útil de transport. De manera que, com la millora més important en realitzar les rutes durant la nit és la disminució del temps de transport entre magatzems-supermercat i supermercat-supermercat, no només es reduiria aquest

temps, sinó que també s'eliminarien molts trajectes magatzem-supermercat-magatzem. D'aquesta manera la restricció de capacitat seria més gran i per tant el camió hauria de tornar a carregar menys vegades al magatzem.

També hi ha l'opció en un principi, de no realitzar aquesta forta inversió inicial en nous vehicles de més capacitat que els actuals, i aprofitar els existents. I a mida que es vagi renovant la flota, s'adquireixin nous vehicles de més capacitat útil de cara a maximitzar-ne el rendiment i l'amortització. Aquesta decisió d'inversió, i les possibles variables d'elecció de diferents vehicles, s'avaluaran durant el càlcul de previsió d'aquets model.

Un altre punt a considerar dins dels costos inicial, es pot considerar també un cost de manipulació, doncs es produeix a l'hora de realitzar la manipulació dels productes des de els vehicles fins als magatzems. Una de les dificultats que hi hauran a l'hora de d'implantació d'aquets model de rutes nocturnes, serà el manteniment dels nivells sonors per sota dels establerts per la Normativa Municipal, que contempla uns

màxims sonors més baixos que durant el dia, degut a la sensibilitat al soroll que hi ha durant la nit, i a que ens trobem en plena franja de descans veïnal.

Així doncs, per al compliment de la normativa, si que és necessària l'inversió en nova maquinària elèctrica per a la càrrega i descàrrega de la mercaderia dels vehicles i el posterior emmagatzematge. Aquesta inversió és pràcticament imprescindible de realitzar, doncs la maquinària actual no té aquesta restricció sonora, a més que durant el dia, la sensibilitat als sorolls disminueix. Més endavant s'avaluaran les variables existents en quant a maquinària elèctrica disponible al mercat.

Com a resum, s'obté que els costos inicials que s'hauran d'afrontar, i tenir en compte a l'hora de realitzar la funció de costos, dependran de l'estratègia seguida dels productors. És a dir, per una banda hi haurà l'opció on es decideixi iniciar el model de rutes nou des de un bon començament:

$$C_I + C_M = C_{vh} + C_m \quad (3.7)$$

O, es decideixi aprofitar tot el possible els bens materials disponibles fins a la seva amortització, i per tant hi hagi inversions no necessàries de realitzar al principi:

$$C_I + C_M = 0 + C_m \quad (3.8)$$

En un cas pràctic, es comprovaran quins són els marges de benefici segons la opció .

Sigui quina sigui l'estratègia escollida, les inversions totals es calcularan segons la formulació:

$$C_{vh} = m \cdot V_{vh} \quad (3.9)$$

Amb:

m : Número de vehicles totals necessaris per cobrir totes les rutes.

V_{vh} : Valor de vehicle en el mercat (€).

I per a calcular el cost total de tota la maquinària, es realitzarà:

$$C_m = n \cdot V_m \quad (3.10)$$

Amb:

n : Número total d'establiments.

V_m : Valor unitari de la maquinària per client (€).

3.3.2 Costos del transport i de personal (C_T i C_{PE})

Durant el transport pròpiament dit de la mercaderia, es produeix un desgast material i un ús de recursos. Determinar-ne tots ells és necessari de cara a poder comparar la viabilitat d'utilitzar un tipus de vehicle.

El propòsit és afavorir la selecció de diferents tipus de vehicles als quals es defineixen segons paràmetres de servei que s'apropin tant com sigui possible a les condicions reals d'ús, i per l'atenuació de les diferències en els preus de compra dels factors com vehicles, combustibles, etc, entre empreses grans, petites i autònoms. És a dir, es tractarà un cas general i que englobi al màxim les empreses del sector.

Aquesta atenuació en les diferències de preus, també és afavorida per la creixent contractació d'autònoms per part d'empreses de transport de mercaderies en detriment de les flotes pròpies que estan disminuint significativament. Aquest fet provoca que el transportista autònom faci determinades despeses mitjançant l'empresa de transports que el contracta, amb la finalitat d'obtenir millors condicions de preu i pagament.

A continuació, s'explica les partides utilitzades en la metodologia de preveure el cost total i de cadascuna de les partides que es tindran en compte.

Tots els costos de transport que es tractaran a continuació, s'englobaran en un valor unitaris per dia d'ús i un valor unitari per quilòmetre recorregut. De forma que fórmula resultant serà:

$$C_T = \sum_{K=1}^m (C_t + C_q \cdot D) \quad (3.11)$$

Éssent:

m → Número de vehicles totals usats per cobrir totes les rutes.

C_t → Cost temporal del vehicle (€/h).

C_q → Cost per quilòmetre del vehicle (€/km).

D → Distància total de totes les rutes (km).

A més, segons el model previst, es preveu la contractació de personal que realitzarà les rutes de repartiment juntament amb el conductor, i realitzaran les tasques de càrrega i descàrrega des vehicles amb la maquinària disponible a cadascun dels establiments. Així doncs, el Cost de personal a part del conductor, es calcularà de la següent manera:

$$C_{PE} = \sum_{K=1}^m p \cdot C_p \quad (3.12)$$

m → Número de vehicles totals usats per cobrir totes les rutes.

p → Quantitat de personal contractat per a cada ruta.

C_p → Cost unitari del personal.

Tot seguit s'explicaran quin paràmetres es tenen en compte a l'hora de calcular els Costos horaris (C_l) i els costos quilomètrics (C_q).

3.3.2.1 Costos horaris o fixos

És aquell conjunt de costos integrat per les despeses que, en compliment de la normativa laboral i en un mercat amb fluctuacions de demanda i nòlits no garantits per l'excés d'oferta, són pràcticament fixos per a les empreses a curt termini (període anual) i depenen més del temps utilitzat en els serveis o en espera de serveis que no pas del quilometratge realitzat.

PERSONAL

Aquesta partida de cost es refereix únicament al personal que condueix els vehicles. El cost de la resta de personal d'una empresa de transport de mercaderies es comptabilitza en altres rúbriques.

Les despeses de personal es calculen d'acord els convenis col·lectius de treball del sector del transport de mercaderies per carretera de la demarcació corresponent, ja que hi ha un conveni diferent per a cada província.

És important tenir en compte que els costos corresponen a 2.250 hores d'activitat, la qual cosa supera amb escreix el nombre d'hores que estipulen els convenis del sector. Per tant, l'import que es publica com a despesa de personal no és la retribució anual d'un sol conductor, sinó que suposa el cost de les esmentades hores d'activitat. Així, per treballar aquestes hores s'estimen necessaris prop d'1,2 conductors. Aquest concepte inclou el salari, les pagues extraordinàries, l'antiguitat (es considera una antiguitat mitjana de 10 anys), les altres retribucions (plus de conveni, plus de conveni per dia treballat, etc.) i la Seguretat Social a càrrec de l'empresa.

AMORTITZACIÓ

El càlcul de l'amortització dels vehicles es fa segons el seu preu de venda. A aquest preu cal deduir-li l'IVA, i aplicar-li els descomptes que habitualment obté una empresa. El càlcul es fa segons la mitjana del preu de dos models de diferents fabricants i de vehicles i models àmpliament utilitzats.

En la taula 3.1 següent es mostren els percentatges de valor residual i els períodes d'amortització que s'utilitzen:

TAULA 3.1

VALOR RESIDUAL I AMORTITZACIONS EN ELS VEHICLES	
Valor residual vehicle motor	20%
Període d'amortització del vehicle motor	8 anys
Període d'amortització del equip de fred	5 anys

FONT: Observatori de costos del transport de mercaderies per carretera a Catalunya

I la quota anual d'amortització serà:

$$Amortització = \frac{Valor\ actual\ del\ vehicle - valor\ residual}{període\ d'amortització} \quad (3.13)$$

Éssent:

Valor actual del vehicle: valor del període considerat (cada semestre) del camió i dels equips considerats, sense pneumàtics. Es considera el valor de mercat del vehicle en cada moment i no el valor històric o de compra, com a criteri intermedi entre l'amortització històrica i l'amortització de valor de reposició final.

Valor residual: part no amortitzable que correspon al valor de mercat del vehicle al final de la seva vida útil. S'estableix en funció del període d'amortització (vida útil a l'empresa) i dels valors observats al mercat de segona mà. Es proposen uns percentatges entorn del 20% per al camió o camió tractor.

Període d'amortització: vida útil del vehicle per a l'empresa. Es consideren 8 anys per al camió o camió tractor, i 5 anys per als altres equips embarcats.

DEPESES FINANCERES

Costos originats pel finançament dels vehicles, tant dels elements tractors com dels no tractors i els equips. Aquest centre de cost valora en realitat el cost d'oportunitat de la compra d'un vehicle, i no hauria de tenir en compte si el finançament està fet amb fons propis o aliens, ja que els costos fan referència al consum de recursos i no a l'estat financer de l'empresa. Per a calcular aquesta partida, s'utilitza la fórmula de el interès compost amb el sistema francès de quotes fixes.

$$I = V \cdot \left[n \cdot \frac{r \cdot (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} - 1 \right] \quad (3.14)$$

I : Total d'interessos pagats per al finançament del vehicle.

V : Valor total del vehicle a finançar.

n : Període d'amortització del préstec (normalment uns 5 anys).

r : Tipus d'interès del mercat a llarg termini (la TAE si "n" s'expressa en anys).

Com a tipus d'interès es pren la mitjana del tipus preferencial mitjà mensual dels crèdits bancaris a llarg termini més 1 punt. Els interessos es distribuïran al llarg de la vida útil del vehicle per tal de fer més homogenis els costos. Els costos financers seran, per tant:

$$\text{Costos financers} = \frac{I}{\text{vida útil del vehicle}} \quad (3.15)$$

ASSEGURANCES

Les assegurances usualment són a tercers, atès que gran part del sector del transport de mercaderies per carretera treballa amb aquest tipus d'assegurança. Una excepció és el cas dels vehicles adquirits mitjançant *leasing* on és obligada l'assegurança a tot risc. No obstant això, en la partida de reparacions ja es tenen en compte les potencials despeses pels danys propis i accidents que no queden coberts per les pòlisses a tercers.

En total es consideren 5 tipus de cobertures:

- Assegurança obligatòria.
- Assegurança de responsabilitat civil.
- Defensa i reclamació de danys.
- Assegurança del conductor.
- Assegurança de la càrrega.

Cal dir que actualment ja no és possible contractar una pòlissa de responsabilitat civil il·limitada, ja que la legislació limita aquest tipus de responsabilitat a una quantitat determinada. Aquest fet, juntament amb la forta competència existent en el sector, ha provocat una estabilització important en els preus de les assegurances de camions tal i com es pot observar en les taules de costos.

CÀRREGUES FISCALS

Malgrat el seu escàs valor, es diferencia aquest centre de cost per posar de manifest les despeses ocasionades per la intervenció administrativa directa dins del sector. Aquest centre de cost inclou les partides següents:

- Visat de la targeta de transport del vehicle.
- Impost sobre els vehicles de tracció mecànica.
- Cost de la inspecció tècnica de vehicles (ITV).
- Impost sobre activitats econòmiques (IAE).

- Taxa per targeta de tacògraf digital, tant d'empresa com de conductor.

L'IAE només s'aplica a les empreses que facturen més d'un milió d'euros a l'any i per a aquest càlcul se n'ha estimat una quantitat.

DESPESES D'ESTRUCTURA

Sota aquest concepte s'inclouen tots els costos que no corresponen a l'explotació estricta del vehicle i que són imputables a la gestió. Entre d'altres, considera les despeses per la gestió:

- Organitzativa. Cost de gestió de la flota i elaboració de plans de transport per a millorar la utilització dels vehicles.
- Administrativa. Despeses de gestió administrativa pròpies d'una empresa, com ara la comptabilitat, la facturació, el personal, etc., i de gestió de la documentació de transport.
- Comercial. Comercialització dels serveis de transport o la creació de productes propis inclosa la imatge de marca.
- Informativa. Informació al client prèvia, durant o després de la prestació realitzada. Aquest és un element molt sovint sol·licitat pel client que vol controlar la fiabilitat del servei, tot i no està valorat econòmicament.

Aquests tipus de costos tenen cada vegada més importància a mesura que les prestacions es fan més complexes i es desenvolupen polítiques comercials de diferenciació. Per tant, el seu total depèn molt del tipus de transport.

DIETES

Es fa una estimació de les dietes que corresponen, segons els convenis, en funció dels quilometratges mitjans anuals i de les característiques estàndards dels viatges.

Durant el període d'activitat del vehicle de 250 dies l'any, el conductor/ora o conductors/ores poden meritjar dietes dels tipus següents:

- Dieta nacional
- Dieta internacional
- Menjar plaça

Com a criteri general s'assigna la dieta per a menjar plaça als/a les conductors/ores dels vehicles petits de distribució local o comarcal, mentre que les dietes nacionals i internacionals s'assignen als/a les conductors/ores dels vehicles grans.

La presentació desagregada dels costos permet descomptar aquest factor en aquells casos particulars en els quals no siguin pertinents a conseqüència de les característiques del transport.

3.3.2.2 Costos quilomètrics

Aquests costos estan formats per les despeses directament relacionades amb la utilització efectiva dels vehicles. Per tant, a un vehicle que no circuli se li assigna un cost variable igual a zero.

COMBUSTIBLE

Comprèn les despeses originades pel consum de combustible del vehicle. Per al seu càlcul es considera el preu sense IVA i s'apliquen uns descomptes: el 2% en la modalitat de compra en sortidor i el 5% en la compra en dipòsit propi.

S'estimarà un cost mitjà per tipus de vehicle segons les dades següents:

- Estimació de la mitjana de consum de combustible del vehicle seleccionat (litres per cada 100 km).
- Mitjana semestral del preu del litre de combustible en les modalitats de compra en estació de servei o subministrament en dipòsit propi.
- Mitjana del quilometratge anual per tipus de vehicle i estimació sobre la proporció del quilometratge cobert amb gasoil subministrat en dipòsit propi i en sortidor.

Tot i que els motors cada vegada són més eficients, també els vehicles van augmentant la potència i les prestacions en el decurs dels anys. És per això que en la darrera actualització dels valors, s'ha incrementat lleugerament el consum d'alguns vehicles tipus. Aquest fet, però, sovint s'ha acompanyat d'un augment significatiu en la potència del camió. En qualsevol cas, es tracta d'un paràmetre difícil d'establir ja que el consum depèn directament de factors com ara el ja esmentat de la potència, i d'altres com la velocitat, el nivell de càrrega, el conductor, etc.

PNEUMÀTICS

Cost dels pneumàtics consumits. Per a la determinació d'aquest centre de cost es consideraran els factors que s'indiquen a continuació:

- Característiques dels pneumàtics. Es distingeixen els del vehicle tractor (diferenciant els de l'eix motriu) i els del vehicle remolcat.
- Preu de mercat del joc habitual de pneumàtics nous amb el descompte habitual i dels pneumàtics recautxutats. Per als pneumàtics no tractors es considera un preu mitjà entre el pneumàtic nou i el recautxutat, mentre que per als pneumàtics motrius només es té en compte el preu dels nous.
- Quilometratge anual considerat per a cada vehicle.

MANTENIMENT I REPARACIONS

Comprèn el cost de les operacions de petit manteniment periòdic com ara lubricants, canvi de filtres, greixatge, etc., realitzades en tallers propis o per tercers aliens a l'empresa. Inclou la mà d'obra i el valor de tots els materials. S'infereix una quantitat constant al llarg de la vida útil (període d'amortització) per evitar salts en les xifres.

Pel que fa a les despeses derivades de les reparacions ordinàries i les reparacions per accident, també es calcula una quantitat constant al llarg de la vida útil del vehicle per evitar salts en les xifres.

Amb les dades disponibles i la metodologia actual de càlcul resulta difícil i poc fiable separar la partida de manteniment de les reparacions, per la qual cosa, es presenten ambdós conceptes conjuntament sota la rúbrica de manteniment i reparacions.

PEATGES

Aquest cost s'hauria de tenir en compte en qualsevol càlcul que tingués en compte els costos quilomètric, però en el cas que es tracta, no hi afecta cap peatge, i per tant no s tindrà en compte en al valoració final del cost del transport.

3.3.3 Costos atmosfèrics, de soroll, congestió i accidentalitat.

Quan es parla de "externalitats" s'està fent referència essencialment als costos ocults que afecten principalment a la salut i al medi ambient. Un exemple d'aquest tipus de costos: la combustió del combustible d'una flota de camions provoca l'emissió de gran quantitat de substàncies a l'atmosfera, les quals ocasionen efectes diversos en una zona més o menys àmplia situada al voltant del lloc de l'emissió. Aquests efectes poden anar des del deteriorament dels edificis fins a l'augment de les malalties respiratòries.

Aquests danys suposen un cost per a la societat, un cost que no està recollit en la factura (en sentit estricte) del consum d'energia. Alguns d'aquests costos repercuteixen en la despesa efectiu realitzat per a altres sectors (per exemple, el corresponent a l'atenció sanitària). Altres costos tenen un caràcter que podem anomenar més "virtual", que poden estimar-se en funció de la quantitat que els ciutadans estarien disposats a pagar per evitar-los. La importància de realitzar un càlcul rigorós d'aquestes externalitats augmenta contínuament, ja que constitueixen una eina de gran valor per a la presa de grans decisions polítiques i econòmiques en l'àmbit de l'energia.

Es poden considerar diverses categories d'impactes sobre la ciutat i els seus habitants imputables a la distribució urbana de mercaderies, el que justifica la preocupació existent sobre el tema i la recerca massiva de solucions raonables per pal·liar aquests impactes.

En els països de la UE-15, el transport és el responsable del 21% del total de les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH), excloent el transport aeri i marítim internacional. El transport per carretera representa el 93% de les emissions totals procedents del transport.

La primera categoria a considerar seria la d'impactes ambientals. L'ús de vehicles pesats genera una sèrie d'emissions contaminants, tant atmosfèriques com acústiques, que repercuteixen directament sobre els ciutadans i les infraestructures urbanes. Les quatre classes principals d'impactes ambientals produïts pel transport són:

- Qualitat de l'aire: Es tracta d'efectes causats pel monòxid i diòxid de nitrogen, el sulfur, el monòxid de carboni, hidrocarburs mal cremats, partícules i ozó. Són causants de danys respiratoris, pluja àcida i corrosió de edificacions, i econòmicament suposen una important externalitat.
- Canvi climàtic: L'efecte del transport sobre l'escalfament de la terra es deu al diòxid de carboni i l'òxid nítrós, que contribueixen a l'efecte hivernacle.

- Soroll: Entre els perjudicis causats pels elevats nivells sonors de trànsit hi ha els trastorns del són i del comportament, la pèrdua de qualitat de vida, i fins i tot certs danys cardiovasculars.
- Vibracions: Produeixen danys sobre el sòl, els edificis i les infraestructures.

En següent lloc hi ha els impactes socials de la distribució urbana (*DU*), com són els accidents provocats pels vehicles, la sensació de perill percebuda pels vianants i conductors d'altres vehicles a circular a prop d'un vehicle pesat de transport de mercaderies, el impacte visual a causa de les grans dimensions dels vehicles empleats, etc.

Un capítol molt important és la contribució a la congestió urbana, ja que la distribució de mercaderies suposa un important volum d'operacions diàries (a Barcelona, segons dades de l'ajuntament, el 16% dels viatges diaris de la ciutat són de distribució de mercaderies), amb el consegüent augment dels costos d'operació, accidentalitat i contaminació associats.

I, finalment, també cal considerar en aquest apartat els impactes sobre les operacions urbanes, deguts a la interferència dels vehicles de *DU* carregant/descarregant a la via pública, consumint un espai de circulació tant de vehicles com de vianants.

En aquest sentit, cal destacar que durant la present dècada els comerços generen l'ordre del 75% de les operacions de càrrega i descàrrega, mentre que l'habitatge genera un 15% i el sector de serveis, un 10%. La durada mitjana de les operacions de C/D és entre 10 i 20 minuts per als estacionaments il·legals i de uns 50 minuts de mitjana per als legals, valor que queda molt distorsionat per les llargues durades de l'estacionament dels comerciants de la zona; sense aquest biaix, el 80% dels vehicles estacionats legalment utilitza uns 20 minuts per cada operació com a màxim.

En moltes ciutats, un 10% de l'oferta de l'estacionament en calçada es dedica a la C/D i amb horaris bastant extensos. Tot i això, al voltant d'un 70% dels vehicles s'estacionen il·legalment, normalment buscant la màxima proximitat al destinació. De fet, l'oferta de places existent per a càrrega i descàrrega només s'utilitza en un 20%.

Segons dades de AECOC (Associació Espanyola de Codificació), la generalització de la logística nocturna a Espanya suposaria una rebaixa del 450% en el temps de permanència dels vehicles al zona de C/D, i un descens del 407% de l'espai d'ocupació de la via pública. A més, segons el projecte BESTUFS de la UE, la distribució nocturna reduiria entre un 4-5% les emissions de CO₂ a les ciutats.

L'adopció, a partir de 1970, de diverses directives sobre les emissions dels vehicles de motor, ja siguin vehicles lleugers o pesants, ha provocat una reducció progressiva de les emissions de gasos i de partícules, així com, en certa mesura, del soroll d'aquests vehicles. Les reduccions de les emissions atmosfèriques, fixades per les normes «Euro» I a V, es refereixen a quatre contaminants principals:

- Monòxid de carboni (CO),
- Òxids de nitrogen (NO_x),
- Partícules
- Hidrocarburs.

Pel que fa al CO₂, l'objectiu comunitari és assolir un nivell mitjà d'emissió dels vehicles nous de 120 g CO₂/km. El plantejament europeu sobre això es basa en tres pilars:

- Els compromisos voluntaris de la indústria de l'automòbil, pels quals els constructors europeus (ACEA), japonesos (JAMA) i coreans (KAMA) s'han compromès a reduir les emissions mitjanes dels vehicles nous en un 25% entre 1995 i 2008-2009 (de 186 g CO₂/km all 1995 a 140 g CO₂/km al 2008-2009). L'aplicació d'aquests compromisos dona lloc a informes anuals de la Comissió (EN).
- La millora de la informació als consumidors sobre el consum de combustible i les emissions de CO₂.
- L'adopció de mesures fiscals per fomentar l'adquisició de vehicles menys contaminants.

D'altra banda, han millorat de forma considerable les normes sobre qualitat dels combustibles per al transport, especialment pel que fa al seu contingut de sofre. A més, la UE ha fixat un percentatge indicatiu de biocarburants que han de substituir, en cada Estat membre, al dièsel o la gasolina que s'utilitzen per al transport (2% el 2005 i 5,75% el 2010).

La Directiva 1999/30/CE estableix valors límit per a les concentracions de NO_x, SO₂, partícules i plom, i llindars d'alerta per a les concentracions de SO₂ i NO_x a l'ambient. Els Estats membres han de garantir que es posi a disposició del públic informació actualitzada sobre la concentració d'aquestes substàncies. Els valors límit de NO_x havien d'assolir el 2001, les de SO₂ i les PM₁₀ el 2005 i les de NO₂ i plom s'hauran d'assolir el 2010.

TAULA 3.2

NÚMERO DE PATALOGIES CAUSADES PER 1.000 TONES DE GAS EMÈS

Patologia	SO ₂	NO _x	PM _{2.5}	VOCs	Total
Atacs de cor	0,3	0,41	1,3		42,3
Infermetats per dilatació de bronquis	600	805	2.654		4.059
Tos	662	888	2.929		4.479
Dificultat respiratòria	284	383	1.256		1.923
Admissió hospitalària especialitzada en malalties respiratòries	0,79	0,33	1,1	0,98	3,2
Admissió hospitalària especialitzada en malalties cerebro-vasculars	0,59	0,79	2,6		3,98
Mortalitat crònica	28,8	32	107		167,8
Mortalitat aguda	2,85			2,4	5,25
Bronquitis crònica	2,2	3,1	10		15,3
Tos crònica	49	65	216		330
Atac d'asma				42	42
Dies d'activitat restrictiva	2.367	3.149	10.471		15.987
Dies d'activitat restrictiva menor				2.171	2.171

FONT: Projecte Beta

Tot i no haver un criteri clar a l'hora de valorar econòmicament les emissions, el informe *Beta* té en compte que l'emissió de gasos provoca múltiples patologies sobre la població. Amb això, considera que per pogué fixar una valoració per a les emissions, s'aconsegueix a partir de multiplicar el nombre de patologies causades per cada 1000 tones de gas emeses, per la valoració que fa la UE d'aquestes patologies. A les taules 3.2 i 3.3, es troben definit el número de patologies causades a les persones per cada 1.000 tones de gas emes i el cost per a cadascuna d'aquestes patologies respectivament.

TAULA 3.3
COST DE LES DIFERENTS PATOLOGIES

Patologia	Valor (€)	Font
Atacs de cor	3.260	ExtremE
Infermetats per dilatació de bronquis	40	ExtremE
Tos	45	ExtremE
Dificultat respiratòria	8	ExtremE
Admissió hospitalària especialitzada en malalties respiratòries	4.320	ExtremE
Admissió hospitalària especialitzada en malalties cerebro-vasculars	16.730	ExtremE
Mortalitat crònica	490.000	European Comission
Mortalitat aguda	1.000.000	European Comission
Bronquitis crònica	169.330	ExtremE
Tos crònica	240	ExtremE
Atac d'asma	40	ExtremE
Dies d'activitat restrictiva	110	ExtremE
Dies d'activitat restrictiva menor	8	ExtremE

FONTS: European Comission
ExtremE

VALOR DE LES DESPESES SOBRE ELS MATERIALS, VIVENDES I ENTORN URBÀ

Els gasos emesos per la combustió del vehicle provoquen danys sobre els edificis, que han de ser comptabilitzats com a cost extern de congestió. A la taula 3.4, el model Beta proposa els següents costos per al cas d'Espanya:

TAULA 3.4
COST DE LES EMISSIONS SOBRE ELS MATERIALS, VIVENDES I ENTORN URBÀ A ESPANYA

(€/ton)	NO _x	PM _{2,5}	VOCs
Espanya	4.700	7.900	880

FONT: Projecte Beta, 2000

En entorn urbà s'han de considerar uns valors d'emissió de Partícules Materials (PM_{2,5}) grans. Per nuclis urbans de 100.000 habitants es considera que el valor és de 33.000 €/ton de PM_{2,5}. Aquest valor s'ha d'augmentar com més gran sigui el nombre de habitants, de manera que com es mostra a la taula 3.5:

TAULA 3.5

VALORS DE CORRECCIÓ SOBRE DESPESES SOBRE MATERIALS			
PM2,5 (100.000 hab) (€/ton)	Factor multiplicador		
	500.000 hab.	1.000.000 hab.	Grans Urbes
33.000	5	7,5	15

FONT: Projecte Beta, 2000

En el cas de Barcelona el coeficient multiplicador serà de 15.

TRANSPORT I SOROLL

En el context de la Directiva 2002/49/CE, els Estats membres han de cartografiar els nivells de soroll ambient en les grans infraestructures de transport i en el transport urbà de les grans aglomeracions. Així mateix, han d'establir plans de gestió del soroll ambient per reduir les exposicions perjudicials per a la salut i protegir les zones tranquil·les. La legislació comunitària no defineix valors límit de soroll ambient i deixa als estats i a les autoritats competents l'elecció de les formes de protecció contra el soroll.

Segons un estudi de la universitat alemanya de *Kalsruhe* en col·laboració amb la consultora suïssa "Infras AG" l'any 2000, entre els quinze països membres de la Unió Europea més Suïssa i Noruega, va posar en evidència que els costos ocults del transport per carretera com ara la sinistralitat, el soroll, la contaminació atmosfèrica i les conseqüències per al clima representen entre un 5,4% i un 7,3% del Producte Interior Brut (PIB) en funció de l'escenari de referència per al canvi climàtic que prenguem. Els accidents de trànsit i els gasos d'efecte hivernacle suposen el 77% d'aquestes pèrdues. En resum, el cost social del transport s'emporta més de mig bilió d'euros i el 7% del PIB.

A Espanya, el preu de la congestió del trànsit en grans ciutats i vies interurbanes es dispara el 91% i es calcula que a Espanya suposa un cost de 3.880 milions d'euros en pèrdues de combustible, temps, desgast, trastorns psíquics, etc. La factura externa del transport representa 58,162 milions d'euros i en un 42% es deu a la circulació de camions i camionetes i un 36,1% al vehicle privat. Aquesta xifra portentosa equival al 9,56% de la riquesa creada a tot l'Estat i és una de les més altes entre els 17 països analitzats (només superada per Grècia i Portugal). Curiosament, el sector del transport aporta tan sols un 4,5% del PIB espanyol amb la qual cosa es dedueix que la nostra societat subvenciona el dèficit. En altres paraules, es subvenciona la ineficiència i els efectes negatius d'una mobilitat insostenible.

Per determinar aquest valor es recorre als estudis de WTP, que defineixen el valor que la població pagaria per a la reducció d'un determinat nombre de decibels en funció de seus ingressos per càpita. En el càlcul del cost d'aquest estudi utilitzem la metodologia que s'aplica el mètode INFRASS-IWW 2000-2003

Aquest mètode considera un valor equivalent al 0,11% de la renda per cada dB d'excés provocat. Aquest valor depèn, per tant, de la renda mitjana de les persones immerses en el tràfic de cada ciutat, és a dir, el valor aplicat a cada zona metropolitana depèn directament de quina sigui la renda dels usuaris. El valor es calcula:

$$Valor_{WTP} = \frac{\%renda}{dB} \cdot renda \text{ mitja horaria} \quad (3.16)$$

Segons la publicació del CENIT de “*La Gestió del transport urbà de mercaderies*”, en una prova pilot en distribució a Barcelona en el sector de l’alimentació, es va comptabilitzar la contaminació acústica, amb els següents resultats:

- +0,3dB(A) al interior de les vivendes, amb uns nivells de 23,5dB(A).
- +0,1dB(A) al carrer, amb nivells de 52,2dB(A).

Com es pot comprovar amb la taula 2.8, els valors obtinguts resten dins de la Normativa establerta. Però com ja s’ha explicat, la sensibilitat durant les hores de descans augmenta., i serà un dels factors a millorar de cara a futurs estudis i aplicacions.

3.4 *Avaluació de les variables*

Fins aquest punt s’han analitzat tots els paràmetres que influeixen en cadascun dels components de la funció cost. Ara es tractarà de minimitzar les despeses unitàries que s’hauran de tenir en compte a l’hora calcular els costos totals de les rutes per comparar-les amb el model actual de repartiment.

Aquesta avaluació es realitzarà des d’un punt de vista estratègic, tàctic i operacional. Analitzant els models de demanda possibles així com les tàctiques a seguir durant les entregues. Les variables pròpiament del transport, com són les vehiculars amb les diferents capacitats i tipus de càrregues, del tipus de maquinària durant manipulació de la mercaderia i del personal necessari per realitzar les entregues amb eficàcia i seguretat.

3.4.1 **Variables a la demanda i estratègies de repartiment**

El primer que cal tenir ben documentat és el tipus de demanda que té la mercaderia que es vol repartir. És a dir, quant un conjunt suficient de receptors comunica al transportista l’interès en rebre les seves comandes durant l’horari nocturn, caldrà fer una previsió de demanda i la periodicitat de repartiment amb la que s’haurà de subministrar al client. La demanda ha de ser coneguda i fixa per al bon funcionament de les rutes, no s’està proposant un servei de comanda *JIT (Just In Time)*, sinó que l’empaquetatge ja haurà d’estar previst, amb poc marge de variació, per poder optimitzar al màxim les capacitats dels camions.

En quant a les entregues fora d’horari regular, un aspecte que pren molt relleu, és l’entrega dels productes dins d’una finestra de temps. Cada vegada és més important complir amb l’horari d’entrega establert, i els programes assignats per realitzar les rutes, ja tenen en compte aquestes finestres de temps a l’hora de realitzar els càlculs. En el cas que es tracta, el transportista i el client són el mateix, i el mateix personal que realitza l’entrega, s’encarregarà de fer la descàrrega del camió, suavitzant així les finestres de temps imposades i només havent de complir amb la entrega dins de la jornada laboral.

És important tenir clar, tan a les rutes de repartiment diürnes com nocturnes, si les entregues hauran de ser diàries, o amb quina periodicitat el client demanda de ser servit i inclús en quins dies de la setmana.

A continuació s'exposen 3 possibles tàctiques a l'hora de realitzar el repartiment segons la seva periodicitat i considerant els beneficis o els contres d'aplicar-les. Finalment se'n escollirà la que es consideri òptima per a realitzar l'estudi.

TÀCTICA 1

A l'hora de realitzar una forta inversió en vehicles per a les rutes nocturnes de repartiment, no només serà important la capacitat dels vehicles si no també la quantitat de vehicles que seran necessaris.

Un servei d'entregues d'un dia per setmana resulta del tot inviable. Tot i que la demanda resulti molt ben planificada, aquest tipus de serveix impossibilita una reacció ràpida a una punta de demanda en qualsevol dels establiments, a més serien necessaris tràilers de gran capacitat per pogué complir amb la gran demanda que pot tenir un sol supermercat en una setmana.

Es desaconsella aquest model de repartiment, ja que el punt fort de l'estratègia de lliuraments durant la nit, són els ràpids desplaçaments entre establiments en comparació durant el dia, i no s'aprofitaria. Els supermercats servits en cadascuna de les ruta serien mínims, a més de perdre's molt temps en la càrrega i descàrrega del camió.

TÀCTICA 2

En el cas del supermercats, de forma general es treballa 6 dies a la setmana, per tant sembla raonable plantejar el servei de repartiment dels productes 3 cops per setmana.

De forma que la meitat dels establiments seran servits dies alterns, fent que cada dia hi hagi la meitat dels establiments a subministrar, però amb un volum d'entrega el doble que si es realitzessin les entregues diàriament. Caldria estudiar cada cas particularment, segons el nombre d'establiments totals que han de ser servits i el volum de demanda que tenen. Per una banda es redueixen el nombre de vehicles necessaris, ja que s'han de cobrir la meitat de les rutes, però els vehicles haurien de disposar de més capacitat, doncs la demanda realitzada s'hauria de servir en la meitat de dies. Així com el volum diari de servei diari augmentaria seguin una relació aproximadament lineal, el nombre de vehicles no té perquè veure's reduït a la meitat, no s'està tractant un cas teòric amb unes condicions ideals de flux iguals en tots els sentis i amb els establiments equidistants entre ells. Hi ha d'altres factors externs com són les diferents distàncies entre establiments i que totes les vies d'una ciutat no funcionen amb la mateixa coordinació, per tot això, al reduir els establiments a la relació de camions sobrants no es directe i podria sortir més car en relació a una tàctica de servei diari.

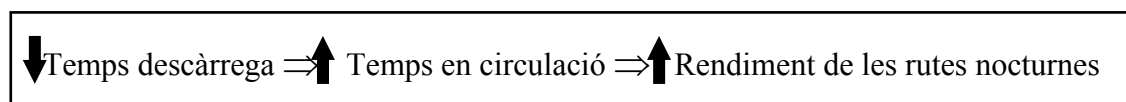
A l'hora d'avaluar aquesta tàctica d'enviaments, s'ha de veure si realment es treu profit d'estar realitzant el repartiment durant la nit. El que queda clar que aquest cas és molt més profitós que només servir un cop per setmana, y no es pot descartar

aquets model de forma teòrica, s'hauria de tractar cada cas pràctic de forma particular.

TÀCTICA 3

La tàctica que més aprofita els beneficis de realitzar les rutes durant la nit, es el cas de realitzar els lliuraments diàriament. D'aquesta manera s'aconsegueix un temps mínim d'estacionament per realitzar les descàrregues dels palets i es realitza més temps en conducció, que es on se'n pot treure el màxim rendiment de la circulació lliure de que es disposa a la nit. Tot i explotar més els lliuraments nocturns amb aquesta tàctica d'enviaments, també seran necessari més quantitat de vehicles per poder servir a tots els establiments en un sol dia. Per contra de la tàctica 1, en aquest cas seria possible una millor resposta a un pic en la demanda dels establiments.

Amb tot això, el que queda clar és el següent raonament:



En l'anàlisi de les tres tàctiques, la tàctica 1 queda descartada per aquest cas que es tracta, no aprofita les facilitats que dona les entregues en rutes nocturnes. La tàctica 3 a priori és la millor i la que més explota la lliure circulació de la nit. Tot i que la tàctica 2 podria ser útil per segons quines demandes, en el cas que és tracta, s'utilitzarà només la tàctica 2, ja que a més, el model actual que segueixen els supermercats és d'un servei diari dels establiments, i és comprovarà més fàcilment les millores que proporciona el lliurament nocturn de mercaderies.

3.4.2 Variables al transport

A l'hora de seleccionar els vehicles més adequats es tindrà en compte que a l'hora de realitzar el repartiment es disposarà de més facilitat en l'estacionament dels camions, el qual no es té durant l'horari diürn, franja en que pràcticament la totalitat dels transportistes treballen i per tant hi ha una gran demanda de les zones reservades a la càrrega i descàrrega.

Durant les hores de repartiment nocturnes, les zones de càrrega i descàrrega estaran menys demandades, a més, si es compleixen les facilitats ja esmentades en l'estacionament com ja s'han descrit anteriorment, es disposarà de zones més amples per a la descàrrega, sense necessitat d'utilitzar temps en l'estacionament dins dels magatzems dels supermercats.

Tenint en compte aquestes premisses, es pot pensar en l'ús de camions de més gran tonatge i per tan de més capacitat de transport. Aquest tret optimitza les rutes de repartiment, ja que com més capacitat tingui el camió, podrà repartir a més establiments i utilitzar el temps que hauria d'usar per tornar al centre de distribució, en arribar fins a d'altres establiments.

Segons una publicació del CENIT sobre la “Gestió del transport urbà de mercaderia”, l’enviament nocturn de 2 vehicles a la setmana de 40T estalvia 7 vehicles de menor capacitat durant l’horari diürn de repartiment. Així mateix, un estudi proposat per AECOC, contempla la substitució de petits camions per camions de gran dimensió, basant-se en diversos fets constatats: els grans camions produeixen menys contaminació, contribueixen a reduir l’efecte hivernacle, ajuden a frenar la congestió del trànsit (ja que un sol camió substitueix bon nombre de camions petits) i permeten reduir el temps de permanència i l’espai d’ocupació a la ciutat durant les operacions de càrrega i descàrrega.

Així doncs, per optimitzar més les rutes de repartiment durant la nit, s’utilitzaran camions de més capacitat que els utilitzats durant la jornada laboral ordinària. En el cas de Caprabo, s’utilitzen camions amb una capacitat per a 10 palets, que equival a uns 25 m³ de capacitat i 5Tn de carga útil.

Per a realitzar el servei de rutes de repartiment, a la taula 3.2 s’observa l’oferta actual que hi ha en mercat en quant a vehicles de transport de mercaderies, i les seves característiques de capacitat i els costos que produeixen diàriament i per quilòmetre, calculats tal i com s’ha explicat en el punt.3.3.2 “Costos del transport i de personal”. Només es consideren els vehicles que tinguin al menys la mateixa capacitat que els que realitzen les rutes actualment, ja que vehicles de menor capacitat, no aportarien millores als rendiments de les rutes.





A l’hora de seleccionar el vehicle que s’adapti millor al treball a realitzar, cal tenir en compte que les dimensions del vehicle han de ser maniobrables pels carrers de la ciutat, però també com més capacitat tingui la flota nocturna, més rendiment s’aconseguirà de realitzar les rutes de repartiment durant la nit. Tot i que el volum del vehicle no serà una restricció forta, doncs el tipus de maquinària de la que es disposarà als establiments, permetrà la descàrrega del camió encara que estacioni en un carrer proper al establiment, per tal d’evitar dificultats de maniobrabilitat d’entrada a petits carrers.

A l’hora de realitzar les rutes, s’ha de diferenciar entre camions de transport de productes frigorífics, dels que no ho són. També es proposa un nou tipus de camió especial, aquest permet transportar mercaderia frigorífica i productes que no ho siguin en un mateix camió, mitjançant una separació mòbil dins la caixa entre els dos tipus de productes. Amb això, es pretén augmentar el factor d’empenament dels camions i treure’n més rendibilitat. Aquesta opció s’avaluarà dins del cas pràctic i es compararà amb la resta de casos a comparar.

