

Treball Final de Màster

Estudi: Màster en Enginyeria Industrial

Títol: Optimització del transport de treballadors des de la seva residència al seu lloc de treball

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Nicolas Masset Fabian

Tutors: : Remei Calm Puig i Pepus Daunis i Estadella

Departament: Informàtica, Matemàtica Aplicada i Estadística

Àrea: Matemàtica aplicada / Estadística i investigació operativa

Convocatòria: Juny 2022

Agraïments

Als meus dos tutors, Remei i Pepus, per guiar-me en el procés d'elaboració del treball.

A l'Adrià Pol, l'Albert Comas, l'Aleix Andreu, l'Eduard Gairín, l'Emili Roget, en Lautaro Rossi, en Joan Manel Pérez, en Marc Díaz, en Nil Pous, la Patrícia Carenys, en Pol Faya i en Roger Rifà, companys de doble grau i amics que han fet de la vida universitària una experiència inoblidable.

A l'Anna per fer-me sempre costat.

Índex

1	Glossari.....	1
2	Proposta.....	3
2.1	Origen del projecte.....	3
2.2	Motivació.....	3
2.3	Requeriments previs	3
3	Introducció	5
3.1	Antecedents.....	5
3.2	Objecte.....	5
3.3	Especificacions i abast.....	5
3.3.1	Especificacions.....	5
3.3.2	Abast	6
4	Estat de l'art.....	7
4.1	Canvi climàtic.....	7
4.2	Emissions a Espanya.....	8
5	Definició del problema	11
6	Entorn de treball	13
6.1	Programari	13
6.2	Bases de dades.....	13
7	Pla de treball.....	15
8	Fonaments teòrics	19
8.1	Teoria de grafs.....	19
8.2	Clusterització.....	19
8.2.1	Mètode de Ward.....	20
9	Metodologia.....	21
9.1	Recollida de dades.....	21
9.2	Pretractament de les dades	22
9.3	Transformació de les dades.....	22
9.3.1	Ubicacions.....	22

9.3.2	Horari.....	22
9.3.3	Dades del vehicle	23
9.4	Solució actual	24
9.5	Creació del graf ciutats.....	24
9.6	Clusterització.....	24
9.7	Grafs clusteritzats.....	25
9.8	Definició dels paràmetres de resolució	25
9.9	Algorisme final	26
10	Implementació.....	29
10.1	Recollida de dades	29
10.2	Pretractament de dades.....	33
10.2.1	Domicili.....	33
10.2.2	Escoles	33
10.2.3	Compartir cotxe	33
10.2.4	Consum	33
10.3	Transformació de les dades	34
10.3.1	Ubicacions.....	34
10.3.2	Dades vehicle	35
10.4	Solució actual.....	37
10.5	Creació del graf ciutats	39
10.6	Clusterització	40
10.7	Grafs clusteritzats.....	43
10.8	Definició dels paràmetres de resolució	43
10.9	Algorisme final	44
11	Anàlisi del resultat.....	47
11.1	Resultat esperat contra resultat final	47
11.2	Errors de l'algorisme	47
11.3	Compartir cotxe vs. vehicle elèctric	47
12	Pressupost	49

13	Conclusions	51
13.1	Perspectives de futur	51
14	Relació de documents.....	53
15	Bibliografia	55
Annex A.	Formulari google inicial.....	56
Annex B.	Formulari google millorat.....	57
Annex C.	Codi Obtenció coordenades	59
Annex D.	Costos dels combustibles	61
Annex E.	Codi Obtenció de consums específics i emissions específiques.....	63
Annex F.	Codi Obtenció de distàncies entre domicilis, feines, companys que ja comparteixen i escoles.....	65
Annex G.	Codi Solució actual.....	67
Annex H.	Codi Obtenció graf ciutat	69
Annex I.	Codi Clustering	71
Annex J.	Codi Obtenció grafs clusteritzat.....	73
Annex K.	Codi Algorisme final	75
Annex L.	Dades Tavis	81
Annex M.	Dades pretractades	89
Annex N.	Avaluació del temps d'execució segons cluster.....	93
Annex O.	Justificació preus unitaris.....	95

TAULA DE FIGURES

Figura 1: Variació de les emissions de CO ₂ a Espanya respecte l'any 1990 (Font: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).....	8
Figura 2: Origen de les emissions a Espanya (Font: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).	9
Figura 3: Exemple K-Means (Font: rpubs.com).....	20
Figura 4: Domicilis treballadors (Font: Google My Maps).	30
Figura 5: Tipologia d'horari (Font: elaboració pròpia).	30
Figura 6: Mitjans de transport treballadors Tavig (Font: elaboració pròpia).....	31
Figura 7: Nombre de places per vehicle (Font: elaboració pròpia).	32
Figura 8: Coordenades dels domicilis dels treballadors de Tavig (Font: elaboració pròpia).	34
Figura 9: Histograma cost dels vehicles dels treballadors (Font: elaboració pròpia).....	35
Figura 10: Histograma emissions de CO ₂ dels vehicles dels treballadors (Font: elaboració pròpia).	36
Figura 11: Representació gràfica del clustering dels treballadors de Tavig (Font: elaboració pròpia).	40
Figura 12: Treballadors de Tavig clusteritzats (Font: Google My Maps).	41

INDEX DE TAULES

Taula 1: Emissions GEH sector del transport (Font: Ministeri del Transport, Mobilitat i Agenda Urbana).....	9
Taula 2: Planificació disseny i escriptura codis (Font: elaboració pròpia).	15
Taula 3: Temps d'execució tractament de dades i algorismes (Font: elaboració pròpia). ..	16
Taula 4: Factors d'emissions i costos de combustibles (Font: elaboració pròpia)	23
Taula 5: Resum solució actual (Font: elaboració pròpia).....	37
Taula 6: Resum solució amb jornada intensiva (Font: elaboració pròpia).	37
Taula 7: Ciutats on habiten els treballadors (Font: elaboració pròpia).....	39
Taula 8: Ciutats clusteritzades (Font: elaboració pròpia).	41
Taula 9: Mida dels clústers (Font: elaboració pròpia).....	42
Taula 10: Efectivitat del clustering (Font: elaboració pròpia).....	42
Taula 11: Rutes proposades per l'algorisme (Elaboració font pròpia).....	44
Taula 12: Matriu d'adjacència costos repartits en €/viatge clúster 1 (Font: elaboració pròpia).	44
Taula 13: Resum solució algorisme (Font: elaboració pròpia).....	45
Taula 14: Comparació solució inicial i solució final (Font: elaboració pròpia)	47
Taula 15: Comparativa preus i emissions de vehicles segons el combustible (Font: elaboració pròpia).....	48
Taula 16: Valoració econòmica i ambiental d'una substitució del vehicle tèrmic per vehicle elèctric (Font: elaboració pròpia).	48
Taula 17: Pressupost (Font: elaboració pròpia)	49
Taula 18: Preus dièsel i gasolina en €/l any 2021 (Font: datosmacro.expansion.com).	61
Taula 19: Preus mensuals de l'electricitat al 2021(Font: OMIE).....	61
Taula 20: Empresa i ubicació d'aquesta (Font: formulari Google respost per Tavail).	82
Taula 21: Domicili dels treballadors (Font: formulari Google respost per Tavail).	83
Taula 22: Horari dels treballadors (Font: formulari Google respost per Tavail).....	84
Taula 23: Nens a l'escola (Font: formulari Google respost per Tavail).....	85
Taula 24: Treballadors que ja comparteixen vehicle (Font: formulari Google respost per Tavail).....	85
Taula 25: Tipologia de transport utilitzat (Font: formulari Google respost per Tavail).	86
Taula 26: Consums i places dels vehicles emprats (Font: formulari Google respost per Tavail).....	87
Taula 27: Domicilis dels treballadors pretractats (Font: elaboració pròpia).	89
Taula 28: Ubicacions de les escoles pretractades (Font: elaboració pròpia).	90

Taula 29: Ubicacions dels companys que ja comparteixen vehicle (Font: elaboració pròpia).	90
Taula 30: Consums dels vehicles pretractats (Font: elaboració pròpia).	91
Taula 31: Justificació preu softwares (Font: elaboració pròpia).	95
Taula 32: Justificació preu amortització EPI (Font: elaboració pròpia).	95

1 GLOSSARI

Canvi climàtic: és la variació global del clima de la Terra. Actualment aquestes variacions són causades per les creixents emissions de Gasos d'Efecte Hivernacle (GEH) subproductes de l'activitat humana des de la Revolució Industrial.

Clúster: prové de l'anglès *cluster*, que es tradueix com 'conjunt'. Actualment, s'utilitza en diferents àmbits com la informàtica, les ciències, el món empresarial.

Distància euclidiana: és la distància ordinària entre dos punts ve donada pel teorema de Pitàgores. Utilitzant aquesta fórmula com a distància, l'espai euclidià esdevé un espai mètric.

Efecte hivernacle: és el fenomen natural de l'atmosfera que reté els rajos infrarojos emesos pel Sol que normalment retornarien a l'espai. Aquests provoquen un escalfament del planeta.

Factor d'emissió de CO₂: és la taxa mitjana d'emissions de CO₂ emeses quan es duu a terme una activitat específica, per exemple, kgCO₂ alliberats per litre de gasolina que entra en combustió.

Grafs: és una representació abstracta d'un conjunt d'objectes connectats per enllaços.

OSRM (Open Source Routing Machine): és un servidor que retorna camins mínims dintre de la xarxa de carreteres existent en el projecte Open Street Map.

Topologia: és una branca de les matemàtiques que estudia les propietats espacials i les deformacions bicontínues de l'espai.

Vehicle d'hidrogen: és un automòbil que utilitza hidrogen com a font primària d'energia, pot utilitzar dos mètodes: combustió o conversió de pila de combustible. La primera és una combustió interna i la segona és una conversió a l'electricitat i la utilització d'aquesta per la mobilitat del vehicle.

Vehicle de Mobilitat Personal (VMP): és vehicle recent, d'usualment una sola plaça, que s'utilitza per la mobilitat urbana. Sol estar equipat per un motor elèctric de baixa potència amb una velocitat màxima reduïda a 25 km/h.

Vehicle híbrid: és un vehicle que funciona amb més d'una font d'energia. El més usual és que una sigui de combustibles fòssils i l'altre sigui elèctrica.

2 PROPOSTA

En aquest TFM (Treball Final de Màster) es proposa el desenvolupament d'una eina matemàtica que, mitjançant dades de mobilitat dels treballadors d'una empresa, ofereixi una solució de rutes per tal que els treballadors comparteixin vehicle i redueixin, per un cantó, la seva despesa en transport i, per l'altre, la seva petjada mediambiental.

2.1 Origen del projecte

La decisió de fer aquest TFM va sorgir en els trajectes per arribar a la universitat, durant aquests desplaçaments (a peu o en bicicleta): la gran majoria de vehicles que transitaven per la ciutat, únicament, portaven una persona. Al llarg dels estudis d'enginyeria sempre es dona importància a l'optimització, buscar mínims, reduir costos... També s'explica com de baix és el rendiment d'un motor de gasoil i gasolina (30%), no és prou baix aquest rendiment com per a sobre aprofitar únicament 1/5 (20%) de les places del vehicle i reduir així el rendiment del vehicle a 6%?

2.2 Motivació

Des de molt jove sempre he estat preocupat per temes ambientals, el que més, el canvi climàtic. Amb el temps aquesta preocupació s'ha vist augmentada, cada dia som més testimonis que els problemes mediambientals estan completament desatesos pels òrgans polítics ja que donen més importància al benestar econòmic. Aquest fet planteja que, nosaltres, com a enginyers, sempre hem d'estar a la recerca de l'optimització i hàgim de pensar solucions que precisin de poc capital i siguin de fàcil aplicació.

2.3 Requeriments previs

Per poder desenvolupar l'eina que es proposa es necessari tenir dades d'una empresa existent per fer una eina el més realista possible i adaptar-se a les casuístiques que sorgeixen en la resolució d'un problema real.

3 INTRODUCCIÓ

3.1 Antecedents

El 22 d'abril del 2016 Espanya firma l'Acord de París compromentent-se a limitar l'augment de la temperatura global per sota de 2°C l'any 2100 respecte els nivells preindustrials. Per tal de complir amb aquest objectiu, la Unió Europea ha posat com a fites per l'any 2030 reduir un 55% les emissions de CO₂ respecte l'any 1990 i, per l'any 2050, haver reduït aquestes un 80%. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022)

A Espanya, el transport és el sector més emissor de CO₂ (27% de les emissions totals). Per complir amb el 55% de reducció és imprescindible buscar solucions per reduir les emissions d'aquest sector. Les que més força estan agafant són l'ús del vehicle híbrid, elèctric i d'hidrogen. No obstant existeixen solucions alternatives com compartir cotxe, l'ús del transport públic i els VMP (vehicles de mobilitat personal). (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022)

3.2 Objecte

Aquest treball té com a finalitat desenvolupar una eina de modelització matemàtica que, a partir d'un qüestionari, de mobilitat personal, proporcioni una planificació de com han de compartir cotxe els treballadors d'una empresa per tal de disminuir les despeses en combustible i emissions. L'eina ha de permetre quantificar la disminució de despesa econòmica i la reducció de les emissions que suposa aplicar la solució trobada.

S'han utilitzat dades del transport dels treballadors d'una empresa de Sant Jaume de Llierca (Tavil).

3.3 Especificacions i abast

Aquest treball té com a abast: la confecció de l'eina, aplicar l'eina a les dades de l'empresa de la Garrotxa i analitzar els resultats obtinguts

3.3.1 Especificacions

El qüestionari de mobilitat personal ha de tenir les preguntes per poder recollir totes les dades de mobilitat necessàries dels treballadors de l'empresa.

L'eina dissenyada en aquest projecte ha de proposar una solució de mobilitat que promogui el compartir cotxe i porti a una reducció de les despeses i emissions dels treballadors. L'eina no ha de suposar un cost computacional important, ha de realitzar els càlculs amb rapidesa. Ha d'oferir desplaçament per tots els treballadors que es transporten i una solució pels que aprofiten el viatge per portar els nens a l'escola.

3.3.2 *Abast*

En aquest projecte s'inclou:

- La creació d'un formulari per recollir les dades dels treballadors
- La creació d'un algorisme que adapti aquestes dades per portar a terme una resolució amb precisió de les adreces a la ciutat.
- La creació d'un algorisme que calculi els costos i emissions de la solució actual.
- La creació d'un algorisme que clusteritzi les dades.
- La creació d'un algorisme que resolgui les rutes per donar la solució final, aquest té en compte els treballadors que ja compartien vehicle i els que han de portar els nens a l'escola.
- L'aplicació d'aquests algorismes a les dades de mobilitat de l'empresa Tavid.

En aquest projecte s'exclou:

- Tenir en compte treballadors que utilitzen VPM, caminen o empren els transports públics.
- Oferir una solució de mínim absolut.
- Portar un control de costos dels treballadors amb el preu de mercat dels combustibles.
- Contemplar l'increment de consum que suposa augmentar l'ocupació d'un vehicle.