Cal trobar l’equilibri, i no superdimensionar la flota, aquest equilibri es troba tenint en copte que en un càlcul de ruteig hi ha dos limitadors importants:

- La capacitat del camió
- El temps repartiment que necessita una ruta completa

TAULA 3.2
CAMIONS EN MERCAT I CARACTERÍSTIQUES

Càrrega útil(kg)	Descripció	Característiques	Costos al dia i per km. recorregut	Exemple
5.000	5 TN Camió mitjà Distribució	Capacitat: 20-25m ³ Longitud: 5,00 mts. Palets: 10 palets Cost:47.000€	24,93 €/h 0,203 €/km sense peatge	
			Frigorífic 28,86 €/h 0,342 €/km sense peatge	
10.000	10 TN Camió mitjà Distribució	Capacitat: 31-35m ³ Longitud: 7,00 mts. Palets: 16 palets Cost:75.000€	26,43 €/h 0,285 €/km sense peatge	
			Frigorífic 30,26 €/h 0,380 €/km sense peatge	
16.000	16 TN Camió pesant Llarga distància	Capacitat: 41-46m ³ Longitud: 8,00 mts. Palets: 20 palets Cost:110.000€	29,79 €/h 0,365 €/km sense peatge	
			Frigorífic: 33,87 €/h 0,395 €/km sense peatge	
24.000	24 TN Conjunt articulat Llarga distància	Capacitat: 80 m ³ Longitud: 13,60 mts. Palets: 32 palets Cost 160.000€	33,11 €/h 0,378 €/km sense peatge	
			Frigorífic: 34,39 €/h 0,414 €/km sense peatge	

FONT: Observatori de costos del transport de mercaderies www.gencat.net
Transports Quiñero www.transportesquinero.com

Plantegem un cas pràctic, on es seleccioni un camió de transport capaç de servir fins a 13 supermercats i la jornada laboral sigui de 8h al dia.

CAS A

On s'aconsegueix un promig de temps de servei de 25 minuts, tenint en compte el temps de descàrrega de mercaderia i la duració del desplaçament entre supermercats.

Així doncs, tenint en compte la jornada laboral de 8h i un temps promig de 0,42 hores (25 minuts) entre establiments, s'obté que si el camió no tingués limitació de capacitat, seria capaç de distribuir a 19 supermercats, quan en realitat el camió seleccionat només té capacitat per servir a 13 supermercats. Aquí la capacitat física del camió restringiria, i no permetria un aprofitament màxim de la ruta.

CAS B

En el que el temps mig en desplaçaments entre supermercats més la descàrrega a cadascun d'ells es de 50 minuts. Doncs seguint el mateix procediment que el cas A, amb 8h de jornada laboral i un temps mig de 0,83h (50 minuts) entre establiments, aquesta ruta seria capaç de servir fins a 9 supermercats. 9 supermercats en front als 13 establiments que el camió seleccionat seria capaç de servir segons la seva capacitat, no s'aconseguiria el màxim profit de la capacitat d'aquest camió, en aquest

cas hi ha una limitació temporal del servei, on per més capacitat que tingui el vehicle, serà capacitat sense cap servei.

Comprovant els cas A i B que s'acaba de tractar, resulta clara la importància a l'hora de seleccionar un vehicle i ajustar-se a les necessitats reals de les rutes. Amb una premissa important, no per més capacitat que tingui el camió, farà més rendible la ruta, si no que pot tenir l'efecte totalment contrari.

Caldria realitzar una inversió en nous vehicles "nocturns" de diferents característiques que el transport diürn, per tal de treure màxim rendiment de realitzar rutes nocturnes. També hi ha la possibilitat d'utilitzar la mateixa flota existent, tot i que la millora en els lliuraments seria menor, ja que el temps mig de servei entre els establiments disminuiria igualment en la mateixa proporció gràcies a la circulació lliure d'embussos, però la millora no seria tan substancial, doncs baixaria el número d'establiments de més que es podrien servir en una cada ruta. Segons la mateixa publicació del CENIT sobre la "Gestió del transport urbà de mercaderia", el cost d'inversió del vehicles "nocturns" es recuperaria en un període de 3 anys.

NOVA TECNOLOGIA

Un punt que es podria plantejar, és que cada cop més es comença a comptar amb els camions híbrids i elèctrics, ja que malgrat les millores en els motors dièsel, els experts subratllen que els seus inconvenients energètics i contaminants segueixen sent importants. Per això, assenyalen als motors elèctrics, i els híbrids com una forma de transició cap a aquells, com el futur del sector de l'automoció, inclosos els camions. Per exemple, el Govern dels EUA vol que el 2015 circulin per les carreteres d'aquest país un milió de cotxes elèctrics, per al que ofereix diverses ajudes que s'estenen als camioners. La ciutat de Santa Mònica afirma comptar amb el "primer camió elèctric amb zero emissions contaminants dels EUA", el "ZeroTruck". Així mateix, la revista *Scientific American* ofereix una galeria amb exemples de camions elèctrics i híbrids als EUA

Els camions híbrids són cada vegada més nombrosos. Segons dades ofertes en el Fòrum d'usuaris de Camions Híbrids, el 2009 s'han venut més de 5.000 models d'aquest tipus de vehicles, enfront dels menys de 200 de fa tres anys. L'empresa de transport UPS calcula que amb els 200 camions híbrids que inclourà en la seva flota a finals d'any s'estalviarà 665.000 litres de dièsel a l'any.

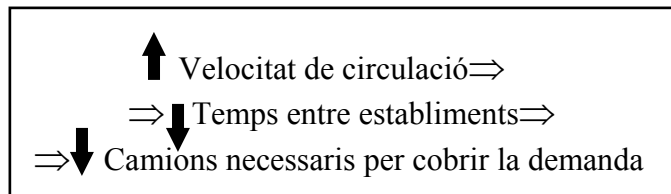
Els defensors d'aquesta tecnologia asseguren que un camió híbrid utilitza entre un 20% i un 50% menys de dièsel. Ara bé, el seu preu, més gran que el d'un camió convencional, frena encara la seva generalització, encara que els experts consideren que els preus competitiu no tardaran molt en arribar.

LA VELOCITAT

A l'hora d'introduir els inputs per realitzar el model, un dels més importants i que marcarà la diferència a l'hora de l'obtenció de resultats, és la determinació de les velocitats de circulació que hi dins de la ciutat, a Barcelona en aquest cas. La diferència de velocitats entre les rutes de repartiment diürnes i les nocturnes, resulta una decisió crítica per a l'èxit d'aquesta iniciativa en el servei de mercaderies durant

la nit. Una menys valoració en la millora de la velocitat a la nit respecte al dia, podria desaconsellar la inversió en la implantació del servei, i en canvi, una exageració en la millora podria induir a errors massa grans i provocar falsos resultats.

El cas ideal, seria la disposició de mesures directes dins de la mateixa ciutat, tenint en compte tots els tipus de vies d'entrada a la ciutat, circumval·lacions, i pròpiament dins de la ciutat. És important doncs tenir en compte que:



En aquest estudi, per impossibilitat d'aconseguir aquest tipus de dades, s'utilitzaran les dades de percentatges de intensitats mitges horàries (I.M.H.) i les de velocitats de recorregut, obtingudes totes elles del document "Dades bàsiques 2008" presentat al maig del 2009.

A més d'utilitzar la funció BPR (3.17) del temps de viatge amb velocitat congestionada:

$$t_v = K \cdot t_{ll} \left[1 + \alpha \cdot \left(\frac{q}{C} \right)^\beta \right] \quad (3.17)$$

On:

t_v → Temps associat a una velocitat V .

t_{ll} → Temps associat a la velocitat lliure.

α, β → Paràmetres adimensionals.

K → Paràmetre adimensional que s'adopta com a valor correcte 1,15.

q/C → Quocient adimensional entre el flux i la capacitat del la via.

3.4.3 Variables de manipulació i personal

Com ja s'ha comentat anteriorment, un dels requisits bàsics en aquest nou model de rutes de repartiments a la nit, es basa en realitzar el servei de descàrrega el més silenciós possible, de tal manera de no interrompre el descans veïnal ni crear malestar.

A continuació s'analitzaran els avantatges i els inconvenients d'usar maquinària de combustió vs. maquinària elèctrica. Les comparacions entre els dos grans segments en termes d'avantatges tècniques, ergonòmiques, o de prestacions, per ser més subjectives s'haurien de realitzar-versus un model i una marca concreta, que no es el que es pretén en aquest estudi. Ens centrarem en les diferències objectives, analitzant les mediambientals, les de seguretat i les també importants, les econòmiques.

Al mercat es poden trobar els següents sistemes:

Combustió Interna (CI) o Tèrmiques (T.):

- Motor dièsel: Combustible Gasoil.
- Motor de Benzina: Combustible Gasolina
Gas líquid de petroli (GLP, barreja de propà / butà)
Gas natural (Metà gasós o líquid)

Electròniques:

Hi ha sistemes de Corrent Contínua, (CC) i de Corrent Alterna, (C.A.)

A continuació s'analitzaran els avantatges i desavantatges d'utilitzar maquinària tèrmica en lloc d'elèctrica:

Avantatges

- Poden funcionar on no hi hagi corrent elèctric.
- Poden assolir velocitats superiors a 20 km/h.

(Actualment la Normativa del "*Institut Nacional de Seguretat i Higiene en el Treball*", NTP-214, indica "no circular a més de 20km/h, en espais exteriors i de 10km/h. en espais interiors").

Desavantatges

Els més importants són els Mediambientals:

- Contaminació dels productes peribles (per fums i gasos d'escapament)
- Zones amb perill de deflagració (possibilitat d'espurnes a l'escapament)
- Alt nivell de decibels (produït pel motor d'explosió)
- Treball en interiors
- Treball a frigorífics
- Àrees poc ventilades

Els motors de combustió, en la barreja, consumeixen aire emetent amb els gasos d'escapament grans quantitats de monòxid de carboni, contravenint les Normes del Protocol de Kyoto.

Mediambientalment, el carretó d'elevació elèctric, té uns nivells emissió de soroll inferiors a 15 dB.

En quant a seguretat per als treballadors, la maquinària elèctrica ofereix accessoris que una màquina tèrmica no pot:

- Sistema antibolcada. Control de reducció de velocitat en girs.
- Control de reducció de velocitat amb la càrrega elevada.
- Sistema de limitació de velocitat en zones predeterminades.
- Control de tracció, antiderrape.
- Control d'estabilitat longitudinal i transversal.

Sempre complint amb la Norma NTP-214.

A més tots els components electrònics, es troben dins d'un compartiment estanc, protegit de la pols, la humitat i els cops. Això li permet a la unitat, treballar en condicions de pluja, ambients pulverulents, etc. Hi ha models que incorporen el anomenat “*control Vectorial*” que consisteix en eliminar tots els components subjectes a desgast i manteniment per uns d'estat sòlid de funcionament il·limitat.

Econòmicament, a la taula 3.3 és pot realitzar la següent comparació de consums entre una màquina tèrmica i una màquina elèctrica de similars característiques:

TAULA 3.3
COMPARACÓ ECONÒMICA DE CONSUMS ENTRE MAQUINÀRIA TÈRMICA I MAQUINARA ELÈCTRICA

Carretó elevador elèctric		Carretó elevador tèrmic	
Bateria	80 V. 620 A.	Motor diesel	4/2977 cc
Consum del carregador (Kw)	53,69	Potència	37 kW
Preu Kw/h	0,082	Consum (l/h)	2,46
		Preu litre de gasoil (€/l)	0,82
Cost d'1 torn de 8h	2,93 €	Cost d'1 torn de 8h	16,14 €
Cost de 2 torns de 8h/torn	5,87 €	Cost de 2 torns de 8h/torn	32,28 €

FONT: www.tecna2000.com

A més, el motor tèrmic requereix canvis freqüents d'oli i diferents filtres. El cost de manteniment d'un carretó elèctric de corrent trifàsica amb relació a una tèrmic pot ser d'un 25 o 30% inferior.

PERSONAL

El personal requerit per a realitzar les rutes nocturnes, no tindrà més requeriments tècnics que un treballador de jornada laboral ordinària. L'únic requeriment doncs, serà que el personal tingui la preparació de conduir maquinària.

Segons l'Article 7, del capítol “règim de treball” del “*conveni col·lectiu de majoristes de l'alimentació per l'any 2008*” entén que: “Les hores treballades durant el període comprès entre les deu de la nit i les sis del matí llevat que el salari s'hagi establert atenent que el treball és nocturn per la seva naturalesa tindrà una retribució específica incrementada, com a mínim, en un 25% sobre salari base.”

El cost del conductor esta inclòs en una partida del cost del vehicle, així doncs no compte com a personal a preveure en la planificació del servei de rutes nocturn. El número màxim de treballadors que es podrà contractar serà de 2 més el conductor, un total de 3 que podran circular amb seguretat dins de la mateixa cabina. El salari base dels treballadors, es pot trobar al Capítol XII del “*conveni col·lectiu de majoristes de l'alimentació per l'any 2008*”.

3.5 Elecció per a la programació

Arribats a aquest punt de la metodologia, cal fer una selecció entre tots els programes i teories explicades. Escollir el que millor s'adapti al requeriments del nostre

problema i que pugui oferir una millor solució en el menor temps possible amb el menor cost computacional.

A continuació es discernirà entre els dos grans mètodes descrits, entre heurístics o metaheurístics. I un cop escollit el mètode, es seleccionarà el millor programa per als nostres requeriments.

3.5.1 Heurístic Vs. Metaheurístic

La qualitat de les solucions trobades amb els mètodes metaheurístics és molt millor que la de les obtingudes amb els heurístics degut a la major complexitat en els algorismes, utilització de memòries estructurals i recombinació de les solucions, tot i ser procediments que en general depenen del context.

Els mètodes metaheurístics, realitzen una explotació intensiva del espai de solucions, la qualitat de les solucions és més gran que la obtinguda pels heurístics clàssics com per exemple *Clarke & Wright(1964)*, però tendeixen a consumir molt més temps. També poden ser utilitzats per millorar les solucions obtingudes pels heurístics simples. Per aquest motiu, es realitzarà el càlcul mitjançant els mètodes metaheurístics, doncs la mida del problema, no ens condicionarà a un temps desmesurat de càlcul, i el que és pretén es trobar una solució òptima i no aproximada.

Entre els metaheurístics més utilitzats per al VRP estan: recuit simulat (SA), cerca tabú (TS), algorismes genètics (GA), colònia de formigues (AC), etc.

3.5.2 Elecció del mètode i explicació

Amb les característiques explicades en el punt “2.4 Eines de càlcul aproximades”, i les raons que s’explicaran a continuació, s’ha comprovat que la millor opció per a realitzar el càlcul de rutes és mitjançant els algorismes metaheurístics, en especial els algorismes genètics (GA).

La raó del creixent interès pels AG és que aquests són un mètode global i robust de cerca de les solucions de problemes. El principal avantatge d’aquestes característiques és l’equilibri assolit entre l’eficiència i eficàcia per resoldre diferents i molt complexos problemes de grans dimensions.

El que avantatja als AG davant d’altres algorismes tradicionals de cerca és que es diferencien d’aquests en els següents aspectes:

- Treballen amb una codificació d’un conjunt de paràmetres, no amb els paràmetres mateixos.
- Treballen amb un conjunt de solucions, no amb una única solució i el seu entorn (la seva tècnica de cerca és global.) Utilitzen un subconjunt de l’espai total, per obtenir informació sobre l’univers de cerca, a través de les avaluacions de la funció a optimitzar. Aquestes avaluacions es fan servir de manera eficient per classificar els subconjunts d’acord amb la seva idoneïtat.

- No necessiten coneixements específics sobre el problema a resoldre, és a dir, no estan subjectes a restriccions. Per exemple, es poden aplicar a funcions no contínues, la qual cosa els obre un ampli camp d'aplicacions que no podrien ser tractades pels mètodes tradicionals.
- Utilitzen operadors probabilístics, en lloc dels típics operadors determinístics de les tècniques tradicionals. És molt fàcil executar en les modernes arquitectures massives en paral·lel.
- Quan es fan servir per a problemes d'optimització, resulten menys afectats pels màxims locals que les tècniques tradicionals (és a dir, són mètodes robustos).

Els GA difereixen del Simulated Annealing (SA) en dues principals característiques: Primer, els GA utilitzen una població obtinguda a partir de selecció, mentre el SA només treballa amb un individu a cada iteració. I segon, els AG utilitzen operadors de recombinació, capaços de barrejar bones característiques des de diferents solucions.

La gran avantatge dels GA en front als SA, consisteix en l'habilitat excepcional per ser paral·lelitzada, mentre que el SA no guanya molt.

3.5.2.1 Algorismes Genètics (GA)

Els principis basic dels Algorismes Genètics van ser establerts per *Holland (1975)*, i es troben bé descrits en diversos textos: *Goldberg (1989)*, *Davis (1991)*, *Michalewicz (1992)*, *Reeves (1993)*

Els AG són mètodes adaptatius que es poden usar per resoldre problemes de cerca i optimització. Estan basats en el procés genètic dels organismes vius. Al llarg de les generacions, les poblacions evolucionen a la naturalesa d'acord amb els principis de la selecció natural i la supervivència dels més forts, postulats per Darwin (1859). Per imitació d'aquest procés, els AG són capaços d'anar creant solucions per a problemes del món real. L'evolució de aquestes solucions cap a valors òptims del problema depèn en bona mesura d'una adequada codificació de les mateixes.

A la natura els individus d'una població competeixen entre ells a la cerca de recursos tals com a menjar, aigua i refugi. Fins i tot els membres d'una mateixa espècie competeixen sovint en la cerca d'un company. Aquells individus que tenen més èxit a sobreviure i en atreure companys, tenen major probabilitat de generar un gran número de descendents. Per contra individus poc dotats produiran un menor número de descendents. Això significa que els gens dels individus millor adaptats es propagaran en successives generacions cap a un número d'individus creixent. La combinació de bones característiques provinents de diferents ancestres, pot de vegades produir descendents "superindividus", la adaptació és molt més gran que la de qualsevol dels seus avantpassats. D'aquesta manera, les espècies evolucionen aconseguint unes característiques cada vegada més ben adaptades a l'entorn en què viuen.

Ara bé, un esquema del funcionament general d'un algorisme genètic podria ser el següent:

Algorisme Genètic:

- 1) Generar una població inicial/solucions.
- 2) Iterar fins a un criteri d'aturada.
- 3) Avaluar cada individu de la població.
- 4) Seleccionar els progenitors.
- 5) Aplicar l'operador de creuament i mutació a aquests progenitors.
- 6) Incloure la nova descendència per formar una nova generació.

El més important punt fort dels AG, és són intrínsecament paral·lels. La majoria dels altres algorismes són en sèrie i només poden explorar l'espai de solucions cap a una solució en una direcció al mateix temps, i si la solució que descobreixen resulta subòptima, no es pot fer una altra cosa d'abandonar tota la feina feta i començar de nou. No obstant això, ja que els AG tenen descendència múltiple, poden explorar l'espai de solucions en múltiples direccions a la vegada. Si un camí resulta ser un carreró sense sortida, poden eliminar fàcilment i continuar el treball en avingudes més prometedores, donant-los una major probabilitat a cada execució de trobar la solució.

El tipus de representació utilitzat usualment és sempre binari, ja que s'adapta perfectament al tipus d'operacions i el tipus d'operadors que s'utilitzen en un AG. En general, una representació ha de ser capaç d'identificar les característiques constituents d'un conjunt de solucions, de manera que diferents representacions donen lloc a diferents perspectives i per tant diferents solucions. Podem considerar tres tipus bàsics de representacions:

Representació binària, on cada gen és un valor 1 o 0.

1 0 1 1 0 1

Representació sencera, on cada gen és un valor sencer.

1 0 3 -1 0 4

Representació real, on cada gen és un valor real.

1,78 2,6 7 0 -1,2 6,5

1) Població Inicial

La població inicial d'un AG pot ser creada de molt diverses formes, des de generar aleatòriament el valor de cada gen per a cada individu, utilitzar una funció àvida o generar alguna part de cada individu i després aplicar una cerca local.

Així doncs, primer es genera aleatòriament la població inicial, que estarà constituïda per un conjunt de cromosomes, o cadenes de caràcters (a la pràctica solen utilitzar cadenes binàries per representar els cromosomes) que representen les solucions possibles del problema. A cada un dels cromosomes d'aquesta població se li aplicarà la funció d'aptitud per tal de saber què tan bona és la solució que està codificant.

Sabent l'aptitud de cada cromosoma, es procedeix a la selecció dels que es creuran en la següent generació (presumiblement, es triarà als "millors"). Dos són els mètodes de selecció més comuns:

2) La selecció de l'opció a pertorbar

L'operador de selecció, és l'encarregat de transmetre i conservar les característiques de les solucions que es consideren valuoses al llarg de les generacions. El principal mitjà per a que la informació útil es transmeti és que aquells individus millor adaptats (millor valor de funció d'avaluació) tinguin més probabilitats de reproduir-se. No obstant això, cal també incloure un factor aleatori que permeti reproduir-se a individus que encara que no estiguin molt bé adaptats, puguin contenir alguna informació útil per a posteriors generacions, amb l'objecte de mantenir així també una certa diversitat en cada població. Algunes de les tècniques de les quals es disposa són les següents:

La Ruleta

Amb aquest mètode la probabilitat que té un individu de reproduir-se és proporcional al seu valor de funció d'avaluació, és a dir, a la seva adaptació. En aquest mètode es defineix un rang amb les característiques de la selecció per sorteig. El nombre a l'atzar serà un nombre aleatori forçosament menor que la mida del rang. L'element escollit serà aquell en el rang estigui el nombre resultant de sumar el nombre aleatori amb el resultat total que va servir per escollir l'element anterior. El comportament és similar al d'una ruleta, on es defineix un avanç cada gir a partir de la posició actual.

És l'operador l'utilitzat per *Goldberg* en el seu llibre. Sense que ens referim a una funció d'aptitud en particular, suposem que es té una població de 5 cromosomes les aptituds estan donades pels valors mostrats en la Taula 3.4.

TAULA 3.4			
VALORS D'EXEMPLE PER IL·LUSTRAR LA SELECCIÓ MITJANÇANT RULETA			
Cromosoma No.	Cadena	Aptitud	% del total
1	11010110	254	24.5
2	10100111	47	47
3	00110110	457	44.1
4	01110010	194	94
5	11110010	85	85
Total			1037

FONT: Carlos A. Coello

Amb els percentatges mostrats a la quarta columna de la Taula 3.4 podem elaborar la ruleta de la Figura 3.2. Aquesta ruleta es gira 5 vegades per determinar quins individus es seleccionaran. Com que els individus més aptes se'ls ha assignat una àrea més gran de la ruleta, s'espera que siguin seleccionats més vegades que els menys aptes.



Figura 3.2: Ruleta que representa els valors d'aptitud de la taula 3.4
 FONT: Carlos A. Coello

El torneig

Té un valor computacional molt baix per la seva senzillesa. Es selecciona un grup de t individus (normalment $t=2$, torneig binari) i es genera un nombre aleatori entre 0 i 1. Si aquest nombre és menor que un cert llindar K (normalment 0,75), es selecciona per reproduir el individu amb millor adaptació, i si aquest nombre és menor que K , es selecciona, per contra, Aquesta tècnica té l'avantatge que permet un cert grau d'elitisme, els millors tenen més probabilitat de reproduir-se i d'emigrar que els pitjors.

Cal veure, que aquesta tècnica garanteix l'obtenció de múltiples còpies del millor individu entre els progenitors de la següent generació (si es fa un torneig binari, el millor individu serà seleccionat 2 vegades).

3) Operadors de modificació de les solucions

Operador de creuament

Un cop realitzada la selecció, es procedeix al creuament dels individus seleccionats. En aquesta etapa, els supervivents intercanviaran material cromosòmic i els seus descendents formaran la població de la següent generació. Les 2 formes més comuns de creuaments són: ús d'un punt únic de travessa i l'ús de 2 punts de creuament.

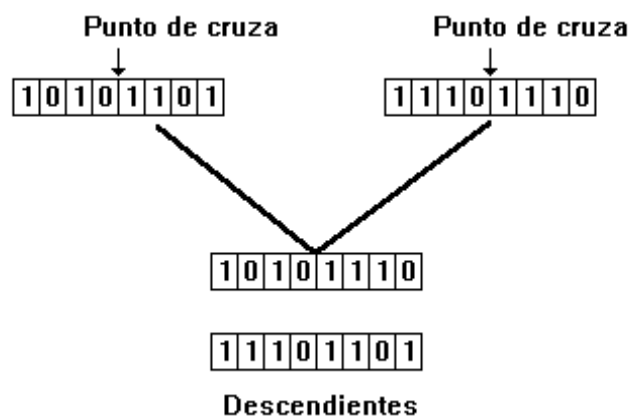


Figura 3.3: Ús d'un sol punt de creua entre 2 individus.
 FONT: Carlos A. Coello

Quan s'usa un sol punt de creuament, aquest es tria de forma aleatòria sobre la longitud de la cadena que representa el cromosoma, i a partir d'aquí es realitza l'intercanvi de material dels 2 individus, tal com es mostra a la Figura 3.3.

Destacar, que cada parella de cromosomes dóna origen a 2 descendents per a la següent generació. El punt de creua pot ser qualsevol dels 2 extrems de la cadena, en aquest cas no es realitzaria el creuament.

Normalment el creuament es gestiona dins de la implementació de l'algorisme genètic com un percentatge que indica amb quina freqüència es farà. Això vol dir que no totes les parelles de cromosomes es creuaran, sinó que hauran algunes que passaran intactes a la següent generació. De fet hi ha una tècnica desenvolupada fa alguns anys en què l'individu més apte al llarg de les diferents generacions no es creua amb ningú, i es manté intacte fins que sorgeix un altre individu millor que ell, que el desplaçarà, aquesta tècnica és anomenada elitisme.

Quan es fan servir 2 punts de travessa, es procedeix de manera similar, però en aquest cas el intercanvi es realitza de la manera mostrada a la Figura 3.4.

Es pot comprovar com en aquest cas es mantenen els gens dels extrems, i s'intercanvien els del centre. També aquí hi ha la possibilitat que un o dos punts de creuament es trobin en els extrems de la cadena, en aquest cas es farà creuar usant un sol punt, o cap creuament, segons correspongui.

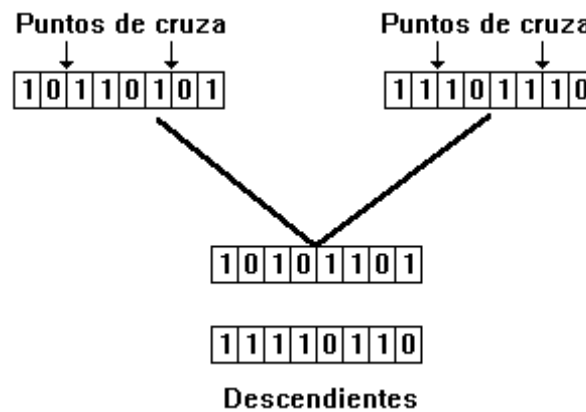


Figura 3.4: Ús de 2 punts de creua entre 2 individus.
 FONT: Carlos A. Coello Coello

A més de la selecció i el creuament, hi ha un altre operador anomenat mutació, el qual realitza un canvi a un dels gens d'un cromosoma escollit aleatòriament. Quan es fa servir una representació binària, el gen seleccionat se substitueix pel seu complement (un zero canvia en un i viceversa). Aquest operador permet la introducció de nou material cromosòmic a la població, tal com passa amb els seus equivalents biològics.

Igual que el creuament, la mutació es maneja com un percentatge que indica amb quina freqüència s'efectuarà, encara que es distingeix de la primera per passar molt més esporàdicament (el percentatge de realitzar un creuament normalment és de més del 60%, mentre que el de mutació normalment mai no supera el 5%).

L'operador de mutació

La mutació es considera un operador bàsic, que proporciona un petit element d'aleatorietat en l'entorn dels individus de la població. Si bé s'admet que l'operador de creuament és el responsable d'efectuar la cerca al llarg de l'espai de possibles solucions, també sembla desprendre's dels experiments efectuats per diversos investigadors que l'operador de mutació va guanyant en importància a mesura que la població d'individus va convergint.

L'objectiu de l'operador de mutació és produir noves solucions a partir de la modificació d'un cert nombre de gens d'una solució existent, amb la intenció de fomentar la variabilitat dins de la població. Hi ha molt diverses formes de realitzar la mutació, des de la més senzilla (puntual), on cada gen muta aleatòriament amb independència de la resta de gens, fins configuracions més complexes on es té en compte l'estructura del problema i la relació entre els diferents gens.

S'aplica a cada fill de manera individual, i consisteix en l'alteració aleatòria (normalment amb probabilitat petita) de cada gen component del cromosoma. La figura 3.5 mostra la mutació del cinquè gen del cromosoma.



Figura 3.5: Ús del operador mutació.
 FONT: www.sc.ehu.es

Si bé en principi pot pensar-se que l'operador de creuament és més important que l'operador de mutació, ja que proporciona una exploració ràpida del espai de cerca, aquest últim assegura que ningun punt de l'espai de cerca tingui probabilitat zero de ser examinat, i és de capital importància per assegurar la convergència dels Algorismes Genètics.

4) Substitució de la població

Cada vegada que s'aplica l'operador creuament, ens trobem amb un nombre de nous individus (la descendència) que s'han d'integrar a la població per formar la següent generació. Aquesta operació es pot fer de diverses formes, però en general hi ha tres mètodes fonamentals per realitzar la substitució:

- Quan el nombre d'individus arriba a un cert nombre, s'elimina un subconjunt de la població contenint els individus pitjor adaptats.
- Cada vegada que es crea un nou individu, a la població s'elimina el pitjor adaptat per deixar el seu lloc a aquest nou individu.
- Cada vegada que es crea un nou individu, a la població s'elimina aleatòriament una solució, independentment de la seva adaptació.

5) Criteri d'acceptació

Pel que fa a el criteri d'aturada, generalment ve determinat per criteris a priori senzills, com un nombre màxim de generacions o un temps màxim de resolució, o més eficientment per estratègies relacionades amb indicadors l'estat d'evolució de la població, com per la pèrdua de diversitat dins de la població o per no haver millora en un cert nombre d'iteracions, sent en general una condició mixta el més utilitzat, és a dir, limitar el temps de execució a un nombre d'iteracions i tenir en compte algun indicador de l'estat de la població per a considerar la convergència abans d'arribar a aquesta limitació.

El problema que confronten els AG consisteix a identificar dins d'un espai d'hipòtesis candidat, la millor, on la millor hipòtesi és aquella que optimitza una mesura numèrica predefinida per al problema, anomenada adaptació (*fitness*) de la hipòtesi. Per exemple, si la tasca d'aprenentatge és el problema d'aproximar una funció desconeguda donat un conjunt d'entrades i sortides, l'adaptació es pot definir com la precisió de la hipòtesi sobre el conjunt d'entrenament (percentatge d'èxits a predir la sortida). Si la tasca d'aprenentatge té la forma d'un joc, l'adaptació es pot mesurar en termes del percentatge de partides guanyades. Encara que els detalls d'implementació varien entre diferents AG, tots comparteixen en general la següent estructura: L'algorisme opera iterativament, actualitzant un conjunt d'hipòtesis anomenades població. A cada iteració, tots els membres de la població són avaluats de acord a una funció d'adaptació. Una nova població és generada, seleccionant probabilísticament els individus de major adaptació en la població present. Alguns d'aquests individus passen intactes a la següent generació. Altres són seleccionats per crear una nova generació, aplicant operacions genètiques com el creuament i la mutació.

La Figura 3.6 mostra com varia l'adaptació mitjana i la millor adaptació en un Algorisme Genètic. A mesura que el número de generacions augmenta, és més probable que la adaptació mitjana s'aproximi a la del millor individu.

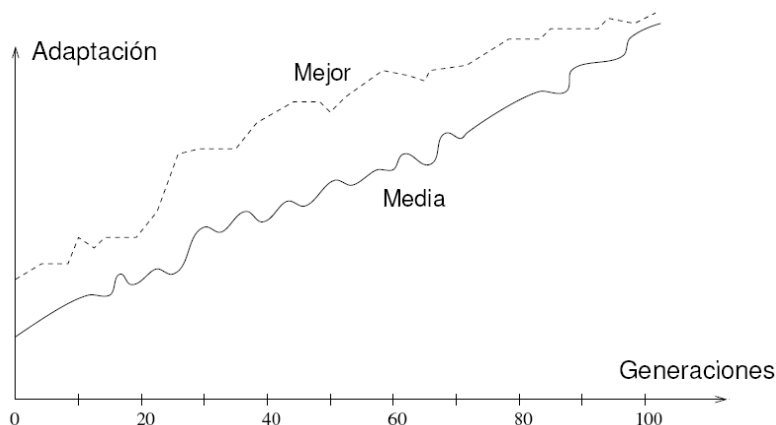


Figura 3.6: Adaptació mitjana i millor adaptació en un Algorisme Genètic.

FONT: www.sc.ehu.es

3.6 Jocs de prova i calibratge de l'algorisme

Un cop s'ha seleccionat el programa que s'adapta més a les característiques del problema plantejat i del que s'espera que doni millors resultats, es procedeix a la programació, en el llenguatge del Matlab en aquest cas. A l'annex núm. 1, està transcrit l'algorisme GA programat, i per ordre d'execució.

Seguidament, serà necessària l'avaluació del programa realitzat, per evitar possibles errors i suggerir millores, doncs cal tenir en compte que la programació realitzada, correspon a un tipus de problema de minimització de costos en el ruteig d'un conjunt de nodes i partint des de diversos nodes origen, és un problema VRP que combina les limitacions en la capacitat, en finestres temporals, i els coneguts com a multi-magatzems.

El programa realitzat, finalitza després de realitzar l'algorisme genètic durant un número màxim de generacions/iteracions, així doncs, serà necessari intentar establir una relació d'iteracions entre els problemes tipus que s'utilitzaran per al calibratge, i un cas real.

S'han dut a terme 2 línies de prova per al calibratge. La primera tenint en compte només la component de CVRP del problema, és a dir, amb un sol magatzem (node origen) i sense limitacions en el temps per a realitzar les entregues, i amb limitacions en les capacitats dels vehicles i una demanda assignada a cada node.

La segona, considerarà la part del problema amb MDVRP, és a dir, utilitzant la opció que té el programa d'utilitzar un dels nodes origen que hi hagi disponibles per tal d'optimitzar la funció objectiu. A més, el problema també tindrà la restricció de capacitat dels vehicles i unes demandes associades a cada node.

En cap cas s'avaluaran problemes de finestres de temps, doncs en per el problema pel que s'ha programat l'algorisme, només té la restricció de que les rutes s'han de realitzar sempre dins de la jornada laboral de 8 hores, i per tant aquesta restricció no actuarà d'una manera molt estricta, doncs la restricció de la capacitat esdevindrà molt més forta.

En aquest problemes d'avaluació no afecta la velocitat del vehicle que realitza les rutes ni el temps del recorregut. La funció objectiu és trobar la mínima distancia total recorreguda i el mínim de rutes necessàries per a la realització del servei del problema.

A continuació s'exposen els problemes realitzats, dels que els enunciats i les solucions reals s'han obtingut de la pàgina web d'enginyeria i dedicada als problemes heurístics: <http://neo.lcc.uma.es>. Aquests enunciats estan adjuntats en l'annex núm. 2.

3.6.1 CVRP

S'han realitzat dos comprovacions diferents del problema amb enunciats, demandes i una distribució de nodes totalment diferents, per d'aquesta manera, assegurar els resultats obtinguts, i evitar el màxim possible el factor de l'atzar .

En ambdós problemes s'han utilitzat el número d'iteracions que s'han considerat necessàries per arribar a un resultat estable, així com establir el número màxim d'iteracions seguides que pot estar fent el programa sense trobar una solució millor. En el cas d'arribar a aquest màxim d'iteracions, el programa realitzarà una reordenació dels nodes per intentar millorar la solució trobada fins al moment.

3.6.1.1 Problema A

Es tracta d'un problema amb les següents característiques:

- 1 magatzem.
- 31 nodes/clients.
- Vehicles amb una capacitat de 100 (no hi ha unitats, perquè el problema és matemàtic i no està aplicat a la realitat)

I la solució considerada com a correcte és:

- 784 unitats de distància recorreguda entre totes les rutes.
- 5 rutes necessàries pel compliment del servei.

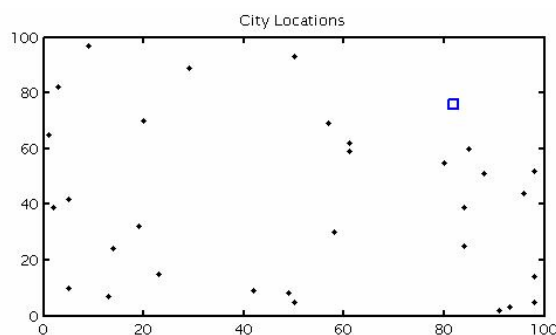


Figura 3.7: Distribució dels nodes i magatzem, del problema A dels CVRP
FONT: Pròpia

A continuació s'exposen les solucions trobades a la taula 3.5 després de realitzar 1000, 4000, 8000 i 25000 iteracions. També es pot veure la millor solució trobada amb la distribució de les rutes i l'evolució que ha realitzat el problema al llarg de totes les iteracions. Així com l'aproximació dels resultats trobats cap a la solució òptima a la figura 3.8.

TAULA 3.5
RESULTATS DEL PROBLEMA "A" DEL CVRP

iteracions	ruptura	solució a la iteració	rutes totals	distància total	% error
1.000	250	915	5	915,07	16,72
4.000	1.000	1.819	5	869,86	10,95
8.000	2.000	2.446	5	848,32	8,20
25.000	4.000	4.754	5	838,81	6,99

FONT: Pròpia

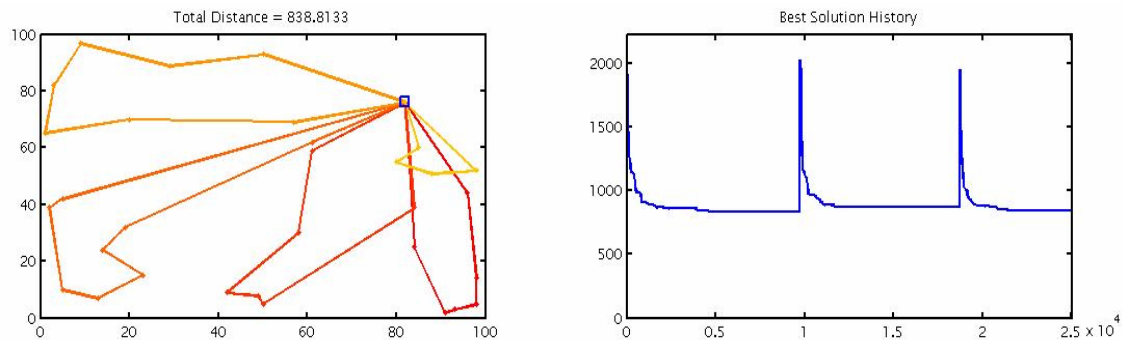


Figura 3.7: Solució trobada amb 25.000 iteracions i considerant 4.000 iteracions per a la ruptura.
 FONT: Pròpia

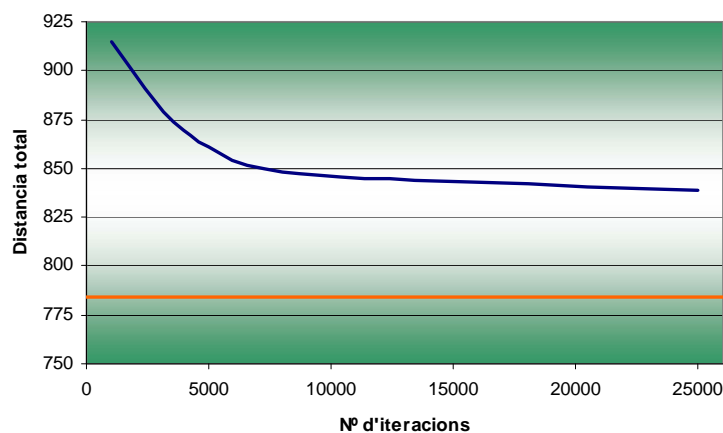


Figura 3.8: Gràfic d'aproximació a la solució òptima cas B
 FONT: Pròpia

Com es pot veure, ja a partir de només 4.000 iteracions ja s'obté una solució òptima. I a partir d'aquí s'estabilitza, i millora poc a poc fins arribar a un 6,99% d'error. Amb aquest marge, es pot considerar que el programa ha funcionat correctament en el cas A del CVRP.

3.6.1.2 Problema B

Per aquest cas s'ha considerat una distribució totalment diferent dels nodes, tot i la semblança en les dades del problema amb el cas A. Les característiques del problema són les següents

- 1 magatzem.
- 30 nodes/clients.
- Vehicles amb una capacitat de 100 (no hi ha unitats, perquè el problema és matemàtic i no està aplicat a la realitat)

I la solució considerada com a correcte és:

- 672 unitats de distancia recorreguda entre totes les rutes.
- 5 rutes necessàries pel compliment del servei.

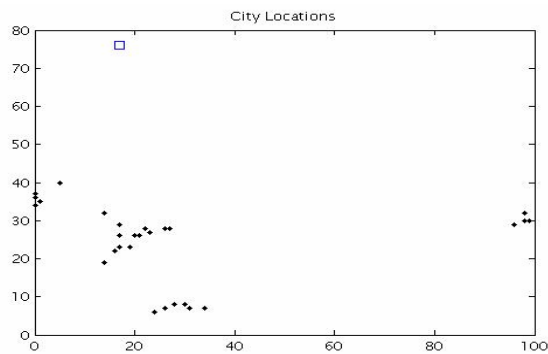


Figura 3.9: Distribució dels nodes i magatzem, del problema B dels CVRP
 FONT: Pròpia

A continuació s'exposen les solucions trobades a la taula 3.6 després de realitzar 500, 1000, 4000 i 80000 iteracions. També es pot veure la millor solució trobada amb la distribució de les rutes i l'evolució que ha realitzat el problema al llarg de totes les iteracions. Així com l'aproximació dels resultats trobats cap a la solució òptima a la figura 3.10.

TAULA 3.6
RESULTATS DEL PROBLEMA "B" DEL CVRP

iteracions	ruptura	solució a la iteració	rutes totals	distància total	% error
500	100	496	5	762,58	13,48
1.000	250	887	5	694,74	3,38
4.000	1.000	3.500	5	680,98	1,34
8.000	2.000	7.819	5	690,49	2,75

FONT: Pròpia

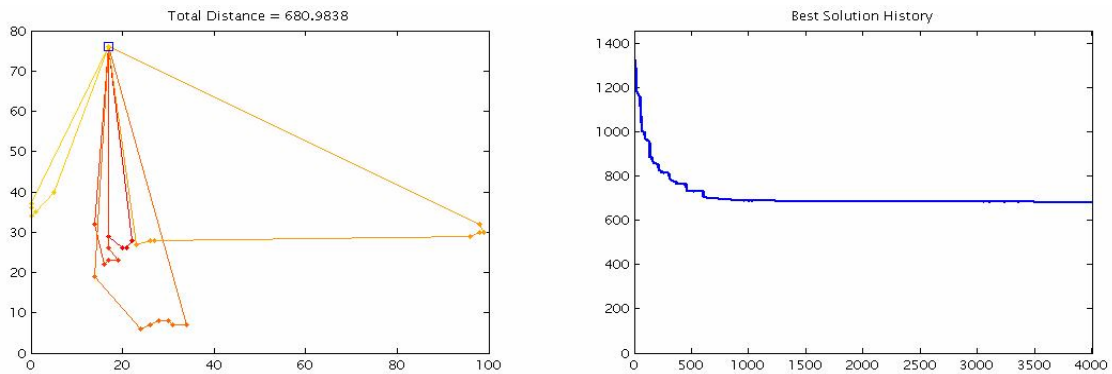


Figura 3.9: Solució trobada amb 4.000 iteracions i considerant 1000 iteracions per a la ruptura.
 FONT: Pròpia

En aquest cas, s'arriba a una solució òptima ja només amb 1000 iteracions i amb només un 3,38% d'error. Amb la última prova de més iteracions, inclús augmenta l'error en relació amb l'anterior, això es degut a la dificultat de millorar la solució trobada, amb errors tan petits.

Es pot concloure que en els 2 casos proposats de CVRP, el programa funciona molt correctament, a més de donar resultats més òptims acord amb el número d'iteracions realitzades

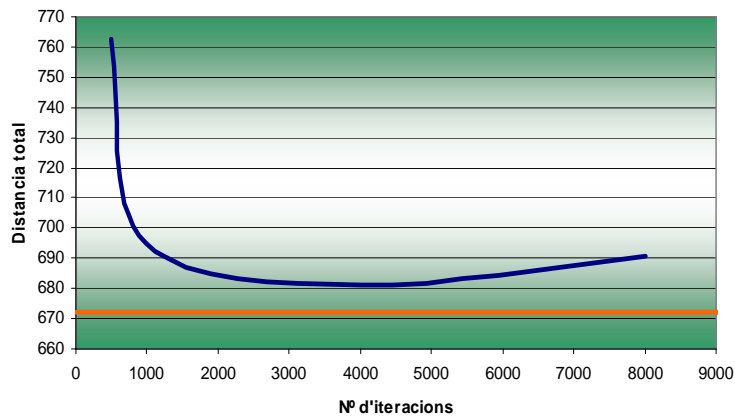


Figura 3.10: Gràfic d'aproximació a la solució òptima cas B
FONT: Pròpia

3.6.2 MDVRP

De la mateixa manera que en la calibració mitjançant el CVRP, s'han realitzat dos comprovacions per separat del problema amb enunciats, demandes i una distribució de nodes totalment diferents, per d'aquesta manera, assegurar els resultats obtinguts, i evitar el màxim que el possible el factor de l'atzar falsifiqui algun resultat.

Com en el cas anterior, també s'han utilitzat el número d'iteracions que s'han considerat necessàries per arribar a un resultat estable i el més proper possible a la solució òptima, així com establir un número màxim d'iteracions seguides que pot estar fent el programa sense trobar una solució millor. En el cas d'arribar a aquest màxim d'iteracions, el programa realitzarà una reordenació dels nodes per intentar millorar la solució trobada fins al moment.

3.6.2.1 Problema A

Es tracta d'un problema amb les següents característiques:

- 4 magatzems.
- 50 nodes/clients.
- Vehicles amb una capacitat de 80 (no hi ha unitats, perquè el problema és matemàtic i no està aplicat a la realitat)

I la solució considerada com a correcte és:

- 576,87 unitats de distància recorreguda entre totes les rutes.
- 11 rutes en total entre els 4 magatzems pel compliment del servei.

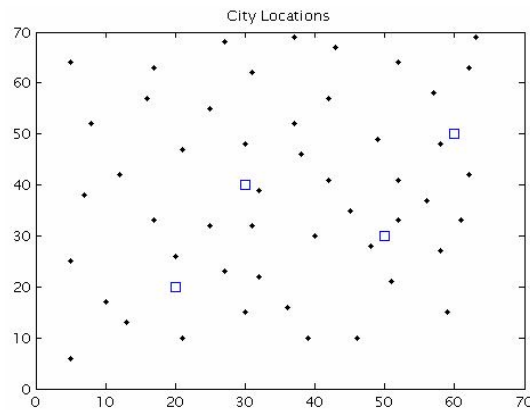


Figura 3.11: Distribució dels nodes i magatzem, del problema A dels MDVRP
 FONT: Pròpia

A continuació s'exposen les solucions trobades a la taula 3.7 després de realitzar 4.000, 8.000, 11.000, 20.000 i 25.000 iteracions. També es pot veure la millor solució trobada amb la distribució de les rutes i l'evolució que ha realitzat el problema al llarg de totes les iteracions. Així com l'aproximació dels resultats trobats cap a la solució òptima a la figura 3.12.

TAULA 3.7

RESULTATS DEL PROBLEMA "A" DEL MDVRP

iteracions	ruptura	solució a la iteració	rutes totals	distancia total	% error
4.000	600	2.718	17	831,94	44,22
8.000	1.500	5.267	19	791,72	37,24
11.000	2.000	6.533	19	812,58	40,86
20.000	2.500	19.875	20	811,28	40,64
25.000	5.000	24.802	18	787,40	36,50

FONT: Pròpia

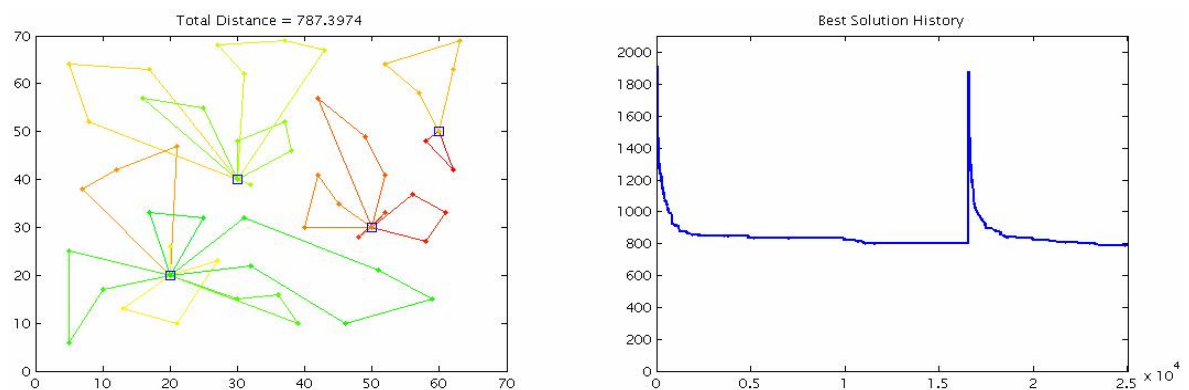


Figura 3.11: Solució trobada amb 25.000 iteracions i considerant 5.000 iteracions per a la ruptura.
 FONT: Pròpia

La primera conclusió que se'n pot treure, és que, tot i no apropar-se de manera significativa a la solució òptima, es manté en una mateixa solució, i no troba solucions aleatòries i diferents cada vegada, manté una certa coherència amb els resultats que troba.

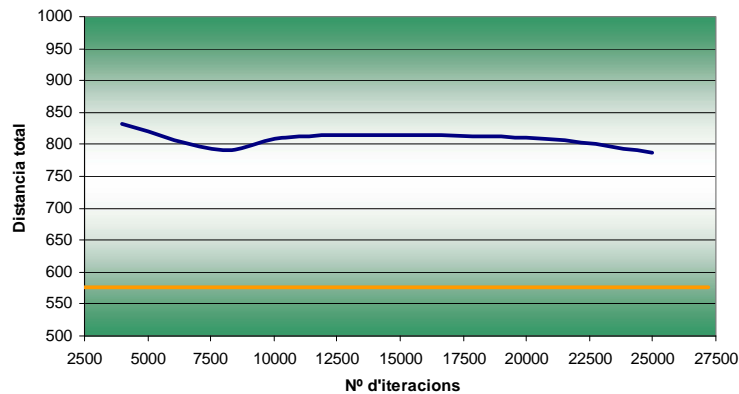


Figura 3.12: Gràfic d'aproximació a la solució òptima cas A
FONT: Pròpia

Com es pot comprovar, l'evolució del problema s'estabilitza a partir de les 11.000 iteracions. Però resta lluny de la solució òptima amb un error al voltant del 37%. Comprovem que passa amb el problema B.

3.6.2.2 Problema B

Es tracta d'un problema amb les següents característiques:

- 2 magatzems.
- 80 nodes/clients.
- Vehicles amb una capacitat de 60 (no hi ha unitats, perquè el problema és matemàtic i no està aplicat a la realitat)

I la solució considerada com a correcte és:

- 1.318,95 unitats de distància recorreguda entre totes les rutes.
- 8 rutes en total entre els 2 magatzems pel compliment del servei.

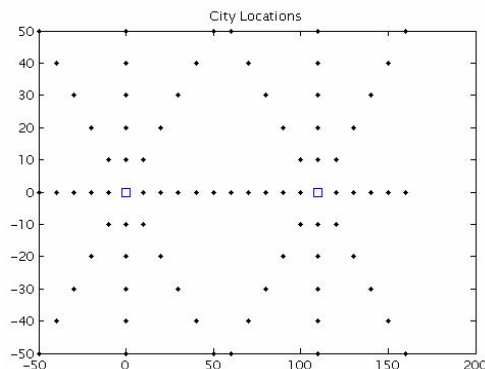


Figura 3.13: Distribució dels nodes i magatzem, del problema B dels MDVRP
FONT: Pròpia

Aquest cas és molt semblant, en el número de magatzems i de nodes, al cas real que s'estudiarà. La distribució dels nodes és molt complicada, doncs els camins estan molt marcats i hi ha poc marge per l'error, és a dir, tot i ser un problema senzill de forma visual, resultarà molt complicat per al programa trobar el camí òptim, i per poc que segueixi un camí diferent, quedarà molt allunyat de la solució.

A continuació s'exposen les solucions trobades a la taula 3.7 després de realitzar 5.000, 10.000, 20.000 i 40.000 iteracions. També es pot veure la millor solució trobada amb la distribució de les rutes i l'evolució que ha realitzat el problema al llarg de totes les iteracions. Així com l'aproximació dels resultats trobats cap a la solució òptima a la figura 3.15.

TAULA 3.7
RESULTATS DEL PROBLEMA "A" DEL MDVRP

iteracions	ruptura	solució a la iteració	rutes totals	distancia total	% error
5.000	1.000	4.941	13	2.110,50	60,01
10.000	2.000	9.590	15	1.991,71	51,01
20.000	4.000	15.456	15	2.001,58	51,76
40.000	5.000	36.383	13	1.856,90	40,79

FONT: Pròpia

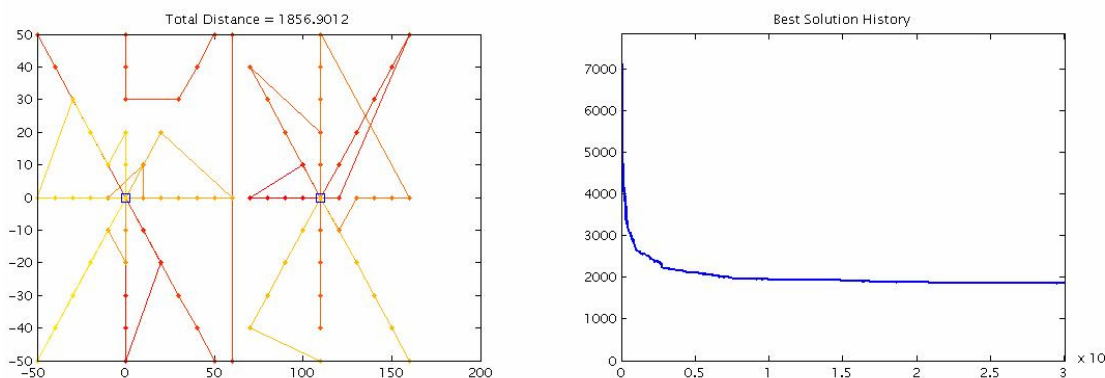


Figura 3.14. Solució trobada amb 40.000 iteracions i considerant 5.000 iteracions per a la ruptura.

FONT: Pròpia

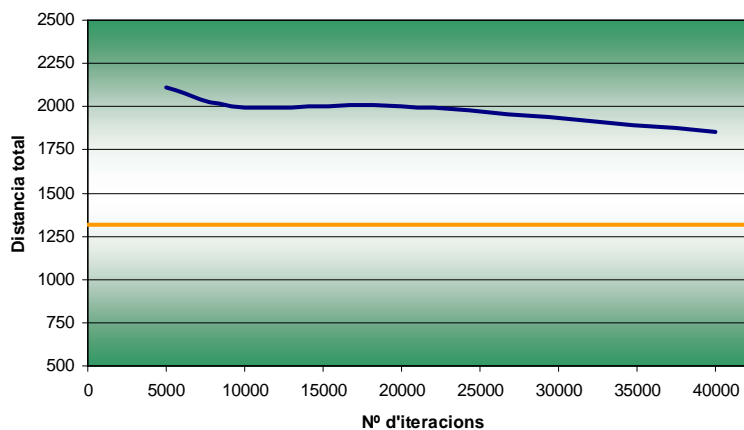


Figura 3.15: Gràfic d'aproximació a la solució òptima cas B

FONT: Pròpia

Com ja es preveia, en aquest cas, l'evolució del problema es semblant a l'anterior, i necessita de fins a 40.000 iteracions i un temps computacional de 20 minuts per reduir l'error relatiu fins al 40%. Cal tenir en compte que tot i el considerable augment del número de nodes i de la dificultat en la seva distribució, el problema segueix estabilitzant-se en un error al voltant del 40 %.

Aquests resultats, ens fa veure que el programa no acaba de funcionar be i trobar la solució òptima a l'hora de treballar, però en canvi, es pot dir que troba solucions òptimes segon el seu mètode de cerca i dels moviments implementats, i sempre es mou al voltant d'aquests valors solució, donant una certa fiabilitat i consistència en els resultats trobats.

Tot i saber que disten un 40% de la solució real, el que aquí es pretén estudiar, es una comparació entre una situació actual calculada amb aquest mètode, i una situació futura calculada també mitjançant aquest programa, per tant el que en interesses són les millores.

Així, es considera que la utilització d'aquest programa resulta valida per aquest estudi, però es recomana que per a futures investigacions en els problemes de ruteig, es millorin les pertorbacions en el GA, o es provin altres mètodes diferents dels algorismes genètics, com per exemple el *Simulated Annealing (SA)*

3.6.3 Comparació amb el cas real

Vistos els resultats obtinguts, es realitzarà una comprovació per si s'obté un millor resultat utilitzant el mètode MDVRP, que és més semblant al cas real, o CVRP que tot i només considerar un magatzem, s'obtenen resultats mes semblants als òptims reals.

A la taula 3.8 s'aprecien els resultats obtinguts de les proves realitzades sobre el cas real que estudiarem, amb un sol magatzem i amb 2, tant en circulació diürna com en nocturna, i considerant la mateixa demanda associada als nodes per a tots els casos.

El que es pretén decidir, és si el mètode de MDVRP, tot i els resultats vistos anteriorment, troba solucions millors que el CVRP.

TAULA 3.8
COMPARACIÓ MDVRP AMB CVRP EN EL CAS REAL

iteracions	ruptura	solució a la iteració	rutes totals	distancia total (km)	Temps computacional (min)	Vehicles per magatzem
<i>MDVRP amb velocitat diürna</i>						
20000	4000	12801	57	763,82	16,5	9 i 8
<i>CVRP amb velocitat diürna</i>						
20000	4000	19443	56	782,0068	50	17
<i>MDVRP amb velocitat nocturna</i>						
20000	4000	15306	58	766,119	33,5	7 i 6
<i>CVRP amb velocitat nocturna</i>						
20000	4000	19910	55	772,5893	42,5	13

FONT: Pròpia

S'han utilitzat el mateix número d'iteracions i el nombre màxim d'iteracions que pot fer el programa sense aconseguir cap millora abans de la rouptura, i el primer que s'observa, es que el MDVRP troba resultats millors en la funció objectiu del problema: distancia mínima, entre 10 i 20 kilòmetres de diferencia amb el mètode CVRP. Tot i no ser una millora substancial, és un resultat millor, a més, el mètode MDVRP ha tardat menys temps en trobar la solució que no pas el CVRP, 35 minuts a la situació diürna, i 10 minuts a la situació nocturna. En global, han trobat els dos casos la solució amb el mateix nombre de vehicles tot i un apetita variació en el nombre de rutes necessàries per realitzar el servei.

Amb tot això, es considera que el millor mètode per realitzar l'anàlisi de rutes es el MDVRP, ja que dona millors resultats que el CVRP, amb menys temps de càlcul, i a més és més fidel a la realitat del problema d'estudi.

Les solucions amb els gràfics corresponents, es troben ajuntades a l'annex número 3.

4 APLICACIÓ A UN CAS REAL

La majoria dels estudis i el desenvolupament de teories ha tractat el servei al cas tipus d'una empresa de servei a minoristes, tant mitjançant la planificació de rutes durant les hores vall, i/o amb l'utilització de centres de distribució urbana. En aquest casos, les empreses que fan el servei de repartir els productes són independents dels petits empresaris que reben els productes.

L'àmbit d'aquesta planificació, tractarà la distribució per a majoristes, supermercats i hipermercats i grans superfícies. Es troben varies diferències amb la distribució a minoristes, i són importants a l'hora de planificar les noves rutes en horari nocturn. Com per exemple els incentius per als transportistes i/o als receptors, repartiment dels costos derivats de realitzar rutes nocturnes de repartiment, l'horari laboral que estan disposats a acceptar durant la nit, esforç econòmic necessari per adaptar-se a aquests nous models de rutes de repartiment, etc.

Concretament s'aplicarà en els supermercats Caprabo-Eroski, aprofitant la seva extensió per tot el territori, éssent una de les empreses líders del sector en facturació i número d'establiments.

Aproximadament, Caprabo-Eroski de Barcelona compta amb aproximadament el 30% dels supermercats assentats a la ciutat de Barcelona, on hi ha 280 establiments repartits. El Grup Caprabo-Eroski consolidat va arribar a l'exercici de l'any 2007 a una facturació de 2.188 milions d'euros. La companyia és la tercera empresa de capital nacional en distribució d'alimentació, compta amb una plantilla superior als 15.000 empleats i presència en 12 comunitats autònomes. El Grup Caprabo-Eroski a més és líder nacional en la venda d'alimentació en línia que realitza a través de la pàgina web "www.capraboacasa.com". Durant l'any 2007 el servei per Internet va facturar 33 milions d'euros.

Per totes aquestes dades, s'ha decidit utilitzar la xarxa d'establiments del Grup Caprabo-Eroski vista la seva expansió i nivell de facturació, servirà per a realitzar un model de demanda i de planificació de rutes prou ampli i complex com per considerar-lo vàlid i representatiu de cara a futures aplicacions.

4.1 Xarxa i localització dels establiments

Per a la realització d'aquest model de demanda s'ha escollit la distribució dels supermercats Caprabo-Eroski a la ciutat de Barcelona i la seva localització, a més de la dels seus magatzems. Aquestes localitzacions, s'han introduït dins del programa *TransCAD*, per trobar les distàncies mínimes existents entre tots els establiments i magatzems, i així poder crear una matriu O/D.

El *TransCAD* integra un sistema d'informació geogràfica (GIS) amb les eines necessàries per realitzar un anàlisi del transport, en aquest cas de la xarxa viària de Barcelona.

A continuació es mostra la taula 4.1, amb la localització de tots els establiments i els barris als que pertanyen, així com la localització dels magatzems a la taula 4.2.

TAULA 4.1

LOCALITZACIÓ DE LA XARXA DE SUPERMERCATS CAPRABO-EROSKI					
Nº	BARRI	DIRECCIÓ	Nº	BARRI	DIRECCIÓ
1	NOU BARRIS	Antoni Costa i Cuixart, 23	2	NOU BARRIS	Antonio Machado (Polígon Canyelles)
3	EIXAMPLE	Aragó, 313,317	4	EIXAMPLE	Aribau, 176
5	HORTA GUINARDÓ	Av. Jordà, 20	6	EIXAMPLE	Av. Josep Tarradellas, 114
7	LES CORTS	Av. Madrid, 5,7	8	EIXAMPLE	Av. Mistral, 50, 52
9	ST. MARTÍ	Av. Sant Antoni M ^a Claret, 318, 322	10	EIXAMPLE	Bailèn, 161, 163
11	SARRIÀ-ST.GERVASI	Balmes, 305	12	SARRIÀ-ST.GERVASI	Bigai, 6
13	SANTS MONTJUIC	Brasil, 35	14	GRACIA	C/Bellver, 3, 5
15	SARRIÀ-ST.GERVASI	Calaf, 25	16	SARRIÀ-ST.GERVASI	Calvet, 41-45
17	ST.MARTÍ	Camp Arriassa, 94	18	MARTÍ	Cantàbria, 62-64
19	SANTS MONTJUIC	Carretera de Sants, 71	20	NOU BARRIS	Cartellà, 87-89
21	EIXAMPLE	Casp, 44	22	EIXAMPLE	Castillejos, 320
23	SANT ANDREU	Cinca, 48-56	24	SARRIÀ-ST.GERVASI	Claudi Güell, 9
25	EIXAMPLE	Comte Borrell, 218-224	26	EIXAMPLE	Comte Borrell, 308-316
27	EIXAMPLE	Consell de Cent, 170	28	EIXAMPLE	Consell de Cent, 301
29	EIXAMPLE	Còrsega, 301	30	ST.MARTÍ	Ctra. Antiga de Mataró, 20-20 bis
31	SARRIÀ-ST.GERVASI	Descartes, 26-28	32	GRÀCIA	Encarnació, 86-88
33	EIXAMPLE	Entença, 34	34	LES CORTS	Equador, 22-24
35	SARRIÀ-ST.GERVASI	Escipió, 22	36	NOU BARRIS	Fabra i Puig, 176-182
37	NOU BARRIS	Fabra i Puig, 196-206	38	NOU BARRIS	Fabra i Puig, 299
39	NOU BARRIS	Mercat de Felip II	40	CIUTAT VELLA	Francesc Cambó, 16
41	SARRIÀ-ST.GERVASI	Ganduxer, 14-16	42	SANT ANDREU	Gran de Sant Andreu, 456-462
43	SANT ANDREU	Gran de St. Andreu, 140	44	EIXAMPLE	Gran Via de les Corts Catalanes, 538
45	EIXAMPLE	Gran Via de les Corts Catalanes, 699	46	SANT MARTÍ	Guipúscoa, 116
47	SANT ANDREU	Hondures, 74-76	48	LES CORTS	Av. Diagonal, 545
49	SARRIÀ-ST.GERVASI	Madrazo, 100	50	EIXAMPLE	Mallorca, 425
51	EIXAMPLE	Marina, 305	52	EIXAMPLE	Marquès de Campo Sagrado, 24

TAULA 4.1

LOCALITZACIÓ DE LA XARXA DE SUPERMERCATS CAPRABO-EROSKI					
Nº	BARRI	DIRECCIÓ	Nº	BARRI	DIRECCIÓ
53	SARRIÀ ST.GERVASI	Moragas, 15	54	SARRIÀ- ST.GERVASI	Muntaner, 470-474
55	CIUTAT VELLA	Nou de Sadurní, 9	56	SANT ANDREU	Palencia, 13-21
57	NOU BARRIS	Pl. Valldaura, 218- 220	58	CIUTAT VELLA	Plaça Font 1
59	LES CORTS	Pobla de Lillet, 4-10	60	SANT MARTÍ	Prim, 139
61	SARRIÀ- ST.GERVASI	Príncep d'Astúries, 37	62	EIXAMPLE	Provença, 358-387
63	EIXAMPLE	Provença, 385	64	EIXAMPLE	Provença, 498
65	GRÀCIA	Providència, 168	66	SARRIÀ- ST.GERVASI	Ptge. Senillosa, 8-10
67	SANT ANDREU	Puerto Príncipe, 26- 40	68	SARRIÀ- ST.GERVASI	Reina Elisenda de Montcada, 9-11
69	GRÀCIA e	República Argentina, 30-32	70	SARRIÀ- ST.GERVASI	Ricardo Villa, 2
71	EIXAMPLE	Rocafort, 241	72	SARRIÀ- ST.GERVASI	San Joan Bosco, 45- 47
73	SANTS- MONTJUIC	Sant Crist, 37	74	SARRIÀ- ST.GERVASI	Sant Màrius, 52-54
75	SANTS- MONJUIC	Sants, 300-304	76	EIXAMPLE	Sicília, 220
77	GRACIA	Travessera de Gràcia, 218-226	78	SARRIÀ- ST.GERVASI	Travessera de Gràcia, 72-78
79	LES CORTS e	Travessera de Les Corts, 373	80	SANT MARTÍ	Trinxant, 104
81	GRACIA	Verdi, 214	82	EIXAMPLE	Vilamarí, 114-116

FONT: Grup Caprabo-Eroski. www.caprabo.com

TAULA 4.2

LOCALITZACIÓ DELS MAGATZEMS CAPRABO-EROSKI			
Nº	Localitat	Nº	Localitat
83	Hospitals del Llobregat	84	Abdera

FONT: Grup Caprabo-Eroski. www.caprabo.com

Un cop introduïdes les dades al programa *transCAD*, s'obtenen les dades necessàries per poder realitzar la matriu O/D (veure l'annex núm. 4) de 84x84 nodes, amb un total de 7.056 cel·les amb distàncies diferent. També se'n obtenen les coordenades UTM de cadascun dels punts, aquesta dada permetrà al programa realitzar un graf de la situació dels establiment i magatzems, i representar-hi les rutes trobades com a solució.

Les distàncies obtingudes són reals, tenint en compte els sentits dels carrers i la ruta més ràpida diürna per arribar d'un node a un altre. Degut a que les distàncies no seran igual per anada des de un node *i* a un node *j*, la matriu O/D no serà simètrica.

A les figures següents, s'observa el graf de la xarxa de BCN utilitzat pel *TransCAD*.

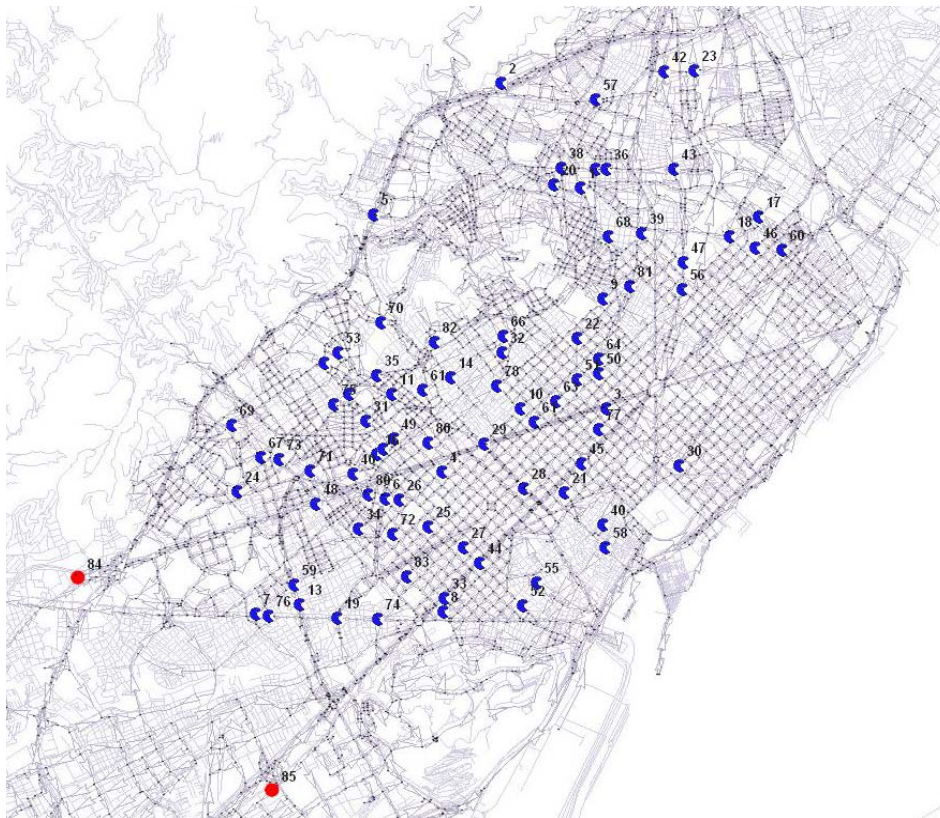


Figura 4.1: Graf de Barcelona i la localització dels establiments i magatzems
FONT: TransCAD

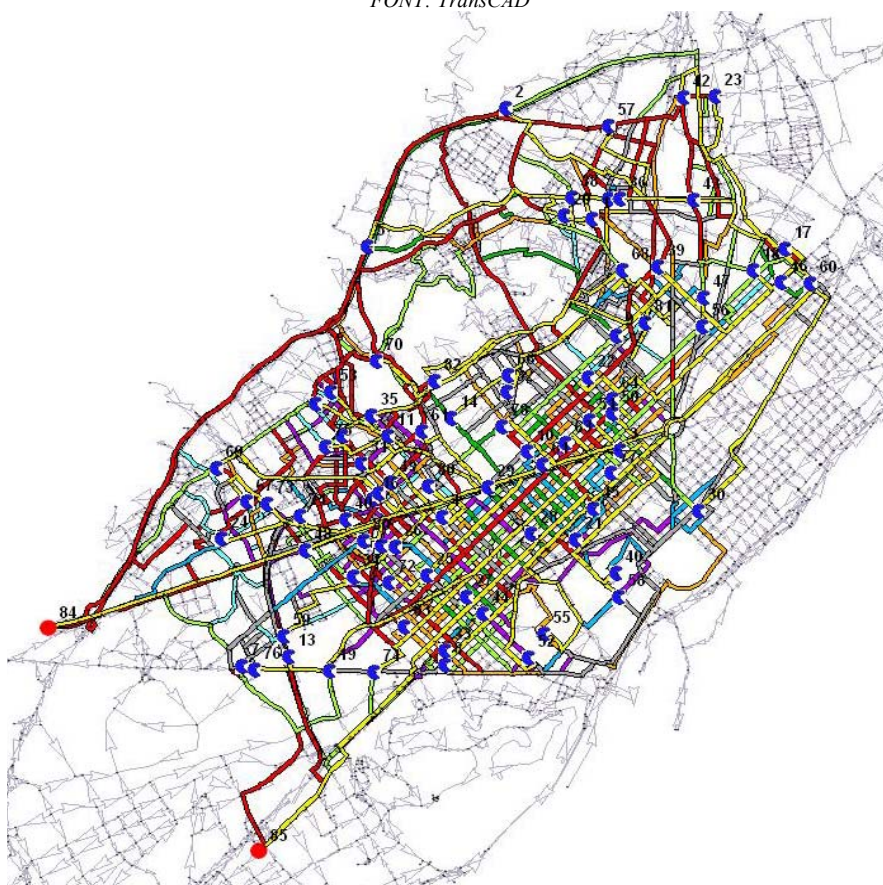


Figura 4.2: Graf de Barcelona amb les rutes de venda considerades
FONT: TransCAD

4.2 Simulació de la demanda

A l'hora de considerar el ritme de aprovisionament dels supermercats s'ha hagut de plantejar un mètode aproximat per a l'obtenció de les demandes per establiment, per tal d'intentar acostar la demanda el màxim possible a la realitat. Tot i que es van demanar a Caprabo-Eroski les dades de les superfícies dels establiments i de les demandes d'aquests, no s'han aconseguit per aquest estudi acadèmic.

Primer de tot, s'ha de seleccionar un conjunt de productes alimentaris que siguin suficientment significatius, i s'acosti el màxim possible a una suposada demanda real. Mitjançant el "panel de consumo alimentario 2.008" que realitza el "Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural, y Marino" cada any, s'han obtingut les dades de demanda directa d'aliments que hi ha a Espanya de mitjana per persona.

Aquestes dades estan comptabilitzades en kg/càpita i any, L/càpita i any o Ud/càpita i any. Però per tal d'homogeneitzar tota la demanda en una sola unitat de mesura i així finalment, poder comptabilitzar quans palets té de demanda cada establiment, es va realitzar el treball de mesurar cadascun d'aquest productes, per obtenir la relació entre la unitat de mesura en que es troben, i el volum que tenen empaquetats. A la taula 4.3, es poden observar tots els productes que s'han considerat a l'hora de la previsió de demanda, quin és el seu consum per setmana, el factor de conversió per obtenir volum empaquetat, i si requereixen de transport frigorífic o normal(no frigorífic).

TAULA 4.3
PRODUCTES CONSIDERATS I LA SEVA DEMANDA

Transport	Producte	Demanda en kg/L/Ud per càpita i setmana	Factor de conversió a m ³ empaquetats	m ³ de producte empaquetat per càpita i setmana
Frigorífic	Total Carns	0,97	0,00435	0,004220
	Bovina	0,14	0,00495	0,000689
	Aviram	0,25	0,00590	0,001448
	porcina	0,22	0,00375	0,000819
	Carn transformada	0,21	0,00280	0,000589
	Total Pesca	0,54	0,00234	0,001275
	Peix fresc	0,24	0,00290	0,000708
	Peix congelat	0,06	0,00300	0,000177
	Marisc/mol·lusc/crustacis	0,16	0,00150	0,000242
	Conserves peix/mol·lusc	0,08	0,00194	0,000147
	Ous	2,70	0,00020	0,000529
	Normal	Llet líquida	1,54	0,00127
Frigorífic	Iogurt	0,18	0,00220	0,000402
	Formatge	0,12	0,00962	0,001156
Normal	Arròs	0,09	0,00126	0,000109
	Pasta	0,07	0,00264	0,000180
	Llegums	0,06	0,00272	0,000172
	Sucre	0,08	0,00098	0,000079
	Mel	0,01	0,00122	0,000010
	Oli*	0,27	0,00186	0,000494
	Patates fresques	0,46	0,00200	0,000919

TAULA 4.3
PRODUCTES CONSIDERATS I LA SEVA DEMANDA

Transport	Producte	Demanda en kg/L/Ud per càpita i setmana	Factor de conversió a m ³ empaquetats	m ³ de producte empaquetat per càpita i setmana
Frigorífic	Hortalisses fresques*	1,09	0,00359	0,003900
	Tomàquets	0,26	0,00288	0,000741
	Ceba	0,14	0,00242	0,000334
	Enciam/endívia	0,10	0,00397	0,000402
	Pebrots	0,08	0,00577	0,000481
	Mongeta tendra	0,05	0,00291	0,000135
	Total Fruïta fresca*	1,84	0,00229	0,004202
	Taronja	0,39	0,00194	0,000757
	Llimona	0,04	0,00272	0,000102
	Plàtan	0,19	0,00247	0,000472
	Poma	0,22	0,00288	0,000637
	Pera	0,13	0,00222	0,000284
	Préssec	0,09	0,00181	0,000169
	Meló	0,15	0,00136	0,000203
	Síndria	0,13	0,00170	0,000229
Raïm	0,04	0,00312	0,000117	
Kiwi	0,06	0,00265	0,000162	
Normal	Vi de taula	0,12	0,00240	0,000281
	Cervesa	0,30	0,00159	0,000481
	Aigua	1,00	0,00173	0,001723
	Gasoses i Refrescos	0,81	0,00159	0,001297

FONT: Ministeri de Medi Ambient i pròpia

Finalment s'han considerat 19 productes de la major diversitat possible, amb un total de 38 subproductes. De la taula 4.3, els productes centrats són els subproductes que s'han utilitzat per elaborar els factors del producte al que pertanyen. La suma parcial de demanda de cada subproducte, no te perquè coincidir amb la del producte al que pertanyen, doncs no són tots els subproductes possibles.

Un cop tenim el consum en m³ empaquetats per càpita i setmana, ha estat necessari consultar amb els censos per trobar la gent que viu a cada barri i districte, i coneixent la distribució dels supermercats per barri, es pot obtenir la demanda que hi ha a cada supermercat segons al barri al que pertany l'establiment. També s'ha considerat un factor de reducció de la demanda, ja que òbviament no tothom compra a Caprabo. Sabent que el grup Caprabo-Eroski compte amb el 30% dels supermercats de la ciutat, s'ha considerat que un 25% de la població de Barcelona compra a Caprabo. A més de tenir en compte que la demanda setmanal dels establiments, es subministrará en 6 dies, de dilluns a dissabte.

Sempre diferenciant entre productes frigorífics dels que no, a continuació s'ha de repartir en palès. Es considera que les mides d'un palè carregat són (sense comptar l'alçada de la base): 1,2x0,80x1,82m, així doncs, considerant aquest volum, s'obté el número de palès necessaris. En cas de que la divisió no resulti un nombre exacte, s'arrodoneix a la unitat superior, ja que un palet va destinat a un únic supermercat, i no pot compartir la mercaderia de dos establiments. A la taula 4.4 s'exposa un resum de tots els passos realitzats.

TAULA 4.4
OBTENCIÓ DE LA DEMANDA FINAL EN PALÈS

<i>Barri/Districte</i>	<i>Població (habit.)</i>	<i>Nº establiments</i>	<i>m³ productes setm. i habit.</i>		<i>Demanda final en palès per establiment i dia</i>		
			<i>normal</i>	<i>frigorífic</i>	<i>Normal</i>	<i>frigorífic</i>	<i>Tot</i>
Roquetes-Verdum / NOU BARRIS	86.680	2	83,4	169,9	8	17	25
Vila Piscinaturó de la peira / NOU BARRIS	65.491	6	21,0	42,8	2	5	7
La Verneda / SANT MARTÍ	56.898	4	27,4	55,8	3	6	9
Font Pius / SANT MARTÍ	12.562	1	24,2	49,3	3	5	8
Camp de l'Arpa / SANT MARTÍ	64.619	2	62,2	126,7	6	13	19
Gràcia / GRÀCIA	87.125	4	41,9	85,4	4	9	13
Vallcarca / GRÀCIA	32.085	2	30,9	62,9	3	6	9
Sant Andreu / SANT ANDREU	52.258	3	33,5	68,3	4	7	11
La Sagrera / SANT ANDREU	52.601	2	50,6	103,1	5	10	15
Congres / SANT ANDREU	13.431	1	25,9	52,7	3	6	9
Les Corts / LES CORTS	68.870	5	26,5	54,0	3	6	9
Sants / SANTS-MONJUIC	78.011	4	37,5	76,5	4	8	12
Raval / CIUTAT VELLA	44.983	1	86,6	176,4	9	17	26
Barceloneta / CIUTAT VELLA	15.512	1	29,9	60,8	3	6	9
Casc antic / CIUTAT VELLA	22.170	1	42,7	86,9	5	9	14
Vall d'Hebron / HORTA-GUINARDÓ	29.908	1	57,6	117,3	6	12	18
/ EIXAMPLE	260.237	24	20,9	42,5	2	5	7
/ SARRIÀ -ST. GERVASI	138.656	18	14,8	30,2	2	3	5

FONT: Pròpia

4.3 Velocitats de trajecte i de servei

En la determinació de la velocitat mitjana que els vehicles tindran durant el repartiment resulta molt important, doncs és el increment de la velocitat de circulació un dels factors bàsics d'aquets model de repartiment de rutes durant la nit.