4 ESTAT DE L'ART

En aquest capítol s'exposa:

- El canvi climàtic.
- L'impacte ambiental del sector del transport.

4.1 Canvi climàtic

L'ésser humà, arreu del planeta, per desenvolupar la seva activitat necessita energia. Des de la Revolució Industrial, l'energia emprada ha sigut, majoritàriament, obtinguda a partir de combustibles fòssils. La combustió d'aquests combustibles emet diversos gasos nocius per la salut humana, un d'ells el CO₂, que a més de ser perjudicial per la salut és un dels gasos responsable de l'efecte hivernacle.

Les investigacions i dades que proporcionen els científics sobre les emissions de CO₂ i l'efecte hivernacle han conduït a les Nacions Unides a interessar-se'n. Segons la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (CMNUCC), el canvi climàtic es defineix com “una variació en el clima atribuït directe o indirectament a l'activitat humana, que altera la composició de l'atmosfera mundial i que es suma a la variabilitat natural del clima observada durant períodes de temps comparables”.

El mal ús dels recursos naturals, la falta d'una política ambiental i l'ús irresponsable que l'ésser humà fa de la natura l'ha portat a encarar-se a diferents escenaris, com el desglaç de l'Àrtic, la pujada del nivell del mar, fenòmens meteorològics extrems, precipitacions torrencials, sequeres i danys en les collites, riscos en la seva salut... Segons el Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic de l'Organització de les Nacions Unides (GIECC), els pròxims anys, la situació anirà empitjorant, ja que si no es posa fre a les emissions de CO₂, la temperatura mitjana global anirà augmentant ràpidament.

Frenar a les emissions de CO₂ es considera, per tant, el repte més important del segle XXI. El ritme que han de portar aquestes reduccions d'emissions estan acotades respecte el any 1990. En l'Acord de París es quantifica que per l'any 2030 els països europeus han de reduir les emissions de 55% i que, per 2050, el repte és la neutralitat.

4.2 Emissions a Espanya

Primerament és necessari saber en quin punt s'està d'aquesta reducció d'emissions respecte 1990.

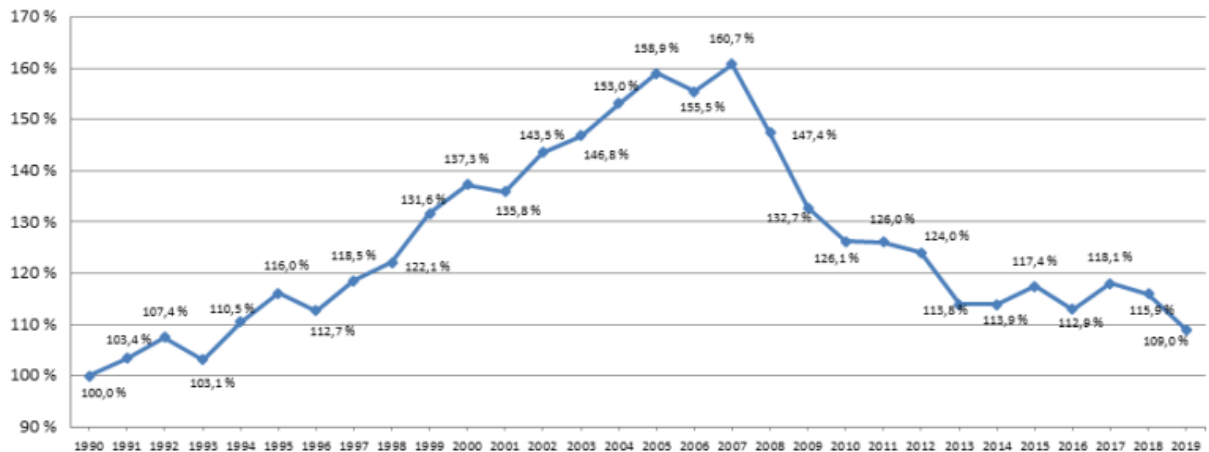


Figura 1: Variació de les emissions de CO₂ a Espanya respecte l'any 1990 (Font: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

Es pot veure en la Figura 1 que les emissions de CO₂, indiferentment de la firma del Protocol de Kyoto (1997) han pujat entre els anys 1997 i 2007 (any de la Crisi del Subprime) i, llavors, baixen fins al final d'aquesta crisi econòmica. També es pot veure que hi ha una lleugera baixada d'emissions entre la firma de l'Acord de París (2015) i l'última dada del gràfic (2019), no obstant no es veu com una baixada pronunciada sinó més com a alts i baixos.

Tal com es veu en aquestes dades, a l'any 2019, les emissions es situen a 109% agafant de referència l'any 1990, i per tant si es volen complir els objectius 2030 de l'Acord de París s'han de reduir aquestes emissions de 64% (55%+9%) durant la dècada 2020. És cert que, actualment, aquestes condicions són lleugerament diferents, ja que la pandèmia COVID-19 ha suposat una disminució dràstica de les emissions de CO₂, tot i així aquesta disminució ha sigut fruit dels confinaments i de la contracció econòmica en la seva major part. No ha sigut fruit de ni de transició energètica, ni d'eficiència energètica ni de canvis socials, això fa intuir que quan acabi aquesta pandèmia, les economies tornaran a engegar al 100% i les emissions tornant a les xifres de l'any 2019. A llavors, únicament quedaran entre 7 i 8 anys per fer aquesta reducció de 64%.

Un cop s'ha vist en quin punt es troba Espanya en la reducció d'emissions és necessari saber com es produeixen aquestes.

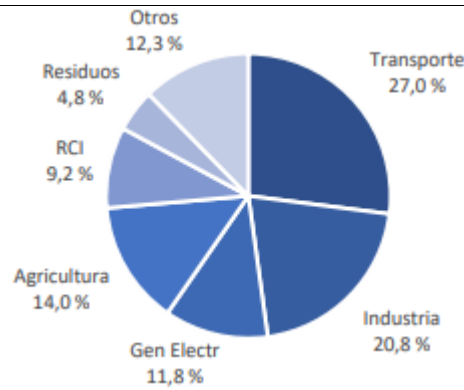


Figura 2: Origen de les emissions a Espanya (Font: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

Tal com es pot veure en la Figura 2, dins les emissions de GEH a Espanya en destaquen quatre grans sectors (transport, indústria, agrari i generació elèctrica) que plegats sumen 73,6% de les emissions .

En aquest treball es busca una alternativa pel sector més emissor, el transport (27%), i es precisa de més informació sobre les emissions d'aquest per saber en quina part del problema s'està proposant una solució i es fa mitjançant les dades que es poden observar en la Taula 1.

Taula 1: Emissions GEH sector del transport (Font: Ministeri del Transport, Mobilitat i Agenda Urbana).

Mode de transport	Gasos d'efecte hivernacle (kt CO2 eq)	Percentatge
Ferrovitari	253	0,3%
Aeri	3.045	3,4%
Marítim	3.160	3,5%
Carretera urbana	28.249	31,3%
Carretera no urbana - passatgers	30940	34,3%
Carretera no urbana - mercaderies	24.469	27,2%
Total transport nacional	90.116	100,0%

La solució que es proposa en aquest treball és sobre el transport de persones en el seu trajecte entre el domicili i el treball. Sobretot quan aquest transport és interurbà, ja que en territori urbà les solucions més òptimes són el transport a peu, en VMP i en transport públic.

Segons IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) aproximadament un terç dels viatges per carretera tenen objectiu el transport laboral, per tant, en aquest treball s'ofereix solució per a un terç de 34,3% de 27 % és a dir aproximadament 3,1 % de les emissions nacionals.

5 DEFINICIÓ DEL PROBLEMA

Actualment, l'ocupació mitjana d'un cotxe a Espanya és de 1.2 persones (IDAE, 2022). Tenint en compte que la majoria de cotxes tenen entre 4 i 5 places queda en evidència que es pot millorar l'ús del parc automòbil actual promovent el compartir vehicle i reduint així trànsit, emissions i despeses en combustible. El problema és, per tant, d'organització del transport, maximitzant l'ocupació dels vehicles.

Per arribar a resoldre aquest problema són necessàries 3 fases:

1. Recollir les dades dels treballadors que volen optimitzar el seu transport.
2. Fer un pretractament per tal que aquestes dades siguin utilitzables pels programaris.
3. Utilitzar les dades pretractades com a input en els algorismes dissenyats per tal que trobin una solució més òptima.

6 ENTORN DE TREBALL

Per realitzar aquest treball són necessaris programaris i bases de dades.

6.1 Programari

El programari que s'utilitzen són principalment dos:

- **Microsoft Excel** és el programa de software de fulls de càlcul líder en el sector i una eina avançada d'anàlisi i visualització de dades. En aquest treball s'empra per fer una visualització de les dades proporcionades pels treballadors i per fer un pretractament d'aquestes dades. S'ha fet servir aquest programari per la comoditat que té emprar un programa amb el qual ja es té afinitat.
- **MATLAB** és una eina de programació i una plataforma de computació numèrica s'utilitza per analitzar dades, desenvolupar algorismes i crear models. També s'ha escollit fer servir MATLAB per afinitat, al llarg del grau i del màster d'Enginyeria Industrial impartit a l'Escola Politècnica Superior de Girona, és el programari que s'ha emprat per fer programació i algorismes, sobretot en l'assignatura Disseny i Assaig de Màquines del primer any de màster.

6.2 Bases de dades

- **Formularis de Google** és un software d'administració d'enquestes que és part del conjunt gratuït Google Docs Editors. S'utilitza per crear formularis i enquestes amb diferents tipus de preguntes, es poden analitzar els resultats en temps real i amb qualsevol dispositiu. S'ha escollit aquesta eina per recollir les dades ja que es gratuïta, intuïtiva i molt coneguda.
- **OpenStreetMap (OSM)** és un projecte col·laboratiu per crear una base de dades geogràfiques gratuïta i editable del món sencer. La informació geogràfica es considera el principal output del projecte. S'ha escollit aquesta base de dades ja que és la que amb més facilitat s'han trobat APIs per poder cridar les dades necessàries a la resolució.

7 PLA DE TREBALL

En aquest apartat s'han fet les dues planificacions que s'exposaran a continuació.

La primera és la que defineix la previsió de temps per realitzar els codis del programa que resoldrà el problema plantejat i la confecció de la memòria que precisa el TFM. Aquesta es pot observar en la Taula 2. Es pot veure que s'han dedicat un total de 315 hores. També es pot veure que les tasques que han sol·licitat més temps és el disseny i escriptura del algorisme que resol el problema. El disseny i escriptura de l'algorisme ha comportat molt de temps degut al plantejament de diferents casuístiques que pot causar el problema, com per exemple, recollir companys que ja compartien cotxe, els treballadors que deixen els nens a l'escola, etc.

Taula 2: Planificació disseny i escriptura codis (Font: elaboració pròpia).

Tasques i temps (hores)	5	15	10	20	15	25	125	100	Resultat
Creació del formulari									Formulari Annex A
Pretractament i transformació dades									Codi MATLAB Annex C Codi MATLAB Annex E
Solució actual									Codi MATLAB Annex F Codi MATLAB Annex G
Creació graf ciutats									Codi MATLAB Annex H
Clustering									Codi MATLAB Annex I
Creació grafs clusteritzats									Codi MATLAB Annex J
Algorisme									Codi MATLAB Annex K
Confecció memòria									Document escrit i presentació

La segona planificació és la que representa els temps d'execució que requereix el pretractament de dades i els temps d'execució dels diferents codis MATLAB dissenyats.

Taula 3: Temps d'execució tractament de dades i algorismes (Font: elaboració pròpia).

Tasques i temps en segons	15N	3N	$\frac{N}{10}$	X	$\frac{N}{10}$	Y	N	Resultat
Pretractament dades								Dades sense errors
Transformació dades								Ubicacions en format coordenades Emissions en kgCO ₂ /km Costos en €/km
Solució actual								Costos i emissions de la solució actual
Creació graf ciutats								Matriu d'adjacència de les ciutats
Clustering								Ubicacions, emissions, costos, places, clusteritzades
Creació grafs clusteritzats								Matrius d'adjacència per cada clúster
Algorisme								Rutes, distribució de despeses

En la Taula 3 es pot veure que els temps aproximats d'execució depenen d'unes variables, a continuació es fa una explicació del per què de cada tempo.

1. El pretractament de dades és l'única operació "manual" que s'ha de fer i depèn de N (nombre de treballadors). S'estima que en 15 segons es pot verificar totes les dades d'un treballador.
2. Per aconseguir la transformació de les dades s'ha de fer iteracions d'adquisicions de dades que duren aproximadament 4 segons per treballador.
3. El càlcul de la solució inicial és un simple conjunt d'operacions matemàtiques que poden obtenir la resolució per 10 treballadors per segon.
4. Per la creació del graf ciutats s'ha de fer una adquisició de dades per omplir una matriu d'adjacència de CxC, on C es el nombre de ciutats diferents a les que viuen els treballadors. Es considera que les distàncies d'anades i de tornades són les mateixes i que es precisen de 4 segons per cada adquisició de dades. En l'equació (I) s'exposa com calcular el temps (X) necessari per aquesta adquisició de dades.

$$X(\text{segons}) = \frac{4}{2} \cdot C^2 \quad (I)$$

-
5. El clustering és un procés que demana poca potència de càlcul i també es pot obtenir solució per 10 treballadors per segon.
 6. Pel que fa als grafs de cada clúster és similar al dels graf ciutats, però depèn del nombre de clústers (CL) i del nombre de treballadors de cada clúster (N_{CL}). En l'equació (II) s'exposa com calcular el temps (Y) necessari per aquesta adquisició de dades.

$$Y(\text{segons}) = \sum_{CL} \frac{4}{2} \cdot N_{CL}^2 \quad (II)$$

7. La resolució amb l'algorisme final té una durada aproximadament igual al nombre de treballadors.

8 FONAMENTS TEÒRICS

8.1 Teoria de grafs

La teoria de grafs és una branca de les matemàtiques que estudia les propietats dels grafs (conjunt de nodes units per arestes).

L'origen data del segle XVIII amb el problema dels ponts de Königsberg, el qual consistia en trobar una ruta que passi pels set ponts del riu Pregel sense passar dos cops pel mateix pont. El problema va ser resolt l'any 1736 per Leonhard Euler i es considera el primer problema resolt per teoria de grafs, solucionant un problema de topologia. (Universitat Politècnica de València, 2022)

Des de llavors s'han plantejat nombroses aplicacions a la teoria de grafs per ajudar a resoldre problemes plantejats per diferents físics i matemàtics, com per exemple, les lleis de Kirchhoff o bé el problema dels quatre colors.

Actualment la teoria de grafs s'utilitza molt en els àmbits de logística, traducció d'idiomes, disseny de xarxes, optimització en investigació operativa, desenvolupament de sensors de robòtica, etc.

Els grafs es poden subdividir en múltiples diferents tipologies (s'expliquen únicament les tipologies que defineixen el graf utilitzat en aquest treball final de màster).

- Graf simple: únicament hi ha una aresta entre dos vèrtexs.
- Graf complet: graf de n vèrtexs amb totes les arestes possibles $(n \cdot (n-1)/2)$.
- Graf ponderat: les arestes tenen assignades uns pesos que, en aquest cas, representen distàncies.