Per realitzar un càlcul coherent, s'ha utilitzat la fórmula descrita anteriorment (3.17), i combinant-la amb la definició bàsica de velocitat (espai partit pel temps), se'n dedueix la següent fórmula:

$$v_v = \frac{v_{ll}}{K} \left[1 + \alpha \cdot \left(\frac{q}{C} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (4.1)$$

On:

v_v → Velocitat associada a unes condicions de flux i capacitat.

v_{ll} → Velocitat de circulació lliure, 50km/h en aquest cas.

α, β → Paràmetres adimensionals a calibrar.

K → Paràmetre adimensional que s'adopta com a valor correcte 1,15.

q/C → Quocient adimensional entre el flux i la capacitat del la via.

Segons dades obtingudes del document "Dades bàsiques 2008 V.02" del ajuntament de Barcelona, la velocitat mitja diürna a la ciutat es de 21,3 km/h. Per obtenir un valor coherent de la velocitat nocturna, s'ha usat el gràfic de la figura 4.3, d'on es pot extreure el quocient q/C de la relació entre Q_{HP} i Q_{HV} . Se'n obtenen els següents quocients q/C : per a la situació diürna $q/C=0,95$, i per a la situació nocturna $q/C=0,04$.

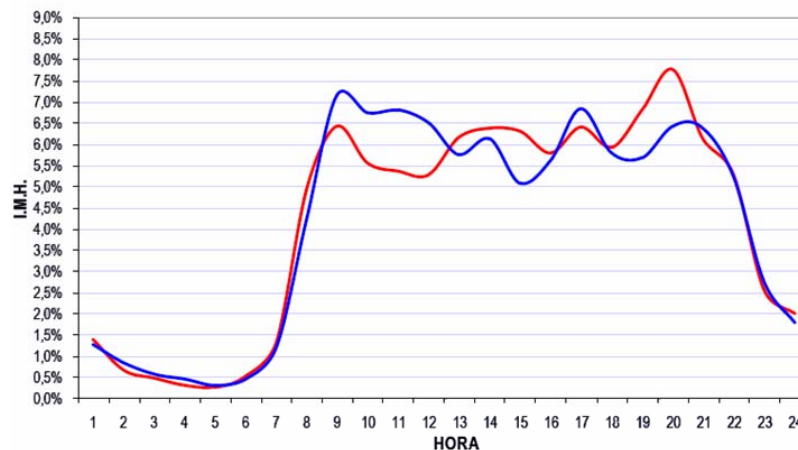


Figura 4.3: Corba de distribució horària del trànsit
FONT: Ajuntament de Barcelona

Amb quocient diürn 0,95, i la $V_m=21.3$, s'obtenen els paràmetres α i β característics per aquesta situació del trànsit, i que ens permetran calcular la V_m nocturna, corresponent a $q/C=0,04$.

S'han obtingut els resultats següents:

$$\begin{aligned}\alpha &\rightarrow 1,285 \\ \beta &\rightarrow 4,1 \\ V_{m \text{ nocturna}} &\rightarrow 43,4 \text{ km/h}\end{aligned}$$

Per a la velocitat de càrrega i descàrrega dels camions s'han consultat fons dels mateixos operaris, i s'ha decidit considerar en la càrrega 4 minuts per palè, i en la descàrrega fins a 5 minuts. La diferència bàsicament és deguda a que en els magatzems, estan preparats per a realitzar la càrrega dels camions, mentre que als establiments, els palès s'han de dur fins al seu corresponent lloc.

4.4 Costos

Un cop ja s'han definit i seleccionat tots els paràmetres i variables com s'explica a l'apartat 3.3 i 3.4 del present document, a continuació s'especificaran els costos que es consideraran i el seu valor seguint la funció següent:

$$C_T = C_P + C_E = C_I + C_M + C_T + C_{PE} + C_A + C_S \quad (4.2)$$

➤ C_I i C_M

Els costos inicials aniran en funció del tipus del camió que s'utilitzi en cada cas, i ja especificats a l'apartat 3.4.2.

Mentre que els costos d'inversió de la maquinària per a la manipulació dels palès, es considera que s'utilitzaran entre 1 o 2 carretons contrapesats, segons si la descàrrega es produeix allunyada del supermercat o a prop. Es considera un valor promig de 1,5 carretons elèctrics per establiment, amb un valor de **25.000€ per màquina**.

➤ C_T i C_{PE}

Els costos associats al transport del productes per mitjà de camions, també estan especificats a l'apartat 3.4.2. Mentre que els costos associats al manteniment de la maquinària elèctrica, es considerarà de **2,93€ per dia de carretó elèctric, i 16,14€ al dia de manteniment del carretó tèrmic**, tal com s'explica a l'apartat 3.4.3.

En quant al personal per la conducció de la maquinària, es considerarà la categoria de "mosso de magatzem especialitzat" segons el conveni col·lectiu de majoristes de l'alimentació, i considerant un increment del 25% sobre el salari base degut a ser un treball **nocturn**, el salari final resulta: $13.959,0 + 13.959,0 \cdot 0,25 = 17.448,75€$ **per mosso**. Es considera que viatjaran dos mossos especialitzats en cada camió.

Per realitzar la comparació amb el servei actual, s'ha considerat que els 2 mossos que fan aquest servei de nit, equivalen a 1,5 mossos de l'horari **diürn** (de promig, segons el supermercat), amb un salari de **13.690,95 per treballador**.

Així doncs, a l'hora de calcular el cost total dels treballadors tan diürn com nocturn durant tot un any és:

$$C_{diurn} = S \cdot f \cdot n \quad (4.3)$$

$$C_{nocturn} = S \cdot f \cdot m \quad (4.4)$$

Amb:

S → Salari del treballador.

f → Factor pel número de treballadors necessaris. 2 en el cas nocturn i 1,5 diürn..

n → Número d'establiments.

m → Número de vehicles necessaris per realitzar el servei.

Com es pot apreciar, hi haurà un gran estalvi en salaris, doncs $m \ll n$.

➤ C_{gas}

Seguint les pautes marcades a l'apartat 3.3.3 per al càlcul del cost emissions de gasos, s'han obtingut els següents valors:

TAULA 4.5
VALOR DE LES EMISSIONS DE GASOS NOCIUS (€/kg)

CO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	PM _{2,5}	VOC _s
0,022	7,90	17,68	21,36	550,68	3,30

FONT: Pròpia

Mentre que el valor de les emissions varia bàsicament segons la velocitat promig del vehicle, el pesatge té una afectació mol baixa en comparació, i no es considerarà.

TAULA 4.6
FACTORS D'EMISSIÓ DELS VEHICLES SEGONS VELOCITAT (gr/km)

Velocitat diürna (23,1 km/h)						Velocitat nocturna (43,4 km/h)					
CO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	PM _{2,5}	VOC	CO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	PM _{2,5}	VOC
443,77	3,47	77,00	4,27	1,73	1,40	300,93	3,36	52,22	2,56	1,68	0,77

FONT: Inventari d'emissions CORINAIR

Per tant, per calcular el cost que tenen les emissions a la societat, es seguirà la següent fórmula:

$$C_{gas} = \frac{1}{1000} \sum_i D \cdot X_i \cdot V_i \quad (4.5)$$

Amb:

D : Distància total de les rutes

X_i : Factor d'emissió del gas i en gr/km, amb $i=1, \dots, 5$

V_i : Valor de cada gas i en €/kg, per $i=1, \dots, 5$

➤ C_{soroll}

Per a l'anàlisi de les emissions sonores desagradables, es tindran en compte els valors comentats a l'apartat 3.3.3, i seguint la fórmula descrita 3.16., es considera que el cost econòmic que te un dB és de **11,12 €/ dB·vehicle**, tenint en compte que la renda mitjana a Catalunya l'any 2007, va ser de 10.107,00€. Així doncs, el càlcul del cost sonor que suposa les rutes de repartiment durant la nit és:

$$C_{soroll} = \Delta dB \cdot V_{dB} \cdot m \quad (4.6)$$

Amb:

ΔdB : Increment de decibels produït per la descàrrega de camions (0,4dB)

V_{dB} : Preu que s'ha considerat que té un dB.

m : Total de vehicles que es troben realitzant el servei

4.5 Resultats

A l'hora d'analitzar l'estudi, s'ha comparat la situació actual, on les rutes les realitzen camions de 10 palès de capacitat durant l'horari de jornada laboral ordinari, amb el model proposat durant les hores nocturnes amb vehicles de 10, 16, 20 i 32 palès de capacitat. En tots els casos s'han realitzat 20.000 iteracions, amb 4.000 iteracions possibles abans de la reinicialització del càlcul. Totes els inputs utilitzats, estan adjunts a l'annex núm. 4, segons l'escenari programat.

En aquesta primera valoració, no s'ha tingut en compte el cost de la inversió inicial en possibles vehicles nous, ara es compararan les despeses diàries que te el servei.

TAULA 4.7

COSTOS DEL REPARTIMENT A SUPERMERCATS

Escenari	Tipus camió	Temps comput. (min)	Núm. rutes	Dist. Total (km)	Vehicles per magatz. (m1,m2)	Cost al dia del servei (€)	Cost al dia total (€)	Estalvi comparatiu amb servei diürn (€)
Diürn 10 palets	Norm.	8,52	34	471,81	4;6	10.805,19	25.113,58	--
	Frigo.	16,53	57	763,82	11;9	14.308,39		
Nocturn 10 palets	Norm.	23,52	34	460,76	4;4	4.012,33	11.953,32	13.160,26
	Frigo.	43,48	58	766,12	9;7	7.940,99		
Nocturn 16 palets	Norm.	15,52	20	305,14	5;1	3.109,79	9.221,00	15.892,58
	Frigo.	27,15	40	535,40	7;5	6.111,21		
Nocturn 20 palets	Norm.	6,22	17	275,16	3;3	3.226,41	9.599,35	15.514,23
	Frigo.	13,45	36	495,62	7;5	6.372,94		
Nocturn 32 palets	Norm.	3,66	10	196,45	3;3	3.206,98	8.442,26	16.671,31
	Frigo.	5,48	21	334,38	4;6	5.235,28		

FONT: Pròpia

Com s'aprecia, només realitzant el servei durant la nit amb els mateixos vehicles, hi ha un estalvi molt important. A mida que la capacitat dels vehicles augmenta, disminueixen el nombre de vehicles necessaris, i s'observa com decreix la distancia total recorreguda en una jornada laboral, ja que s'estalvien molts dels viatges per tornar a carregar al magatzem. A mida que augmenta la capacitat dels vehicles, les rutes són menors, i mes netes, tenen mes recorregut per la ciutat.

Clarament, aquests resultats no són purament del servei, doncs estan comptabilitzats els costos ambientals, que resulten tenir un pes important en el cost, al ser vehicles que produeixen moltes emissions. A la taula 4.8, realitzem la mateixa comparació,

però sense comptabilitzar els costos ambientals: ni per les emissions de gasos, ni el soroll que es produeix durant la nit.

Les diferències resulten més ajustades, però es veu el cost real que té el servei sobre els productors, tot i que un estalvi directe de 12.600 euros per servei, resulta ja molt important, doncs comptabilitzant un any sencer (270 dies laborals) es produeix un estalvi mínim de 3.553.000 € i que afecta directament a l'empresa transportista.

TAULA 4.8
COSTOS DEL REPARTIMENT A SUPERMERCATS SENSE COSTOS AMBIENTALS

Escenari	Tipus camió	Temps comput. (min)	Núm. rutes	Dist. Total (km)	Vehicles per magatz. (m1;m2)	Cost al dia del servei (€)	Cost al dia total (€)	Estalvi referent al servei diürn (€)
Diürn 10 palets	Norm.	8,52	34	471,81	4;6	9.650,65	22.089,94	--
	Frigo.	16,53	57	763,82	11;9	12.439,29		
Nocturn 10 palets	Norm.	23,52	34	460,76	4;4	3.083,44	9.467,93	12.622,01
	Frigo.	43,48	58	766,12	9;7	6.384,48		
Nocturn 16 palets	Norm.	15,52	20	305,14	5;1	2.491,50	7.511,30	14.578,64
	Frigo.	27,15	40	535,40	7;5	5.019,80		
Nocturn 20 palets	Norm.	6,22	17	275,16	3;3	2.666,24	8.024,92	14.065,02
	Frigo.	13,45	36	495,62	7;5	5.358,68		
Nocturn 32 palets	Norm.	3,66	10	196,45	3;3	2.799,43	7.341,95	14.747,99
	Frigo.	5,48	21	334,38	4;6	4.542,52		

FONT: Pròpia

També es pot apreciar, com el més rendible semblaria invertir en camions de 16 palets, sempre que no es tingui en compte les emissions de gasos nocius per a la salut, on llavors els més rendibles resultarien els vehicles amb capacitat de 32 palets.

Aquest estalvi ambiental que es produeix amb els vehicles de 32 palets, al productor no li interessa, doncs són beneficis que no materialitzarà en ingressos, i en canvi hauria de realitzar una despesa més forta per la compra dels vehicles, que no pas si fa el servei amb els vehicles que posseeix o en comprant-ne del de 16 palets que són més econòmics. Aquí és on l'estat podria actuar, i facilitar subvencions a aquest productors per la compra de vehicles de més capacitat, i per així a la llarga, estalviar-se importants sumes de diners gràcies a que menys persones patirien trastorns causats per aquests gasos nocius, i per tant, menys s'hauria d'invertir en la curació d'aquests. Cal recordar que aquest estalvi és diari.

A la taula 4.8, s'avalua l'estalvi en la sanitat i en la societat, que representa per a l'Estat subvencionar i incentivar aquest model de rutes. En només un any, i amb una afectació de tan sols una cadena de supermercats, es podria arribar a un estalvi de 519.000 € en quant a costos ambientals.

TAULA 4.9
AFFECTACIÓ DELS COSTOS AMBIENTALS

Escenari	Cost per dia (€)	Cost per any (270 dies) (€)	Estalvi anual (€)
Diürn 10 palets	3.023,64	816.381,51	--
Nocturn 10 palets	2.485,39	671.056,40	145.325
Nocturn 16 palets	1.709,70	461.618,60	354.762
Nocturn 20 palets	1.574,43	425.095,03	391.286
Nocturn 32 palets	1.100,32	297.085,15	519.296

FONT: Pròpia

Si es tenen en compte els costos inicials d'inversió que representa la compra d'una flota de vehicles nous, i la maquinària elèctrica per a la descàrrega dels palets, es troba que la inversió començaria a ser rendible pràcticament a partir del primer any.

TAULA 4.10
COSTOS I AMORTITZACIÓ DE LES INVERSIONS INICIALS

Escenari	Nº camions	Cost unitat camió (€)	Nº carretons	Cost unitat carretons (€)	Inversió inicial total (€)	Estalvi anual directe (€)	Anys per amortitzar
Nocturn 10 palets	--	--	123	25.000	2.706.000	3.407.900	0,9
Nocturn 16 palets	18	75.000	123	25.000	3.696.000	3.936.200	1,2
Nocturn 20 palets	18	110.000	123	25.000	4.056.000	3.787.500	1,4
Nocturn 32 palets	16	160.000	123	25.000	4.466.000	3.981.900	1,5

FONT: Pròpia

Segons els càlculs realitzats, amb només un any i mig, ja quedaria amortitzat en cas d'invertir en realitzar l'escenari de repartiment nocturn amb 32 camions. Doncs amb unes subvencions o ajudes per part de l'Estat per incentivar aquest escenari, tothom hi sortiria guanyant.

La taula 11, conté a mode resum els costos desglossats en: inversió inicial, costos de transport, costos ambientals, costos totals, estalvi diari, i estalvi anual(270 dies).

TAULA 11
RESUM DELS COSTOS I ESTALVIS SEGONS L'ESCENARI

Escenari	Inversió inicial total (€)	Cost al dia del transport(€)	Cost ambiental per dia (€)	Cost total al dia (€)	Estalvi total al dia (€)	Estalvi total anual (€)
Diürn 10 palets	--	22.089,94	3.023,64	25.113,58	--	--
Nocturn 10 palets	2.706.000	9.467,93	2.485,39	11.953,32	13.160,26	3.553.270
Nocturn 16 palets	3.696.000	7.511,30	1.709,70	9.221,00	15.892,58	4.290.996
Nocturn 20 palets	4.056.000	8.024,92	1.574,43	9.599,35	15.514,23	4.188.842
Nocturn 32 palets	4.466.000	7.341,95	1.100,32	8.442,26	16.671,31	4.501.253

FONT: Pròpia

4.5.1 Millores alienes al transportista

S'han suposat 2 escenaris possibles de millora de model de rutes de repartiment a la nit. Amb els resultats obtinguts, es pretén incentivar les investigacions en aquest sentit, i en d'altres que es puguin anar descobrint.

El primer correspon al cas que s'evolucionin el nous vehicles capaços de transportar mercaderia frigorífica i mercaderia normal en una mateixa caixa, i d'aquesta manera aprofitar més la capacitat dels vehicles de més capacitat.

L'altre anàlisi, resulta d'intentar millorar la sincronització semafòrica nocturna, per tal de poder augmentar la velocitat promig de 43,4km/h actuals, fins a 48,4km/h, es a dir, 5km/h més de mitjana.

CAS A: TOTA LA MERCADERIA TRANSPORTADA EN UN SOL TIPUS DE VEHICLE

En aquest apartat, per a realitzar el càlcul dels costos dels vehicles, s'ha suposat un cost promig entre els vehicles frigorífics i normals, tant pel cost quilomètric com pel cost horari.

L'anàlisi s'ha realitzat només sobre els vehicles amb capacitat de 16 palès o més, ja que els vehicles de 10 palès no tenen cap marge de millora, doncs el tipus de ruta que s'obté amb aquests, és bàsicament d'anada i tornada als establiments. Hi ha poques rutes que realitzin el lliurament de productes a més d'un establiment, els camions enseguida circularan plens amb la pròpia mercaderia segregada.

Només s'analitzaran els costos de manteniment i del servei diari, no es tindran en compte les despeses inicials, doncs no es disposa de cap valoració aproximada que pot tenir un vehicle de transport amb aquestes característiques.

A la taula 4.12, es poden comprovar els resultats obtinguts en aquest cas.

TAULA 4.12
COST DIARI UTILITZANT UN SOL TIPUS DE VEHICLE PER TOT EL SERVEI

Escenari	Mode de transport	Temps comput. (min)	Distància total (km)	Nº de rutes	Nº de vehicles	Cost diari (€)
NIT	Segregat	42,67	840,55	60	12;6	9221,00
16 palets	Únic	21,82	695,35	52	11;9	9399,75
NIT	Segregat	19,67	770,77	53	10;8	9599,35
20 palets	Únic	17,12	652,84	50	10;7	8716,83
NIT	Segregat	9,14	530,82	31	7;9	8442,26
32 palets	Únic	8,55	470,83	33	5;9	7320,21

FONT: Pròpia

S'observa com, tot i ser necessari aproximadament el mateix nombre de vehicles, la menor distància recorreguda millora el servei d'entregues, ja que per un mateix viatge, s'entrega més mercaderia en un mateix viatge, de manera que cal tornar menys vegades a carregar el camió.

A més, com ja s'esperava, en el cas dels camions de 16 palets el servei no millora, sembla que de la mateixa manera que els camions de 10 palets, no tenen gaire marge de millora respecte al repartiment segregat degut a la poca capacitat. On si que s'obtenen valors més òptims és en els casos de 20 i 32 palets, amb un estalvi de 882€ i 1.122€ respectivament.

TAULA 4.13

COST ANUAL I ESTALVI UTILITZANT UN SOL TIPUS DE VEHICLE PER TOT EL SERVEI, SENSE ELS COSTOS AMBIENTALS

Escenari	Mode de transport	Cost diari (€)	Cost diari del transport (€)	Estalvi diari del transport (€)	Estalvi anual del transport (€)	Estalvi anual del transport (€)
NIT 16 palets	Segregat	9221,00	7.511,30	--	--	--
	Únic	9399,75	7.962,66			
NIT 20 palets	Segregat	9599,35	8024,92	649,43	175.345,61	3.972.900,81
	Únic	8716,83	7375,49			
NIT 32 palets	Segregat	8442,26	7341,95	996,85	269.149,22	4.251.107,09
	Únic	7320,21	6345,10			

FONT: Pròpia

Amb els resultats obtinguts a la taula 4.13, s'analitza l'estalvi directe, sense tenir en compte els costos ambientals de manera diària i anual. Cal recordar que els costos per quilòmetre i horari són hipotètics. S'aprecia com el cost ambiental representa més d'un 10% del cost total, és un valor a tenir en compte per part de les autoritats públiques a l'hora de plantejar-se les ajudes per als productors.

CAS B: AUGMENT DE LA VELOCITAT PROMIG DE CIRCULACIÓ PER LA CIUTAT

En aquets cas, es tracta d'analitzar com afectaria si s'aconseguís augmentar la velocitat promig de la ciutat durant la nit de 43,4km/h fins als 48,4km/h, per exemple milloraran la coordinació semafòrica. Per aquest anàlisi s'han considerat els casos de vehicles de 10 i 20 palets.

Per començar, els factors d'emissió es reduiran, doncs s'augmenta la velocitat de circulació a la ciutat, com es veu a la taula 4.14. A més, els vehicles realitzaran les rutes més ràpidament, de manera que podran realitzar mes rutes en el mateix periode de temps, per així finalment reduir el nombre de vehicles totals necessari per poder realitzar tot el servei.

TAULA 4.14

FACTORS D'EMISSIÓ DELS VEHICLES SEGONS VELOCITAT (gr/km)

Velocitat diürna (48,4 km/h)						Velocitat nocturna (43,4 km/h)					
CO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	PM _{2,5}	VOC	CO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	PM _{2,5}	VOC
285,46	3,21	49,53	2,34	1,59	0,70	300,93	3,36	52,22	2,56	1,68	0,77

FONT: Pròpia

Aquestes reduccions de vehicles i d'emissions contaminants, proporciona una reducció dels costos totals, tan pel productor, com per a la societat en general com es mostra a la taula 4.15.

TAULA 4.15

COST DEL SERVEI SEGONS L'ESCENARI DE VELOCITAT

Escenari	Tipus de camió	Capacitat Vehicles (palets)	Distància total (km)	Vehicles per magatz. (m1;m2)	Cost diari (€)	Cost diari sense CE (€)	Estalvi amb escenari actual (€)
Diurn V=21,3km/h	Frigo.	10	471,81	4;6	25.113,5	22.089,9	--
	Normal	10	763,82	11;9			
Nocturn V=43,4km/h	Frigo.	10	460,76	4;4	11.953,3	9.467,9	13.160,2
	Normal	10	766,12	9;7			
	Frigo.	20	275,16	3;3	9.599,4	8.024,9	15.514,1
	Normal	20	495,62	7;5			
Nocturn V=48,4km/h	Frigo.	10	460,499	5;4	11.081,8	8.718,5	14.031,7
	Normal	10	772,8949	6;7			
	Frigo.	20	260,0284	3;2	8.719,7	7.253,2	16.393,8
	Normal	20	499,6469	5;6			

FONT: Pròpia

Es pot apreciar, com l'estalvi en comparació amb la situació actual de rutes diürnes, augmenta aproximadament en 900€ diaris envers a l'escenari nocturn amb una velocitat de 43,4km/h.

Aquesta mesura de millora, resulta més factible de dur a terme, i a més curt termini, que no un desenvolupament de vehicles capaços de carregar tot tipus de mercaderia (normal i frigorífica), més que els valors que s'han utilitzat per aquest anàlisi, són tots reals, mentre que els costos per aquests tipus vehicles són hipotètics. Com a conclusió doncs, es considera recomanable provà de millorar la coordinació semafòrica, doncs no suposa cap cost extra, i si aporta molts beneficis.

4.5.2 Anàlisi de sensibilitat de la jornada laboral

En aquest anàlisi, es pretén avaluar la sensibilitat de realitzar el servei, reduint la jornada laboral progressivament, fins que sigui impossible realitzar alguna entrega degut a la llunyania del establiment. S'analitzaran els 2 casos:

Escenari 1: Repartiment nocturn amb V=43,4km/h
Camió de 20 palets de capacitat

Escenari 2: Repartiment nocturn amb V=43,4km/h
Camió de 32 palets de capacitat

Es consideraran camions capaços de transportar tot tipus de mercaderia, tant frigorífica com normal. S'ha suposat aquest cas per facilitar l'anàlisi de la disminució del temps de jornada laboral. Aquesta reducció només hauria d'afectar als vehicles necessari, de manera que s'ha suposat que la distància recorreguda serà la mateixa per cada cas de variació horària, per poder veure només l'afectació en l'augment del cost degut al increment del nombre de vehicles.

ESCENARI 1

S'ha suposat una distancia promig de 635km, segons els resultats obtinguts en l'execució del programa.

TAULA 4.16
REDUCCIÓ JORNADA LABORAL ESCENARI 1

Jornada laboral (h)	Nº de rutes totals	Vehicles per magatz. (m1;m2)	Cost per dia (€)
8	50	10;6	8.273,36
7	45	10;8	9.076,84
6	54	14;8	10.683,80
5	47	22;6	13.094,24
4	48	23;16	21.530,78
3	49	33;13	20.325,56
2	Es impossible realitzar una ruta		
1			

FONT: Pròpia

Com es pot apreciar, el número de rutes manté una regularitat tot hi haver calculat cadascun dels casos per separat, això ens dona certa fiabilitat a les solucions trobades.

Els nombre de vehicles va augmentant progressivament, fins que ha de calcular el cas de la jornada laboral de 4h, on el número de vehicles es dispara, fent a la vegada disparar-ne el cost. A partir de les 2 hores de jornada laboral, ja no hi ha resultat, doncs li es impossible carregar el camió, arribar fins al establiment, descarregar-lo i tornar al magatzem, en només 2 hores.

A la figura 4.4, s'observa millor com evoluciona el cost del servei, en funció de les hores de menys que te la jornada laboral.

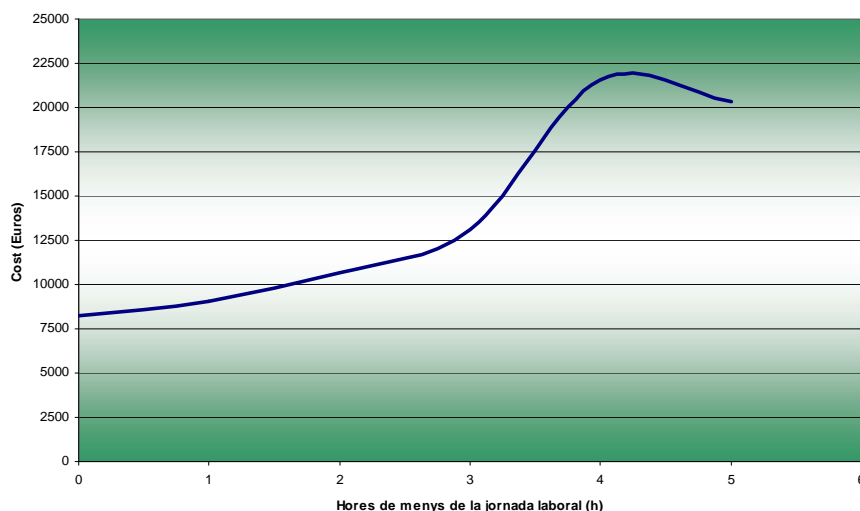


Figura 4.4: Evolució el cost del servei en funció de les hores de menys de la jornada laboral

FONT: Pròpia

Aquí s'aprecia millor el canvi de pendent que es produeix a partir de la 4^a hora de menys (si la jornada laboral durés 4 hores). Així doncs, si es volgués reduir la jornada laboral sensiblement, el cost que suposaria seria assumible fins a les 5 hores de jornada laboral. Jornades mes curtes ja suposen un cost molt gran.

ESCENARI 2

S'ha suposat una distància promig de 470km, segons els resultats obtinguts en l'execució del programa.

TAULA 4.17
REDUCCIÓ JORNADA LABORAL ESCENARI 2

Jornada laboral (h)	Nº de rutes totals	Vehicles per magatz. (m1;m2)	Cost per dia (€)
8	33	5;9	7.318,25 €
7	35	12;6	8.989,89 €
6	35	14;7	10.243,61 €
5	34	14;14	13.168,97 €
4	31	13;17	14.004,79 €
3	Es impossible realitzar una ruta		
2			
1			

FONT: Pròpia

En aquest cas, el número de rutes també segueix un ordre coherent, doncs no haurien de canviar per la variació de la jornada laboral, això ens dona una certa fiabilitat als resultats trobats.

Al ser els vehicles de més capacitat que a l'escenari 1, tenen més flexibilitat a l'hora de reduir la jornada laboral, no els hi afecta tan i no hi ha un punt on es dispari el número de vehicles necessaris. En canvi, succeeix que no torba una solució que li permeti servir a tots els establiments en menys de 3 hores, i resulta impossible realitzar el servei.

A la figura 4.5, s'observa millor com evoluciona el cost del servei, en funció de les hores de menys que te la jornada laboral. En aquest cas la corba es mes suau, sense canvis bruscos de pendent.

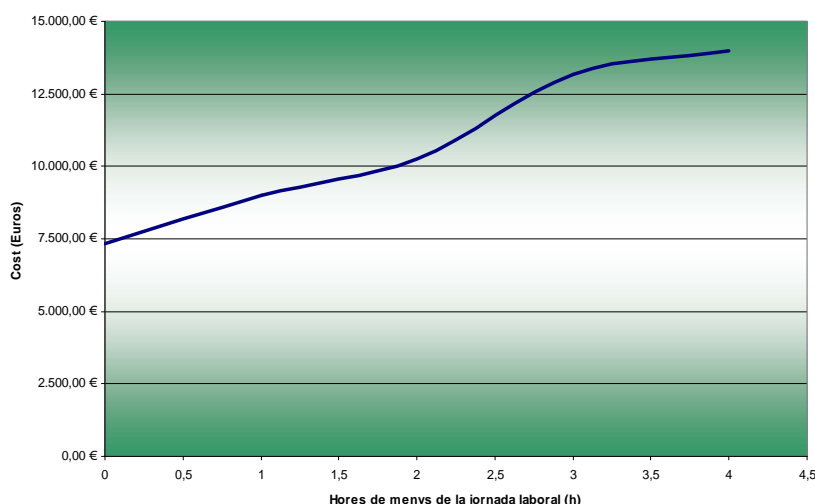


Figura 4.5: Evolució el cost del servei en funció de les hores de menys de la jornada laboral
FONT: Pròpia

Tots els gràfics trobats en l'execució del programa de tots els escenaris esmentats, es troben a l'annex núm 5.

5 CONCLUSIONS

Els problemes coneguts com VRP i les seves deduccions com els CVRP, MDVRP, VRPTW, etc, representen un procés de planificació molt present en la logística urbana contínuament, i amb cada vegada més importància i complexitat. Una bona optimització de les rutes pot significar l'acceptació d'un nou model o mesura de millora, i a la llarga el benefici per a moltes persones. En aquesta tesina s'ha realitzat i analitzat un model de distribució nocturna, amb un problema real aplicat al sector de l'alimentació com són els supermercats, i considerant-lo un model CMDVRP amb unes finestres de temps representant la jornada laboral.

A l'hora d'implementar el problema real en un programa informàtic, es va decidir que la millor opció era la utilització dels algorismes evolutius, com són els algorismes genètics (GA). Tot i que han donat molt bon resultat amb els problemes tipus CVRP, en el cas dels MDVRP els resultats obtinguts no s'han acabat d'ajustar a les solucions esperades tot i funcionar de forma coherent. Així que s'aconsella un perfeccionament dels moviments proposats en la programació del algorisme *Genetic Algorithm* (GA), de cara a intentar-ne millorar els resultats.

En la complexa relació entre transportista-receptor-ciudadà de cara a aquest model de rutes de repartiment nocturnes, es considera que s'ha trobat un cert equilibri, doncs en aquest cas el transportista i el receptor són la mateixa entitat, i per tant els costos queden internalitzats. A més, el ciudadà obtindrà importants millores en la seva condició de vida. Evitarà durant el dia trobar-se amb una gran número de vehicles de transport, facilitant així la circulació per les ja prou congestionades vies urbanes i disminuint l'estrès que això provoca. Millorarà sensiblement la qualitat del aire, i a més amb uns importants estalvis per a l'Estat, que indirectament afectaran a la població en forma d'impostos, doncs degut a la disminució de les emissions de gasos nocius a l'aire hi hauran amb menys malalties degudes a aquestes. Per contra patirà la incomoditat, en forma de soroll durant la nit, tot i que els nivells de dB que s'assoleixen compleixen la normativa vigent.

Durant l'anàlisi de resultats, s'ha trobat que el transportista obté importants beneficis directes amb l'aplicació del model de repartiment de mercaderies nocturnes, i només amb la mateixa logística utilitzada durant la jornada ordinària, s'assoleixen uns beneficis al voltant 3.407.000€ a l'any, i inclús arribar a 3.981.000€ a l'any realitzant una inversió en millorar la flota en lo que a capacitat del vehicle es refereix. Al transportista no li interessa invertir en els camions de més gran capacitat, doncs obté un relatiu benefici de fer una forta inversió en comparació amb tant sols passar de rutes diürnes a rutes nocturnes. En canvi, a l'Estat si que li interessa que el transportista utilitzi vehicles de gran capacitat(32 palets), doncs s'estalviarà importants quantitats de diners al voltant de 519.300€ a l'any, en concepte de la disminució de cassos de malalties degudes a la contaminació pels gasos nocius dels vehicles. Cal recordar que aquest estalvi de 519.300€ en la millora de qualitat de vida, ja s'assoleix amb només l'optimització del model per una sola cadena de supermercats i en una sola ciutat, pel que es considera necessari doncs, que les autoritats públiques facilitin subvencions o proporcionin beneficis fiscals als

transportistes de cara a incentivar la compra i utilització de vehicles de gran capacitat de transport com els vehicles de 32 palets de càrrega.

Per finalitzar, es recomana encaridament l'aplicació d'aquest model de rutes de repartiment durant l'horari nocturn, doncs aporta grans beneficis tant econòmics, pels transportistes i l'Estat, com de salut i benestar a la societat en general.

5.1 Futures línies d'investigació

En futures avaluacions del problema, es poden analitzar la introducció de vehicles que utilitzin combustibles ecològics, o els denominats vehicles híbrids. El plantejament d'un equip de recepció de productes, fix en cada establiment per tal de rebre el camió, descarregar-lo i reposar tots els productes, de forma que al dia següent ja estigui tot col·locat.

A l'hora de realitzar els càlculs, implementar la possibilitat de realitzar el servei amb una flota de vehicles de capacitat variable, amb la finalitat d'optimitzar el número total de vehicles. Inclús compartint la flota del vehicles de transport amb altres supermercats.

Tot i que ja s'ha comentat en aquesta tesina, es podria plantejar la reordenació dels magatzems, utilitzant noves tècniques d'aprofitament de l'espai existents, de manera que l'emmagatzemen dels palets resulti més senzilla, pràctica i eficaç.

En quant a la programació, millorar les pertorbacions realitzades en la elaboració del programa de l'algorisme GA, i tractar d'obtenir resultats més acurats. Així com millorar la simulació de velocitats, considerant el càlcul de la velocitat per la nit en cada arc.

També plantejar la possibilitat d'aplicar aquest model de rutes durant la nit, als minoristes, tot i que resulta molt més complicat a l'hora de coordinar transportista i receptor.

6 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Bodin, L., Golden, B. *Classification in vehicle routing and scheduling*. 1981.
- Cordeau, J., Desaulniers F., Desrosiers G., Solomon J., Soumis, F. *VRP with Time Windows*. In P. Toth and D. Vigo (eds.). 2002.
- Clarke G. and Wright J. Scheduling of vehicles from a central magatzem to a number of delivery points, *Operations Research*, 1964.
- Daganzo, C.F. The length of tours in zones of different shapes. *Transportation Research*. 1984.
- Dantzig, G.B., Wolfe, P. The descomposition algorithm for linera programing. *Operations Research*. 1959
- Davis, L. *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand Reinhold, New York. 1991
- Fisher, M. L., Jaikumar, R., *A generalized assignment heuristic for vehicle routing*. 1981.
- Goldberg. D. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. 1989.
- Holland, J.K, *Adaptation in natural and artificial systems*. *University of Michigan Press. Ann Arbor*. 1975.
- Holguín-Veras J, Thorson E *Origin–destination patterns of freight movements in the NYMTC region*. *New York Metropolitan Transportation Council*, 2000.
- Holguín-Veras J, Pérez N, Cruz B, Polimeni J *On the effectiveness of financial incentives to off-peak deliveries to Manhattan restaurants*. 2006a.

- Jong, K.. *An analysis of the behaviour of a class of genetic adaptive systems*. PhD thesis, University of Michigan.1975
- Laporte G., Nobert Y., Desrochers M., Optimal routing under capacity and distance restrictions,(1985) 1050–1073.
- Larson R., Odoni A., *Urban operation research*. Prentice-Hall. 1981
- Michalewicz, Z., *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 1992.
- Reeves, C. *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, Blackwell Scientific Publications. 1993
- Robusté, F. *Logística del Transporte*, Ediciones UPC, Universidad Politècnica de Catalunya. Barcelona. 2003
- Rus Mendoza, G., Campos, J., Nombela, G. “Los Costes del transporte” En *Economía del transporte*. Antoni Bosch, Editor. Barcelona, 2003.
- Savelsbergh, M.W.P. Local search for routing problems with time windowa. *Annals of Operations Research*. 1985
- Solomon, M. M., Desrosiers, J., Time window constrained routing and scheduling problems. *Transportation Science* 1988
- Toth, P., Vigo D. The Vehicle Routing Problem. *Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. 2001.
- Von Neumann, M.O. y Morgenstern, O., *The Theory of Games and Economic Behavior*, John Wiley, N.Y., 1944.

ALTRA BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Consum alimentari 2008 Espanya.

Costos del transport a Barcelona

Barcelona en xifres. Dades estadístiques cens. Ajuntament de Barcelona

Dades bàsiques 2008 v.02. Ajuntament de Barcelona

<http://www.idsia.ch> (desembre 2008)
<http://www.transp.rpi.edu> (novembre 2008)
<http://neo.lcc.uma.es> (desembre 2008)
<http://www.ine.es> (febrer 2009)
<http://www.idescat.cat> (març 2009)
<http://www.sc.ehu.es> (juliol 2009)
<http://www.mityc.es> (agost 2009)
<http://www.jungheinrich.es> (agost 2009)
<http://www.transportesquinonero.com> (agost 2009)
<http://www.eea.europa.eu> (agost 2009)
<http://www.lapurbide.com> (setembre 2009)
<http://www10.gencat.net> (setembre 2009)
<http://convenios.juridicas.com> (setembre 2009)

7. ANNEXOS

PROGRAMACIÓ DEL *GENETIC ALGORITHM* (GA)

GENERACIÓ DEL ARXIU DE DADES

```

%%% GEN DADES CAPRABO BCN %%%
%%% Codi que genera un fitxer de dades de matlab ("dades.mat") on
hi ha
%%% les dades que necessita el programa CTMD_vrp.m per executar-se

% type m n t
% type = 0 (VRP)
% 1 (PVRP)
% 2 (MDVRP)
% 3 (SDVRP)
% 4 (VRPTW)
% 5 (PVRPTW)
% 6 (MDVRPTW)
% 7 (SDVRPTW)
% % % % 8 New CTMD_vrp
% m = number of vehicles
% n = number of customers
% t = number of days (PVRP), depots (MDVRP) or vehicle types (SDVRP)

% 8 0 82 2

n=82;
t=2; dep=t;

% D Q
% where
%
% D = maximum duration of a route
% Q = maximum load of a vehicle

D=8; Q=10;
tmax=D; capac=Q;

% i x y d q f a list e l
%
% where
%
% i = customer number
% x = x coordinate
% y = y coordinate
% d = service duration
% q = demand
% % f = frequency of visit
% % a = number of possible visit combinations
% % list = list of all possible visit combinations
% e = beginning of time window (earliest time for start of
service), if any
% l = end of time window (latest time for start of service), if any

% matriu amb la informació anterior (i x y d q e l)
load coordenades.txt

```

```
xy=coordenades(1:n,2:3);
dxy=coordenades(n+1:n+dep,2:3);
tser=coordenades(1:n,4);
dem=coordenades(1:n,5);

tserb=40/60;

% matriu de costos nxn entre els clients
load matriu.txt
dmat=matriu/1000;

% matriu de costos depxn entre clients i depots
load distancies.txt
dmatb=distancies/1000;

vpse=21.3; % [km/h] car speed center of city

% matriu de temps
tmat=dmat/vpse;
tmatb=dmatb/vpse;

% altres parametres
min_tour=1;
m_niter_sm=4000; %nombre maxim d'iteracions sense millora
num_iter=20000;
pop_size=45;
show_prog=1;
show_res=1;

% Comada que guarda els les dades en un fitxer

save('dades.mat','n','xy','dmat','min_tour','pop_size','num_iter','m_niter_sm','show_prog','show_res','dxy','dep','dmatb','tser','tserb','tmat','tmatb','tmax','dem','capac')
```

EXECUCIÓ DEL ALGORISME

```

function varargout =
CTMDvrp_ga(xy,dmat,min_tour,pop_size,num_iter,mniter_sm,show_prog,sh
ow_res,dxy,dep,dmatb,tser,tserb,tmat,tmatb,tmax,dem,capac)
% Changing to MCTVRP (Multi-Depot Capacitated Timed) what was mTSP
% % 1rst STAGE: MDVRP_GA MultiDepot Vehicle Routing Problem
Genetic Algorithm (GA)
% % 2nd STAGE: TMDVRP_GA Timed MultiDepot Vehicle Routing Problem
Genetic Algorithm (GA)
% % 3rd STAGE: CTMDVRP_GA Capacitated Timed MultiDepot Vehicle
Routing Problem Genetic Algorithm (GA)
% % WAS: MTSPV_GA Variable Multiple Traveling Salesman Problem (M-
TSP) Genetic Algorithm (GA)(mtspv_ga.m)
% % Finds a (near) optimal solution to a variation of the M-TSP
(that has a
% % variable number of salesmen) by setting up a GA to search for
the
% % shortest route (least distance needed for the salesmen to
travel to
% % each city exactly once and return to their starting locations)

% 1rst STAGE: There are several depots and each Depot has unlimited
trucks to
% service the costumers (Multi-Depot)
% 2nd STAGE: There is a total travel time to give the whole service
(Timed)
% New: There is a limited capacity of the truck (Capacitated)
% % Summary: (Still true)
% % 1. Each salesman travels to a unique set of cities and
completes the
% % route by returning to the city he started from
% % 2. Each city is visited by exactly one salesman
%
% Input:
% XY (float) is an Nx2 matrix of city locations, where N is the
number of cities
% DMAT (float) is an NxN matrix of point to point distances or
costs
% MIN_TOUR (scalar integer) is the minimum tour length for any
of the salesmen
% POP_SIZE (scalar integer) is the size of the population
(should be divisible by 9)
% NUM_ITER (scalar integer) is the number of desired iterations
for the algorithm to run
% SHOW_PROG (scalar logical) shows the GA progress if true
% SHOW_RES (scalar logical) shows the GA results if true
%
% 1rst STAGE: (Multi depot)
% DXY (float) is depotx2 matrix of depot locations
% DMATB (float) (dep)x(N) matrix distances (assuming symetry)
% 2nd STAGE: (Timed)
% VSPE (scalar) is a common speed for all arcs of the graph it
could
% convert into a matrix with the speed of each arc
% TMAT (float) is an NxX matrix of point to point time
% TMATB (float) is an depxX matrix of depot to point time
(assuming symetry)

```

```

%     TMAX (scalar integer) is the maximum time to give service to
%     TSER (float) is a N vector of the time necessary to serve each
costumer
%     TSERB (scalar) is the time necessary to serve/load at depot
each truck (independent of depot)
%
% NEW:
%     Capacitated:
%     CAPAC (scalar integer) is the maximum capacity of the truck
%     DEM (float) is a N vector of the demand of each costumer (-1)
are the
%     depots
%
% Performance:
%     MNITER_SM (integer) maximum number of iterations without
improving the current
%     solution and without restarting
%     If after some iterations the algorithm has not improved the
best
%     solution found we restart searching from a random solution
%
% Output:
%     OPT_RTE (integer array) is the best route found by the
algorithm
%     OPT_BRK (integer array) is the list of route break points
(these specify the indices
%     into the route used to obtain the individual salesman
routes)
%     OPT_DEP (integer array) is the list of depots
%     MIN_DIST (scalar float) is the total distance traveled by the
trucks
%     COMPUT_TIME (scalar float) the time of computation
%
% Route/Breakpoint Details:
%     If there are 10 cities and 3 salesmen, a possible route/break
combination might be: rte = [5 6 9 1 4 2 8 10 3 7], brks = [3
7]
%     Taken together, these represent the solution [5 6 9][1 4 2
8][10 3 7],
%     which designates the routes for the 3 salesmen as follows:
%     . Salesman 1 travels from city 5 to 6 to 9 and back to 5
%     . Salesman 2 travels from city 1 to 4 to 2 to 8 and back
to 1
%     . Salesman 3 travels from city 10 to 3 to 7 and back to 10
%
%     If there are 10 costumers, 3 trucks and 2 depots (11 12)
%     a posible combination might be rte= [5 6 9 1 4 2 8 10 3 7],
brks = [3 7]
%     dep=[11 11 12]. Taken together, these represent the solution
[11 5 6
%     9] [11 1 4 2 8] [12 10 3 7].
%
% % % Example:
%     n = 20;
%     xy = 10*rand(n,2);
%     min_tour = 3;
%     pop_size = 45;
%     num_iter = 5e3;
%     show_prog=1;
%     show_res=1;

```



```

%     a = meshgrid(1:n);
%     dmat = reshape(sqrt(sum((xy(a,:)-xy(a',:)).^2,2)),n,n);
%     %mTSP
%     %[opt_rte,opt_brk,min_dist] =
mtspv_ga(xy,dmat,min_tour,pop_size,num_iter,show_prog,show_res,1);
%     dep = 2;
%     dxy=10*rand(dep,2);
%     a = meshgrid(1:n,1:dep);
%     b = meshgrid(1:dep,1:n)';
%     dmatb = reshape(sqrt(sum((xy(a,:)-dxy(b,:)).^2,2)),dep,n);
%     %MDVRP
%     [opt_rte,opt_brk,opt_dep,min_dist] =
MDvrp_ga(xy,dmat,min_tour,pop_size,num_iter,show_prog,show_res,dxy,de
p,dmatb);
%     vspe = 40;
%     tmat= dmat/vspe;
%     tmax=7;
%     tser = rand(n,1);
%     tserb = rand();
%     tmatb= dmatb/vspe;
%     %TMDVRP
%     [opt_rte,opt_brk,opt_dep,min_dist] =
TMDvrp_ga(xy,dmat,min_tour,pop_size,num_iter,mniter_sm,show_prog,sho
w_res,dxy,dep,dmatb,tser,tserb,tmat,tmatb,tmax);
%     %CTMDVRP
%     capac=10;
%     dem=10*rand(n,2);
%     Calling function with new outputs and inputs (CTMD_vrp New)
%     [opt_rte,opt_brk,opt_dep,min_dist,comput_time] =
CTMDvrp_ga(xy,dmat,min_tour,pop_size,num_iter,mniter_sm,show_prog,sh
ow_res,dxy,dep,dmatb,tser,tserb,tmat,tmatb,tmax,dem,capac)
%

% initiate clock time
tic

% Verify Inputs
N = size(xy,1);
[nr,nc] = size(dmat);
if N ~= nr || N ~= nc
    error('Invalid XY or DMAT inputs!')
end
n = N;

% Sanity Checks
min_tour = max(1,min(n,round(real(min_tour(1)))));
pop_size = max(9,9*ceil(pop_size(1)/9));
num_iter = max(1,round(real(num_iter(1)))));
show_prog = logical(show_prog(1));
show_res = logical(show_res(1));

% Initialize the Populations
pop_rte = zeros(pop_size,n);      % population of routes
pop_brk = cell(pop_size,1);      % population of breaks
pop_dep = cell(pop_size,1);      % population of depots
for k = 1:pop_size
    pop_rte(k,:) = randperm(n);
    pop_brk{k} = randbreak();
    pop_dep{k}= randdepot(length(pop_brk{k}));
    if length(pop_dep{k}) ~= (length(pop_brk{k}))+1)

```

```

        fprintf('Error1\n');
        pause;
    end
end
tmp_pop_rte = zeros(9,n);
tmp_pop_brk = cell(9,1);
tmp_pop_dep = cell(9,1);
new_pop_rte = zeros(pop_size,n);
new_pop_brk = cell(pop_size,1);
new_pop_dep = cell(pop_size,1);

% Select the Colors for the Plotted Routes
clr = hsv(floor(n/min_tour));

% Run the GA
global_min = Inf;
total_dist = zeros(1,pop_size);
total_time = cell(pop_size,1);
dist_history = zeros(1,num_iter);
if show_prog
    pfig = figure('Name','MTSPV_GA | Current Best
Solution','Numbertitle','off');
end
niter_sm=0;
local_min = Inf;
for iter = 1:num_iter %MAIN
    % Evaluate Each Population Member (Calculate Total Distance)
    % Evaluate Time Feasibility (Total Time of Operation)
    % Evaluate Capacity Feasibility (Maximum load of each truck)
    niter_sm=niter_sm+1;
    for p = 1:pop_size
        feas=true;

        %%% RESTART
        if niter_sm>mniter_sm
            niter_sm=0;
            local_min=Inf;
%             fprintf('reinici\n');
            pop_rte = zeros(pop_size,n);      % population of routes
            pop_brk = cell(pop_size,1);      % population of breaks
            pop_dep = cell(pop_size,1);      % population of depots
            for k = 1:pop_size
                pop_rte(k,:) = randperm(n);
                pop_brk{k} = randbreak();
                pop_dep{k}= randdepot(length(pop_brk{k}));
                if length(pop_dep{k}) ~= (length(pop_brk{k})+1)
                    fprintf('Error1');
                    pause;
                end
            end
            end
            tmp_pop_rte = zeros(9,n);
            tmp_pop_brk = cell(9,1);
            tmp_pop_dep = cell(9,1);
            new_pop_rte = zeros(pop_size,n);
            new_pop_brk = cell(pop_size,1);
            new_pop_dep = cell(pop_size,1);
        end
    end
end

```

```

lop=1;
while feas
    lop=lop+1;
%     fprintf('\nInici While %4.0f\n',lop);
    d = 0;

    p_rte = pop_rte(p,:);
    p_brk = pop_brk{p};
    p_dep = pop_dep{p};
    if length(p_dep) ~= (length(p_brk)+1)
        fprintf('Error2\n')
        pause;
    end
    salesmen = length(p_brk)+1;
    t = tserb*ones(1,salesmen); % initial loading/service
    time at depot
    c = capac*ones(1,salesmen); % initial load at the depot
    rng = [[1 p_brk+1];[p_brk n]]';
    for s = 1:salesmen
        d = d + dmatb(p_dep(s),p_rte(rng(s,1)));
        t(s) = t(s) +
            tmatb(p_dep(s),p_rte(rng(s,1)))+tser(p_rte(rng(s,1)));
        c(s) = c(s) - dem(p_rte(rng(s,1)));
        for k = rng(s,1):rng(s,2)-1
            d = d + dmat(p_rte(k),p_rte(k+1));
            t(s) = t(s) +
                tmat(p_rte(k),p_rte(k+1))+tser(p_rte(k+1));
            c(s) = c(s) - dem(p_rte(k+1));
        end
        d = d + dmatb(p_dep(s),p_rte(rng(s,2)));
        t(s) = t(s) + tmatb(p_dep(s),p_rte(rng(s,2)));
    end
    total_dist(p) = d;
    total_time{p} = t;
    total_capac{p} = c;
    infeast=t>tmax;
    infeasc=c<0;
    infeas=infeast+infeasc;
    if sum(infeas) % If there are infeasible routes break them
        % break routes
        if infeas(1)>=1
            if isempty(p_brk)
                new_br = min_tour+ceil((n-2*min_tour)*rand);
            else
                if (p_brk(1)-2*min_tour)<0
                    fprintf('The route is too short, we cannot
                        break it 1\n')
                    % if min_tour==1 this is impossible, check data
                    pause;
                    % new random solution
                    p_rte = randperm(n);
                    p_brk = randbreak();
                    p_dep = randdepot(length(p_brk));
                    break;
                else
                    new_br = min_tour+ceil((p_brk(1)-
                        2*min_tour)*rand);
                    %
                    fprintf('The route is not short, break 1!\n')
                end
            end
        end
    end
end

```

```

    p_brk = [new_br p_brk];
    p_dep = [p_dep(1) p_dep];
elseif length(infeas)>1 && infeas(end)>=1
    if (n-p_brk(end)-2*min_tour)<0
        fprintf('The route is too short, we cannot
            break it 3\n')
        pause;
        % new random solution
        % if min_tour==1 this is impossible, check
        data
        p_rte = randperm(n);
        p_brk = randbreak();
        p_dep = randdepot(length(p_brk));
        break;
    else
        new_br = p_brk(end)+min_tour+ceil((n-
            p_brk(end)-2*min_tour)*rand);
        p_brk = sort([p_brk new_br]);
        p_dep = [p_dep p_dep(end)];
        fprintf('The route is not short, break 3!\n')
    end
else
    for j=2:length(infeas)-1
        if infeas(j)>=1
            if (p_brk(j)-p_brk(j-1)-2*min_tour)<0
                fprintf('The route is too short, we
                    cannot break it 2\n')
                % if min_tour==1 this is impossible,
                check data
                pause;
                % new random solution
                p_rte = randperm(n);
                p_brk = randbreak();
                p_dep = randdepot(length(p_brk));
                break;
            else
                fprintf('The route is not short,
                    break 2!\n')
                new_br = p_brk(j-
                    1)+min_tour+ceil((p_brk(j)-p_brk(j-
                    1)-2*min_tour)*rand);
                p_brk = sort([p_brk new_br]);

                p_dep = [p_dep(1:j) p_dep(j)
                    p_dep(j+1:end)];
                break;
            end
        end
    end
end
    fprintf('\nHe trencat rutes %4.0f',iter);
    fprintf(' %4.0f\t',infeas);
else
    fprintf('Tinc ruta factible\n')
    feas=false;
end
% Save new routes
pop_rte(p,:) = p_rte;
pop_brk{p} = p_brk;
pop_dep{p} = p_dep;

```

```

        end
        %fprintf('Population %2.0f\n',p);
    end

    % Find the Best Route in the Population
    [min_dist,index] = min(total_dist);
    dist_history(iter) = min_dist;
    if min_dist < local_min
        local_min = min_dist;
        niter_sm=0;
    end
    if min_dist < global_min
    %       fprintf('New Best Solution!! %6.2f %4.0f
\n',global_min,iter);
        global_min = min_dist;
        opt_rte = pop_rte(index,:);
        opt_brk = pop_brk{index};
        opt_dep = pop_dep{index};
        salesmen = length(opt_brk)+1;
        rng = [[1 opt_brk+1];[opt_brk n]]';
        if show_prog
            % Plot the Best Route
            figure(pfig);
            for s = 1:salesmen
                rte = opt_rte([rng(s,1):rng(s,2)]);
                rteb = [ xy(rte(1),:); dxy(opt_dep(s),:);
xy(rte(end),,:)];
                plot(xy(rte,1),xy(rte,2),'.-','Color',clr(s,:));
                hold on;
                plot(rteb(:,1),rteb(:,2),'.-','Color',clr(s,:));

plot(dxy(opt_dep(s),1),dxy(opt_dep(s),2),'s','Color','b');
                title(sprintf(['Total Distance = %1.4f, Salesmen =
%d, ' ...
                    'Iterations = %d'],global_min,salesmen,iter));
                hold on
            end
            plot(dxy(:,1),dxy(:,2),'s','Color','b');
            hold off
        end
    end

%       % Genetic Algorithm Operators
% %       rand_grouping = randperm(pop_size);
for p = 9:9:pop_size
    rtes = pop_rte((p-8:p),:);
    brks = pop_brk((p-8:p));
    deps = pop_dep((p-8:p));
    dists = total_dist((p-8:p));
    [ignore,idx] = min(dists);
    best_of_9_rte = rtes(idx,:);
    best_of_9_brk = brks{idx};
    best_of_9_dep = deps{idx};
    rte_ins_pts = sort(ceil(n*rand(1,2)));
    I = rte_ins_pts(1);
    J = rte_ins_pts(2);
    for k = 1:9 % Generate New Solutions
        tmp_pop_rte(k,:) = best_of_9_rte;
        tmp_pop_brk{k} = best_of_9_brk;
    end
end

```

```

tmp_pop_dep{k} = best_of_9_dep;
if length(tmp_pop_dep{k}) ~= (length(tmp_pop_brk{k})+1)
    fprintf('Error3\n')
    pause;
end
switch k
    case 2 % Flip
        tmp_pop_rte(k,I:J) = fliplr(tmp_pop_rte(k,I:J));
    case 3 % Swap
        tmp_pop_rte(k,[I J]) = tmp_pop_rte(k,[J I]);
    case 4 % Slide
        tmp_pop_rte(k,I:J) = tmp_pop_rte(k,[I+1:J I]);
    case 5 % Change Breaks
        tmp_pop_brk{k} = randbreak();
        tmp_pop_dep{k} =
            randdepot(length(tmp_pop_brk{k}));
    case 6 % Flip, Change Breaks
        tmp_pop_rte(k,I:J) = fliplr(tmp_pop_rte(k,I:J));
        tmp_pop_brk{k} = randbreak();
        tmp_pop_dep{k} =
            randdepot(length(tmp_pop_brk{k}));
    case 7 % Swap, Change Breaks
        tmp_pop_rte(k,[I J]) = tmp_pop_rte(k,[J I]);
        tmp_pop_brk{k} = randbreak();
        tmp_pop_dep{k} =
            randdepot(length(tmp_pop_brk{k}));
    case 8 % Slide, Change Breaks
        tmp_pop_rte(k,I:J) = tmp_pop_rte(k,[I+1:J I]);
        tmp_pop_brk{k} = randbreak();
        tmp_pop_dep{k} =
            randdepot(length(tmp_pop_brk{k}));
    case 9 % Change Depot position (Slide whole)
        tmp_pop_rte(k,:) = tmp_pop_rte(k,[I:n 1:I-1]);
    case 10 % Change Depots %not done (k=1:9)
        tmp_pop_dep{k} =
            randdepot(length(tmp_pop_brk{k}));
    otherwise % Do Nothing
end
end
new_pop_rte(p-8:p,:) = tmp_pop_rte;
new_pop_brk(p-8:p) = tmp_pop_brk;
new_pop_dep(p-8:p) = tmp_pop_dep;
end
pop_rte = new_pop_rte;
pop_brk = new_pop_brk;
pop_dep = new_pop_dep;
pop_rte(1:9,:);
end

if show_res
    % Plots
    figure('Name','MTSPV_GA | Results','Numbertitle','off');
    subplot(2,2,1);
    plot(xy(:,1),xy(:,2),'k. ');
    hold on
    plot(dxy(:,1),dxy(:,2),'sb');
    title('City Locations');
    subplot(2,2,2);
    imagesc(dmat(opt_rte,opt_rte));
    title('Distance Matrix');
end

```

```

salesmen = length(opt_brk)+1;
subplot(2,2,3);
rng = [[1 opt_brk+1];[opt_brk n]]';
for s = 1:salesmen
    rte = opt_rte([rng(s,1):rng(s,2)]);
    rteb = [ xy(rte(1),:); dxy(opt_dep(s),:); xy(rte(end),:)]);
    plot(xy(rte,1),xy(rte,2),'.-','Color',clr(s,:));
    hold on;
    plot(rteb(:,1),rteb(:,2),'.-','Color',clr(s,:));
    plot(dxy(opt_dep(s),1),dxy(opt_dep(s),2),'s','Color','b');
    title(sprintf('Total Distance = %1.4f',global_min));
    hold on;

end
plot(dxy(:,1),dxy(:,2),'sb');
subplot(2,2,4);
plot(dist_history,'b','LineWidth',2)
title('Best Solution History');
set(gca,'XLim',[0 num_iter+1],'YLim',[0 1.1*max([1
dist_history])]);
end

comput_time=toc;
% Return Outputs
if nargout
    varargout{1} = opt_rte;
    varargout{2} = opt_brk;
    varargout{3} = opt_dep;
    varargout{4} = global_min;
    varargout{5} = comput_time;
end

% Generate Random Set of Breaks
function breaks = randbreak()
    salesmen = ceil(floor(n/min_tour)*rand);
    num_brks = salesmen - 1;
    dof = n - min_tour*salesmen;    % degrees of freedom
    addto = ones(1,dof+1);
    for kk = 2:num_brks
        addto = cumsum(addto);
    end
    cum_prob = cumsum(addto)/sum(addto);
    num_adjust = find(rand < cum_prob,1)-1;
    spaces = ceil(num_brks*rand(1,num_adjust));
    adjust = zeros(1,num_brks);
    for kk = 1:num_brks
        adjust(kk) = sum(spaces == kk);
    end
    breaks = min_tour*(1:num_brks) + cumsum(adjust);
end
% Generate Random Set of Depots
function depots = randdepot(num_brk)
    depots=ceil(random('unif',0,dep,1,num_brk+1));
end
end

```

DIBUIX DELS GRÀFICS

```

function [total_dist,total_time,total_carreg,vdep] =
CTMDvrp_feas(n,dep,dmat,min_tour,pop_size,dmatb,tser,tserb,tmat,tmat
b,tmax,dem,capac,pop_rte,pop_brk,pop_dep,comput_time)
% %Given a solution writes and computes key values and save a matlab
data file with the optimum routes
% INPUT
%
n,dep,dmat,min_tour,pop_size,dmatb,tser,tserb,tmat,tmatb,tmax,dem,ca
pac,p
% op_rte,pop_brk,pop_dep
% OUTPUT
% total_dist: total distance covered by de vehicles
% total_time: time of each route
% total_carreg: maximum load of each route
% vdep: maximum number of vehicles need per depot
% [total_dist,total_time,total_carreg,vdep] =
CTMDvrp_feas(n,dep,dmat,min_tour,pop_size,dmatb,tser,tserb,tmat,tmat
b,tmax,dem,capac,opt_rte,opt_brk,opt_dep)

d = 0;
p_rte = pop_rte;
p_brk = pop_brk;
p_dep = pop_dep;
if length(p_dep) ~= (length(p_brk)+1)
    fprintf('Error3\n')
    pause;
end
salesmen = length(p_brk)+1;
t = tserb*ones(1,salesmen); % initial loading/service time
at depot
rng = [[1 p_brk+1];[p_brk n]]';
c = capac*ones(1,salesmen); % initial load at the depot
for s = 1:salesmen
    d = d + dmatb(p_dep(s),p_rte(rng(s,1)));
    t(s) = t(s) +
tmatb(p_dep(s),p_rte(rng(s,1)))+tser(p_rte(rng(s,1)));
    c(s) = c(s) - dem(p_rte(rng(s,1)));
    for k = rng(s,1):rng(s,2)-1
        d = d + dmat(p_rte(k),p_rte(k+1));
        t(s) = t(s) +
tmat(p_rte(k),p_rte(k+1))+tser(p_rte(k+1));
        c(s) = c(s) - dem(p_rte(k+1));
    end
    d = d + dmatb(p_dep(s),p_rte(rng(s,2)));
    t(s) = t(s) + tmatb(p_dep(s),p_rte(rng(s,2)));
end
total_dist = d;
total_time = t;
total_carreg = capac-c;

% maximum number of vehicles necessaris (not optimal)
vdep=zeros(dep,1);
tdep=0;
for i=1:dep
    for j=1:size(p_brk,2)+1

```



```

        if p_dep(j)==i
            tdep=tdep+total_time(j);
            if tdep>tmax
                vdep(i)=vdep(i)+1;
                tdep=total_time(j);
                fprintf('%4.2f\t',tdep)
            end
        end
    end
end
if tdep~=0
    vdep(i)=vdep(i)+1;
    tdep=0;
end
end

fprintf('\nCost total %4.2f\n',total_dist);
fprintf('\nOrdre de visita\n');
fprintf('%4.0f\t',p_rte);
fprintf('\nRuptura de rutes\n');
fprintf('%4.0f\t',p_brk);
fprintf('\nDepots de ruta\n')
fprintf('%4.0f\t',p_dep);
fprintf('\nTemps de cada ruta\n');
fprintf('%4.2f\t',total_time);
fprintf('\nCàrrega de cada ruta \n');
fprintf('%4.2f\t',total_carreg);
fprintf('\nMax Vehicles per depot\n');
fprintf('%4.2f\t',vdep);
fprintf('\n');

save('rutes_optim.mat','p_rte','p_brk','p_dep','total_dist','total_t
ime','total_carreg','vdep','comput_time')

```


ANUNCIATS DELS PROBLEMES DE CALIBRATGE**CVRP A**ANUNCIAT

NAME : A-N32-K5

COMMENT : (AUGERAT ET AL, MIN NO OF TRUCKS: 5, OPTIMAL VALUE: 784)

TYPE : CVRP

DIMENSION : 32

EDGE_WEIGHT_TYPE : EUC_2D

CAPACITY : 100

NODE_COORD_SECTION

1 82 76

2 96 44

3 50 5

4 49 8

5 13 7

6 29 89

7 58 30

8 84 39

9 14 24

10 2 39

11 3 82

12 5 10

13 98 52

14 84 25

15 61 59

16 1 65

17 88 51

18 91 2

19 19 32

20 93 3

21 50 93

22 98 14

23 5 42

24 42 9

25 61 62

26 9 97

27 80 55

28 57 69

29 23 15

30 20 70

31 85 60

32 98 5

DEMAND_SECTION

1 0

2 19

3 21

4 6

5 19

6 7

7 12

8 16
9 6
10 16
11 8
12 14
13 21
14 16
15 3
16 22
17 18
18 19
19 1
20 24
21 8
22 12
23 4
24 8
25 24
26 24
27 2
28 20
29 15
30 2
31 14
32 9
DEPOT_SECTION
1
-1
EOF

SOLUCIÓ

Route #1: 21 31 19 17 13 7 26

Route #2: 12 1 16 30

Route #3: 27 24

Route #4: 29 18 8 9 22 15 10 25 5 20

Route #5: 14 28 11 4 23 3 2 6

cost 784

CVRP BANUNCIAT

NAME : B-N31-K5

COMMENT : (AUGERAT ET AL, MIN NO OF TRUCKS: 5, OPTIMAL VALUE: 672)

TYPE : CVRP

DIMENSION : 31

EDGE_WEIGHT_TYPE : EUC_2D

CAPACITY : 100

NODE_COORD_SECTION

1 17 76

2 24 6

3 96 29

4 14 19

5 14 32

6 0 34

7 16 22

8 20 26

9 22 28

10 17 23

11 98 30

12 30 8

13 23 27

14 19 23

15 34 7

16 31 7

17 0 37

18 19 23

19 0 36

20 26 7

21 98 32

22 5 40

23 17 26

24 21 26

25 28 8

26 1 35

27 27 28

28 99 30

29 26 28

30 17 29

31 20 26

DEMAND_SECTION

1 0

2 25

3 3

4 13

5 17

6 16

7 9

8 22

9 10
10 16
11 8
12 3
13 16
14 16
15 10
16 24
17 16
18 15
19 14
20 5
21 12
22 2
23 18
24 20
25 15
26 8
27 22
28 15
29 10
30 13
31 19
DEPOT_SECTION
1
-1
EOF

SOLUCIÓ

Route #1: 30 23 8 12 28 26
Route #2: 21 16 18 25 5 4 29
Route #3: 7 17 13 6 9 22
Route #4: 20 27 10 2
Route #5: 14 15 11 24 19 1 3
cost 672

MDVRP AANUNCIAT

2 4 50 4

0 80

0 80

0 80

0 80

1 37 52 0 7 1 4 1 2 4 8

2 49 49 0 30 1 4 1 2 4 8

3 52 64 0 16 1 4 1 2 4 8

4 20 26 0 9 1 4 1 2 4 8

5 40 30 0 21 1 4 1 2 4 8

6 21 47 0 15 1 4 1 2 4 8

7 17 63 0 19 1 4 1 2 4 8

8 31 62 0 23 1 4 1 2 4 8

9 52 33 0 11 1 4 1 2 4 8

10 51 21 0 5 1 4 1 2 4 8

11 42 41 0 19 1 4 1 2 4 8

12 31 32 0 29 1 4 1 2 4 8

13 5 25 0 23 1 4 1 2 4 8

14 12 42 0 21 1 4 1 2 4 8

15 36 16 0 10 1 4 1 2 4 8

16 52 41 0 15 1 4 1 2 4 8

17 27 23 0 3 1 4 1 2 4 8

18 17 33 0 41 1 4 1 2 4 8

19 13 13 0 9 1 4 1 2 4 8

20 57 58 0 28 1 4 1 2 4 8

21 62 42 0 8 1 4 1 2 4 8

22 42 57 0 8 1 4 1 2 4 8

23 16 57 0 16 1 4 1 2 4 8

24 8 52 0 10 1 4 1 2 4 8

25 7 38 0 28 1 4 1 2 4 8

26 27 68 0 7 1 4 1 2 4 8

27 30 48 0 15 1 4 1 2 4 8

28 43 67 0 14 1 4 1 2 4 8

29 58 48 0 6 1 4 1 2 4 8

30 58 27 0 19 1 4 1 2 4 8

31 37 69 0 11 1 4 1 2 4 8

32 38 46 0 12 1 4 1 2 4 8

33 46 10 0 23 1 4 1 2 4 8

34 61 33 0 26 1 4 1 2 4 8

35 62 63 0 17 1 4 1 2 4 8

36 63 69 0 6 1 4 1 2 4 8

37 32 22 0 9 1 4 1 2 4 8

38 45 35 0 15 1 4 1 2 4 8

39 59 15 0 14 1 4 1 2 4 8

40 5 6 0 7 1 4 1 2 4 8

41 10 17 0 27 1 4 1 2 4 8

42 21 10 0 13 1 4 1 2 4 8

43 5 64 0 11 1 4 1 2 4 8

44 30 15 0 16 1 4 1 2 4 8

45 39 10 0 10 1 4 1 2 4 8

46 32 39 0 5 1 4 1 2 4 8

47 25 32 0 25 1 4 1 2 4 8

48 25 55 0 17 1 4 1 2 4 8

49 48 28 0 18 1 4 1 2 4 8

50 56 37 0 10 1 4 1 2 4 8

51 20 20 0 0 0
52 30 40 0 0 0
53 50 30 0 0 0
54 60 50 0 0 0

SOLUCIÓ

576.87

1 1 60.06 71 0 44 45 33 15 37 17 0
1 2 66.55 79 0 42 19 40 41 13 0
1 3 47.00 78 0 25 18 4 0
2 1 53.44 73 0 6 27 1 32 11 46 0
2 2 79.47 80 0 48 8 26 31 28 22 0
2 3 81.40 77 0 23 7 43 24 14 0
2 4 23.50 54 0 12 47 0
3 1 50.41 75 0 9 34 30 39 10 0
3 2 25.22 54 0 49 5 38 0
4 1 47.67 67 0 35 36 3 20 0
4 2 42.14 69 0 21 50 16 2 29 0

MDVRP BANUNCIAT

2 5 80 2

0 60

0 60

1 -10 -100 12 1 2 1 2

2 -10 00 12 1 2 1 2

3 -10 100 12 1 2 1 2

4 0 -100 12 1 2 1 2

5 0 100 12 1 2 1 2

6 10 -100 12 1 2 1 2

7 10 00 12 1 2 1 2

8 10 100 12 1 2 1 2

9 -20 -200 8 1 2 1 2

10 -20 00 8 1 2 1 2

11 -20 200 8 1 2 1 2

12 0 -200 8 1 2 1 2

13 0 200 8 1 2 1 2

14 20 -200 8 1 2 1 2

15 20 00 8 1 2 1 2

16 20 200 8 1 2 1 2

17 -30 -300 4 1 2 1 2

18 -30 00 4 1 2 1 2

19 -30 300 4 1 2 1 2

20 0 -300 4 1 2 1 2

21 0 300 4 1 2 1 2

22 30 -300 4 1 2 1 2

23 30 00 4 1 2 1 2

24 30 300 4 1 2 1 2

25 -40 -400 2 1 2 1 2

26 -40 00 2 1 2 1 2

27 -40 400 2 1 2 1 2

28 0 -400 2 1 2 1 2

29 0 400 2 1 2 1 2

30 40 -400 2 1 2 1 2

31 40 00 2 1 2 1 2

32 40 400 2 1 2 1 2

33 -50 -500 1 1 2 1 2

34 -50 00 1 1 2 1 2

35 -50 500 1 1 2 1 2

36 0 -500 1 1 2 1 2

37 0 500 1 1 2 1 2

38 50 -500 1 1 2 1 2

39 50 00 1 1 2 1 2

40 50 500 1 1 2 1 2

41 100 -100 12 1 2 1 2

42 100 00 12 1 2 1 2

43 100 100 12 1 2 1 2

44 110 -100 12 1 2 1 2

45 110 100 12 1 2 1 2

46 120 -100 12 1 2 1 2

47 120 00 12 1 2 1 2

48 120 100 12 1 2 1 2

49 90 -200 8 1 2 1 2

50 90 00 8 1 2 1 2

51 90 200 8 1 2 1 2

52 110 -200 8 1 2 1 2
53 110 200 8 1 2 1 2
54 130 -200 8 1 2 1 2
55 130 00 8 1 2 1 2
56 130 200 8 1 2 1 2
57 80 -300 4 1 2 1 2
58 80 00 4 1 2 1 2
59 80 300 4 1 2 1 2
60 110 -300 4 1 2 1 2
61 110 300 4 1 2 1 2
62 140 -300 4 1 2 1 2
63 140 00 4 1 2 1 2
64 140 300 4 1 2 1 2
65 70 -400 2 1 2 1 2
66 70 00 2 1 2 1 2
67 70 400 2 1 2 1 2
68 110 -400 2 1 2 1 2
69 110 400 2 1 2 1 2
70 150 -400 2 1 2 1 2
71 150 00 2 1 2 1 2
72 150 400 2 1 2 1 2
73 60 -500 1 1 2 1 2
74 60 00 1 1 2 1 2
75 60 500 1 1 2 1 2
76 110 -500 1 1 2 1 2
77 110 500 1 1 2 1 2
78 160 -500 1 1 2 1 2
79 160 00 1 1 2 1 2
80 160 500 1 1 2 1 2
81 0 00 000
82 110 00 000

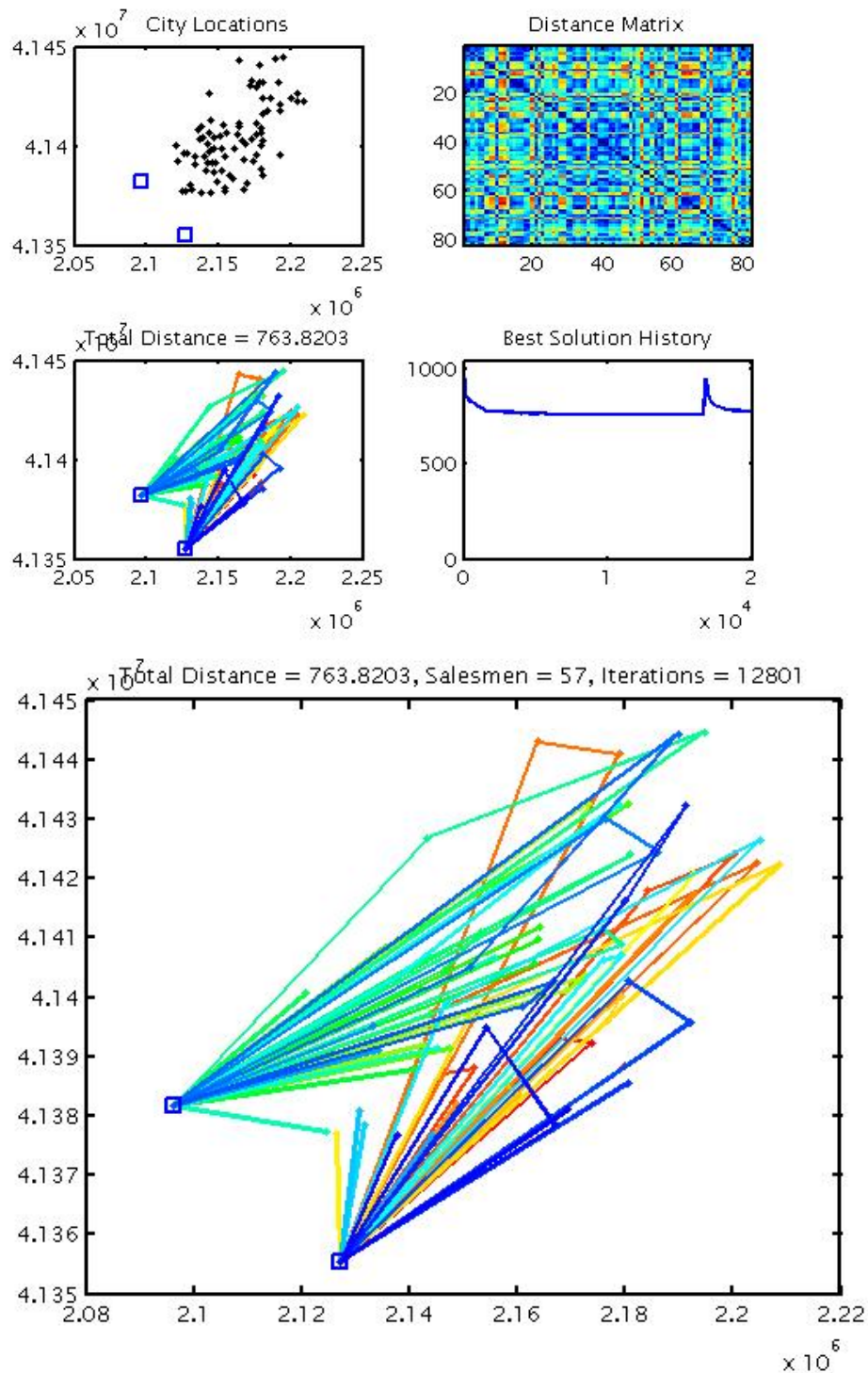
SOLUCIÓ

1318.95

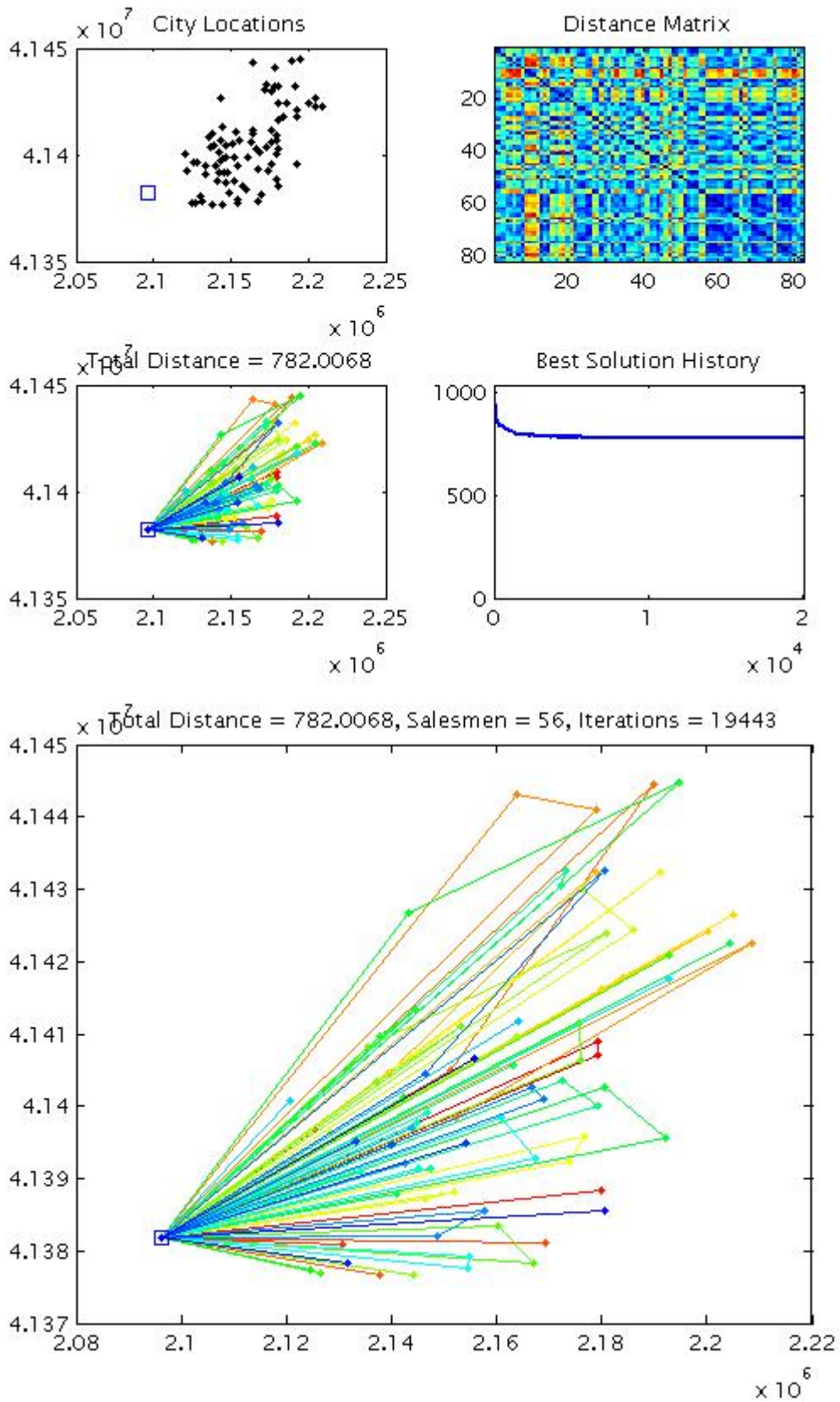
1 1 128.48 51 04 12 20 28 36 22 14 6 0
1 2 189.57 57 07 15 23 31 39 67 75 40 32 24 16 8 0
1 3 170.71 54 05 13 21 29 37 35 27 19 11 3 0
1 4 170.71 54 01 9 17 25 33 34 26 18 10 2 0
2 1 128.48 51 04 5 53 61 69 77 59 51 43 0
2 2 170.71 54 04 7 55 63 71 79 80 72 64 56 48 0
2 3 189.57 57 04 2 50 58 66 74 30 38 73 65 57 49 41 0
2 4 170.71 54 04 6 54 62 70 78 76 68 60 52 44 0