Al llarg del treball s'ha escollit representar els grafs emprats amb matrius d'adjacència.

8.2 Clusterització

La clusterització és la classificació d'objectes per repartir en diferents grups "clústers", aquesta s'origina per Driver i Kroeber en els anys 1930; aplicat en el camp de l'antropologia, s'introdueix en la psicologia i s'utilitza per la classificació de la personalitat basada en la teoria del tret. El primer algoritme d'agrupament data de l'any 1955 i s'anomena K-Means, inicialment s'utilitzava per modulació per impulsos codificats, tot i que avui dia té moltes més aplicacions, com per exemple, segmentació d'usuaris, detecció de frau, etc. Es pot observar el resultat després d'aplicar-lo en la Figura 3. (Raghupathi, 2022)

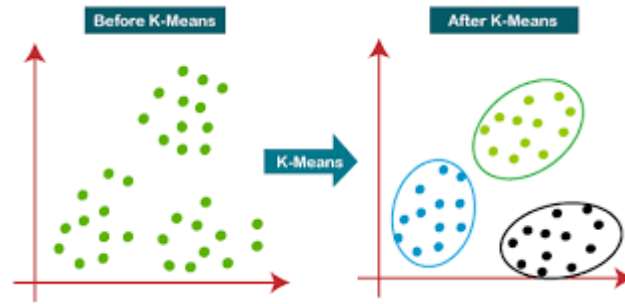


Figura 3: Exemple K-Means (Font: rpubs.com)

Els algorismes de clustering es solen categoritzar segons en que es basen :

- Basats en connectivitat (jerarquia).
- Basats en centroides.
- Basat en distribucions.
- Basat en densitats.

El algorisme que s'ha escollit per fer el clustering en aquest treball és el mètode de Ward que es classifica com a basat en connectivitat i que no permet clústers amb molt pocs individus.

8.2.1 Mètode de Ward

Es presentat per Joe H. Ward també anomenat algorisme de la variància mínima, perquè aquest és el seu criteri: minimitzar la variància total dintre dels clústers. L'algorisme comença creant un clúster per cada objecte i el procediment que té és unificar clústers, per fer-ho escull el parell de clústers que tenen la variant mínima per unir-los, itera aquest procediment fins que obté el nombre de clústers desitjat. Normalment l'algorisme utilitza les distàncies euclidianes (Universitat Politècnica de València, 2022) , no obstant, en aquest treball els objectes no venen definits per coordenades sinó per una matriu d'adjacència que ja dona les distàncies entre els diferents objectes i per tant l'algorisme pot utilitzar directament aquestes distàncies.

9 METODOLOGIA

En aquest capítol s'exposa la metodologia emprada per la resolució del problema, on es fa referència als annexos en els quals figuren les eines dissenyades.

9.1 Recollida de dades

El primer pas és la recollida de totes les dades necessàries dels treballadors, per recollir-les s'utilitza un formulari *Google*. Aquest s'ha representat amb un esquema que es pot observar en l'Annex A.

Tal com es pot veure, les primeres preguntes recullen les dades següents:

- **Nom i ubicació de l'empresa:** el nom és necessari en cas que es vulgui resoldre el problema per més d'una empresa, la ubicació, en canvi, és imprescindible per saber el destí del treballador.
- **Adreça del domicili del treballador:** necessari per conèixer l'origen de la ruta que porta el treballador a l'empresa.
- **Horari del treballador:** necessari per si es vol fer una resolució del problema que avalui quins avantatges té la unificació dels horaris. Saber si el treballador torna a casa per dinar també ofereix la possibilitat de quantificar quin cost mediambiental i econòmic té aquesta pràctica.
- **Porta nens a l'escola?:** si és que sí, quants i on? Això es necessari per saber les parades intermèdies que ha d'efectuar aquest treballador i quina ocupació té el seu vehicle abans d'aquesta parada prèvia.
- **Quin transport utilitza?:** les respostes de *transport públic, bicicleta, VMP i caminant* porten directament al final del formulari, ja que aquest transport ja està optimitzat a nivell d'emissions i despeses. En el cas que es combini transport públic i privat salta a unes preguntes per tenir les dades geogràfiques d'aquest transport.
- **Comparteix el cotxe?:** si és afirmatiu, **quanta gent i on els recull?:** aquestes dades també són per conèixer les parades intermèdies, l'ocupació del vehicle i la freqüència d'aquest compartir cotxe
- **Model, combustible, consum i places del vehicle emprat:** necessari per saber quin cost, quin impacte mediambiental i quina capacitat màxima té el vehicle.

9.2 Pretractament de les dades

Aquestes dades necessiten una revisió i un tractament per poder ser emprades per la resolució.

És important que les respostes de text (ubicació de l'empresa i adreça del domicili) tinguin el mateix format i que portin únicament el necessari. També s'ha de verificar que les dades de consum siguin completes i tinguin sentit.

Realment aquest apartat té poca metodologia, ja que és difícil preveure quins errors es poden trobar a les respostes de l'enquesta.

9.3 Transformació de les dades

Les dades emprades han de ser transformades per poder realitzar totes les operacions necessàries. Les transformacions necessàries es presenten en els capítols següents:

9.3.1 Ubicacions

Totes les ubicacions (empresa, domicili, escoles, transports públics i companys que es recullen) han de ser transformades a coordenades pel seu posterior tractament.

Per fer-ho s'utilitza el codi MATLAB que es pot consultar en l'Annex C. La transformació es fa mitjançant una consulta a l'API Nominatim que utilitza OpenStreetMap per retornar les coordenades geogràfiques mitjançant el nom de ciutat i carrer de la ubicació. L'algorisme itera per cada treballador i si aquest porta un company o porta els nens a l'escola es fa consulta per obtenir les coordenades de les parades intermèdies.

9.3.2 Horari

S'ha de transformar el vector de tipologia d'horari en un vector binari que pren el valor 1 quan el treballador torna a casa per dinar i 0 quan no és el cas. Aquest canvi de variable s'ha fet manualment en l'Excel emprat per fer el pretractament de les dades.

9.3.3 Dades del vehicle

De les dades del vehicle (combustible i consum) s'han de construir el vector cost per km i el vector emissions per km. Aquestes transformacions es fan mitjançant el codi de MATLAB que es pot veure en l'Annex E que, en funció del combustible que emprava cada treballador, multiplica el consum pel corresponent factor d'emissions i cost del combustible. El factor de costos dels combustibles s'ha calculat amb el preu mitjà de l'any 2021 (aquests preus es poden observar en l'Annex D). Pel que fa als factors d'emissions s'han utilitzat els que marca l'OCCC (Oficina Catalana del Canvi Climàtic) en el seu document Guia per a càlcul d'emissions de GEH (Gasos Efecte Hivernacle). Els valors utilitzats queden resumits en la Taula 4.

Taula 4: Factors d'emissions i costos de combustibles (Font: elaboració pròpia)

Font energètica	Preu	Factor d'emissions
Energia elèctrica	0,095 €/kWh	0,250 (kgCO ₂ /kWh)
Dièsel	1,245 €/l	2,459 (kgCO ₂ /l)
Gasolina	1,380 €/l	2,244 (kgCO ₂ /l)

En aquest treball en el càlcul de costos es considera exclusivament el cost del combustible, això es degut a que simplifica el càlcul i assegura uns resultats conservadors. Per considerar altres costos, com per exemple desgast de vehicle i assegurança, es precisa de més dades tant del vehicle com del conductor.

9.4 Solució actual

Per poder quantificar quines reduccions suposa el procés d'optimització, s'han de calcular numèricament els costos i emissions suposen les rutes que s'utilitzen actualment.

Aquest càlcul es fa mitjançant dos algorismes.

El primer, que es pot consultar en l'Annex F recull les distàncies que recorren actualment els treballadors en tots els trajectes possibles. Per fer-ho, crida una API (Project.OSRM) que utilitza el OpenStreetMap que amb les coordenades de dos punts com a input retorna la distància del trajecte més curt. S'itera aquesta petició d'API per tots els treballadors i amb totes les casuístiques possibles (recollir companys que porten a la feina, portar els nens a l'escola o bé anar a la feina).

El segon algorisme, que figura a l'Annex G, fa la valoració econòmica i d'impacte mediambiental que tenen els trajectes del treballador, mitjançant les distàncies calculades anteriorment; el vector binari que indica si els treballadors tornen a casa per dinar i els factors d'emissions i de costos calculats en l'Annex E. Finalment, el codi també fa el càlcul considerant que cap treballador torna a dinar, per quantificar així quin impacte tenen els treballadors que diàriament fan 4 viatges en comptes de 2.

9.5 Creació del graf ciutats

Per poder clusteritzar els treballadors es necessita un graf que contingui les ciutats únicament una vegada, ha de ser complet ja que ha de tenir arestes entre tots els vèrtex i ponderat perquè es imprescindible tenir les distàncies entre tots els vèrtexs.

Per tal de construir el graf de distàncies entre ciutats s'utilitza el codi MATLAB que es pot consultar en l'Annex H. L'algorisme, primerament, identifica en quines ciutats hi ha treballadors tinguin vehicle o siguin recollits per un altre treballador i així fer que constin totes les ciutats on ha de sortir un treballador. El graf es guarda en format de matriu d'adjacència, per construir aquesta, l'algorisme itera per cada treballador utilitzant el API Project.OSRM utilitzat en el codi MATLAB de l'Annex F. Per reduir el temps d'adquisició es considera que la distància d'anada i de tornada tenen el mateix valor, creant així una matriu simètrica respecte la diagonal principal de la matriu.

9.6 Clusterització

Depenent del nombre de treballadors que té l'empresa el problema pot agafar una mida que comporta un creixement factorial de la potència de càlcul necessària per resoldre el problema. Una bona solució és subdividir el problema, per fer-ho s'utilitza la clusterització jeràrquica.

Dintre les diferents possibilitats per fer el clustering s'utilitza el mètode de Ward introduït en el capítol 8.2.1, s'utilitza aquest mètode evitar que quedin individus aïllats.

En l'Annex I és pot veure el codi MATLAB que fa el clustering, en el codi primerament es fa un càlcul de quants clústers es volen tenir (la quantitat de treballadors dividida per vint), a continuació es completa amb zeros els vectors de dades dels treballadors per tal que tinguin de mida la quantitat de treballadors incloent els que ja compartien vehicle en la solució inicial. S'aplica el algorisme de Ward mitjançant les funcions MATLAB linkage i clúster. Després s'itera tantes vegades com clústers hi ha per separar totes les dades dels treballadors (cost, places i consum del vehicle, coordenades del domicili, quants nens porta i on els porta) en els clústers que els pertoca.

9.7 Grafs clusteritzats

Els grafs que es necessiten de cada clúster són de la mateixa tipologia que el graf ciutat obtingut en el capítol 9.5, complets i ponderats. L'algorisme dissenyat per fer-ho es pot consultar en l'Annex J, que és molt similar al de l'Annex H, la diferència és que en aquest els inputs són les coordenades dels treballadors separades en clústers. Per crear tots els grafs hi ha 3 estructures de control *for*:

- El primer itera n vegades, on n és el nombre de clústers. Això per crear tants grafs com clústers hi ha.
- Els altres dos iteren per emplenar totes les files i columnes de la matriu d'adjacència emprada per guardar el graf. Iteren M_n vegades on M_n és la quantitat de treballadors per clúster. Les matrius construïdes són de $M_n \times M_n$. També s'obtenen les distàncies amb l'API Project.OSRM.

9.8 Definició dels paràmetres de resolució

Abans de portar a terme la resolució s'han d'escollir uns paràmetres que defineixen la complexitat de la resolució.

- Precisió de l'adreça dels domicilis.
 - Ciutat únicament.
 - Carrer i número.
- Consideració dels horaris.
 - Els treballadors conserven el seu horari.
 - Els treballadors comencen tots a la mateixa hora.
- Nens portats a l'escola.
 - Els pares porten nens a l'escola.
 - Els pares no porten nens a l'escola.

9.9 Algorisme final

Un cop clusteritzades les dades i decidits els paràmetres de resolució es pot emprar el algorisme final dissenyat per obtenir la resolució final.

L'algorisme final es pot observar a l'Annex K. Principalment té dues iteracions: la primera per iterar amb tots els clústers i la segona per iterar amb els vehicles que s'omplen per portar els treballadors a la feina. Primerament es crea un vector B que emmagatzema l'última fila de la matriu d'adjacència clusteritzada, tot seguit l'algorisme busca els índexs de tots els elements que no poden agafar vehicle [els treballadors sense vehicle (SV) i les escoles] i els dona valor *Not a Number* (NaN). Per tractar aquests elements es generen dos vectors: el vector escoles que defineix a quin índex s'ubica l'escola a la qual el treballador ha de deixar el nen i el vector Rutarecollida en el qual s'assigna al treballador més proper a un treballador SV que ha de tenir com a propera parada el node del treballador SV en qüestió. Un cop fet això s'escull el treballador més allunyat de la feina com a treballador que surt ja que és el que ha de tenir més facilitat per recollir companys sense desviar-se excessivament del seu camí. Llavors ja es comença a iterar l'emplenada del vehicle que consta de les 5 fases següents:

- 1) Control d'ocupació del vehicle: amb la variable O que defineix quantes persones hi ha al vehicle i amb el vector Llistaocupants que controla quins treballadors hi ha al vehicle.
- 2) Control de vehicle: es compara el vehicle que s'està emprant amb el vehicle disponible de la persona que es recull per si aquest té un consum més baix.
- 3) Escollir el destí : per escollir la propera parada primerament es comprova si el node té un destí predeterminat per deixar el nen a l'escola o recollir un treballador SV i en cas contrari és comparen tres valors:
 - a. La distància del treballador més proper.
 - b. El valor mínim sumant la distància entre el node actual i els treballadors pendents de recollir i la distància entre aquests treballadors i l'empresa.
 - c. La distància entre el treballador i l'empresa.

Per fer una selecció entre aquests tres valors s'ha decidit que es recollirà el treballador més proper sempre que recollir aquest no desviï el viatge més de 20%. En segona opció es recull el treballador que compleix el valor mínim esmentat en el punt b, a no ser que suposi un desviament de més de 40%. En aquest cas es defineix l'empresa directament com a destí.

- 4) Es fa un control de que el destí trobat anteriorment en cas de portar un nen o de ser un dels treballadors que recull un treballador SV no suposi un overbooking del vehicle emprat.

-
- 5) Es fa una comptabilització dels kilòmetres recorreguts, emissions generades i un repartiment dels costos entre els treballadors. Per fer el repartiment de costos entre els treballadors s'ha escollit que un treballador pagarà sempre la distància que recorre multiplicada pel cost de combustible per km del vehicle emprat dividit per l'ocupació i que en cas de portar nens aquests comptarien com una ocupació més i els pares haurien de pagar per l'ocupació del seient pels quilòmetres que toquin fer.

10 IMPLEMENTACIÓ

En aquest capítol s'aplica la metodologia explicada anteriorment i s'exposen els resultats que se n'obté quan s'aplica a les dades dels treballadors de Tavit.