RESULTATS DE LA COMPROVACIÓ DEL CALIBRATGE DEL PROGRAMA

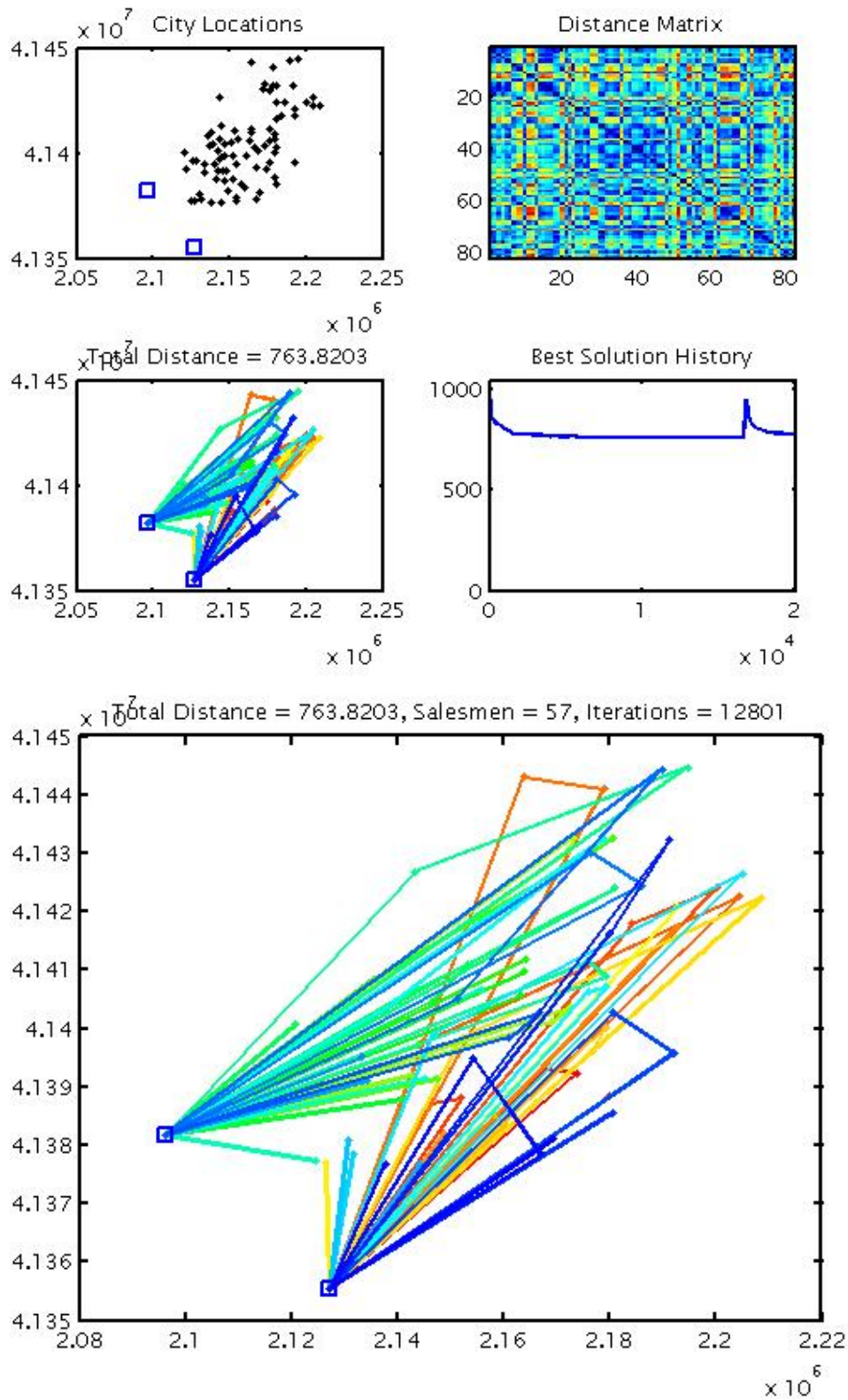
ESCENARI: MDVRP AMB VELOCITAT DIURNA



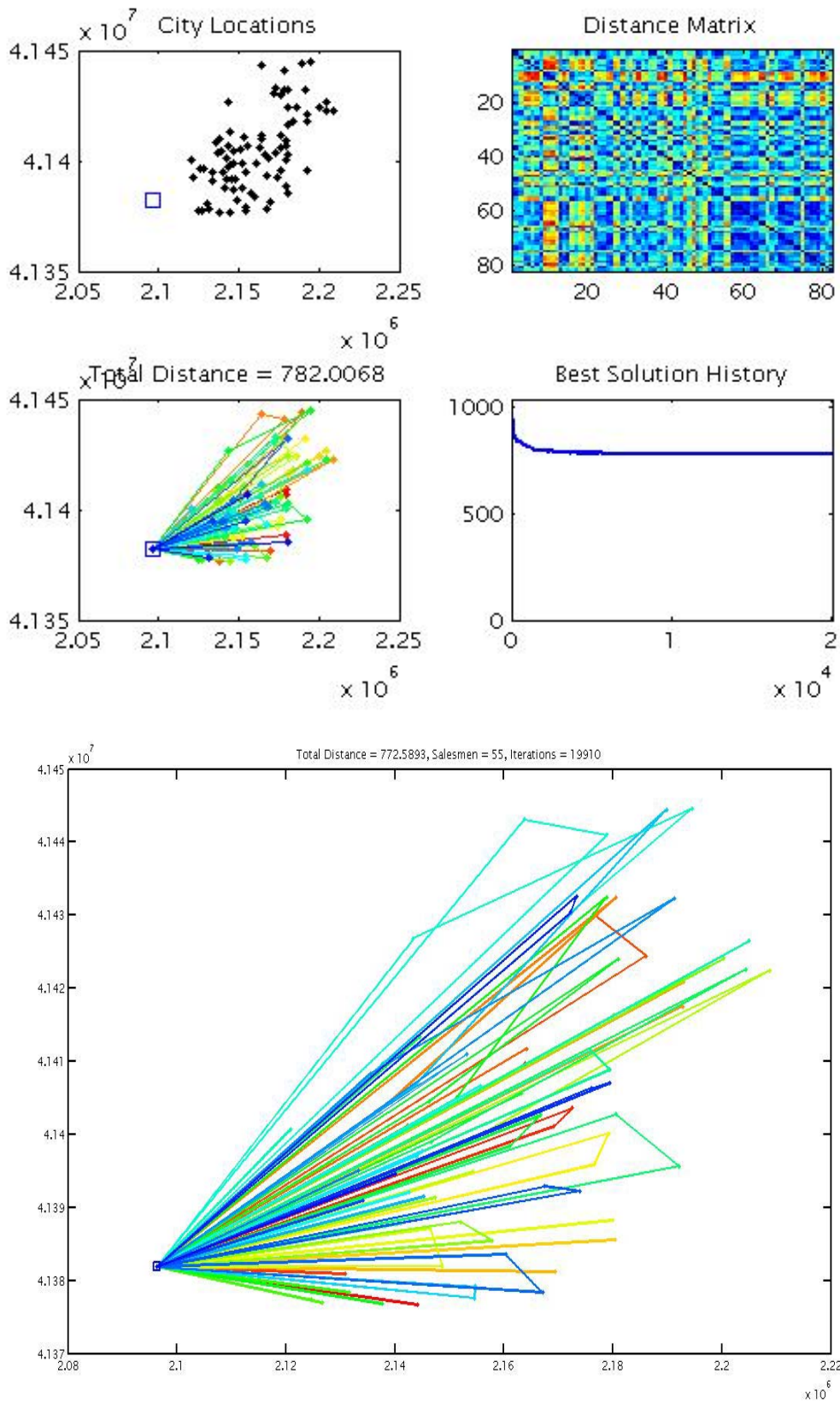
ESCENARI: CVRP AMB VELOCITAT DIURNA



ESCENARI: MDVRP AMB VELOCITAT NOCTURNA



ESCENARI: CVRP AMB VELOCITAT NOCTURNA



INPUTS UTILITZATS EN EL PROCÉS DE CàLCUL DE LA XARXA DEL CAPRABO

DEMANDES SEGONS L'ESCENARI

VEHICLES DE 10 PALETS AMB DEMANDA PRODUCTES FRIGORÍFICS

Node	Coordenades X Y	T. de servei	Demanda
1	2176468 41430116	0.416666667	5
2	2163697 41443111	0.416666667	5
3	2180491 41402740	0.416666667	5
4	2154315 41394930	0.416666667	5
5	2143327 41426802	0.166666667	2
6	2145217 41391517	0.416666667	5
7	2124639 41377338	0.5	6
8	2154579 41377562	0.416666667	5
9	2180067 41416293	0.25	3
10	2166791 41402727	0.416666667	5
11	2146311 41404531	0.25	3
12	2135489 41408355	0.25	3
13	2131646 41378413	0.666666667	8
14	2155676 41406641	0.75	9
15	2144920 41397734	0.25	3
16	2143972 41397083	0.25	3
17	2204914 41426501	0.5	6
18	2200262 41424050	0.5	6
19	2137649 41376783	0.666666667	8
20	2172237 41430450	0.416666667	5
21	2173908 41392289	0.416666667	5
22	2175902 41411435	0.416666667	5
23	2194578 41444633	0.583333333	7
24	2121699 41392457	0.25	3
25	2152069 41388037	0.416666667	5
26	2147453 41391443	0.416666667	5
27	2157768 41385485	0.416666667	5
28	2167417 41392896	0.416666667	5
29	2161048 41398416	0.416666667	5
30	2192121 41395666	0.416666667	5
31	2142291 41401250	0.25	3
32	2163933 41409673	0.75	9
33	2154674 41379229	0.416666667	5
34	2141079 41387865	0.5	6
35	2143859 41406842	0.25	3
36	2180495 41432464	0.583333333	7
37	2178837 41432452	0.583333333	7
38	2173328 41432593	0.416666667	5
39	2186127 41424420	0.416666667	5
40	2180048 41388330	0.75	9
41	2140088 41394636	0.25	3
42	2189858 41444419	0.583333333	7
43	2191343 41432351	0.583333333	7

44	2160353	41383549	0.416666667	5
45	2176645	41395934	0.416666667	5
46	2204352	41422593	0.5	6
47	2192912	41420842	0.833333333	10
48	2134101	41390965	0.5	6
49	2146668	41399053	0.25	3
50	2179357	41407100	0.416666667	5
51	2176005	41406333	0.416666667	5
52	2167124	41378396	0.416666667	5
53	2137831	41409670	0.25	3
54	2139426	41404480	0.25	3
55	2169370	41381200	0.583333333	7
56	2192769	41417499	0.833333333	10
57	2178899	41440991	0.416666667	5
58	2180445	41385558	0.5	6
59	2130812	41380916	0.5	6
60	2208712	41422438	0.5	6
61	2151301	41405032	0.25	3
62	2169063	41401082	0.416666667	5
63	2172516	41403606	0.416666667	5
64	2179366	41408857	0.416666667	5
65	2164131	41411719	0.75	9
66	2125451	41396755	0.25	3
67	2180964	41424005	0.5	6
68	2120856	41400723	0.25	3
69	2144600	41413337	0.5	6
70	2133306	41395049	0.25	3
71	2146415	41387162	0.416666667	5
72	2128408	41396412	0.25	3
73	2144094	41376647	0.666666667	8
74	2137137	41403256	0.25	3
75	2126594	41376988	0.666666667	8
76	2179291	41400124	0.416666667	5
77	2163176	41405588	0.75	9
78	2152218	41398531	0.25	3
79	2142581	41392060	0.5	6
80	2184249	41417903	0.25	3
81	2153152	41410991	0.5	6
82	2148703	41381977	0.416666667	5
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

Nodes amb més demanda que la capacitat del camió:

Node 5 → 1 camió

Node 9 → 1 camió

Node 36 → 1 camió

Node 37 → 1 camió

Node 55 → 1 camió

Node 80 → 1 camió

VEHICLES DE 10 PALETS AMB DEMANDA PRODUCTES ORDINARIS

Node	Coordenades X Y	T. de servei	Demanda
1	2176468 41430116	0.166666667	2
2	2163697 41443111	0.166666667	2
3	2180491 41402740	0.166666667	2
4	2154315 41394930	0.166666667	2
5	2143327 41426802	0.5	6
6	2145217 41391517	0.166666667	2
7	2124639 41377338	0.25	3
8	2154579 41377562	0.166666667	2
9	2180067 41416293	0.5	6
10	2166791 41402727	0.166666667	2
11	2146311 41404531	0.166666667	2
12	2135489 41408355	0.166666667	2
13	2131646 41378413	0.333333333	4
14	2155676 41406641	0.333333333	4
15	2144920 41397734	0.166666667	2
16	2143972 41397083	0.166666667	2
17	2204914 41426501	0.25	3
18	2200262 41424050	0.25	3
19	2137649 41376783	0.333333333	4
20	2172237 41430450	0.166666667	2
21	2173908 41392289	0.166666667	2
22	2175902 41411435	0.166666667	2
23	2194578 41444633	0.333333333	4
24	2121699 41392457	0.166666667	2
25	2152069 41388037	0.166666667	2
26	2147453 41391443	0.166666667	2
27	2157768 41385485	0.166666667	2
28	2167417 41392896	0.166666667	2
29	2161048 41398416	0.166666667	2
30	2192121 41395666	0.25	3
31	2142291 41401250	0.166666667	2
32	2163933 41409673	0.333333333	4
33	2154674 41379229	0.166666667	2
34	2141079 41387865	0.25	3
35	2143859 41406842	0.166666667	2
36	2180495 41432464	0.666666667	8
37	2178837 41432452	0.666666667	8
38	2173328 41432593	0.166666667	2
39	2186127 41424420	0.166666667	2
40	2180048 41388330	0.416666667	5
41	2140088 41394636	0.166666667	2
42	2189858 41444419	0.333333333	4

43	2191343	41432351	0.333333333	4
44	2160353	41383549	0.166666667	2
45	2176645	41395934	0.166666667	2
46	2204352	41422593	0.25	3
47	2192912	41420842	0.416666667	5
48	2134101	41390965	0.25	3
49	2146668	41399053	0.166666667	2
50	2179357	41407100	0.166666667	2
51	2176005	41406333	0.166666667	2
52	2167124	41378396	0.166666667	2
53	2137831	41409670	0.166666667	2
54	2139426	41404480	0.166666667	2
55	2169370	41381200	0.75	9
56	2192769	41417499	0.416666667	5
57	2178899	41440991	0.166666667	2
58	2180445	41385558	0.25	3
59	2130812	41380916	0.25	3
60	2208712	41422438	0.25	3
61	2151301	41405032	0.166666667	2
62	2169063	41401082	0.166666667	2
63	2172516	41403606	0.166666667	2
64	2179366	41408857	0.166666667	2
65	2164131	41411719	0.333333333	4
66	2125451	41396755	0.166666667	2
67	2180964	41424005	0.25	3
68	2120856	41400723	0.166666667	2
69	2144600	41413337	0.25	3
70	2133306	41395049	0.166666667	2
71	2146415	41387162	0.166666667	2
72	2128408	41396412	0.166666667	2
73	2144094	41376647	0.333333333	4
74	2137137	41403256	0.166666667	2
75	2126594	41376988	0.333333333	4
76	2179291	41400124	0.166666667	2
77	2163176	41405588	0.333333333	4
78	2152218	41398531	0.166666667	2
79	2142581	41392060	0.25	3
80	2184249	41417903	0.5	6
81	2153152	41410991	0.25	3
82	2148703	41381977	0.166666667	2
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

No hi ha cap node amb més demanda que el camió capacitat

VEHICLES DE 16 PALETS AMB DEMANDA PRODUCTES FRIGORÍFICS

Node	Coordenades X Y	T. de servei	Demanda
1	2176468 41430116	0.416666667	5
2	2163697 41443111	0.416666667	5
3	2180491 41402740	0.416666667	5
4	2154315 41394930	0.416666667	5
5	2143327 41426802	1	12
6	2145217 41391517	0.416666667	5
7	2124639 41377338	0.5	6
8	2154579 41377562	0.416666667	5
9	2180067 41416293	1.083333333	13
10	2166791 41402727	0.416666667	5
11	2146311 41404531	0.25	3
12	2135489 41408355	0.25	3
13	2131646 41378413	0.666666667	8
14	2155676 41406641	0.75	9
15	2144920 41397734	0.25	3
16	2143972 41397083	0.25	3
17	2204914 41426501	0.5	6
18	2200262 41424050	0.5	6
19	2137649 41376783	0.666666667	8
20	2172237 41430450	0.416666667	5
21	2173908 41392289	0.416666667	5
22	2175902 41411435	0.416666667	5
23	2194578 41444633	0.583333333	7
24	2121699 41392457	0.25	3
25	2152069 41388037	0.416666667	5
26	2147453 41391443	0.416666667	5
27	2157768 41385485	0.416666667	5
28	2167417 41392896	0.416666667	5
29	2161048 41398416	0.416666667	5
30	2192121 41395666	0.416666667	5
31	2142291 41401250	0.25	3
32	2163933 41409673	0.75	9
33	2154674 41379229	0.416666667	5
34	2141079 41387865	0.5	6
35	2143859 41406842	0.25	3
36	2180495 41432464	0.083333333	1
37	2178837 41432452	0.083333333	1
38	2173328 41432593	0.416666667	5
39	2186127 41424420	0.416666667	5
40	2180048 41388330	0.75	9
41	2140088 41394636	0.25	3
42	2189858 41444419	0.583333333	7
43	2191343 41432351	0.583333333	7

44	2160353	41383549	0.416666667	5
45	2176645	41395934	0.416666667	5
46	2204352	41422593	0.5	6
47	2192912	41420842	0.833333333	10
48	2134101	41390965	0.5	6
49	2146668	41399053	0.25	3
50	2179357	41407100	0.416666667	5
51	2176005	41406333	0.416666667	5
52	2167124	41378396	0.416666667	5
53	2137831	41409670	0.25	3
54	2139426	41404480	0.25	3
55	2169370	41381200	0.083333333	1
56	2192769	41417499	0.833333333	10
57	2178899	41440991	0.416666667	5
58	2180445	41385558	0.5	6
59	2130812	41380916	0.5	6
60	2208712	41422438	0.5	6
61	2151301	41405032	0.25	3
62	2169063	41401082	0.416666667	5
63	2172516	41403606	0.416666667	5
64	2179366	41408857	0.416666667	5
65	2164131	41411719	0.75	9
66	2125451	41396755	0.25	3
67	2180964	41424005	0.5	6
68	2120856	41400723	0.25	3
69	2144600	41413337	0.5	6
70	2133306	41395049	0.25	3
71	2146415	41387162	0.416666667	5
72	2128408	41396412	0.25	3
73	2144094	41376647	0.666666667	8
74	2137137	41403256	0.25	3
75	2126594	41376988	0.666666667	8
76	2179291	41400124	0.416666667	5
77	2163176	41405588	0.75	9
78	2152218	41398531	0.25	3
79	2142581	41392060	0.5	6
80	2184249	41417903	1.083333333	13
81	2153152	41410991	0.5	6
82	2148703	41381977	0.416666667	5
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

Nodes amb més demanda que la capacitat del camió:

Node 36 → 1 camió

Node 37 → 1 camió

Node 55 → 1 camió

VEHICLES DE 16 PALETS AMB DEMANDA PRODUCTES ORDINARIS

Node	Coordenades X Y	T. de servei	Demanda
1	2176468 41430116	0.166666667	2
2	2163697 41443111	0.166666667	2
3	2180491 41402740	0.166666667	2
4	2154315 41394930	0.166666667	2
5	2143327 41426802	0.5	6
6	2145217 41391517	0.166666667	2
7	2124639 41377338	0.25	3
8	2154579 41377562	0.166666667	2
9	2180067 41416293	0.5	6
10	2166791 41402727	0.166666667	2
11	2146311 41404531	0.166666667	2
12	2135489 41408355	0.166666667	2
13	2131646 41378413	0.333333333	4
14	2155676 41406641	0.333333333	4
15	2144920 41397734	0.166666667	2
16	2143972 41397083	0.166666667	2
17	2204914 41426501	0.25	3
18	2200262 41424050	0.25	3
19	2137649 41376783	0.333333333	4
20	2172237 41430450	0.166666667	2
21	2173908 41392289	0.166666667	2
22	2175902 41411435	0.166666667	2
23	2194578 41444633	0.333333333	4
24	2121699 41392457	0.166666667	2
25	2152069 41388037	0.166666667	2
26	2147453 41391443	0.166666667	2
27	2157768 41385485	0.166666667	2
28	2167417 41392896	0.166666667	2
29	2161048 41398416	0.166666667	2
30	2192121 41395666	0.25	3
31	2142291 41401250	0.166666667	2
32	2163933 41409673	0.333333333	4
33	2154674 41379229	0.166666667	2
34	2141079 41387865	0.25	3
35	2143859 41406842	0.166666667	2
36	2180495 41432464	0.666666667	8
37	2178837 41432452	0.666666667	8
38	2173328 41432593	0.166666667	2
39	2186127 41424420	0.166666667	2
40	2180048 41388330	0.416666667	5
41	2140088 41394636	0.166666667	2
42	2189858 41444419	0.333333333	4

43	2191343	41432351	0.333333333	4
44	2160353	41383549	0.166666667	2
45	2176645	41395934	0.166666667	2
46	2204352	41422593	0.25	3
47	2192912	41420842	0.416666667	5
48	2134101	41390965	0.25	3
49	2146668	41399053	0.166666667	2
50	2179357	41407100	0.166666667	2
51	2176005	41406333	0.166666667	2
52	2167124	41378396	0.166666667	2
53	2137831	41409670	0.166666667	2
54	2139426	41404480	0.166666667	2
55	2169370	41381200	0.75	9
56	2192769	41417499	0.416666667	5
57	2178899	41440991	0.166666667	2
58	2180445	41385558	0.25	3
59	2130812	41380916	0.25	3
60	2208712	41422438	0.25	3
61	2151301	41405032	0.166666667	2
62	2169063	41401082	0.166666667	2
63	2172516	41403606	0.166666667	2
64	2179366	41408857	0.166666667	2
65	2164131	41411719	0.333333333	4
66	2125451	41396755	0.166666667	2
67	2180964	41424005	0.25	3
68	2120856	41400723	0.166666667	2
69	2144600	41413337	0.25	3
70	2133306	41395049	0.166666667	2
71	2146415	41387162	0.166666667	2
72	2128408	41396412	0.166666667	2
73	2144094	41376647	0.333333333	4
74	2137137	41403256	0.166666667	2
75	2126594	41376988	0.333333333	4
76	2179291	41400124	0.166666667	2
77	2163176	41405588	0.333333333	4
78	2152218	41398531	0.166666667	2
79	2142581	41392060	0.25	3
80	2184249	41417903	0.5	6
81	2153152	41410991	0.25	3
82	2148703	41381977	0.166666667	2
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

No hi ha cap node amb més demanda que el camió capacitat

VEHICLES DE 16 PALETS AMB DEMANDA TOTAL DE PRODUCTES

Node	Coordenades X Y	T. de servei	Demanda
1	2176468 41430116	0.583333333	7
2	2163697 41443111	0.583333333	7
3	2180491 41402740	0.583333333	7
4	2154315 41394930	0.583333333	7
5	2143327 41426802	0.166666667	2
6	2145217 41391517	0.583333333	7
7	2124639 41377338	0.75	9
8	2154579 41377562	0.583333333	7
9	2180067 41416293	0.25	3
10	2166791 41402727	0.583333333	7
11	2146311 41404531	0.416666667	5
12	2135489 41408355	0.416666667	5
13	2131646 41378413	1	12
14	2155676 41406641	1.083333333	13
15	2144920 41397734	0.416666667	5
16	2143972 41397083	0.416666667	5
17	2204914 41426501	0.75	9
18	2200262 41424050	0.75	9
19	2137649 41376783	1	12
20	2172237 41430450	0.583333333	7
21	2173908 41392289	0.583333333	7
22	2175902 41411435	0.583333333	7
23	2194578 41444633	1.083333333	13
24	2121699 41392457	0.416666667	5
25	2152069 41388037	0.583333333	7
26	2147453 41391443	0.583333333	7
27	2157768 41385485	0.583333333	7
28	2167417 41392896	0.583333333	7
29	2161048 41398416	0.583333333	7
30	2192121 41395666	0.666666667	8
31	2142291 41401250	0.416666667	5
32	2163933 41409673	1.083333333	13
33	2154674 41379229	0.583333333	7
34	2141079 41387865	0.75	9
35	2143859 41406842	0.416666667	5
36	2180495 41432464	0.75	9
37	2178837 41432452	0.75	9
38	2173328 41432593	0.583333333	7
39	2186127 41424420	0.583333333	7
40	2180048 41388330	1.166666667	14
41	2140088 41394636	0.416666667	5
42	2189858 41444419	0.916666667	11
43	2191343 41432351	0.916666667	11
44	2160353 41383549	0.583333333	7
45	2176645 41395934	0.583333333	7

46	2204352	41422593	0.75	9
47	2192912	41420842	1.25	15
48	2134101	41390965	0.75	9
49	2146668	41399053	0.416666667	5
50	2179357	41407100	0.583333333	7
51	2176005	41406333	0.583333333	7
52	2167124	41378396	0.583333333	7
53	2137831	41409670	0.416666667	5
54	2139426	41404480	0.416666667	5
55	2169370	41381200	0.833333333	10
56	2192769	41417499	1.25	15
57	2178899	41440991	0.583333333	7
58	2180445	41385558	0.75	9
59	2130812	41380916	0.75	9
60	2208712	41422438	0.75	9
61	2151301	41405032	0.416666667	5
62	2169063	41401082	0.583333333	7
63	2172516	41403606	0.583333333	7
64	2179366	41408857	0.583333333	7
65	2164131	41411719	1.083333333	13
66	2125451	41396755	0.416666667	5
67	2180964	41424005	0.75	9
68	2120856	41400723	0.416666667	5
69	2144600	41413337	0.75	9
70	2133306	41395049	0.416666667	5
71	2146415	41387162	0.583333333	7
72	2128408	41396412	0.416666667	5
73	2144094	41376647	1	12
74	2137137	41403256	0.416666667	5
75	2126594	41376988	1	12
76	2179291	41400124	0.583333333	7
77	2163176	41405588	1.083333333	13
78	2152218	41398531	0.416666667	5
79	2142581	41392060	0.75	9
80	2184249	41417903	0.25	3
81	2153152	41410991	0.75	9
82	2148703	41381977	0.583333333	7
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

Nodes amb més demanda que la capacitat del camió:

Node 5 → 1 camió

Node 9 → 1 camió

Node 36 → 1 camió

Node 37 → 1 camió

Node 55 → 1 camió

Node 80 → 1 camió

VEHICLES DE 20 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES FRIGORÍFICS

Node	Coordenades X Y		T. de servei	Demanda
1	2176468	41430116	0.416666667	5
2	2163697	41443111	0.416666667	5
3	2180491	41402740	0.416666667	5
4	2154315	41394930	0.416666667	5
5	2143327	41426802	1	12
6	2145217	41391517	0.416666667	5
7	2124639	41377338	0.5	6
8	2154579	41377562	0.416666667	5
9	2180067	41416293	1.083333333	13
10	2166791	41402727	0.416666667	5
11	2146311	41404531	0.25	3
12	2135489	41408355	0.25	3
13	2131646	41378413	0.666666667	8
14	2155676	41406641	0.75	9
15	2144920	41397734	0.25	3
16	2143972	41397083	0.25	3
17	2204914	41426501	0.5	6
18	2200262	41424050	0.5	6
19	2137649	41376783	0.666666667	8
20	2172237	41430450	0.416666667	5
21	2173908	41392289	0.416666667	5
22	2175902	41411435	0.416666667	5
23	2194578	41444633	0.583333333	7
24	2121699	41392457	0.25	3
25	2152069	41388037	0.416666667	5
26	2147453	41391443	0.416666667	5
27	2157768	41385485	0.416666667	5
28	2167417	41392896	0.416666667	5
29	2161048	41398416	0.416666667	5
30	2192121	41395666	0.416666667	5
31	2142291	41401250	0.25	3
32	2163933	41409673	0.75	9
33	2154674	41379229	0.416666667	5
34	2141079	41387865	0.5	6
35	2143859	41406842	0.25	3
36	2180495	41432464	1.416666667	17
37	2178837	41432452	1.416666667	17
38	2173328	41432593	0.416666667	5
39	2186127	41424420	0.416666667	5
40	2180048	41388330	0.75	9
41	2140088	41394636	0.25	3
42	2189858	41444419	0.583333333	7

43	2191343	41432351	0.583333333	7
44	2160353	41383549	0.416666667	5
45	2176645	41395934	0.416666667	5
46	2204352	41422593	0.5	6
47	2192912	41420842	0.833333333	10
48	2134101	41390965	0.5	6
49	2146668	41399053	0.25	3
50	2179357	41407100	0.416666667	5
51	2176005	41406333	0.416666667	5
52	2167124	41378396	0.416666667	5
53	2137831	41409670	0.25	3
54	2139426	41404480	0.25	3
55	2169370	41381200	1.416666667	17
56	2192769	41417499	0.833333333	10
57	2178899	41440991	0.416666667	5
58	2180445	41385558	0.5	6
59	2130812	41380916	0.5	6
60	2208712	41422438	0.5	6
61	2151301	41405032	0.25	3
62	2169063	41401082	0.416666667	5
63	2172516	41403606	0.416666667	5
64	2179366	41408857	0.416666667	5
65	2164131	41411719	0.75	9
66	2125451	41396755	0.25	3
67	2180964	41424005	0.5	6
68	2120856	41400723	0.25	3
69	2144600	41413337	0.5	6
70	2133306	41395049	0.25	3
71	2146415	41387162	0.416666667	5
72	2128408	41396412	0.25	3
73	2144094	41376647	0.666666667	8
74	2137137	41403256	0.25	3
75	2126594	41376988	0.666666667	8
76	2179291	41400124	0.416666667	5
77	2163176	41405588	0.75	9
78	2152218	41398531	0.25	3
79	2142581	41392060	0.5	6
80	2184249	41417903	1.083333333	13
81	2153152	41410991	0.5	6
82	2148703	41381977	0.416666667	5
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

No hi ha cap node amb més demanda que el camió capacitat

VEHICLES DE 20 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES ORDINARIS

Node	Coordenades X Y	T. de servei	Demanda
1	2176468 41430116	0.166666667	2
2	2163697 41443111	0.166666667	2
3	2180491 41402740	0.166666667	2
4	2154315 41394930	0.166666667	2
5	2143327 41426802	0.5	6
6	2145217 41391517	0.166666667	2
7	2124639 41377338	0.25	3
8	2154579 41377562	0.166666667	2
9	2180067 41416293	0.5	6
10	2166791 41402727	0.166666667	2
11	2146311 41404531	0.166666667	2
12	2135489 41408355	0.166666667	2
13	2131646 41378413	0.333333333	4
14	2155676 41406641	0.333333333	4
15	2144920 41397734	0.166666667	2
16	2143972 41397083	0.166666667	2
17	2204914 41426501	0.25	3
18	2200262 41424050	0.25	3
19	2137649 41376783	0.333333333	4
20	2172237 41430450	0.166666667	2
21	2173908 41392289	0.166666667	2
22	2175902 41411435	0.166666667	2
23	2194578 41444633	0.333333333	4
24	2121699 41392457	0.166666667	2
25	2152069 41388037	0.166666667	2
26	2147453 41391443	0.166666667	2
27	2157768 41385485	0.166666667	2
28	2167417 41392896	0.166666667	2
29	2161048 41398416	0.166666667	2
30	2192121 41395666	0.25	3
31	2142291 41401250	0.166666667	2
32	2163933 41409673	0.333333333	4
33	2154674 41379229	0.166666667	2
34	2141079 41387865	0.25	3
35	2143859 41406842	0.166666667	2
36	2180495 41432464	0.666666667	8
37	2178837 41432452	0.666666667	8
38	2173328 41432593	0.166666667	2
39	2186127 41424420	0.166666667	2
40	2180048 41388330	0.416666667	5
41	2140088 41394636	0.166666667	2
42	2189858 41444419	0.333333333	4

43	2191343	41432351	0.333333333	4
44	2160353	41383549	0.166666667	2
45	2176645	41395934	0.166666667	2
46	2204352	41422593	0.25	3
47	2192912	41420842	0.416666667	5
48	2134101	41390965	0.25	3
49	2146668	41399053	0.166666667	2
50	2179357	41407100	0.166666667	2
51	2176005	41406333	0.166666667	2
52	2167124	41378396	0.166666667	2
53	2137831	41409670	0.166666667	2
54	2139426	41404480	0.166666667	2
55	2169370	41381200	0.75	9
56	2192769	41417499	0.416666667	5
57	2178899	41440991	0.166666667	2
58	2180445	41385558	0.25	3
59	2130812	41380916	0.25	3
60	2208712	41422438	0.25	3
61	2151301	41405032	0.166666667	2
62	2169063	41401082	0.166666667	2
63	2172516	41403606	0.166666667	2
64	2179366	41408857	0.166666667	2
65	2164131	41411719	0.333333333	4
66	2125451	41396755	0.166666667	2
67	2180964	41424005	0.25	3
68	2120856	41400723	0.166666667	2
69	2144600	41413337	0.25	3
70	2133306	41395049	0.166666667	2
71	2146415	41387162	0.166666667	2
72	2128408	41396412	0.166666667	2
73	2144094	41376647	0.333333333	4
74	2137137	41403256	0.166666667	2
75	2126594	41376988	0.333333333	4
76	2179291	41400124	0.166666667	2
77	2163176	41405588	0.333333333	4
78	2152218	41398531	0.166666667	2
79	2142581	41392060	0.25	3
80	2184249	41417903	0.5	6
81	2153152	41410991	0.25	3
82	2148703	41381977	0.166666667	2
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

No hi ha cap node amb més demanda que el camió capacitat

VEHICLES DE 20 PALETS AMB DEMANDA TOTAL DE PRODUCTES

Node	Coordenades X Y	T. de servei	Demanda
1	2176468 41430116	0.583333333	7
2	2163697 41443111	0.583333333	7
3	2180491 41402740	0.583333333	7
4	2154315 41394930	0.583333333	7
5	2143327 41426802	1.5	18
6	2145217 41391517	0.583333333	7
7	2124639 41377338	0.75	9
8	2154579 41377562	0.583333333	7
9	2180067 41416293	1.583333333	19
10	2166791 41402727	0.583333333	7
11	2146311 41404531	0.416666667	5
12	2135489 41408355	0.416666667	5
13	2131646 41378413	1	12
14	2155676 41406641	1.083333333	13
15	2144920 41397734	0.416666667	5
16	2143972 41397083	0.416666667	5
17	2204914 41426501	0.75	9
18	2200262 41424050	0.75	9
19	2137649 41376783	1	12
20	2172237 41430450	0.583333333	7
21	2173908 41392289	0.583333333	7
22	2175902 41411435	0.583333333	7
23	2194578 41444633	1.083333333	13
24	2121699 41392457	0.416666667	5
25	2152069 41388037	0.583333333	7
26	2147453 41391443	0.583333333	7
27	2157768 41385485	0.583333333	7
28	2167417 41392896	0.583333333	7
29	2161048 41398416	0.583333333	7
30	2192121 41395666	0.666666667	8
31	2142291 41401250	0.416666667	5
32	2163933 41409673	1.083333333	13
33	2154674 41379229	0.583333333	7
34	2141079 41387865	0.75	9
35	2143859 41406842	0.416666667	5
36	2180495 41432464	0.416666667	5
37	2178837 41432452	0.416666667	5
38	2173328 41432593	0.583333333	7
39	2186127 41424420	0.583333333	7
40	2180048 41388330	1.166666667	14
41	2140088 41394636	0.416666667	5
42	2189858 41444419	0.916666667	11
43	2191343 41432351	0.916666667	11

44	2160353	41383549	0.583333333	7
45	2176645	41395934	0.583333333	7
46	2204352	41422593	0.75	9
47	2192912	41420842	1.25	15
48	2134101	41390965	0.75	9
49	2146668	41399053	0.416666667	5
50	2179357	41407100	0.583333333	7
51	2176005	41406333	0.583333333	7
52	2167124	41378396	0.583333333	7
53	2137831	41409670	0.416666667	5
54	2139426	41404480	0.416666667	5
55	2169370	41381200	0.5	6
56	2192769	41417499	1.25	15
57	2178899	41440991	0.583333333	7
58	2180445	41385558	0.75	9
59	2130812	41380916	0.75	9
60	2208712	41422438	0.75	9
61	2151301	41405032	0.416666667	5
62	2169063	41401082	0.583333333	7
63	2172516	41403606	0.583333333	7
64	2179366	41408857	0.583333333	7
65	2164131	41411719	1.083333333	13
66	2125451	41396755	0.416666667	5
67	2180964	41424005	0.75	9
68	2120856	41400723	0.416666667	5
69	2144600	41413337	0.75	9
70	2133306	41395049	0.416666667	5
71	2146415	41387162	0.583333333	7
72	2128408	41396412	0.416666667	5
73	2144094	41376647	1	12
74	2137137	41403256	0.416666667	5
75	2126594	41376988	1	12
76	2179291	41400124	0.583333333	7
77	2163176	41405588	1.083333333	13
78	2152218	41398531	0.416666667	5
79	2142581	41392060	0.75	9
80	2184249	41417903	1.583333333	19
81	2153152	41410991	0.75	9
82	2148703	41381977	0.583333333	7
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

Nodes amb més demanda que la capacitat del camió:

Node 36 → 1 camió

Node 37 → 1 camió

Node 55 → 1 camió

VEHICLES DE 32 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES FRIGORÍFICS

Node	Coordenades X Y		T. de servei	Demanda
1	2176468	41430116	0.416666667	5
2	2163697	41443111	0.416666667	5
3	2180491	41402740	0.416666667	5
4	2154315	41394930	0.416666667	5
5	2143327	41426802	1	12
6	2145217	41391517	0.416666667	5
7	2124639	41377338	0.5	6
8	2154579	41377562	0.416666667	5
9	2180067	41416293	1.083333333	13
10	2166791	41402727	0.416666667	5
11	2146311	41404531	0.25	3
12	2135489	41408355	0.25	3
13	2131646	41378413	0.666666667	8
14	2155676	41406641	0.75	9
15	2144920	41397734	0.25	3
16	2143972	41397083	0.25	3
17	2204914	41426501	0.5	6
18	2200262	41424050	0.5	6
19	2137649	41376783	0.666666667	8
20	2172237	41430450	0.416666667	5
21	2173908	41392289	0.416666667	5
22	2175902	41411435	0.416666667	5
23	2194578	41444633	0.583333333	7
24	2121699	41392457	0.25	3
25	2152069	41388037	0.416666667	5
26	2147453	41391443	0.416666667	5
27	2157768	41385485	0.416666667	5
28	2167417	41392896	0.416666667	5
29	2161048	41398416	0.416666667	5
30	2192121	41395666	0.416666667	5
31	2142291	41401250	0.25	3
32	2163933	41409673	0.75	9
33	2154674	41379229	0.416666667	5
34	2141079	41387865	0.5	6
35	2143859	41406842	0.25	3
36	2180495	41432464	1.416666667	17
37	2178837	41432452	1.416666667	17
38	2173328	41432593	0.416666667	5
39	2186127	41424420	0.416666667	5
40	2180048	41388330	0.75	9
41	2140088	41394636	0.25	3
42	2189858	41444419	0.583333333	7

ANNEX 4

43	2191343	41432351	0.583333333	7
44	2160353	41383549	0.416666667	5
45	2176645	41395934	0.416666667	5
46	2204352	41422593	0.5	6
47	2192912	41420842	0.833333333	10
48	2134101	41390965	0.5	6
49	2146668	41399053	0.25	3
50	2179357	41407100	0.416666667	5
51	2176005	41406333	0.416666667	5
52	2167124	41378396	0.416666667	5
53	2137831	41409670	0.25	3
54	2139426	41404480	0.25	3
55	2169370	41381200	1.416666667	17
56	2192769	41417499	0.833333333	10
57	2178899	41440991	0.416666667	5
58	2180445	41385558	0.5	6
59	2130812	41380916	0.5	6
60	2208712	41422438	0.5	6
61	2151301	41405032	0.25	3
62	2169063	41401082	0.416666667	5
63	2172516	41403606	0.416666667	5
64	2179366	41408857	0.416666667	5
65	2164131	41411719	0.75	9
66	2125451	41396755	0.25	3
67	2180964	41424005	0.5	6
68	2120856	41400723	0.25	3
69	2144600	41413337	0.5	6
70	2133306	41395049	0.25	3
71	2146415	41387162	0.416666667	5
72	2128408	41396412	0.25	3
73	2144094	41376647	0.666666667	8
74	2137137	41403256	0.25	3
75	2126594	41376988	0.666666667	8
76	2179291	41400124	0.416666667	5
77	2163176	41405588	0.75	9
78	2152218	41398531	0.25	3
79	2142581	41392060	0.5	6
80	2184249	41417903	1.083333333	13
81	2153152	41410991	0.5	6
82	2148703	41381977	0.416666667	5
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

No hi ha cap node amb més demanda que el camió capacitat

VEHICLES DE 32 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES ORDINARIS

Node	Coordenades X Y		T. de servei	Demanda
1	2176468	41430116	0.166666667	2
2	2163697	41443111	0.166666667	2
3	2180491	41402740	0.166666667	2
4	2154315	41394930	0.166666667	2
5	2143327	41426802	0.5	6
6	2145217	41391517	0.166666667	2
7	2124639	41377338	0.25	3
8	2154579	41377562	0.166666667	2
9	2180067	41416293	0.5	6
10	2166791	41402727	0.166666667	2
11	2146311	41404531	0.166666667	2
12	2135489	41408355	0.166666667	2
13	2131646	41378413	0.333333333	4
14	2155676	41406641	0.333333333	4
15	2144920	41397734	0.166666667	2
16	2143972	41397083	0.166666667	2
17	2204914	41426501	0.25	3
18	2200262	41424050	0.25	3
19	2137649	41376783	0.333333333	4
20	2172237	41430450	0.166666667	2
21	2173908	41392289	0.166666667	2
22	2175902	41411435	0.166666667	2
23	2194578	41444633	0.333333333	4
24	2121699	41392457	0.166666667	2
25	2152069	41388037	0.166666667	2
26	2147453	41391443	0.166666667	2
27	2157768	41385485	0.166666667	2
28	2167417	41392896	0.166666667	2
29	2161048	41398416	0.166666667	2
30	2192121	41395666	0.25	3
31	2142291	41401250	0.166666667	2
32	2163933	41409673	0.333333333	4
33	2154674	41379229	0.166666667	2
34	2141079	41387865	0.25	3
35	2143859	41406842	0.166666667	2
36	2180495	41432464	0.666666667	8
37	2178837	41432452	0.666666667	8
38	2173328	41432593	0.166666667	2
39	2186127	41424420	0.166666667	2
40	2180048	41388330	0.416666667	5
41	2140088	41394636	0.166666667	2

ANNEX 4

42	2189858	41444419	0.333333333	4
43	2191343	41432351	0.333333333	4
44	2160353	41383549	0.166666667	2
45	2176645	41395934	0.166666667	2
46	2204352	41422593	0.25	3
47	2192912	41420842	0.416666667	5
48	2134101	41390965	0.25	3
49	2146668	41399053	0.166666667	2
50	2179357	41407100	0.166666667	2
51	2176005	41406333	0.166666667	2
52	2167124	41378396	0.166666667	2
53	2137831	41409670	0.166666667	2
54	2139426	41404480	0.166666667	2
55	2169370	41381200	0.75	9
56	2192769	41417499	0.416666667	5
57	2178899	41440991	0.166666667	2
58	2180445	41385558	0.25	3
59	2130812	41380916	0.25	3
60	2208712	41422438	0.25	3
61	2151301	41405032	0.166666667	2
62	2169063	41401082	0.166666667	2
63	2172516	41403606	0.166666667	2
64	2179366	41408857	0.166666667	2
65	2164131	41411719	0.333333333	4
66	2125451	41396755	0.166666667	2
67	2180964	41424005	0.25	3
68	2120856	41400723	0.166666667	2
69	2144600	41413337	0.25	3
70	2133306	41395049	0.166666667	2
71	2146415	41387162	0.166666667	2
72	2128408	41396412	0.166666667	2
73	2144094	41376647	0.333333333	4
74	2137137	41403256	0.166666667	2
75	2126594	41376988	0.333333333	4
76	2179291	41400124	0.166666667	2
77	2163176	41405588	0.333333333	4
78	2152218	41398531	0.166666667	2
79	2142581	41392060	0.25	3
80	2184249	41417903	0.5	6
81	2153152	41410991	0.25	3
82	2148703	41381977	0.166666667	2
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

No hi ha cap node amb més demanda que el camió capacitat

VEHICLES DE 32 PALETS AMB DEMANDA TOTAL DE PRODUCTES

Node	Coordenades X Y		T. de servei	Demanda
1	2176468	41430116	0.583333333	7
2	2163697	41443111	0.583333333	7
3	2180491	41402740	0.583333333	7
4	2154315	41394930	0.583333333	7
5	2143327	41426802	1.5	18
6	2145217	41391517	0.583333333	7
7	2124639	41377338	0.75	9
8	2154579	41377562	0.583333333	7
9	2180067	41416293	1.583333333	19
10	2166791	41402727	0.583333333	7
11	2146311	41404531	0.416666667	5
12	2135489	41408355	0.416666667	5
13	2131646	41378413	1	12
14	2155676	41406641	1.083333333	13
15	2144920	41397734	0.416666667	5
16	2143972	41397083	0.416666667	5
17	2204914	41426501	0.75	9
18	2200262	41424050	0.75	9
19	2137649	41376783	1	12
20	2172237	41430450	0.583333333	7
21	2173908	41392289	0.583333333	7
22	2175902	41411435	0.583333333	7
23	2194578	41444633	1.083333333	13
24	2121699	41392457	0.416666667	5
25	2152069	41388037	0.583333333	7
26	2147453	41391443	0.583333333	7
27	2157768	41385485	0.583333333	7
28	2167417	41392896	0.583333333	7
29	2161048	41398416	0.583333333	7
30	2192121	41395666	0.666666667	8
31	2142291	41401250	0.416666667	5
32	2163933	41409673	1.083333333	13
33	2154674	41379229	0.583333333	7
34	2141079	41387865	0.75	9
35	2143859	41406842	0.416666667	5
36	2180495	41432464	2.083333333	25
37	2178837	41432452	2.083333333	25
38	2173328	41432593	0.583333333	7
39	2186127	41424420	0.583333333	7
40	2180048	41388330	1.166666667	14
41	2140088	41394636	0.416666667	5

ANNEX 4

42	2189858	41444419	0.916666667	11
43	2191343	41432351	0.916666667	11
44	2160353	41383549	0.583333333	7
45	2176645	41395934	0.583333333	7
46	2204352	41422593	0.75	9
47	2192912	41420842	1.25	15
48	2134101	41390965	0.75	9
49	2146668	41399053	0.416666667	5
50	2179357	41407100	0.583333333	7
51	2176005	41406333	0.583333333	7
52	2167124	41378396	0.583333333	7
53	2137831	41409670	0.416666667	5
54	2139426	41404480	0.416666667	5
55	2169370	41381200	2.166666667	26
56	2192769	41417499	1.25	15
57	2178899	41440991	0.583333333	7
58	2180445	41385558	0.75	9
59	2130812	41380916	0.75	9
60	2208712	41422438	0.75	9
61	2151301	41405032	0.416666667	5
62	2169063	41401082	0.583333333	7
63	2172516	41403606	0.583333333	7
64	2179366	41408857	0.583333333	7
65	2164131	41411719	1.083333333	13
66	2125451	41396755	0.416666667	5
67	2180964	41424005	0.75	9
68	2120856	41400723	0.416666667	5
69	2144600	41413337	0.75	9
70	2133306	41395049	0.416666667	5
71	2146415	41387162	0.583333333	7
72	2128408	41396412	0.416666667	5
73	2144094	41376647	1	12
74	2137137	41403256	0.416666667	5
75	2126594	41376988	1	12
76	2179291	41400124	0.583333333	7
77	2163176	41405588	1.083333333	13
78	2152218	41398531	0.416666667	5
79	2142581	41392060	0.75	9
80	2184249	41417903	1.583333333	19
81	2153152	41410991	0.75	9
82	2148703	41381977	0.583333333	7
83	2096244	41381856	0	0
84	2127297	41355534	0	0

No hi ha cap node amb més demanda que el camió capacitat

MATRIU O/D ENTRETOTS ELS NODES (82x82)

I

MATRIU O/D ENTRE ELS MAGATZEMS/NODES (2x82)

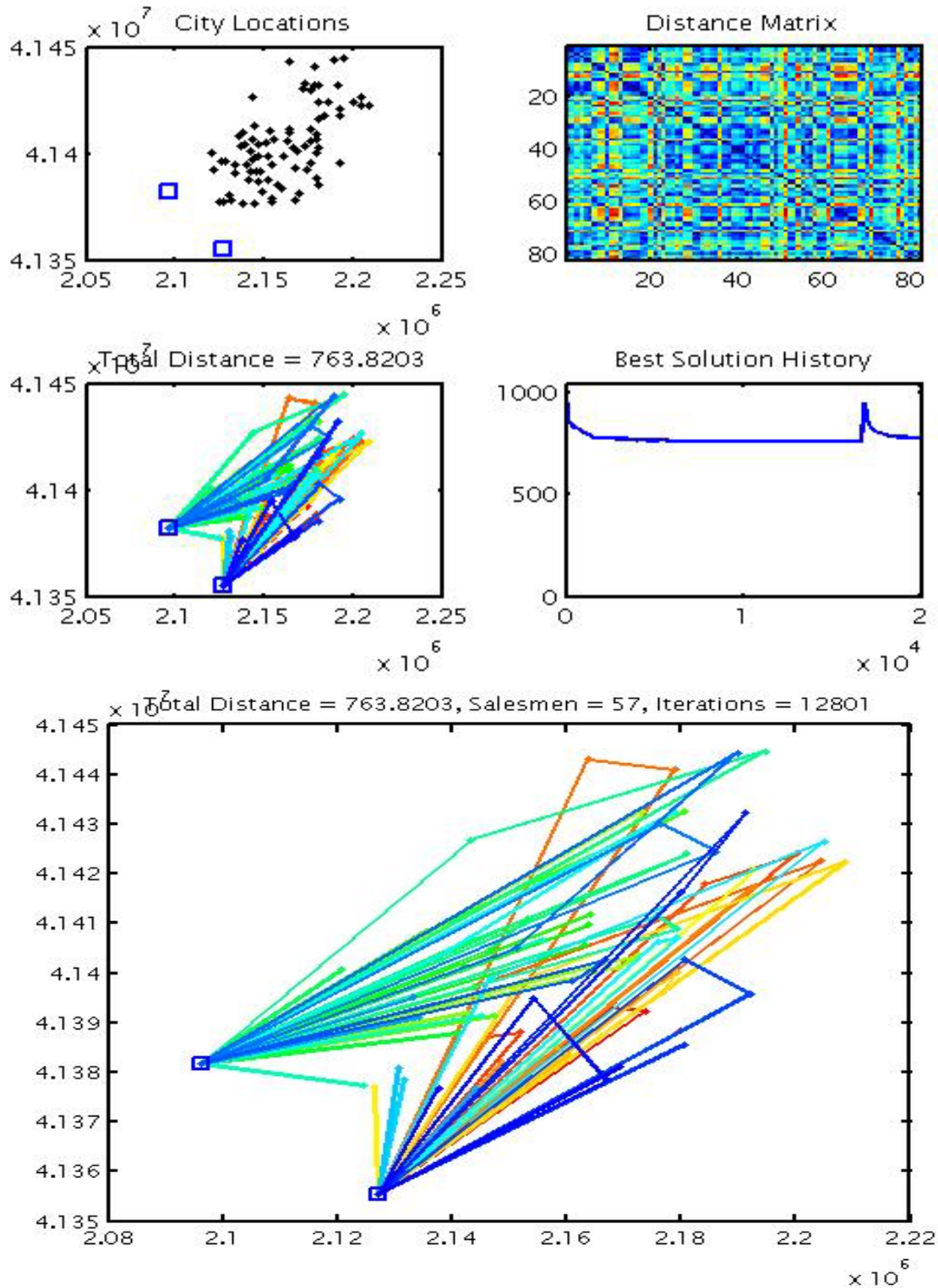
Mar 16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82

Mar 16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82

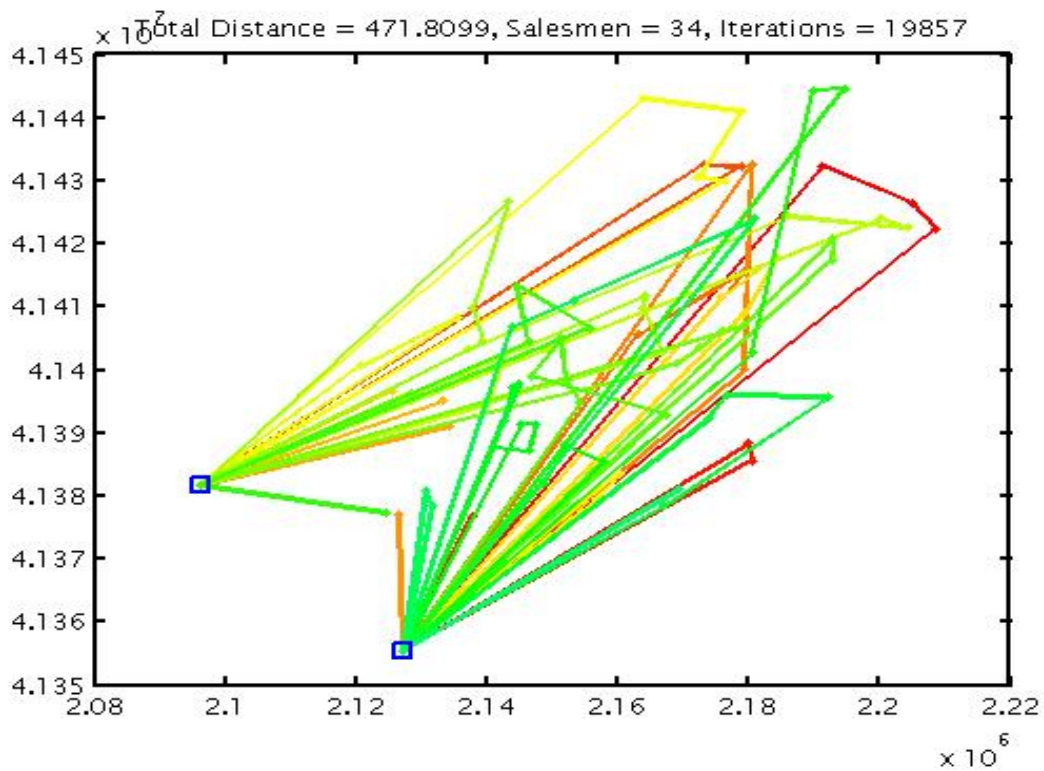
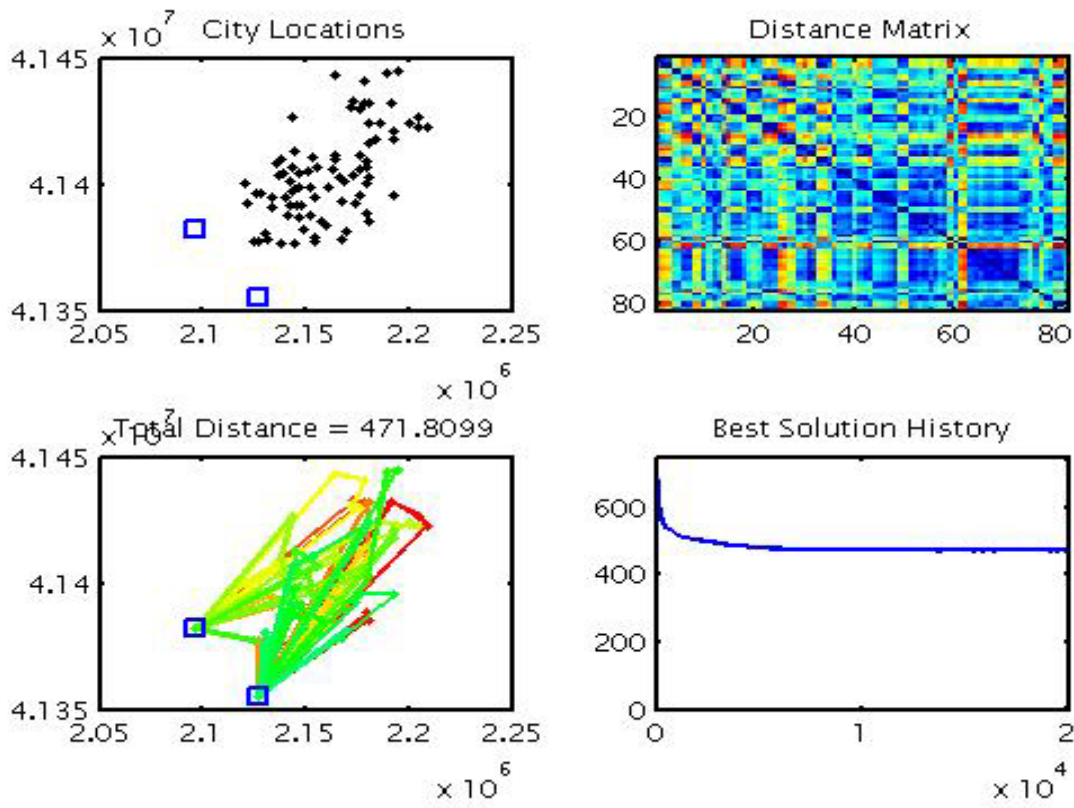
RESULTATS OBTINGUTS DEL CÀLCUL DE RUTES I VEHICLES, A LA XARXA DE CAPRABO A BARCELONA

SOLUCIONS SEGONS L'ESCENARI:

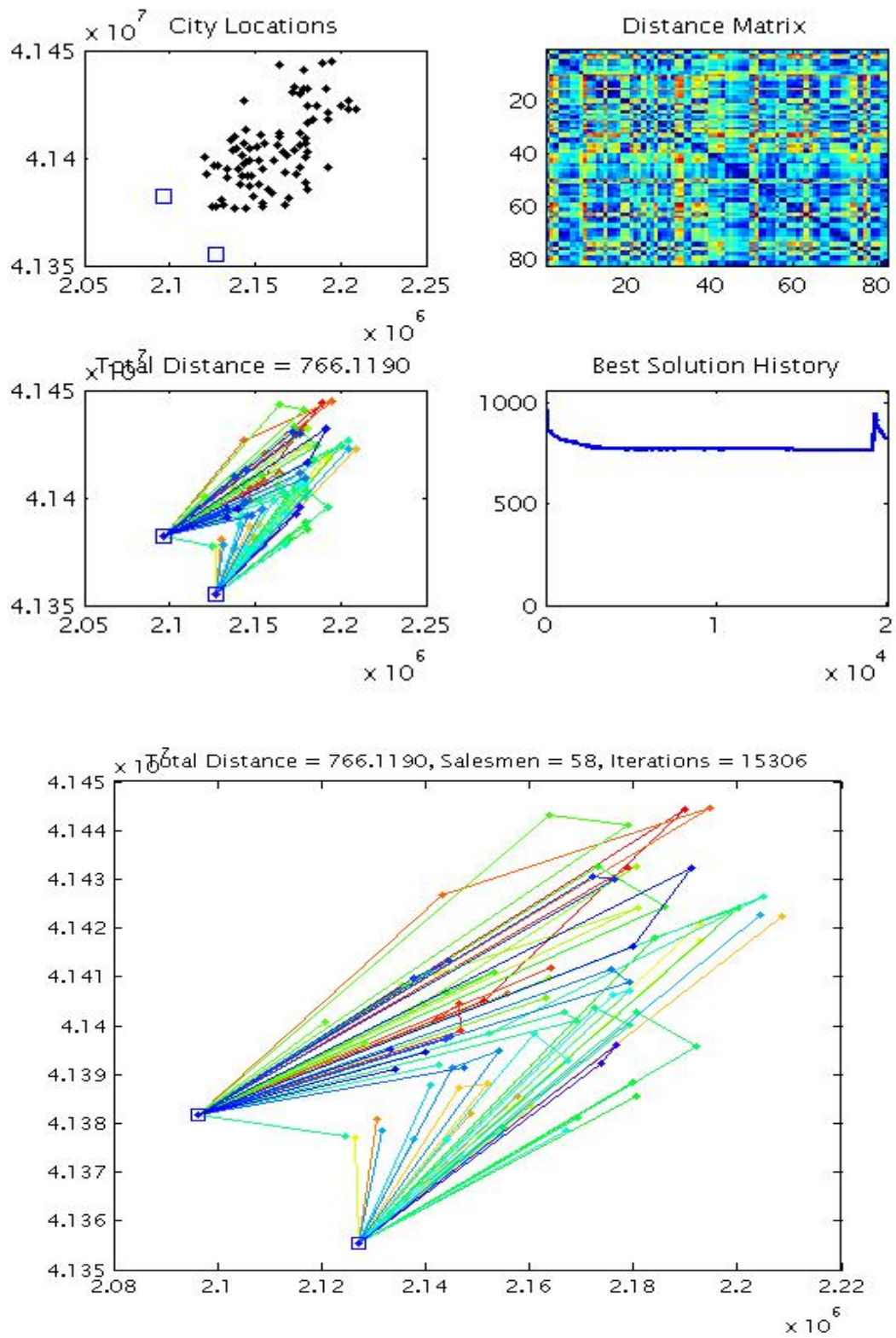
VEHICLES DE 10 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES FRIGORÍFICS I $V=21,3$



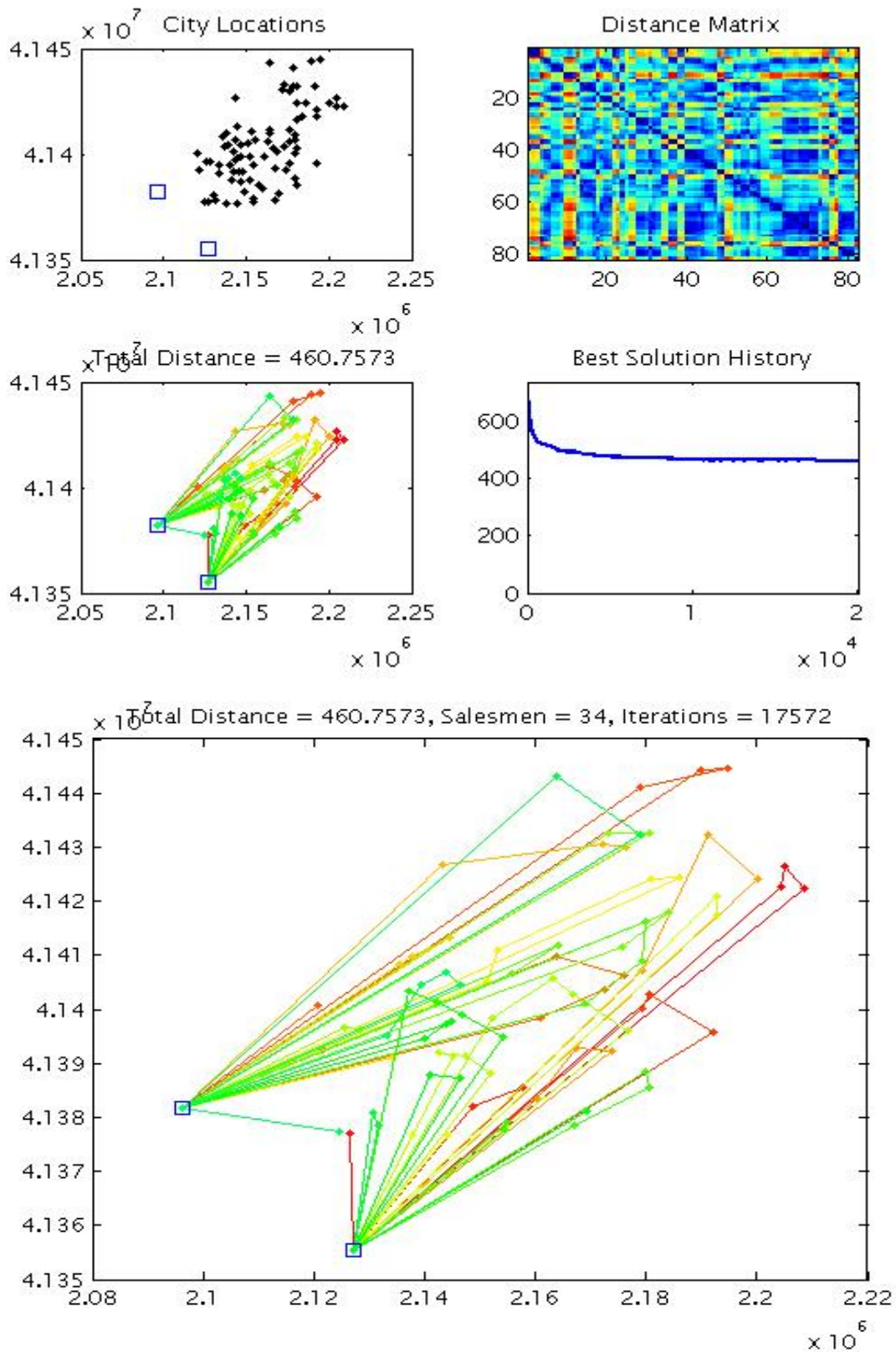
VEHICLES DE 10 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES ORDINARIS I $V=21,3$



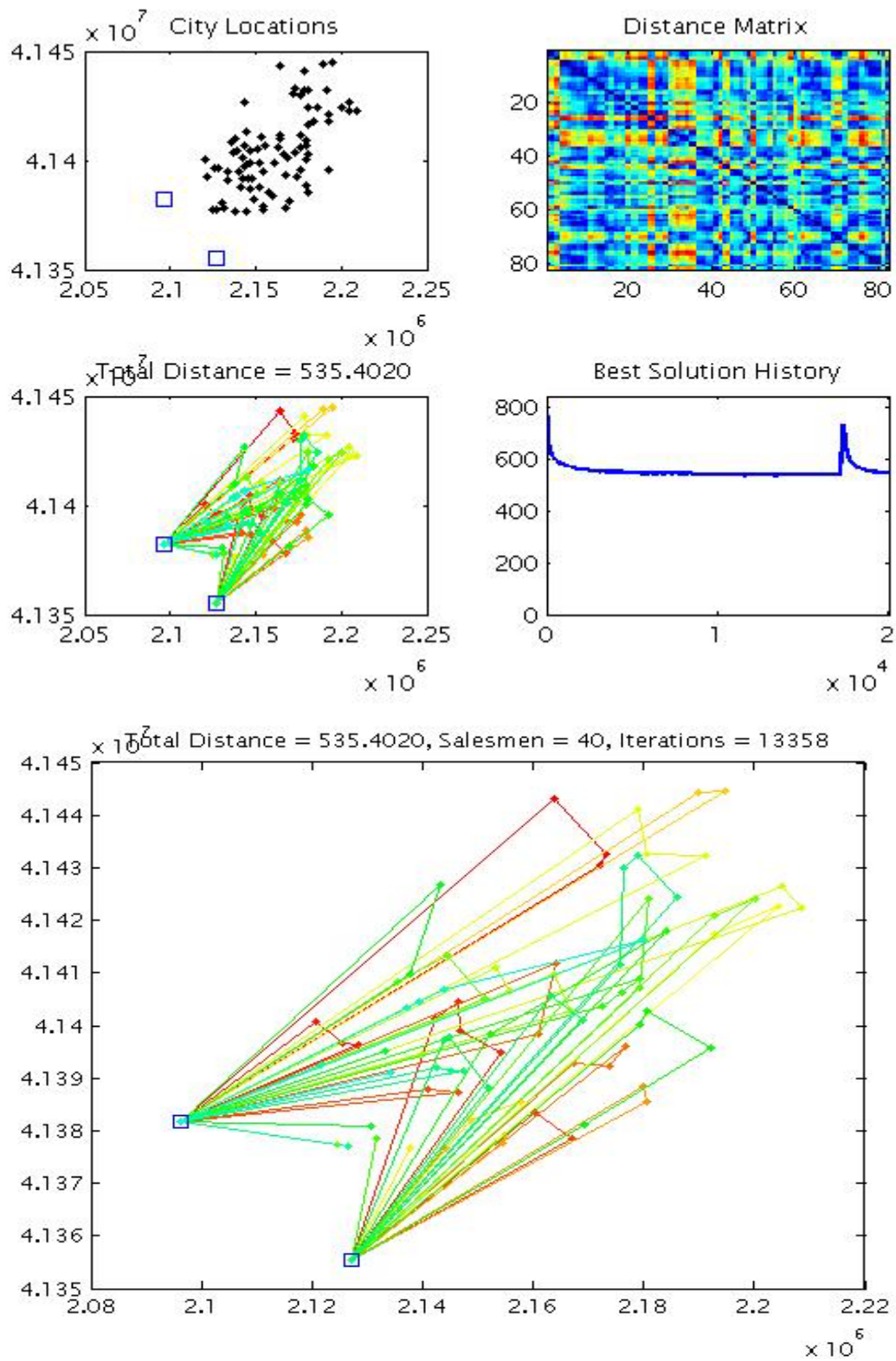
VEHICLES DE 10 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES FRIGORÍFICS I $V=43,4$



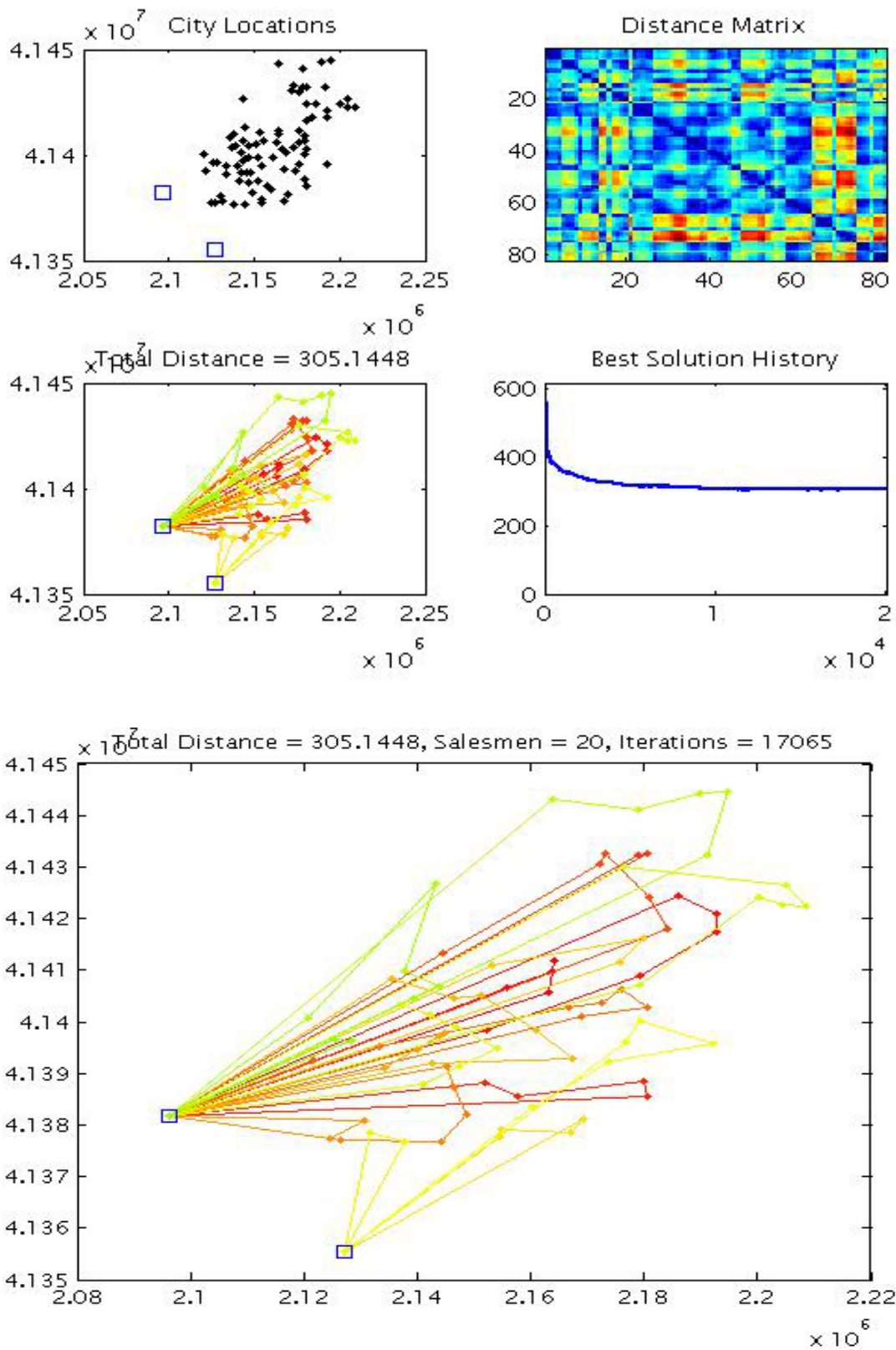
VEHICLES DE 10 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES ORDINARIS I $V=43,4$



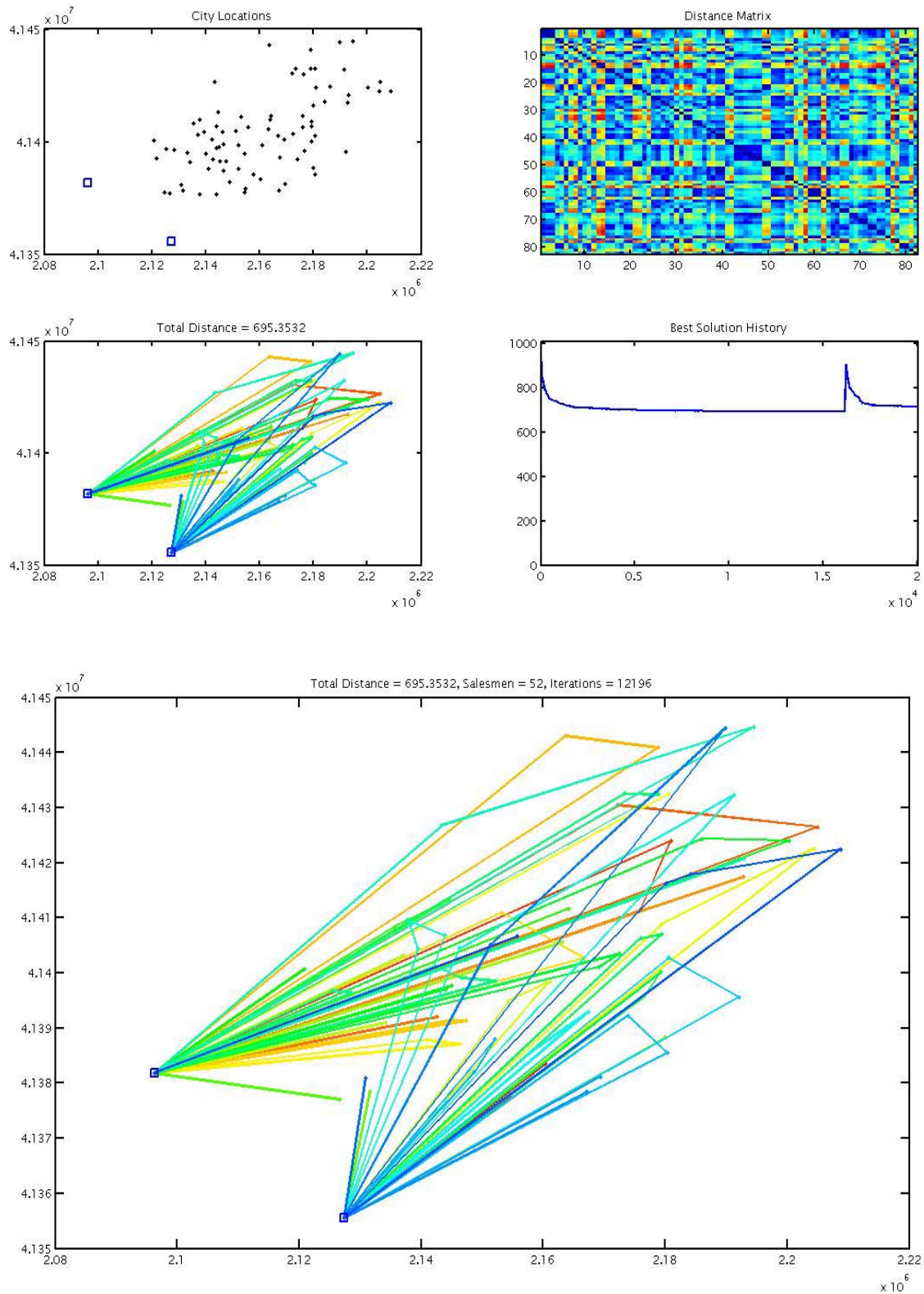
VEHICLES DE 16 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES FRIGORÍFICS I $V=43,4$



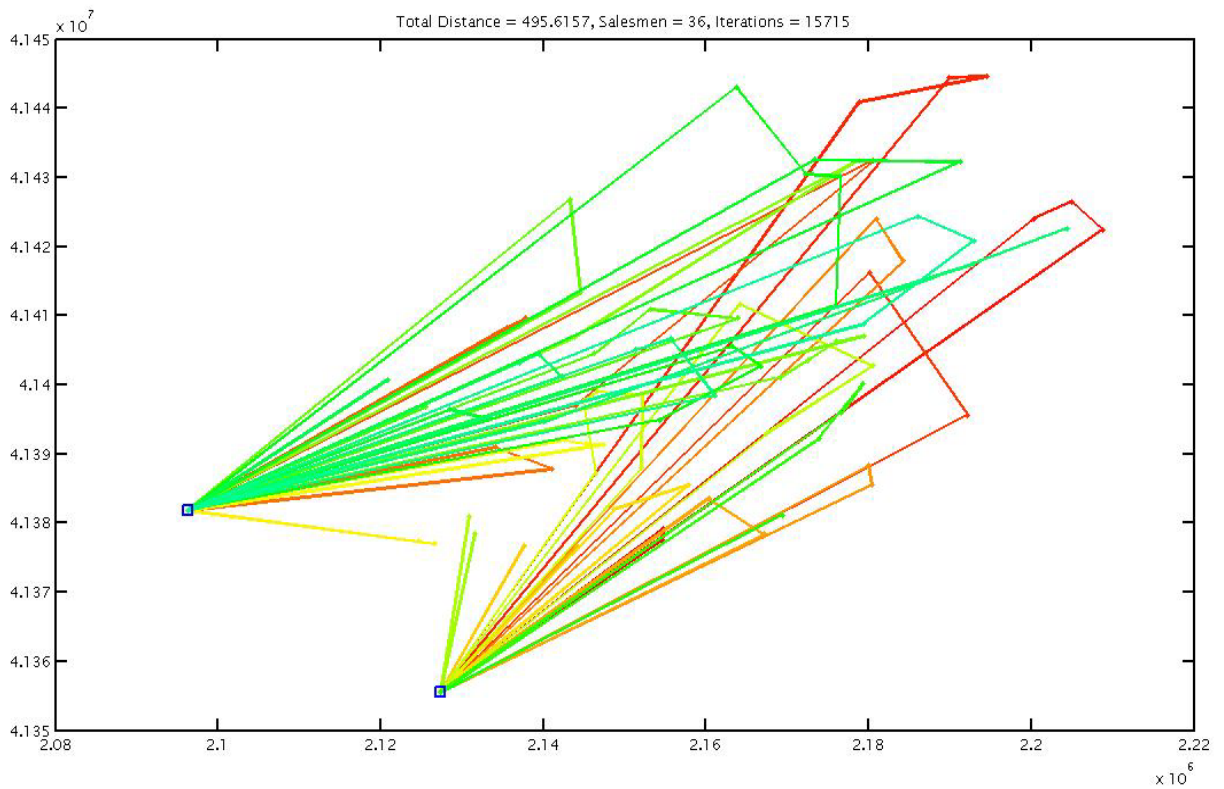
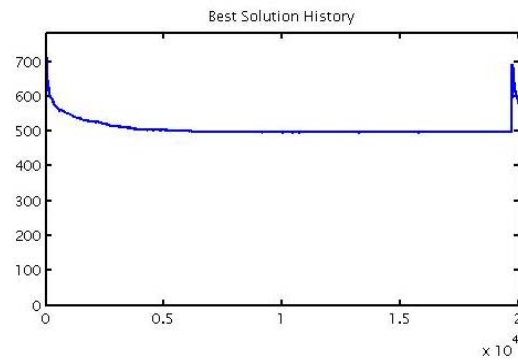
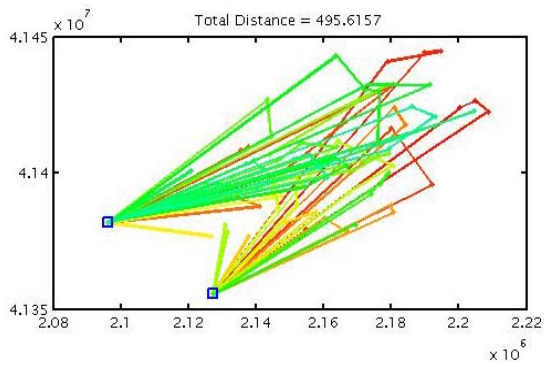
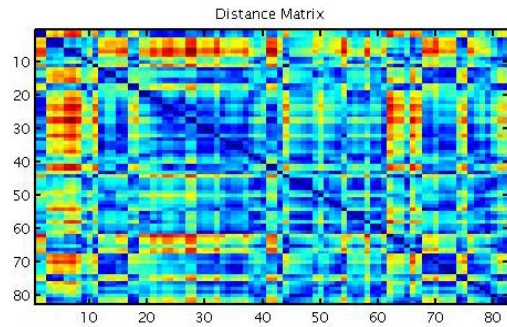
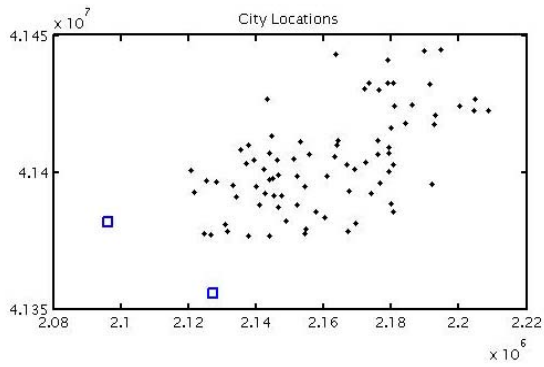
VEHICLES DE 16 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES ORDINARIS I $V=43,4$