Tavit és una empresa especialitzada en la construcció de maquinària i línies automàtiques d'encaixat, paletitzat i manipulació. L'empresa s'origina l'any 1925 i a l'any 2000 es converteix en líder mundial de la tecnologia multi-format per l'encaixat automàtic. Avui dia té uns 80 treballadors. S'ha escollit demanar dades a Tavit per tres motius: la quantitat de treballadors (no és una empresa massa petita), l'afinitat que té amb l'EPS que ha facilitat l'acceptació de l'adquisició d'aquestes dades i, principalment, la situació geogràfica de l'empresa. Es troba ubicada en un polígon industrial on la immensa majoria de treballadors no tenen més opció que utilitzar el cotxe, situada entre Figueres i Olot, únicament a 50 km de la capital de la província, Girona. Per tant, és una empresa on convergeixen treballadors de diferents orígens. Les dades recollides es poden consultar a l'Annex L.

10.1 Recollida de dades

La recollida de dades s'ha efectuat mitjançant el formulari Google, i s'han utilitzat únicament les respostes fetes abans del dia 1 d'agost 2021.

- **Nom i ubicació de l'empresa:** únicament s'ha treballat amb dades d'una empresa, Tavit i, per tant, les dades de nom i ubicació de l'empresa no tenen molta utilitat en aquest cas. No obstant les respostes recollides que es poden observar en la Taula 20 mostren que, fins i tot, quan les respostes d'una pregunta de text han de ser la mateixa, aquestes acaben diferint i no únicament en format, alguns en el nom afegeixen la forma jurídica. Altres afegeixen la província en la ubicació quan únicament s'ha demanat ciutat. Per tant, queda recalcat que preguntes de text sol·liciten un pretractament de dades més "extensiu".
- **Adreça del domicili del treballador:** aquestes dades sí són imprescindibles per la resolució del problema i es pot observar que alguns treballadors no han volgut contestar la pregunta sobre carrer i número del domicili. Per mantenir les dades homogènies i respectar la confidencialitat promesa als treballadors, s'utilitza únicament la localització mitjançant els municipis en els quals habiten els treballadors, aquests es poden consultar en la Taula 21 i en la Figura 4 (es poden veure representades les ubicacions dels domicilis dels treballadors en blau i de l'empresa en vermell). S'observa que una gran quantitat dels treballadors viuen a la Garrotxa i que la resta està repartida des de Berga fins a Lloret de Mar. Si es disposés de la ubicació real dels treballadors no suposaria grans canvis en la resolució sinó únicament una solució de rutes més precisa.



Figura 4: Domicilis treballadors (Font: Google My Maps).

- **Horari del treballador:** tal com es pot veure en la Figura 5 menys d'un terç dels treballadors tornen a casa per dinar i en la Taula 22, entre les hores de sortida i entrada intermèdies, sol haver-hi únicament una hora i, per tant, es pot intuir que els treballadors que tornen a casa per dinar són els que tenen el domicili més proper a l'empresa.

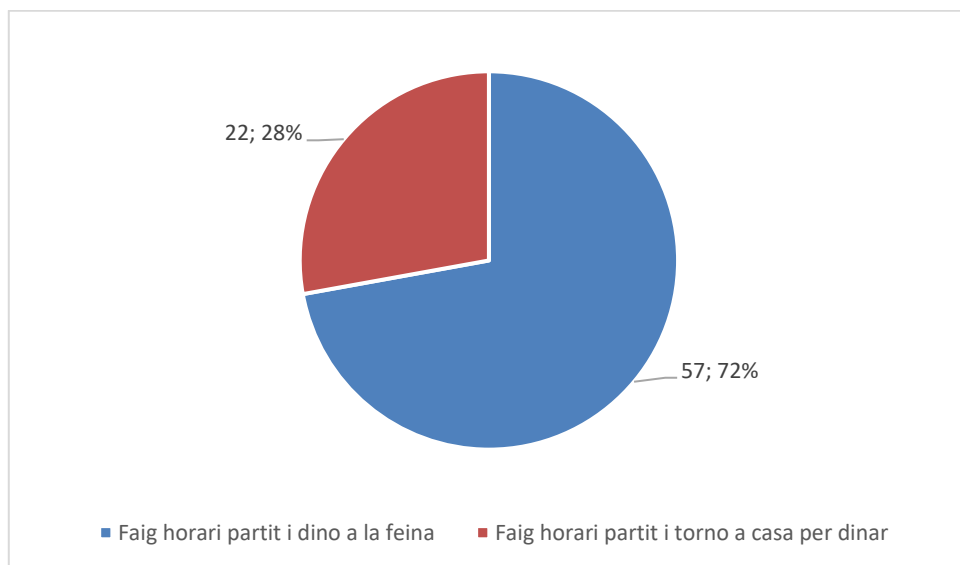


Figura 5: Tipologia d'horari (Font: elaboració pròpia).

- **Porta nens a l'escola?:** en la Taula 23 es pot veure que 6 dels 79 treballadors porten els nens a l'escola, també s'hi pot observar quants nens es porten, on es porten i si es recullen a la sortida.
- **Quin transport utilitza?:** s'ha decidit no tenir en compte els usuaris de *transport públic, bicicleta, VMP* i els que van *caminant*, igualment es pot veure que cap dels treballadors de Taval empra cap d'aquestes opcions, això es degut a que la localització de l'empresa ho dificulta.

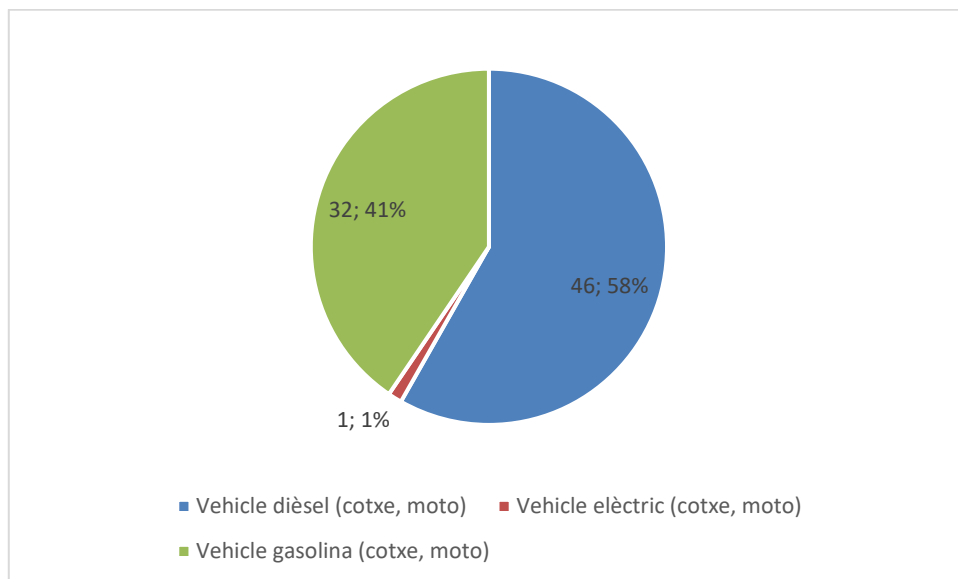


Figura 6: Mitjans de transport treballadors Taval (Font: elaboració pròpia)

Es pot veure en la Figura 6 i a la Taula 25 que l'ús del vehicle elèctric és molt minoritari i que el vehicle dièsel predomina lleugerament al vehicle de gasolina.

- **Comparteix el cotxe?:** es pot veure a la Taula 24 que 5 treballadors ja comparteixen vehicle i, únicament, dos d'aquests no ho fan cada dia.
- **Model, consum i places del vehicle emprat:** es pot observar en la Taula 26 que s'ha fet un error demanant el consum en forma de text i no en forma numèrica, ja que molts consums s'han apuntat amb les unitats o amb els decimals malament i, per tant, necessita un pretractament de dades més intensiu. També es pot veure que el model de cotxe s'ha contestat en alguns casos pel model o d'altres per la marca i que és una informació que no és necessària si es té el consum i les places del vehicle.

Un cop observats tots aquets detalls s'ha procedit a replantejar l'enquesta i la seva estructura per obtenir dades de manera més fiable i reduir el temps de correcció de les dades per la propera aplicació.

L'única dada dels vehicles que no precisa d'un pretractament és la del nombre de places i aquesta es pot observar en la Figura 7. S'aprecia que la immensa majoria de vehicles que utilitzen els treballadors de Taviil són de 5 places.

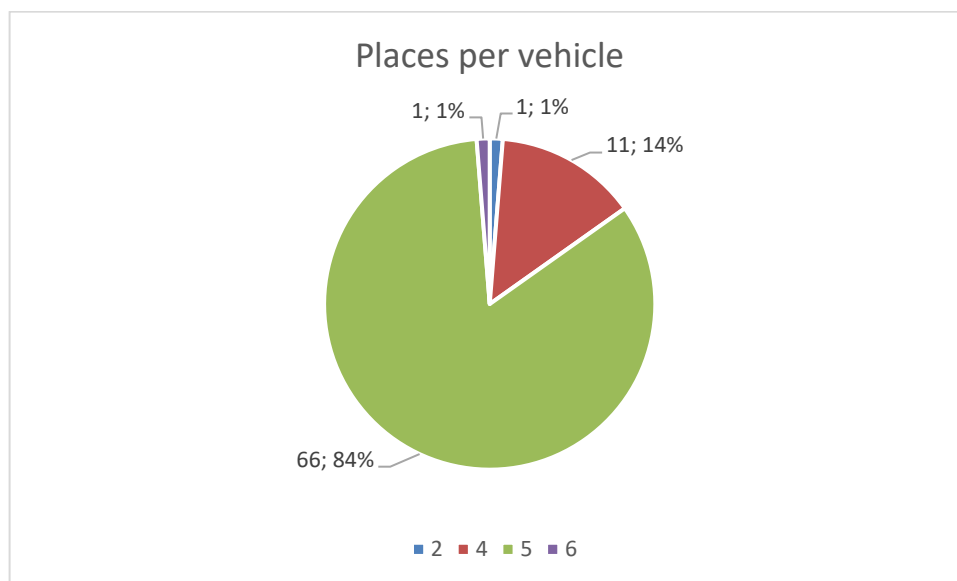


Figura 7: Nombre de places per vehicle (Font: elaboració pròpia).

10.2 Pretractament de dades

Els resultats de les dades pretractades es pot consultar en l'Annex M, a continuació es fa una explicació de quins elements s'han hagut de tractar i com s'ha hagut de fer.

10.2.1 Domicili

A part d'uniformitzar la forma i deixar tot el text en majúscules, s'han modificat les dades del treballador 8 i 66 que inclouen text innecessari (Girona i Olot respectivament), el treballador 76 ha escrit el nom de la ciutat del domicili amb un espai davant del text, això s'ha detectat durant la resolució. Els domicilis pretractats es poden veure en la Taula 27.

10.2.2 Escoles

En les dades de les escoles també s'ha uniformitzat i es pot observar en la Taula 28, s'ha deixat únicament la ubicació de la ciutat tal com s'ha fet amb les dades de domicili. S'ha tret, per tant, el nom de l'establiment en les dades dels treballadors 31, 59 i 66. S'ha tret el carrer de l'escola en les dades del treballador 70.

10.2.3 Compartir cotxe

Pel que fa aquestes dades únicament s'ha hagut d'uniformitzar el format del text tal com es pot veure en la Taula 29.

10.2.4 Consum

Tal com s'ha esmentat en la metodologia, el fet d'haver demanat el consum en forma de text i no en interval de números ha suposat una recollida de dades molt poc homogènia.

Molts treballadors han afegit les unitats del consum, aquestes s'han eliminat per deixar únicament el valor numèric, s'ha homogeneïtzat el format numèric separant tots els decimals per comes. En el cas del treballador 10, que no sap el consum el seu vehicle i el qual ha especificat únicament la marca, s'ha decidit assignar-li un valor de consum de 10l/100km per ser conservador a l'hora de la resolució. El treballador 74 tampoc especifica el consum del seu vehicle, però sí ha especificat que es un dièsel Audi A1; es sap, per tant, que és un vehicle relativament petit, tot i així, al no saber l'any ni la cilindrada, es suposa un consum de 7.5l/100km. Els treballadors 23, 28 i 60 han deixat el consum com un interval, en aquest cas s'ha decidit agafar el valor mig entre aquest interval. Els treballadors 64 i 78 han introduït els valors de consum malament, però es pot entendre que s'ha corregut el separador decimal en ambdós casos i que, per tant, els consum dels combustibles són 6.8 i 6l/100km. Tots aquests canvis es poden observar en la Taula 30.

10.3 Transformació de les dades

En aquest capítol s'exposen els resultats d'aplicar la metodologia explicada anteriorment per tal de transformar les dades per que puguin ser utilitzades per resoldre el problema.

10.3.1 Ubicacions

Les ubicacions, un cop passades a coordenades, es poden extrapolar a X i Y per fer una representació en el pla XY. Es pot veure que la Figura 8 és molt similar a la Figura 4, ja que en distàncies tan curtes no acaba de ser apreciable l'error que es té quan es representa latitud i longitud com si formessin part d'un pla i no d'una esfera.

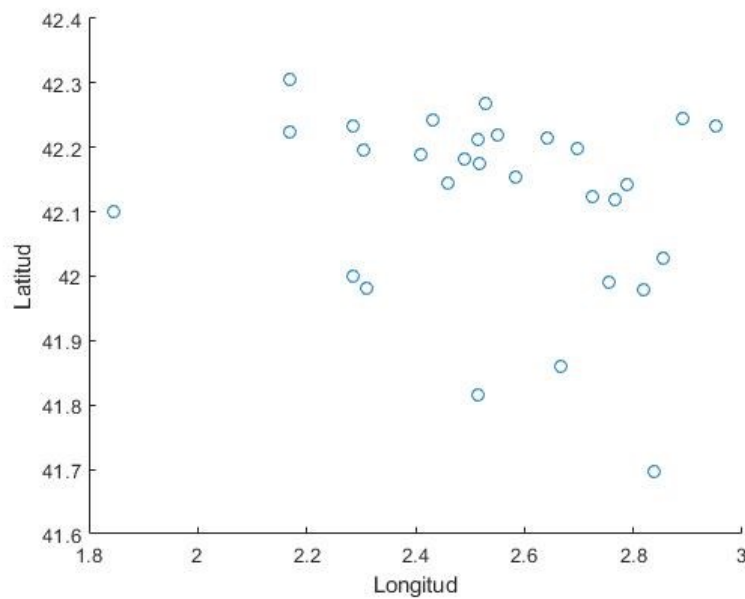


Figura 8: Coordenades dels domicilis dels treballadors de Tavil (Font: elaboració pròpia).

10.3.2 Dades vehicle

En la Figura 9 es pot observar que els costos del combustible de la majoria de vehicles està entre 6 i 13 cèntims el quilòmetre. També es pot veure que hi ha extrems associats a vehicles elèctrics que tenen un cost molt baix per quilòmetre i algun vehicle antic o gros que té un consum més elevat.