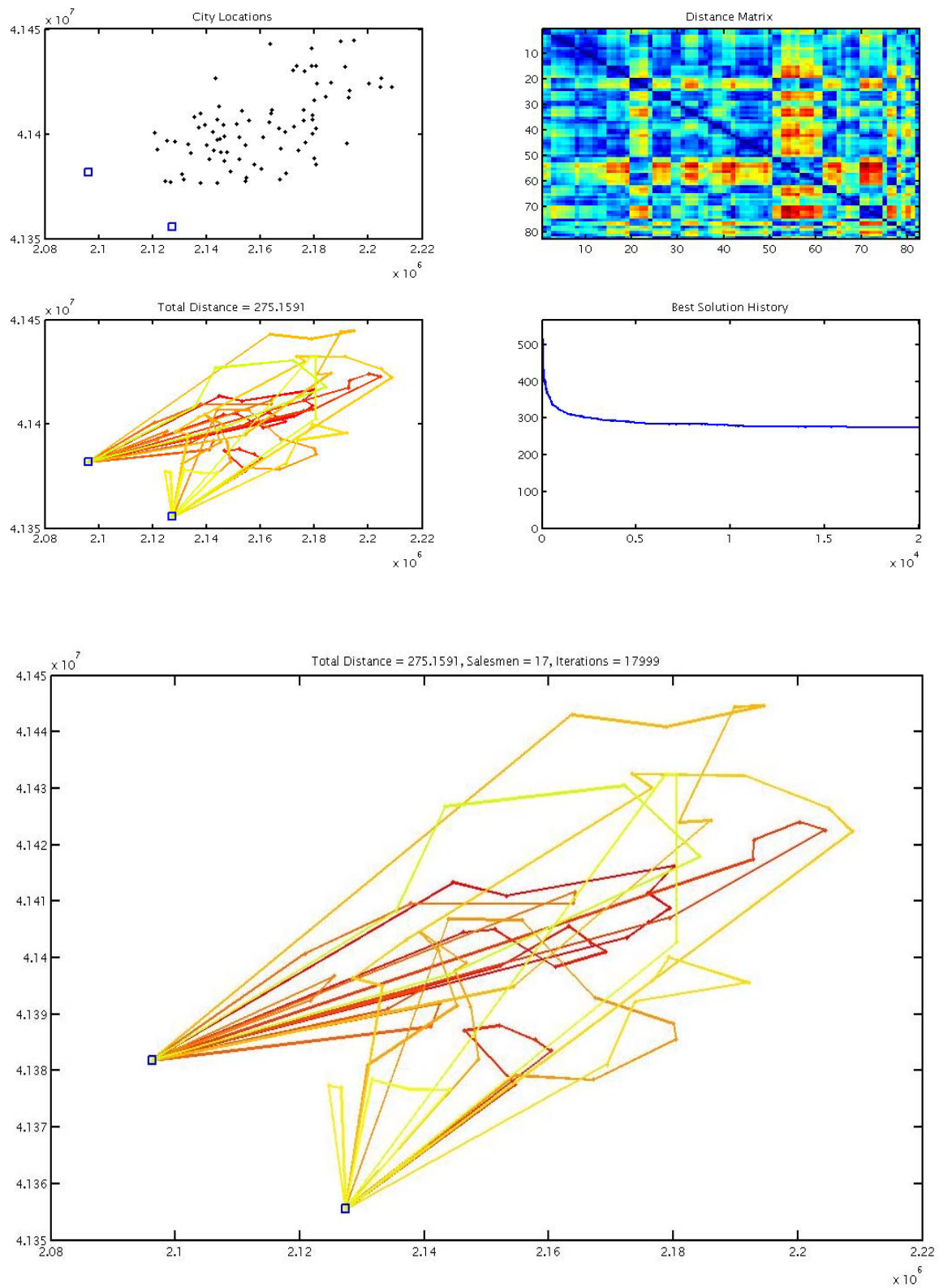
VEHICLES DE 16 PALETS AMB DEMANDA TOTAL DE PRODUCTES I $V=43,4$



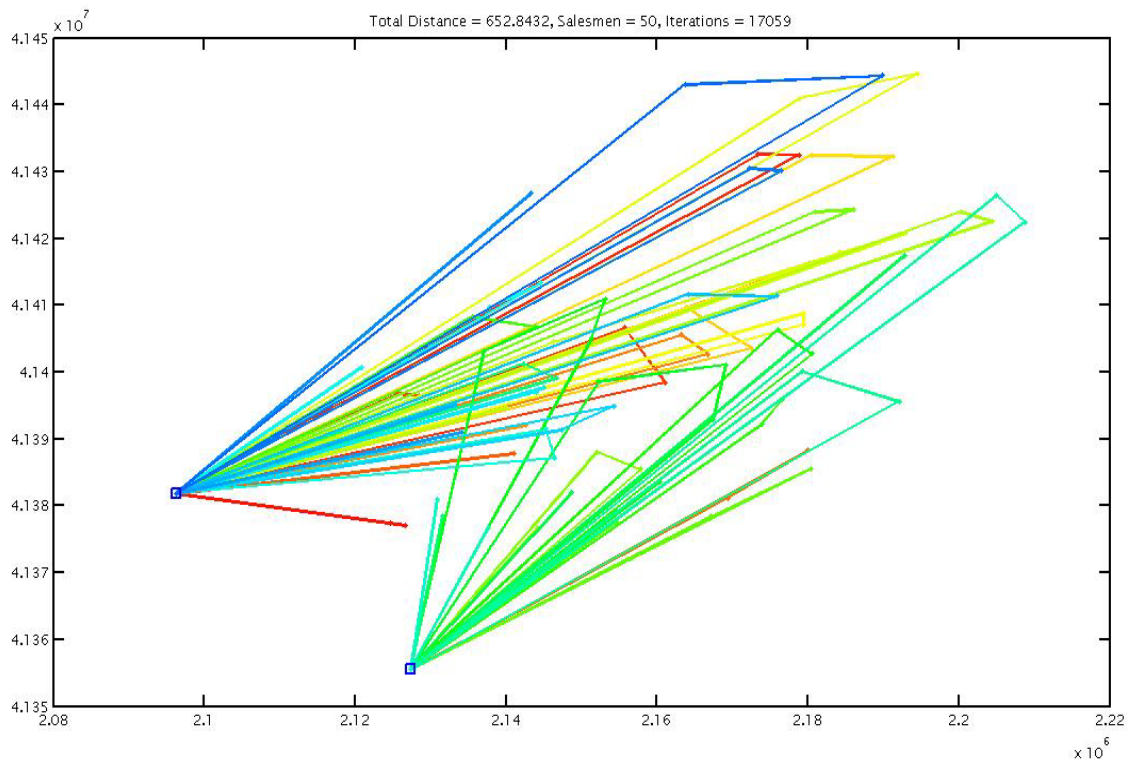
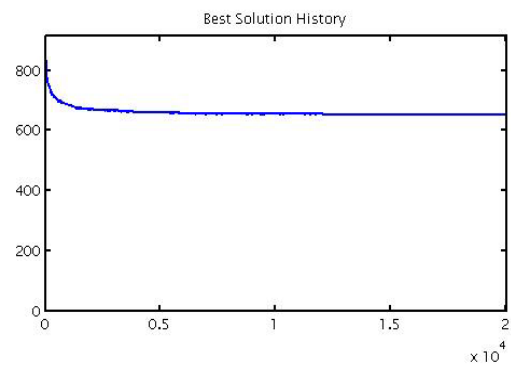
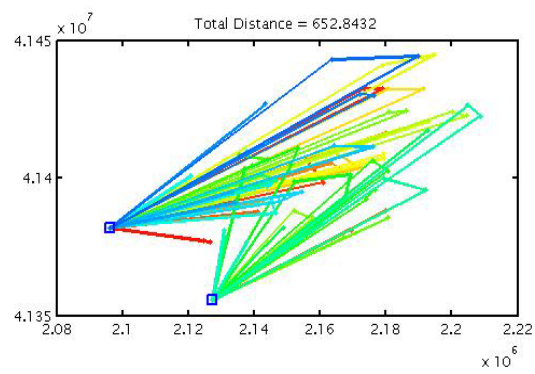
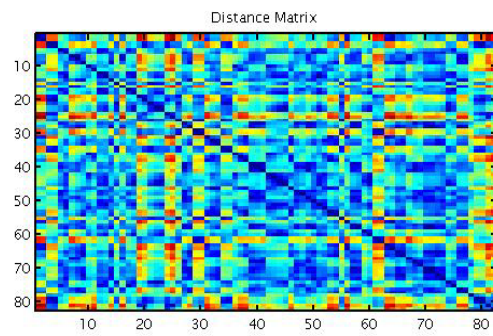
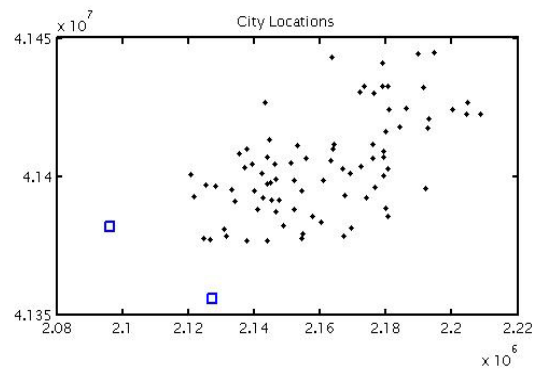
VEHICLES DE 20 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES FRIGORÍFICS $V=43,4$



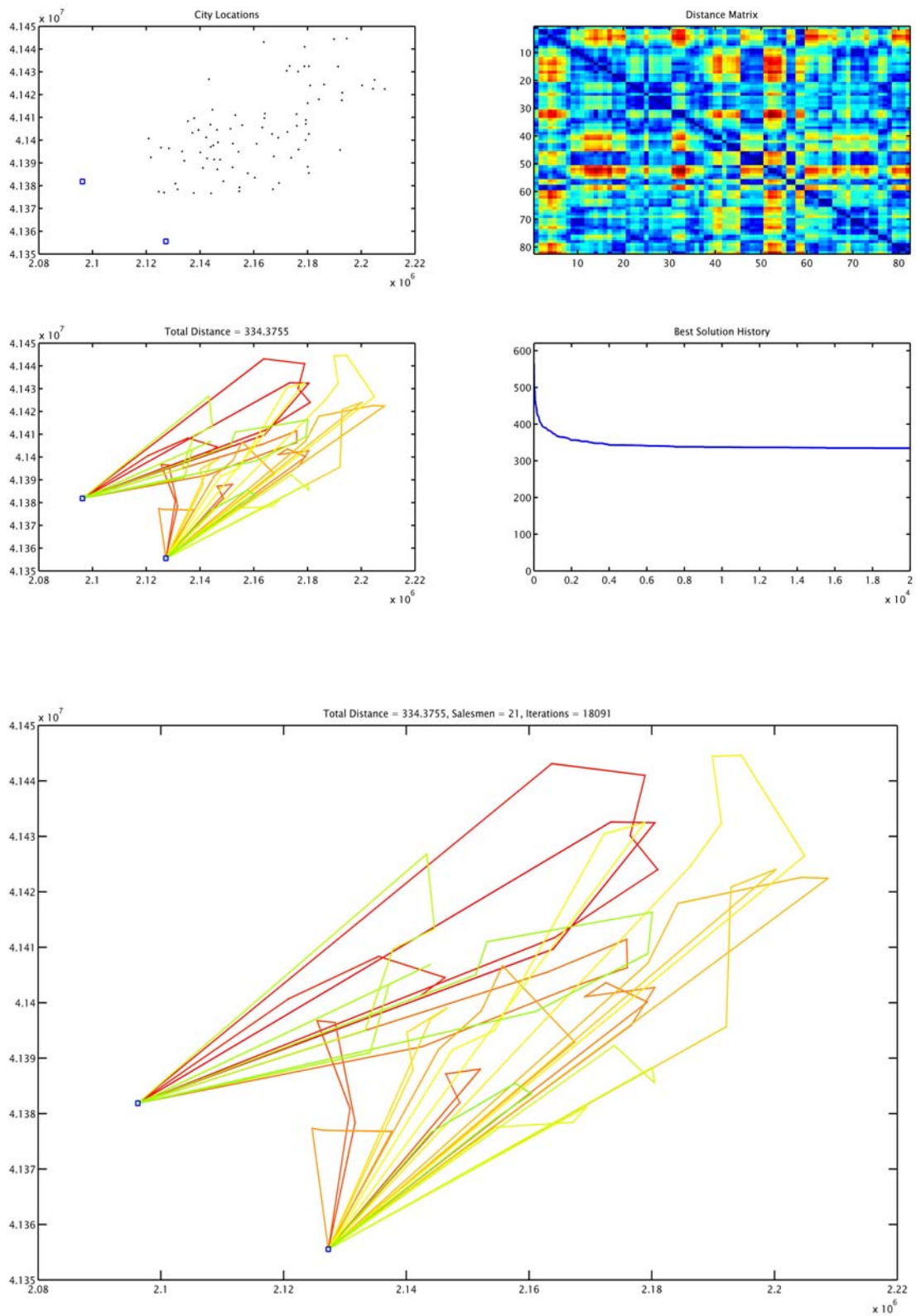
VEHICLES DE 20 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES ORDINARIS I $V=43,4$



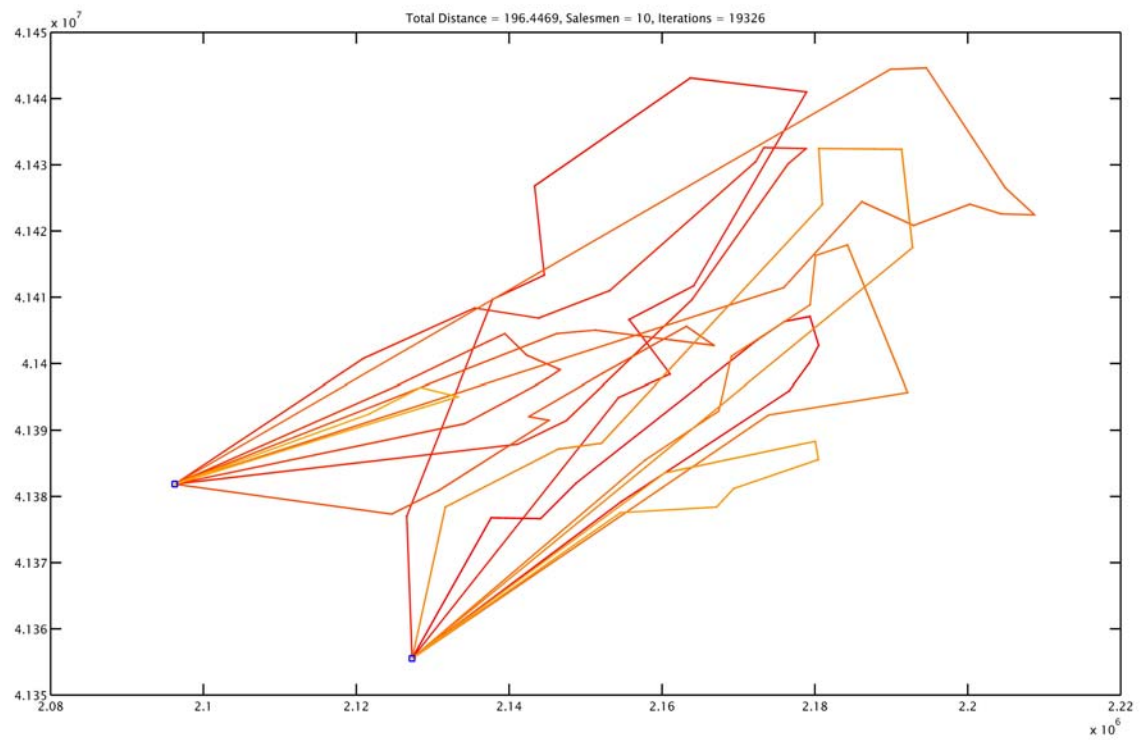
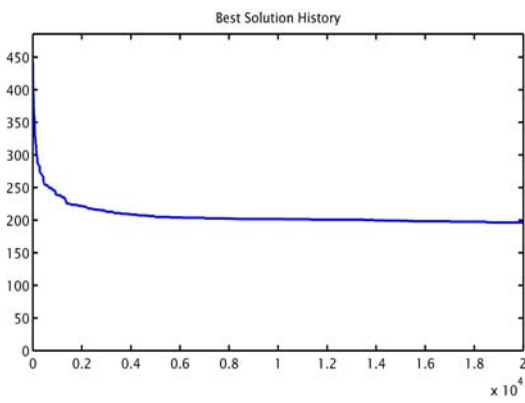
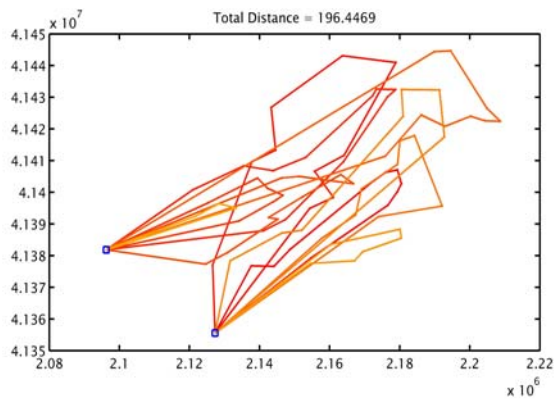
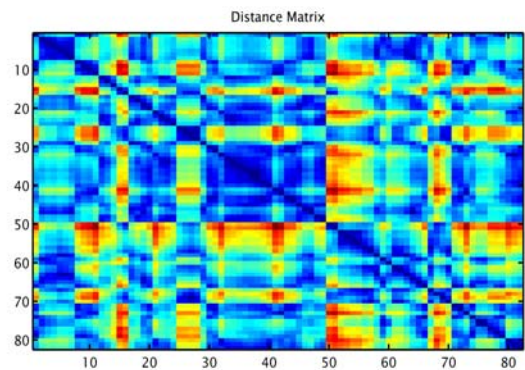
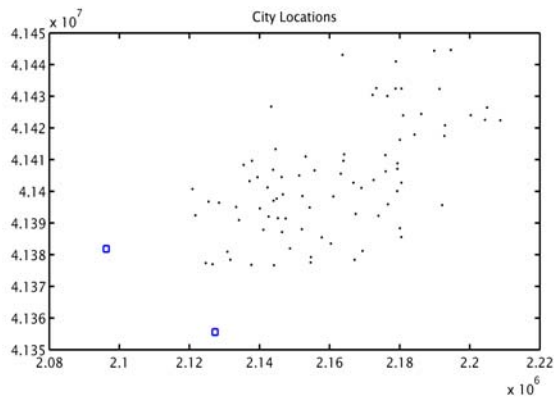
VEHICLES DE 20 PALETS AMB DEMANDA TOTAL DE PRODUCTES I $V=43,4$



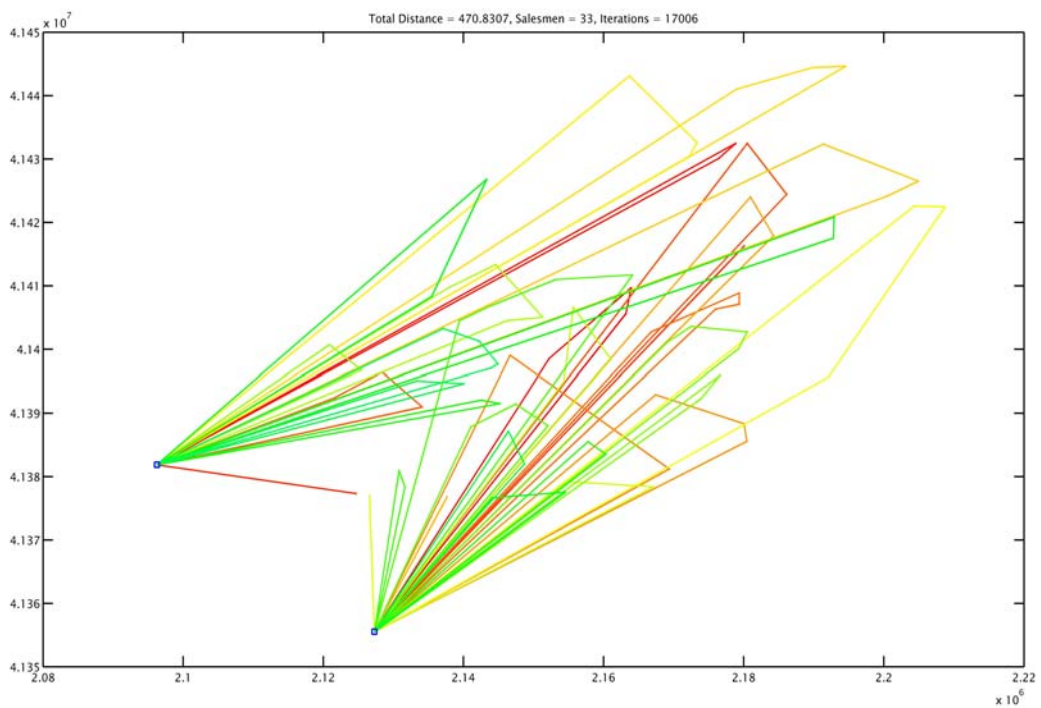
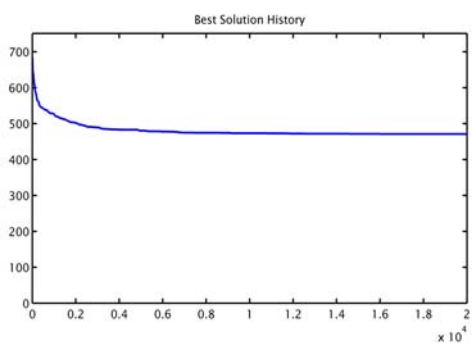
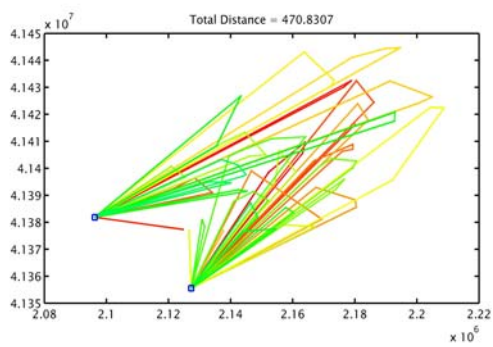
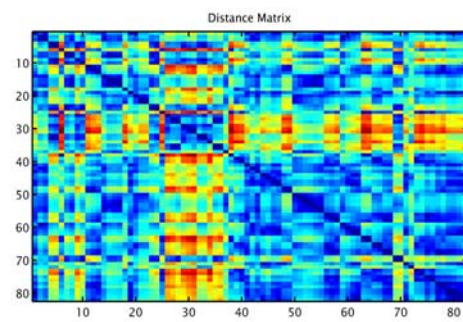
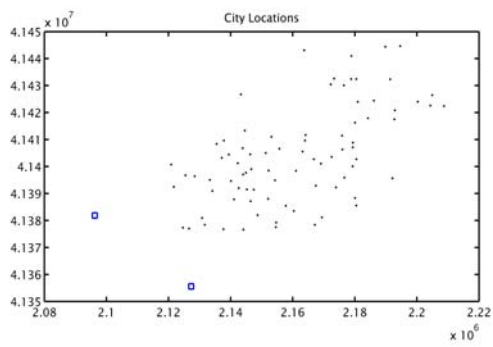
VEHICLES DE 32 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES FRIGORÍFICS I $V=43,4$



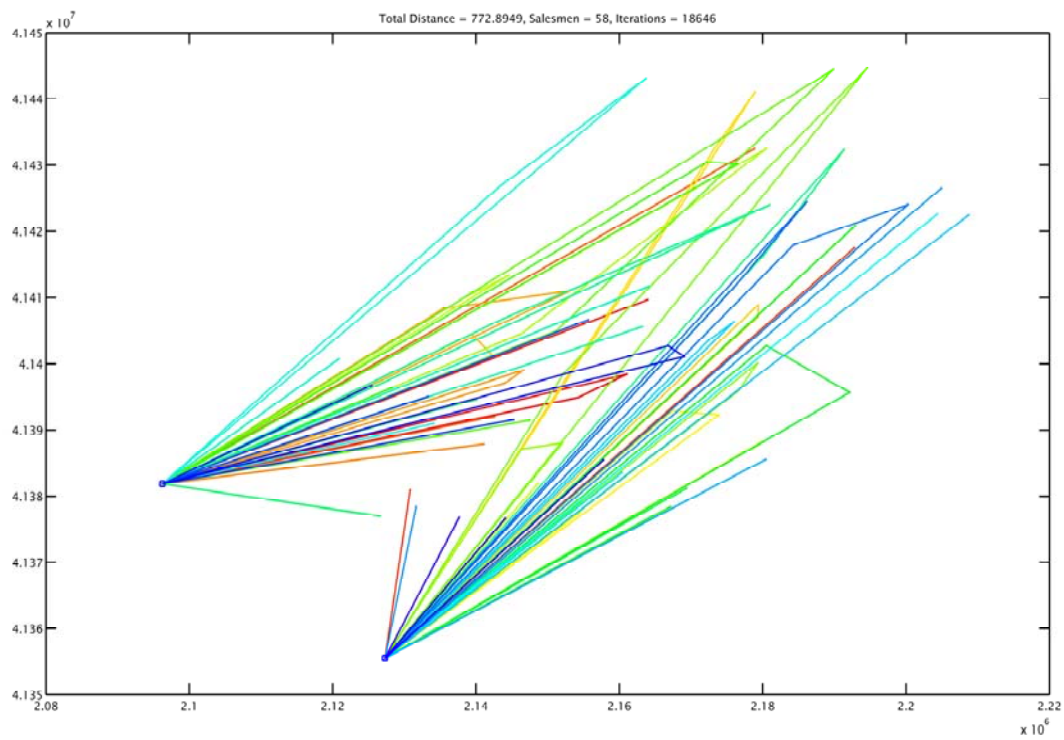
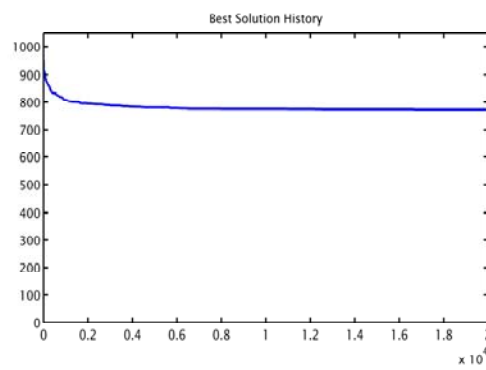
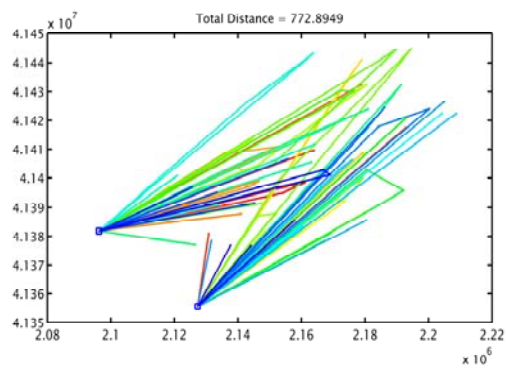
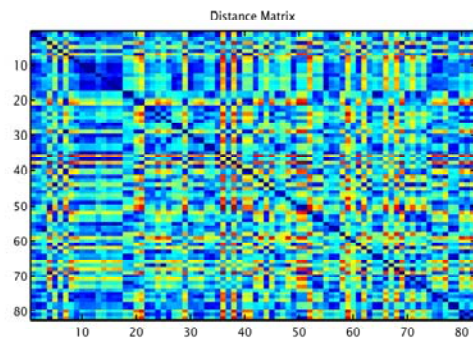
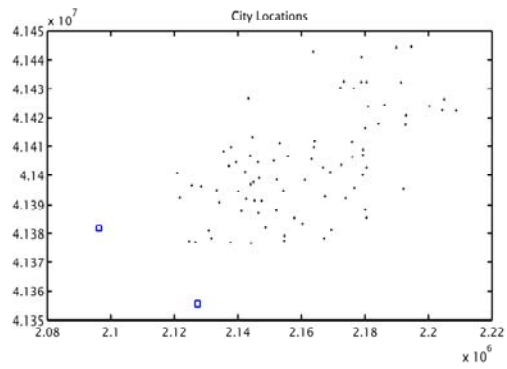
VEHICLES DE 32 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES ORDINARIS I $V=43,4$



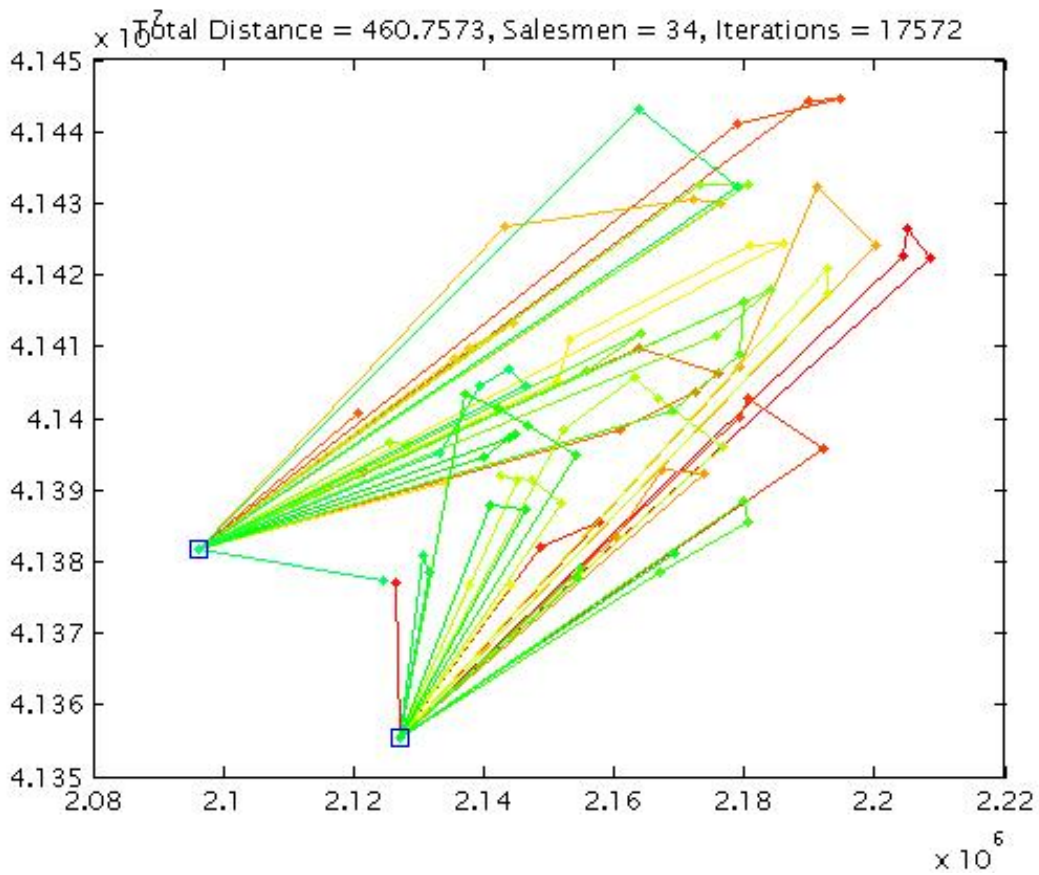
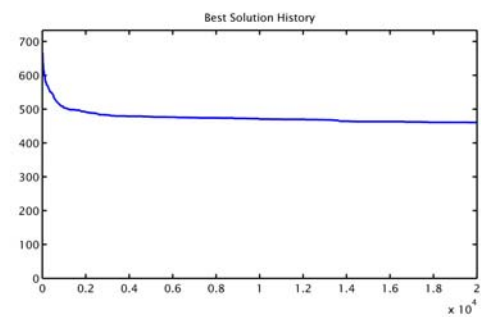
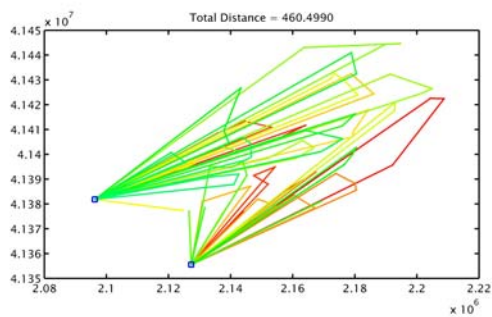
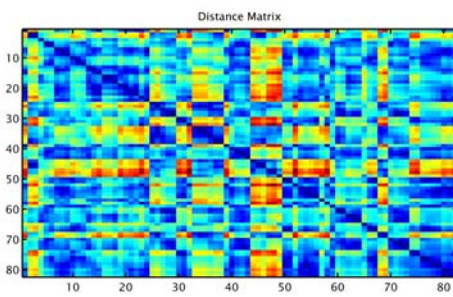
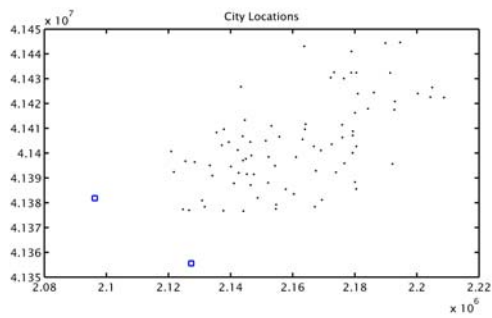
VEHICLES DE 32 PALETS AMB DEMANDA TOTAL DE PRODUCTES I $V=43,4$



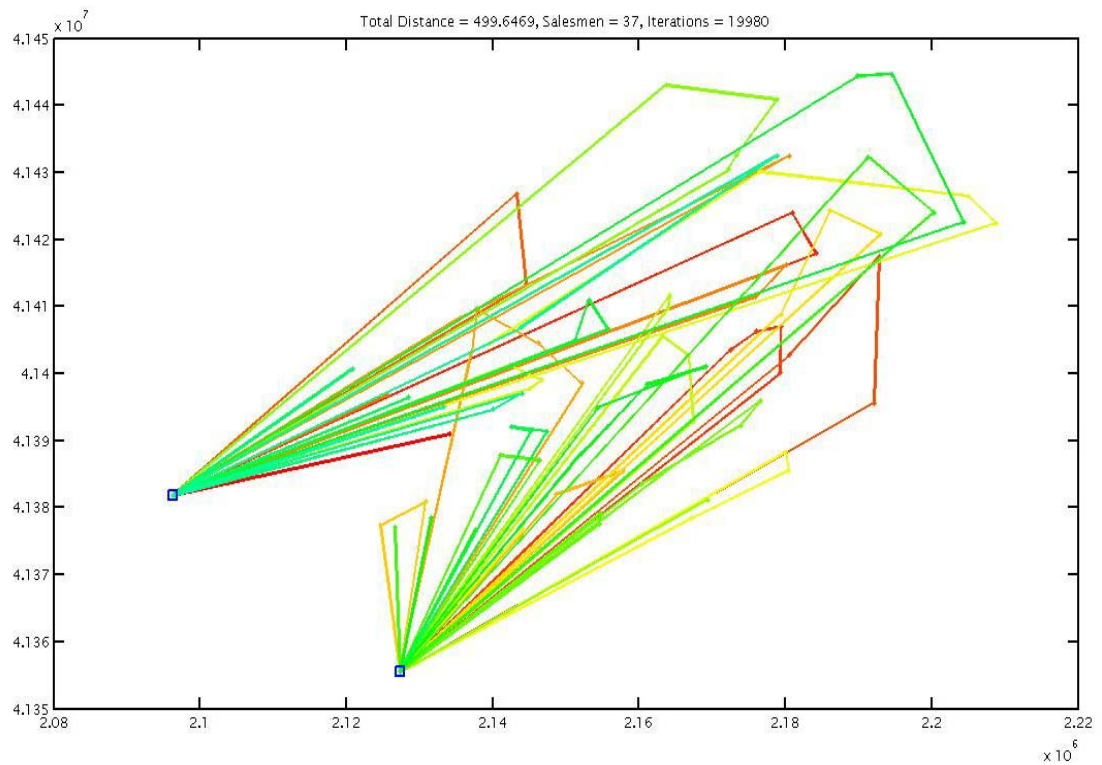
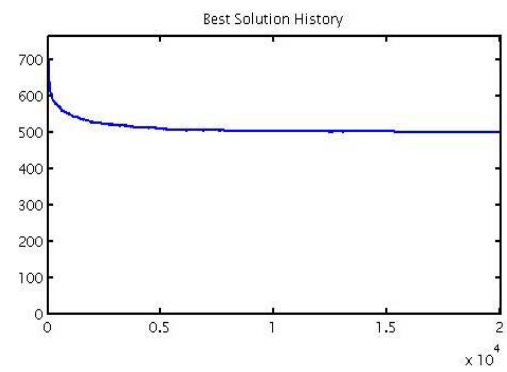
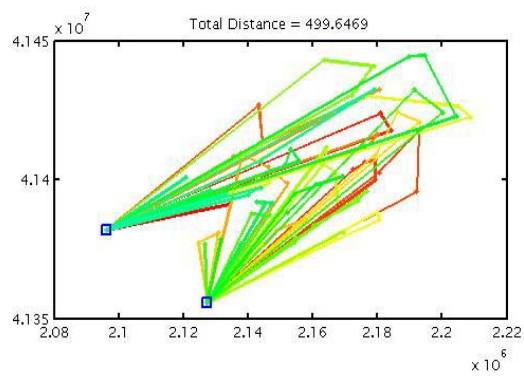
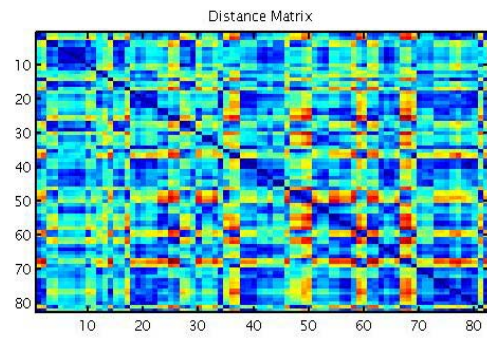
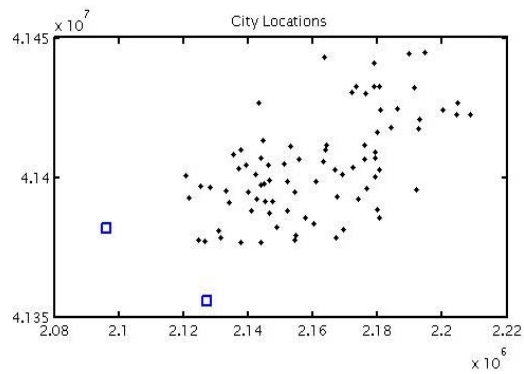
VEHICLES DE 10 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES FRIGORÍFICS $V=48,4$



VEHICLES DE 10 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES ORDINARIS I $V=48,4$



VEHICLES DE 20 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES FRIGORÍFICS $V=48,4$



VEHICLES DE 20 PALETS AMB DEMANDA DE PRODUCTES ORDINARIS I $V=48,4$