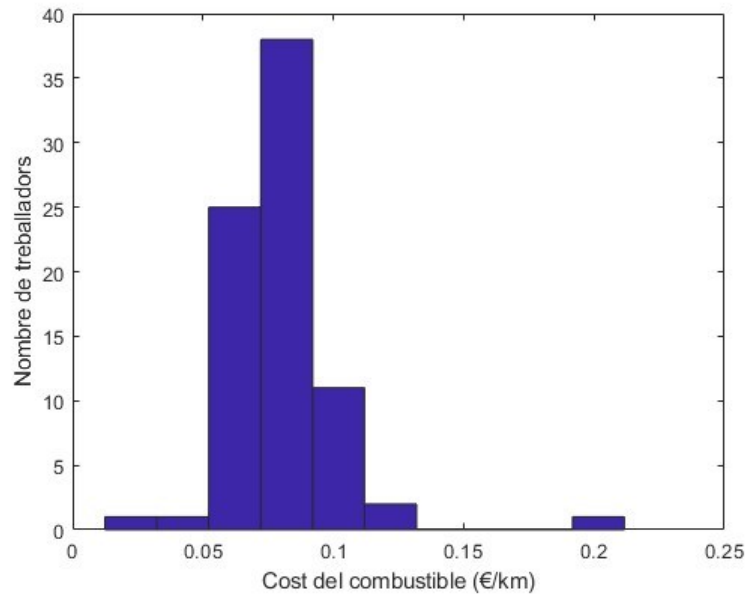


Figura 9: Histograma cost dels vehicles dels treballadors (Font: elaboració pròpia).

En la Figura 10 es veu que la distribució d'emissions és molt similar a la de costos i té molt de sentit, ja que tots dos són directament proporcionals al mateix vector (el de consum de combustible). No obstant es veu el canvi de valors que la majoria de vehicles emet entre 0.125 i 0.225 kg de CO₂ per km recorregut.

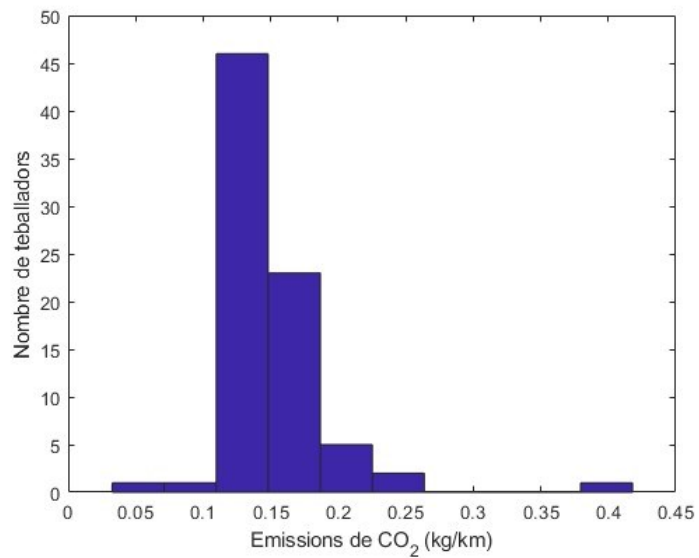


Figura 10: Histograma emissions de CO₂ dels vehicles dels treballadors (Font: elaboració pròpia).

10.4 Solució actual

En la Taula 5 es pot veure que els treballadors anant a la feina de forma individual cada any:

- Recorren de mitjana gairebé dotze mil cinc cent quilometres (més d'un quart de volta al planeta).
- Emeten 1,88 tones equivalent CO₂, 94% del pressupost de carboni d'una persona a 2050.
- Gasten 950 euros, l'equivalent d'un mes de salari mínim.

Taula 5: Resum solució actual (Font: elaboració pròpia).

	Total	Per treballador
Distància (km)	1.047.000	12.464
Emissions (TCO ₂)	157,8	1,88
Despesa (€)	79.731	949,18

La magnitud del cost i de les emissions ve definida principalment per dos factors, el primer és la distància recorreguda i el segon és el consum del vehicle.

La distància recorreguda pot ser elevada per dos motius, el primer és quan el treballador té el domicili allunyat del lloc de treball, i el segon cas és quan el treballador torna a dinar i per tant realitza el doble de viatges que els seus companys que fan jornada intensiva o es queden a dinar a l'empresa. En el cas de la no proximitat del lloc de treball al domicili, s'haurien d'incentivar dues pràctiques: el teletreball i la proximitat entre el domicili i el lloc de feina, no obstant aquestes solucions no són objecte d'aquest treball i, per tant, no es valoren. Pel que fa els viatges duplicats, sí es pot calcular quin impacte té forçar la jornada intensiva i es fa en l'algorisme de l'Annex G.

Taula 6: Resum solució amb jornada intensiva (Font: elaboració pròpia).

	Total	Estalvi	Estalvi (%)
Distància (km)	926.752	120.248	11,5%
Emissions (TCO ₂)	139	19	12,0%
Despesa (€)	7.0197	9.534	12,0%

En la taula Taula 6 es veu que, únicament, restringint la tipologia d'horaris es pot arribar a una reducció de costos i emissions de 12%.

10.5 Creació del graf ciutats

En l'obtenció de dades es pot observar que els treballadors de Tavil estan repartits en les 30 ciutats que figuren a la Taula 7 i, per tant, la matriu que s'ha creat en aquest capítol és de 30x30. Per fer-ho, el codi ha estat aproximadament 1800 segons, tal com preveia el càlcul del capítol 7.

$$X(\text{segons}) = \frac{4}{2} \cdot 30^2 = 1.800s \quad (III)$$

Taula 7: Ciutats on habiten els treballadors (Font: elaboració pròpia).

nº	Ciutat	nº	Ciutat
1	ARBÚCIES	16	OLOT
2	ARGELAGUER	17	PORQUERES
3	BANYOLES	18	RIBES DE FRESER
4	BATET DE LA SERRA	19	RIUDAURA
5	BERGA	20	RODA DE TER
6	BESALÚ	21	SANT GREGORI
7	CAMPDEVÀNOL	22	SANT JOAN DE LES ABADESSES
8	CASTELLFOLLIT DE LA ROCA	23	SANT JOAN LES FONTS
9	FONTCOBERTA	24	SANT JULIÀ DE RAMIS
10	GIRONA	25	SANTA COLOMA DE FARNERS
11	LA VALL DE BIANYA	26	SANTA LLOGAIA D'ÀLGUEMA
12	LES PRESES	27	SANTA PAU
13	LLORET DE MAR	28	TARAVAUS
14	MANLLEU	29	VALL DE BIANYA
15	MONTAGUT I OIX	30	VALLFOGONA DE RIPOLLÈS

A l'hora d'executar l'algorisme realment s'han tingut problemes, quan hi ha errors de connexió a Internet, sigui de l'aparell que està executant el codi o del servidor del OpenStreetMap, salta un codi d'error de MATLAB que es queixa de no rebre resposta de l'API. Per adaptar-se a aquest problema s'ha afegit una línia en el codi que guarda el que s'ha obtingut de la matriu, per poder tornar a executar el codi des del punt en que s'havia deixat. Vista la mida de la matriu s'ha decidit no presentar-la en els annexos.

10.6 Clusterització

L'algorisme de clustering presentat en l'Annex I, crea 4 clústers (1 per cada 20 treballadors), i distribueix les 30 ciutats en 4 clústers, aquests es poden veure en l'arbre jeràrquic representat en la Figura 11. Per crear els 4 clústers s'ha tallat l'arbre a 69 km, quan el arbre passa de tenir 5 branques a 4 (nombre de clústers desitjat), les ciutats en aquesta figura tenen l'etiqueta que les identifica també en la Taula 7.

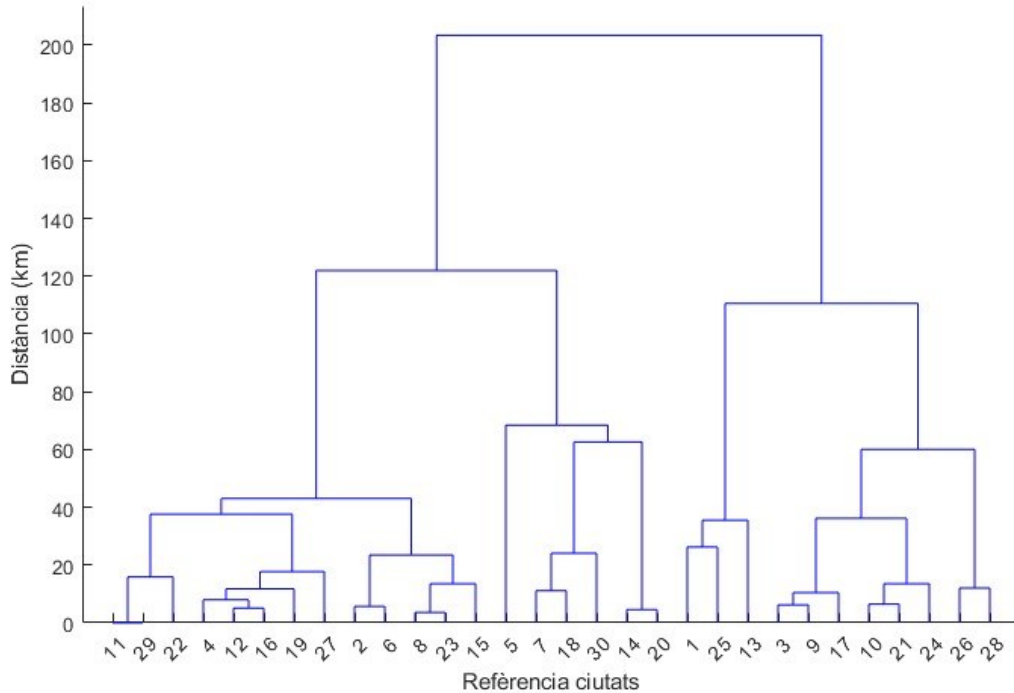


Figura 11: Representació gràfica del clustering dels treballadors de Tavil (Font: elaboració pròpia).

Quan es representa en la Figura 12 el clustering en un mapa es veu clarament que fer clústers descarta possibles solucions òptimes com, per exemple, els treballadors del clúster verd podrien recollir algun treballador del clúster blau sense desviar la seva ruta.



Figura 12: Treballadors de Tavil clusteritzats (Font: Google My Maps).

En la Taula 8 es veuen quines ciutats pertanyen a cada clúster.

Taula 8: Ciutats clusteritzades (Font: elaboració pròpia).

Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4
ARBÚCIES	BANYOLES	ARGELAGUER	BERGA
LLORET DE MAR	FONTCOBERTA	BATET DE LA SERRA	CAMPDEVÀNOL
SANTA COLOMA DE FARNERS	GIRONA	BESALÚ	MANLLEU
	PORQUERES	CASTELLFOLLIT DE LA ROCA	RIBES DE FRESER
	SANT GREGORI	LA VALL DE BIANYA	RODA DE TER
	SANT JULIÀ DE RAMIS	LES PRESES	VALLFOGONA DE RIPOLLÈS
	SANTA LLOGAIA D'ÀLGUEMA	MONTAGUT I OIX	
	TARVAUS	OLOT	
		RIUDAURA	
		SANT JOAN DE LES ABADESSES	
		SANT JOAN LES FONTS	
		SANTA PAU	
		VALL DE BIANYA	

En la Taula 9 es representa quantes ubicacions (treballadors, treballadors SV, escoles) té cada clúster i es veu que els clústers tenen força diferència de mida, fet que, per exemple, el clúster 3 sigui tant gran, redueix la finalitat de clusteritzar, que era inicialment reduir el temps de càlcul per obtenir les matrius sense alterar excessivament l'optimització.

Taula 9: Mida dels clústers (Font: elaboració pròpia).

Clúster	nº ubicacions
1	5
2	31
3	51
4	7

Vist això s'ha decidit calcular a l'Annex N quin és realment l'estalvi de temps en cada cas, el resultat es pot veure resumit en la Taula 10, i s'aprecia que realment el clustering realitzat sí és efectiu, el temps per obtenir els grafs clusteritzats és aproximadament de 7.272 minuts mentre que sense fer clustering seria de 16.572 minuts. Tot i que, idealment, el temps seria de 4.420 minuts.

Taula 10: Efectivitat del clustering (Font: elaboració pròpia).

Condicció	Temps aproximat (segons)	Estalvi
Clústers ideals (22/23 ubicacions)	4.420	73%
Clústers obtinguts	7.272	56%
Sense clustering	16.572	0%

10.7 Grafs clusteritzats

Aplicar l'algorisme de l'Annex J ha sigut, finalment, una de les tasques més extensives en temps de càlcul i això es degut al que s'ha comentat en el capítol anterior i s'ha observat en la Taula 10. A més, l'increment de temps de càlcul ha comportat un augment de les problemàtiques d'error de connexió explicades en el capítol 10.5, i per tant, ha precisat més intervenció humana.

Tot i així s'han obtingut les matrius d'adjacència pels quatre clústers de les mides següents: 5×5 , 31×31 , 51×51 , i 7×7 .

10.8 Definició dels paràmetres de resolució

Tal com s'ha esmentat anteriorment, els treballadors de Taviil volien protecció de dades i alguns ho han mostrat donant únicament la ciutat i no el carrer del seu domicili. Per fer una resolució coherent per tots els treballadors s'ha escollit, per tant, que la precisió de l'adreça es queda en la ciutat.

Vist que l'objectiu d'aquest treball també es demostrar quina quantitat de despeses i emissions es poden reduir únicament promocionant el compartir vehicle, s'ha decidit unificar els horaris dels treballadors; ja que en aquesta postura es pot fer una aproximació de quines serien les màximes reduccions d'emissions i de despeses a les que aquest algorisme pot arribar.

Malgrat que a Taviil únicament el 7,5% dels treballadors porta els nens a l'escola, s'ha considerat essencial mantenir aquesta pràctica tot i que pugui portar a una incoherència amb la unificació dels horaris que podrien no coincidir amb els horaris d'entrada dels nens a l'escola.

10.9 Algorisme final

Un cop obtinguts els grafs dels diferents clústers i els vectors necessaris es pot procedir a utilitzar l'algorisme final.

Es poden veure en la Taula 11 les rutes que han de fer els treballadors per compartir cotxe, segons les prioritats que s'han marcat en l'algorisme, també es pot veure que surten 18 vehicles, mentre que en la solució inicial sortien 79 vehicles, l'ocupació mitjana d'aquests vehicles és de 4,6.

Taula 11: Rutes proposades per l'algorisme (Elaboració font pròpia).

Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4
[1,3,4,2]	[11,24,5,7,28,29]	[7,1,45,6,9]	[2,1,6,4]
	[1,26,27,2,3]	[29,11,14,30,34]	[5,3]
	[4,6,12,13,14]	[20,38,39,15]	
	[19,22,8,9,15]	[5,42,2,3,8]	
	[16,17,21,23,10]	[36,10,13,16,17]	
	[18,25,20]	[33,4,12,21,18]	
		[19,22,23,24,25]	
		[26,27,28,31,35]	
		[32,37,40,41,43]	

El repartiment de costos entre els treballadors és un *output* en forma d'una matriu d'adjacència per clúster, la fila defineix quin vehicle s'està emprant i, per tant, qui ha de cobrar, mentre que en les columnes representen quins treballadors han de pagar (les dimensions de les matrius complica presentar-les en aquest TFM). No obstant en la Taula 12 és pot observar la del primer clúster i es veu com s'empra el vehicle del treballador 1 i el que li han de pagar els treballadors 2, 3 i 4 per cada viatge, cal remarcar que els costos són baixos degut a que el vehicle del node 1 d'aquest clúster és un vehicle elèctric. En la Taula 13 figuren els resultats globals de la solució proposada, es pot veure que hi ha una reducció significativa respecte la solució emprada actualment, en el següent capítol s'analitzen més detalladament aquests resultats.

Taula 12: Matriu d'adjacència costos repartits en €/viatge clúster 1 (Font: elaboració pròpia).

Treballador /vehicle	1	2	3	4
1	0,671	0,242	0,356	0,356
2	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000

Taula 13: Resum solució algorisme (Font: elaboració pròpia).

	Solució algorisme
Distància (km)	421.980
Emissions (TCO ₂)	50,8
Despesa (€)	25.503

11 ANÀLISI DEL RESULTAT

11.1 Resultat esperat contra resultat final

Es pot intuir que el quilometratge de la solució final, es veuria reduït en la mateixa quantitat que els vehicles, és a dir, en 77%. En la Taula 14 es pot veure que no és així perquè els treballadors s'han de desviar de la ruta més curta per recollir companys. També es veu que la reducció de despesa i emissions es superior en 8% a la reducció del quilometratge, això és degut a que l'algorisme sempre escull el vehicle amb menor consum.

Taula 14: Comparació solució inicial i solució final (Font: elaboració pròpia)

	Solució inicial	Solució algorisme	Estalvi
Distància (km)	1.047.000	421.980	60%
Emissions (TCO ₂)	157,8	50,8	68%
Despesa (€)	79.731	25.503	68%

11.2 Errors de l'algorisme

Quan es miren les rutes obtingudes per l'algorisme en la Taula 11 es detecta que, en el clúster 2, el primer vehicle transporta 6 treballadors quan realment el vehicle emprat únicament té 5 places, el *overbooking* és degut a la falta d'un control d'ocupació futura quan es recullen treballadors SV, aquest hauria de ser similar al que es té pels treballadors que porten els nens a l'escola.

En l'algorisme s'han avaluat els viatges de tornada iguals als d'anada, aquest realment no és el cas degut a que els treballadors no solen recollir els nens quan tornen de la feina i, per tant, hi ha una parada menys i un desviament menys.

11.3 Compartir cotxe vs. vehicle elèctric

Per comparar la solució proposada en aquest TFM amb la optada per la majoria de governs (impulsar el vehicle elèctric) és necessari primerament fer una comparació entre el vehicle elèctric i el vehicle de combustió interna. Per fer aquesta comparació s'utilitzen les mitjanes de consum dels vehicles dels treballadors pels vehicles de combustió interna i pels vehicles elèctrics s'agafa el consum mitjà del mercat, ja que a les dades de Tavis únicament n'hi ha un. Els consums i emissions agafant aquest criteri es poden observar en la Taula 15.

Taula 15: Comparativa preus i emissions de vehicles segons el combustible (Font: elaboració pròpia)

	Consum	Preu	Emissions
Elèctric	14	1,33	3,50
Dièsel	6,325	7,87	15,55
Gasolina	6,458	8,91	14,49

Per simplificar el càlcul es consideren els valors del dièsel i de la gasolina conjuntament, agafant la mitjana del preu i de les emissions per fer els càlculs. Les mitjanes són de 8.39€/100km pel cost i de 15.02kgCO₂/100km.

En la solució actual, la distància mitjana recorreguda per vehicle és de 13.253km, amb aquestes dades es pot calcular quina quantitat de vehicles haurien de ser elèctrics per arribar a les mateixes despeses o emissions que en la solució que proposa aquest TFM.

$$25.503 = \frac{13.253}{100} \cdot ((X + 1) \cdot 1,33 + (78 - X) \cdot 8,39) \rightarrow X = 65,62 \quad (IV)$$

$$50.800 = \frac{13.253}{100} \cdot ((X + 1) \cdot 3,5 + (78 - X) \cdot 15,02) \rightarrow X = 68,72 \quad (V)$$

Per fer una valoració econòmica i mediambiental d'aquesta substitució de vehicles s'ha decidit escollir un vehicle elèctric econòmic, fiable i el més local possible per fomentar l'economia local. El vehicle seleccionat es el Renault Zoe, fabricat a França, que té un cost de 34.060€ i un impacte mediambiental de fabricació de 9267kgCO₂/ vehicle fabricat (Renault, 2022).

Taula 16: Valoració econòmica i ambiental d'una substitució del vehicle tèrmic per vehicle elèctric (Font: elaboració pròpia).

	Vehicles necessaris	Cost econòmic (€)	Cost ambiental (tCO₂)
Igualar estalvi econòmic	66	2.247.960	612
Igualar reducció de petjada mediambiental	69	2.350.140	639

És pot veure en la Taula 16 que fer aquesta substitució de vehicle té un cost econòmic considerable, que supera els dos milions d'euros, i que la petjada mediambiental tampoc és negligible.

12 PRESSUPOST

Aquest projecte es pressuposta per 6.283,33€ (**sis mil dos-cents vuitanta-tres euros amb trenta-tres cèntims**).

Tal com es pot observar en la Taula 17 la majoria del cost és d'hores enginyers i els altres costos són de llicències de softwares, d'amortització d'Equips de Processament d'informació i altres despeses.

Taula 17: Pressupost (Font: elaboració pròpia).

Concepte	Unitats	Amidament	Preu	Total
Hores enginyer	h	315	17,64 €	5.556,60 €
Llicència MATLAB	h	157,5	0,94 €	148,24 €
Llicència Office	h	157,5	0,08 €	13,13 €
Amortització EPI	h	315	0,12 €	37,06 €
Altres	%	3	57,55 €	172,65 €
Benefici industrial	%	6	59,28 €	355,66 €
Total				6.283,33 €

Els preus unitaris estan justificats en l'Annex O.

13 CONCLUSIONS

En aquest Treball Final de Màster s'han complert els objectius que es plantejaven: s'ha creat una enquesta per recollir dades de mobilitat, s'ha dissenyat una sèrie d'algorismes que transformen aquestes dades per tal que puguin ser emprades per la resolució, s'ha creat un algorisme que proposa una alternativa a la mobilitat actual dels treballadors i s'han pogut utilitzar tots per la resolució del cas d'una empresa real (Tavil). A més, els resultats obtinguts per l'algorisme són molt bons considerant que aquest, únicament, pot trobar una solució de mínim parcial.

Aquests resultats demostren que, en determinats casos, la solució per reduir emissions no és tal com impulsa el govern, diuen els informatius o promou la publicitat: invertir 2.350.140€ en vehicles elèctrics emetent així 639 tones de CO₂ a l'atmosfera; sinó que potser, una millor solució és compartir cotxe, unificant horaris promovent el contacte entre els treballadors, dintre d'una societat d'individus cada vegada més aïllats.

La situació geopolítica actual (elevats preus de combustibles i escassetat de materials) fa que els treballadors necessitin, amb urgència, una solució per la mobilitat. I que amb dificultat poden optar a la solució d'invertir en un vehicle elèctric, no únicament pel cost econòmic que suposa, sinó també per la baixa disponibilitat deguda a l'escassetat de materials.

Amb aquesta solució es superen els objectius de reducció d'emissions de 2030 amb únicament 6.283,33€ de cost i en un baix termini, el temps que els treballadors s'acostumin.

13.1 Perspectives de futur

Analitzant els resultats d'aquest treball es proposen les següents accions per ampliar-lo en el futur:

- Aplicar les modificacions en el formulari que es proposen en l'Annex B.
- Buscar una eina de formulari en la qual es pugui respondre amb una ubicació, i així reduir el temps de processament de les dades.
- Afegir en l'algorisme d'obtenció de les coordenades la possibilitat de treballar amb l'adreça completa.
- Invertir temps en fer una resolució sense clustering, per veure quina pot ser la millora màxima amb aquest algorisme.
- Iterar resolucions canviant les màximes desviacions de 20 i 40% per veure la seva incidència en el resultat.

-
- Modificar l'algorisme final per tal que inclogui que els treballadors que viuen a menys d'un quilòmetre vinguin a peu i els que viuen a menys de 5 vinguin en bicicleta o en VMP.
 - Modificar l'algorisme per tal que pugui treballar amb més d'una destinació per tal que puguin compartir cotxe treballadors de diferents empreses.
 - Provar una resolució amb més treballadors i impedit que aquests es desviïn.
 - Trobar un API per importar dades diàries del cost dels combustibles i així poder dissenyar un algorisme que porti els comptes dels treballadors amb els preus actualitzats dels combustibles.
 - Fer resolucions de l'algorisme final substituint vehicles en els punts crítics per vehicles d'alta capacitat com, per exemple, mini busos, i veure com poden impactar en l'optimització.
 - Invertir temps en veure com resoldre millor certes casuístiques com, per exemple, treballadors ubicats en triangle.
 - Solucionar el control d'ocupació de vehicle per tal que quan es recullin treballadors sense vehicles no hi hagi possible *overbooking* en els vehicles.
 - Fer unes línies de codi que transformin la tipologia d'horari a vector binari

14 RELACIÓ DE DOCUMENTS

Aquest Treball Final de Màster únicament consta d'un document: Memòria i Annexos.

15 BIBLIOGRAFIA

La Universidad en Internet. (2022). Recollit de unir.net

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2022). Recollit de <https://unfccc.int/es>

Generalitat de Catalunya. (2022). Recollit de <https://canvclimatic.gencat.cat/>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2022). Recollit de <https://archive.ipcc.ch/>

IDAE. (2022). Recollit de <https://www.idae.es/>

MATLAB. (2022). Recollit de <https://es.mathworks.com/>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). Recollit de <https://www.miteco.gob.es/es/>

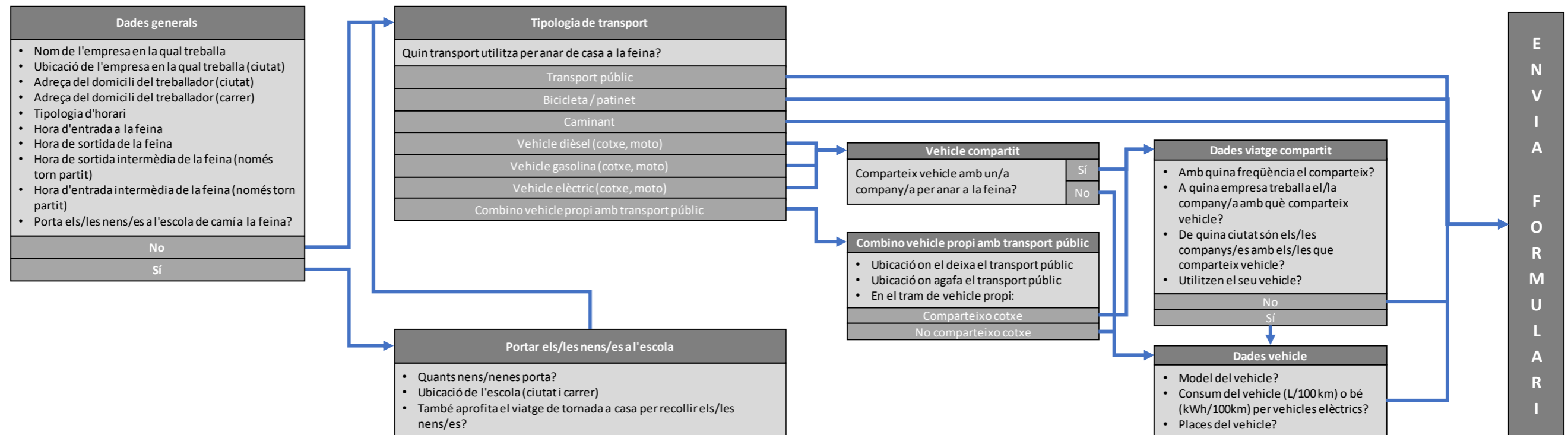
Raghupathi, K. (2022). *dzone.* Recollit de <https://dzone.com/articles/10-interesting-use-cases-for-the-k-means-algorithm>

Renault. (2022). Recollit de <https://www.renault.fr/>

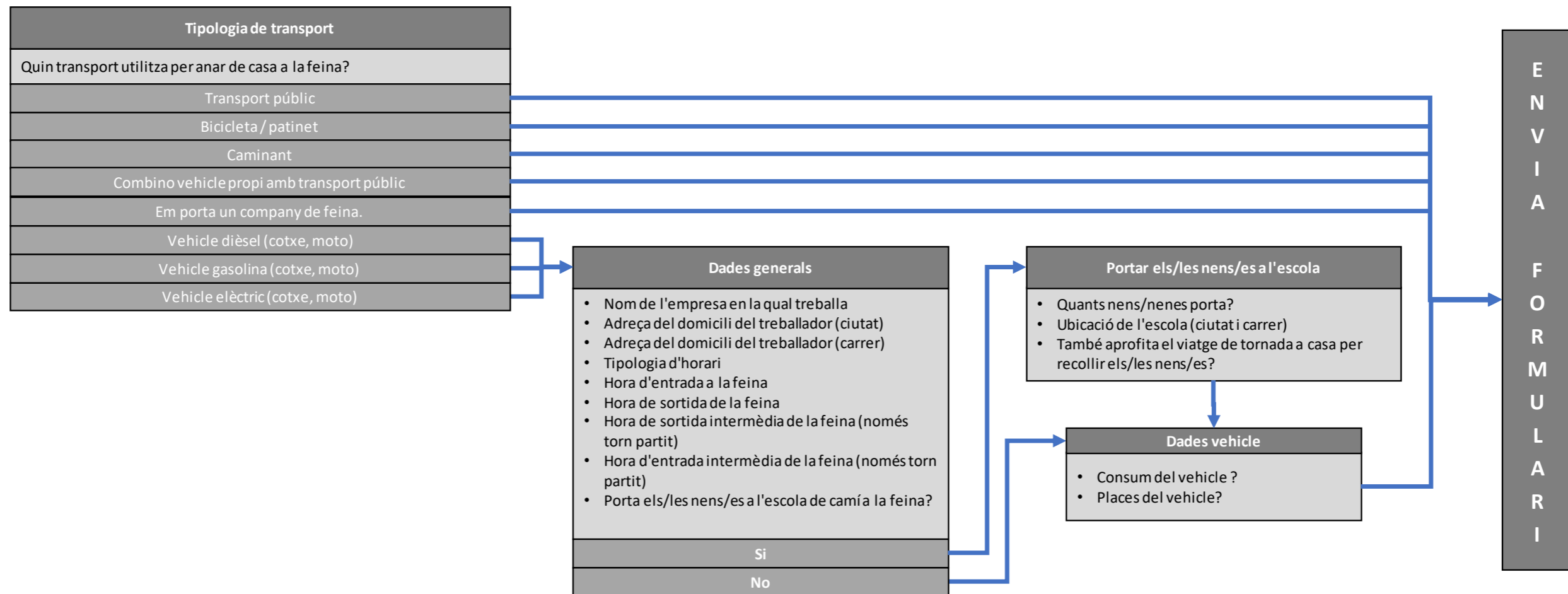
Universitat Politècnica de València. (2022). Recollit de <http://www.upv.es/va>

Universitat Politècnica de València. (2022). Recollit de <https://www.youtube.com/c/UPV>

ANNEX A. FORMULARI GOOGLE INICIAL



ANNEX B. FORMULARI GOOGLE MILLORAT



ANNEX C. CODI OBTENCIÓ COORDENADES

```
%% Obtenció coordenades
clear all
%S'entren dades de l'empresa (ubicació i nombre de treballadors)
Df = 'Sant Jaume de Llierca';
z=79
%Importem al programari la ubicació dels domicilis dels treballadors,
%de les escoles i dels treballadors que es recullen
D=importfile("Only Tavail.xlsx", "Hoja1", [2, z+1]);
E=importfileescoles2("Only Tavail.xlsx", "Hoja1", [2, z+1]);
C=importfilecotxecompartit("Only Tavail.xlsx", "Hoja1", [2, z+1]);
%Es preparen les variables per utilitzar el request del API Nominatim
A= 'https://nominatim.openstreetmap.org/?addressdetails=1&q=';
B= '&format=json&limit=1';
%S'utilitza el API per trobar les coordenades de l'empresa
API = webread(append(A,Df,B));
C_F(1)=str2double(API.lon);
C_F(2)=str2double(API.lat);
%Es defineix un vector de 1 fins al nombre de treballadors per fer
%les iteracions
i_ = [1:1:z];
for i=i_
%Es troben i emmagatzemen les coordenades dels domicilis dels treballadors
API = webread(append(A,D(i),B));
C_D(i,1)=str2double(API.lon);
C_D(i,2)=str2double(API.lat);
pause(2)
%Si el treballador no porta els nens a l'escola es defineix la latitud i
%longitud igual a 0
if E(i) == '0'
C_E(i,1)=0;
C_E(i,2)=0;
%Si porta els nens a l'escola, en canvi, es busquen i emmagatzemen les
%coordenades de les escoles
else
API = webread(append(A,E(i),B));
C_E(i,1)=str2double(API.lon);
C_E(i,2)=str2double(API.lat);
pause(2)
end
%Si el treballador no comparteix cotxe es defineix la latitud i longitud
%igual a 0
if C(i) == '0'
C_C(i,1)=0;
C_C(i,2)=0;
else
%Si recull un company de feina es busquen i emmagatzemen les coordenades
%d'on passa a recollir el company
API = webread(append(A,C(i),B));
C_C(i,1)=str2double(API.lon);
C_C(i,2)=str2double(API.lat);
end
end
%Es guarden les coordenades en format .mat
save('C_D.mat','C_D');
save('C_E.mat','C_E');
save('C_C.mat','C_C');
save('C_F.mat','C_F');
```


ANNEX D. COSTOS DELS COMBUSTIBLES

Taula 18: Preus dièsel i gasolina en €/l any 2021 (Font: datosmacro.expansion.com).

Data	Super 95	Diesel	Data	Super 95	Diesel
20/12/2021	1,476	1,344	28/06/2021	1,383	1,247
13/12/2021	1,48	1,347	21/06/2021	1,374	1,238
06/12/2021	1,488	1,355	14/06/2021	1,367	1,232
29/11/2021	1,509	1,377	07/06/2021	1,359	1,221
22/11/2021	1,513	1,381	31/05/2021	1,351	1,212
15/11/2021	1,513	1,386	24/05/2021	1,351	1,211
08/11/2021	1,51	1,384	17/05/2021	1,351	1,208
01/11/2021	1,506	1,382	10/05/2021	1,344	1,2
25/10/2021	1,497	1,374	03/05/2021	1,332	1,188
18/10/2021	1,484	1,358	26/04/2021	1,326	1,183
11/10/2021	1,467	1,335	19/04/2021	1,32	1,18
04/10/2021	1,448	1,309	12/04/2021	1,315	1,179
27/09/2021	1,437	1,291	29/03/2021	1,317	1,184
20/09/2021	1,437	1,28	22/03/2021	1,321	1,193
13/09/2021	1,429	1,271	15/03/2021	1,311	1,173
06/09/2021	1,421	1,266	08/03/2021	1,294	1,173
30/08/2021	1,414	1,259	01/03/2021	1,283	1,165
23/08/2021	1,415	1,26	22/02/2021	1,268	1,151
16/08/2021	1,418	1,266	15/02/2021	1,252	1,134
09/08/2021	1,42	1,27	08/02/2021	1,238	1,119
02/08/2021	1,416	1,27	01/02/2021	1,227	1,108
26/07/2021	1,408	1,264	25/01/2021	1,225	1,107
19/07/2021	1,409	1,268	18/01/2021	1,216	1,099
12/07/2021	1,401	1,263	11/01/2021	1,2	1,085
05/07/2021	1,391	1,254			

Taula 19: Preus mensuals de l'electricitat al 2021(Font: OMIE)

Mes	Preu mitjà (€/MWh)	Mes	Preu mitjà (€/MWh)
dic-20	42	jun-21	83,3
ene-21	60,43	jul-21	92,51
feb-21	28,34	ago-21	105,96
mar-21	45,41	sep-21	156,34
abr-21	64,998	oct-21	200,7
may-21	67,12	nov-21	193,47
Mitjana		95,05	

ANNEX E. CODI OBTENCIÓ DE CONSUMS ESPECÍFICS I EMISSIONS ESPECÍFIQUES

```
%Costos i emissions específiques
clear all
%Es z pren el valor del nombre de treballadors
z=79;
%Es defineix el preu de cada un dels combustibles
Pe=0.095
Pg=1.380
Pd=1.245
%Es defineixen els factors d'emissions de co2 per litre de cada "combustible"
Ee=0.25
Eg=2.244
Ed=2.459
%Importem al programari quin combustible empra cada vehicle i quin consum
%té per km
D= importfilecombustible("Only Taval.xlxs", "Hoja1", [2, z+1]);
C= importfileconsum("Only Taval.xlxs", "Hoja1", [2, z+1])/100;
%Es defineix un vector de 1 fins al nombre de treballadors per fer
%les iteracions
i_ = [1:1:z];
for i=i_
%Si el cotxe és de gasolina es multiplica el consum pel coeficient
%d'emissions i pel preu del litre de gasolina
if D(i)== 'Gasolina'
P(i)= C(i)*Pg
E(i)= C(i)*Eg
end
%Si el cotxe és elèctric es multiplica el consum pel coeficient
%d'emissions i pel preu del kWh espanyol
if D(i)== 'Elèctric'
P(i)= C(i)*Pe
E(i)= C(i)*Ee
else
%Si el cotxe és de gasoil es multiplica el consum pel coeficient
%d'emissions i pel preu del dièsel
P(i)= C(i)*Pd
E(i)= C(i)*Ed
end
end
%Es guarden els costos i emissions per km de cada vehicle en format .mat
save('P.mat','P')
save('E.mat','E')
```

ANNEX F. CODI OBTENCIÓ DE DISTÀNCIES ENTRE DOMICILIS, FEINES, COMPANYS QUE JA COMPARTEIXEN I ESCOLES

```
%Obtenció de distàncies
clear all
%S'importen les coordenades
importfilecoord('C_F.mat');
importfilecoord('C_D.mat');
importfilecoord('C_E.mat');
importfilecoord('C_C.mat');
%z pren el valor del nombre de treballadors
z=size(C_D);
%Es defineix un vector d'1 fins al nombre de treballadors per fer
%les iteracions
i_ = [1:1:z];
%Es preparen les variables per utilitzar el request de l'API del Open
%Street Map
C= 'http://router.project-osrm.org/trip/v1/driving/';
for i=i_
%Es troben i emmagatzemen les distàncies entre cada domicili i la ubicació
%de l'empresa
OSRM=webread(append(C,string(C_D(i,1)),',',string(C_D(i,2))...
',',string(C_F(1)),',',string(C_F(2))));
D_D_F(i)=OSRM.trips.legs.distance;
pause(1)
%Si el treballador no comparteix cotxe es defineixen les distàncies entre
%el lloc on es recull el treballador i l'empresa/domicili igual a 0
if C_C(i,1) == 0
D_D_C(i)=0;
D_C_F(i)=0;
else
%Si es comparteix cotxe s'utilitza l'API per recollir les distàncies entre
%el lloc on es recull el treballador i l'empresa/domicili
OSRM=webread(append(C,string(C_D(i,1)),',',string(C_D(i,2))...
',',string(C_C(i,1)),',',string(C_C(i,2))));
D_D_C(i)=OSRM.trips.legs.distance;
pause(1)
OSRM=webread(append(C,string(C_C(i,1)),',',string(C_C(i,2))...
',',string(C_F(1)),',',string(C_F(2))));
D_C_F(i)=OSRM.trips.legs.distance;
pause(1)
end
%Si el treballador no porta els nens a l'escola es defineixen les
%distàncies entre escola i l'empresa/domicili igual a 0
if C_E(i,1) == 0
D_D_E(i)=0;
D_E_F(i)=0;
else
%Si es porten nens a l'escola s'utilitza l'API per recollir les distàncies
%entre l'escola i l'empresa/domicili
OSRM=webread(append(C,string(C_D(i,1)),',',string(C_D(i,2))...
',',string(C_E(i,1)),',',string(C_E(i,2))));
D_D_E(i)=OSRM.trips.legs.distance;
pause(1)
OSRM=webread(append(C,string(C_E(i,1)),',',string(C_E(i,2))...
',',string(C_F(1)),',',string(C_F(2))));
D_E_F(i)=OSRM.trips.legs.distance;
pause(1)
end
```

```
end
%Si es porten els nens a l'escola i es comparteix el cotxe es busca la
%distància entre l'escola i el lloc on es recull el company
if C_E(i,1) ~= 0 & C_C(i,1) ~= 0
OSRM=webread(append(C,string(C_E(i,1)),',',string(C_E(i,2))...
',',string(C_C(i,1)),',',string(C_C(i,2))));
D_E_C(i)=OSRM.trips.legs.distance;
pause(1)
else
%En cas contrari a aquesta distància se li dona valor 0
D_E_C(i)=0;
end
end
%Es guarden les distàncies en format .mat
save('D_D_F.mat','D_D_F')
save('D_D_C.mat','D_D_C')
save('D_D_E.mat','D_D_E')
save('D_E_C.mat','D_E_C')
save('D_E_F.mat','D_E_F')
save('D_C_F.mat','D_C_F')
```

ANNEX G. CODI SOLUCIÓ ACTUAL

```
%%Solució inicial
clear all
%S'importen les distàncies calculades, els costos i les emissions de
%cada vehicle
importfilecoord('D_D_F.mat');
importfilecoord('D_D_C.mat');
importfilecoord('D_D_E.mat');
importfilecoord('D_E_C.mat');
importfilecoord('D_E_F.mat');
importfilecoord('D_C_F.mat');
importfilecoord('E.mat');
importfilecoord('P.mat');
%z pren el valor del nombre de treballadors
z=size(D_D_F);
%S'importa al programari els horaris dels treballadors, més precisament si
%fan horari partit o si no
Di = IFDinar("Only Tavid.xlsx", "Hojas", [2, z(2)+1]);
%Es defineix un vector de 1 fins al nombre de treballadors per fer
%les iteracions
i_ = [1:1:z];
for i=i_
%Aquest condicional calcula la distància recorreguda en la casuística que
%el treballador comparteixi cotxe i porti els nens a l'escola posant en
%ordre de recorregut el més proper al domicili com a primera parada
if D_E_C(i) ~= 0
    if D_D_E(i) > D_D_C(i);
        D_T(i,1)=D_D_C(i)+D_E_C(i)+D_E_F(i);
    else
        D_T(i)=D_D_E(i)+D_E_C(i)+D_C_F(i);
    end
    D_T(i,2)=D_D_C(i)+D_C_F(i);
end
%En aquest condicional en canvi s'avalua la distància recorreguda quan el
%treballador porta únicament els nens a l'escola
if D_D_E(i) ~= 0 & D_E_C(i) == 0
    D_T(i,1)=D_D_E(i)+D_E_F(i);
    D_T(i,2)=D_D_F(i);
end
%Aquest condicional avalua la distància recorreguda quan el treballador
%únicament comparteix vehicle
if D_D_C(i) ~= 0 & D_E_C(i) == 0
    D_T(i,1)=D_D_C(i)+D_C_F(i);
    D_T(i,2)=D_D_C(i)+D_C_F(i);
end
%S'avalua la distància recorreguda si el treballador no porta els nens a
%l'escola ni comparteix vehicle
if D_D_E(i) == 0 & D_D_C(i) == 0
    D_T(i,1)=D_D_F(i);
    D_T(i,2)=D_D_F(i);
end
%S'avalua la distància total recorreguda anada + tornada, contemplant les
%anades i tornades dels treballadors que tornen a casa per dinar
D_T1(i)=(D_T(i,1)+D_T(i,2)*(1+2*Di(i)))*225/1000;
%Es calculen els costos i les emissions
E_T1(i)=D_T1(i)*E(i);
C_T1(i)=D_T1(i)*P(i);
%Es calculen els mateixos valors, però considerant que els treballadors fan
%jornada intensiva
D_T2(i)=(D_T(i,1)+D_T(i,2))*225/1000;
```

```
E_T2(i)=D_T2(i)*E(i);
C_T2(i)=D_T2(i)*P(i);
end
%Es calcula el total de distància, cost i emissions en la solució actual
DT = sum(D_T1);
ET = sum(E_T1);
CT = sum(C_T1);
%Es calcula el total de distància, cost i emissions amb jornada intensiva
DT2 = sum(D_T2);
ET2 = sum(E_T2);
CT2 = sum(C_T2);
%Es quantifica la reducció de costos i emissions si es fes
%jornada intensiva
DeltaC= CT-CT2;
DeltaD= DT-DT2;
DeltaE= (ET-ET2)/1000;
bar(D_T1)
```

ANNEX H. CODI OBTENCIÓ GRAF CIUTAT

```
%%Obtenció de la matriu d'adjacència entre ciutats
clear all
%S'importen les coordenades dels domicilis dels treballadors que agafen
%el cotxe i dels treballadors que es recullen.
importfilecoord('C_C.mat');
importfilecoord('C_D.mat');
%També s'importa el nom de les ciutats d'aquests treballadors
D=importfile("Only Tavid.xlsx", "Hoja1", [2, 80]);
C=importfilecotxecompartit("Only Tavid.xlsx", "Hoja1", [2, 80]);
%S'uneixen els dos vectors de coordenades i els dos vectors de noms
CC=[C_D;C_C];
DD=[D;C];
% Es treuen els valors igual a 0 corresponents als treballadors que no es
% recullen en cotxe
CTT = CC(~all(CC == 0, 2),:);
NTT = DD(~all(DD == "0", 2),:);
save('CTT.mat','CTT')
save('NTT.mat','NTT')
% Es treuen les ciutats repetides
[Dc, ia, ic]=unique(NTT);
%Es crea el nou vector que conté exclusivament un cop les coordenades de
%cada ciutat
CCCC(:,1)=CTT(ia);
CCCC(:,2)=CTT(ia,2);
%Es defineix un vector de 1 fins al nombre de ciutats per fer
%les iteracions
z=size(Dc);
i_ = [1:1:z];
%Es preparen les variables per utilitzar el request del API del Open Street
%Map
C= 'http://router.project-osrm.org/trip/v1/driving/';
for i=i_
%Es troben i emmagatzemen les distàncies entre els domicilis per construir
%la matriu d'adjacència
j_ = [i:1:z];
for j=j_

OSRM=webread(append(C,string(CCCC(i,1)),',',string(CCCC(i,2)),',',string(CCCC(j,1)),',',string(CCCC(j
,2))));
% En el procés de guardar s'utilitza el mateix valor per acotar la mateixa
% distància tant per l'anada com per la tornada
[Adj(i,j),Adj(j,i)]=OSRM.trips.legs.distance;
%És guarda els valors obtingut dintre del llaç perquè a vegades el api del
%OSM es penja i així es pot aprofitar els valors ja obtinguts
save('Adj.mat','Adj')
save('Ciutats.mat','Dc')
pause(1)
end
end
end
```


ANNEX I. CODI CLUSTERING

```
%%clustering
clear all
%S'importen les dades que s'hauran de clusteritzar en funció de la
%distància
importfilecoord('Adj.mat');
importfilecoord('Ciutats.mat');
importfilecoord('NTT.mat');
importfilecoord('CTT.mat');
importfilecoord('C_F.mat');
importfilecoord('C_E.mat');
importfilecoord('E.mat');
importfilecoord('P.mat');
%Es defineixen la quantitat de treballadors
T=79;
%S'importen de l'Excel les dades de nombre de nens i de places del vehicle
Pl=importfilePlaces("Only Taval.xlsx", "Hoja1", [2, T+1])
NN=importfileNnens("Only Taval.xlsx", "Hoja1", [2, T+1])
%Es defineixen la quantitat de clústers, que és igual a un per cada vint
%treballadors
N=round(T/20,0);
%Es transformen les distàncies de la matriu d'adjacència a quilòmetres
A=Adj/1000;
%Es miren les dimensions dels vectors treballadors totals i treballadors
%que porten cotxe
ST=size(NTT);
SC=size(P);
%Es fa la diferència entre aquests dos valors i es genera un vector de
%zeros per completar els vectors: emissions, costos, places, escoles,
%nombre de nens
SCC=ST(1)-SC(2);
FF=zeros(SCC,1);
FFF=zeros(SCC,2);
E=[transpose(E);FF];
P=[transpose(P);FF];
Pl=[Pl;FF];
NN=[NN;FF];
ES=[C_E;FFF];
%Es fa el clustering amb mètode Ward i es representa en forma d'arbre
Z = linkage(squareform(A),'ward');
dendrogram(Z);
EE=clúster(Z,'MaxClust',N);
%Es generen un vector del mateix nombre de clústers per tal de construir les
%matrïus de cada clúster
k_ = [1:1:N];
for k=k_
%S'identifiquen quines de les ciutats fan part del clúster k
F=EE-k;
K=find(~F);
%Es guarden els noms de les ciutats que pertanyen a cada clúster
clustered{:,k}=Dc(K);
%S'identifiquen els índexs dels treballadors que viuen en aquestes ciutats
idx = find(ismember(NTT, clustered{:,k}));
%Es generen els vectors coordenades, cost, emissions, places, escoles i
%nens a deixar
COORDENADES{k}=CTT(idx,:);
cost=P(idx,:);
Cost{k}=P(idx,:);
end
```

```
Emissions{k}=E(idx);
Places{k}=Pl(idx);
Escoles{k}=ES(idx,:);
NNAD{k}=NN(idx);
%Es crea un vector que emmagatzema únicament les coordenades de les escoles
%que s'han de visitar i la quantitat de nens que s'hi ha de deixar
CE{k} = Escoles{k}(~all(Escoles{k} == 0, 2),:);
NND{k} = NNAD{k}(~all(NNAD{k} == 0, 2),:);
%Es mira la mida d'aquests vectors i es genera un vector de zeros de la
%mateixa mida
f=size(CE{k});
z=zeros(f(1)+1,1);
%Es crea un vector que pren el valor negatiu dels nens que s'han de deixar
NND{k}=-NND{k};
Sizesenseescoles=size(NNAD{k})
%S'ajusten els vectors: nens a deixar, cost, emissions, places,
%afegint el mateix nombre de zeros que d'escoles a les que es porten nens
NNAD{k}=[NNAD{k};NND{k};0];
Cost{k}=[Cost{k};z];
Emissions{k}=[Emissions{k};z]
Places{k}=[Places{k};z];
%S'afegeixen les coordenades de les escoles al vector coordenades
COORDENADES{k}=[COORDENADES{k};CE{k};C_F];
%S'identifiquen dins del clúster quins són els treballadors que han de
%portar els nens a l'escola
SiEscoles{k}=find(NN(idx));
%S'identifica la mida final dels vectors i es genera un vector de zeros de
%la mateixa mida
zzz=size(Places{k})
zz=zeros(zzz(1),1);
%En aquest vector, en els índexs dels treballadors que porten els nens a
%l'escola, s'hi suma la mida del vector sense escoles més l'ordre en el
%qual estan disposats generant així un vector que identifiqui a quina fila
%està l'escola a la qual ha d'anar el treballador
zz([SiEscoles{k}])=[Sizesenseescoles+1:1:Sizesenseescoles+size(CE{k})];
%Es guarda aquest valor per cada iteració
Destinacio{k}=zz;
end
save('Escoles.mat','Escoles')
save('Cost.mat','Cost')
save('Places.mat','Places')
save('COORDENADES.mat','COORDENADES')
save('NNAD.mat','NNAD')
```

ANNEX J. CODI OBTENCIÓ GRAFS CLUSTERITZAT

```
%%Confecció Grafs
clear all
%S'importen les coordenades dels treballadors separats en clústers
importfilecoord('COORDENADES.mat')
importfilecoord('ADJCLUST.mat');
%S'identifica la mida de les dades importades (nombre de clústers)
%i es genera el vector de la mateixa mida per fer les iteracions
z=size(COORDENADES)
i_ = [1:1:z(2)];
%Es preparen les variables per utilitzar el request de l'API del Open
%Street Map
C= 'http://router.project-osrm.org/trip/v1/driving/';
for i=i_
%Es mira quants domicilis hi ha en aquest clúster i es genera un vector de
%les mateixes dimensions
zz=size(COORDENADES{i})
j_=[1:1:zz(1)];
%Es crea un valor que prengui per valor les coordenades del clúster que
%s'està tractant
CCCC=COORDENADES{i}
for j=j_
%Es troben i emmagatzemen les distàncies entre els domicilis per construir
%la matriu d'adjacència
k_ = [j:1:zz(1)];
for k=k_

OSRM=webread(append(C,string(CCCC(j,1)),',',string(CCCC(j,2)),',',string(CCCC(k,1)),',',string(CCCC(
k,2))));
%En el procés de guardar s'utilitza el mateix valor per acotar la mateixa
%distància tant per l'anada com per la tornada
[Adj(j,k),Adj(k,j)]=OSRM.trips.legs.distance;
%Es pausa el programa 1 segon per no sobrecarregar l'API
pause(1)
end
%Es guarden els valors obtinguts dintre del llaç perquè a vegades l'API del
%OSM es penja i així es poden aprofitar els valors ja obtinguts
ADJCLUST{i}=Adj
save('ADJCLUST.mat','ADJCLUST')
adjclust37=Adj
end
end
```

ANNEX K. CODI ALGORISME FINAL

```
%%Algorisme final
clear all
%S'importen les coordenades dels treballadors separats en clústers
importfilecoord('COORDENADES.mat');
importfilecoord('ADJCLUST.mat');
importfilecoord('Cost.mat');
importfilecoord('Places.mat');
importfilecoord('NNAD.mat');
importfilecoord('Destinacio.mat');
importfilecoord('Emissions.mat');
%S'identifica la mida de les dades importades (nombre de clústers)
%i es genera el vector de la mateixa mida per fer les iteracions
z=size(ADJCLUST);
i_ = [1:1:z(2)];
%Es creen les variables que emmagatzemaran els valors de despesa,
%kilometratge i emissions totals
Despesaglobal=0
Kilometratgeglobal=0
Emissionsglobal=0
%És defineix un vector d'1 fins al nombre de clústers per fer les
%iteracions
for i=i_
%Es defineixen unes variables per acollir les dades del clúster que s'esta
%analitzant
A=ADJCLUST{i};
consums=Cost{i};
emissions=Emissions{i};
P=Places{i};
N=NNAD{i};
Escola=Destinacio{i};
z2=size(A);
%Es crea una matriu d'adjacència per distribuir els costos entre els
% treballadors
Costos=zeros(z2(1)-1);
Kilometratgecluster=zeros(z2(1)-1);
Emissionscluster=zeros(z2(1)-1);
%Es defineixen quins nodes són treballadors que es recollien en cotxe
% que considerarem treballadors sense vehicle (SV), s'identifica l'índex
% d'aquests nodes i es dona valor al consum infinit
Escoles=find(N<0);
NENS=find(N>0);
CC=P+N;
CC(z2)=inf;
Cotcomp=find(CC==0);
consums(Cotcomp)=inf;
%Es defineix el vector B com l'última fila de la matriu d'adjacència
% (la distància entre tots els nodes i l'empresa) els índexs de les
% escoles i els treballadors SV no tenen valor ja que
% no poden ser els primers en sortir sinó que han de ser un destí de pas
B=A(z2(1),:);
B(Escoles)=NaN;
B(Cotcomp)=NaN;
zz=size(find(isnan(B)));
B(z2(1))=NaN;
%Es fa un iterador per definir qui ha de recollir els treballadors SV
ggg=size(Cotcomp);
g_=[1:1:ggg(1)];
kkk=find(isnan(B));
```

```

Cotxecompartit=zeros(z2(2),1);
destinaciocotcomp=zeros(z2(2),1);
Rutarecollida=zeros(z2(2),1);
for g=g_
    Ca=A(Cotcomp(g),:);
    Ca(kkk)=NaN;
    Ca(NENS)=NaN;
    Ca(find(N))=NaN;
    [Recull,gj]=min(Ca);
    Cotxecompartit(Cotcomp(g))=gj;
    destinaciocotcomp(Cotcomp(g))=gj;
end
% Es fa un segon iterador per definir quin és el destí dels treballadors
% que recullen treballadors SV
Cotxecompartit(Cotxecompartit==0)=[];
Unicos=unique(Cotxecompartit);
siz=size(Unicos);
gg_[1:siz(1)];
for gg=gg_
    C=A(Unicos(gg),:);
    CCC=find(destinaciocotcomp==Unicos(gg));
    CCCC=C(CCC);
    nn=nnz(Cotxecompartit==Unicos(gg));
    hh_[1:nn];
    [NN,I]=sort(CCCC);
    for hh=hh_
        if hh==1
            Rutarecollida(Unicos(gg))=CCC(I(hh));
        else
            Rutarecollida(CCC(I(hh-1)))=CCC(I(hh));
        end
    end
end
% Es crea un índex que incrementa cada cop s'emplena un vehicle
uu=0
% Es posa un bucle que itera fins que tots els treballadors s'han portat a
% la feina
while zz(2)<(z2(2)-1)
% Es mira quin es el treballador més llunyà a la feina per escollir-lo com
% a primer que surt
[M,j]=max(B);
% Es defineix l'ocupació del vehicle, la llista dels ocupants i de qui és
% propietat el vehicle emprat
O=0;
jj=j
desti=j
LListaocupants=[]
%S'incrementa l'índex comptador de vehicles
uu=uu+1
%Es fa un iterador fins que els cotxes quedin plens
while or(O<=P(jj),z2(2)<=zz(2)-1);
% Es defineix el destí
j=desti
% Si el destí és la feina es dona valor a l'ocupació més elevada que la
% capacitat i per tant es surt del bucle d'emplenar el vehicle
if j==z2(1)
    O=inf
Else
% Si el treballador que es porta és l'últim es defineix l'empresa com a
%desti i es fan els comptes dels costos, emissions i kilometratge
if z2(2)==zz(2)

```

```
desti=z2(2)
    B(j)=NaN
    Kilometratgeglobal=Kilometratgeglobal+A(j,desti)/1000
    Emissionsglobal=Emissionsglobal+A(j,desti)/1000*emissions(jj)
    for pp=pp_
        v=LListaocupants(pp);
    Costos(jj,v)=Costos(jj,v)+A(j,desti)*consums(jj)/O/1000;
end
else
%Es gestiona l'ocupació del vehicle i la llista dels ocupants en funció
%de si hi ha nens o no
    if N(j)>=0
        NN=N(j)+1;
        jjj_=[1:1:NN];
        for jjj=jjj_
            O=O+1
            LListaocupants(O)=j
        end
    else
        NN=N(j)
        jjj_=[-1:-1:NN]
        for jjj=jjj_
            O=O-1;
            LListaocupants(O)=[]
        end
    end
% Es fa una comparació entre els consums del vehicle que s'està emprant
% i el del vehicle de la persona que s'està recollint per escollir el de
% consum més baix
    if and(consums(j)<consums(jj),P(j)>=O)
        jj=j
    else
end
% si el treballador ha de portar un nen s'assigna com a proper destí
% l'escola
pp_=[1:1:O]
if N(j)>0
    desti =Escola(j)
    B(j)=NaN
    Kilometratgeglobal=Kilometratgeglobal+A(j,desti)/1000
    Emissionsglobal=Emissionsglobal+A(j,desti)/1000*emissions(jj)
    for pp=pp_
        v=LListaocupants(pp);
    Costos(jj,v)=Costos(jj,v)+A(j,desti)*consums(jj)/O/1000;

end
else
% Si el treballador ha estat assignat anteriorment per portar un
% treballador SV se li assigna la ruta planejada anteriorment com a destí i
% s'assignen els costos del desplaçament als ocupants del vehicle
if Rutarecollida(j)~= 0
    desti = Rutarecollida(j)
    Kilometratgeglobal=Kilometratgeglobal+A(j,desti)/1000
    Emissionsglobal=Emissionsglobal+A(j,desti)/1000*emissions(jj)
for pp=pp_
    v=LListaocupants(pp);
    B(j)=NaN
    Costos(jj,v)=Costos(jj,v)+A(j,desti)*consums(jj)/O/1000;
end
else
%Si l'ocupació del vehicle és igual a la capacitat d'aquest es defineix
```

```
%l'empresa com a destí i s'assignen els costos del transport als ocupants
if O==P(jj)
    desti=z2(1)
    B(j)=NaN
    Kilometratgeglobal=Kilometratgeglobal+A(j,desti)/1000
    Emissionsglobal=Emissionsglobal+A(j,desti)/1000*emissions(jj)
for pp=pp_
    v=LListaocupants(pp);
    Costos(jj,v)=Costos(jj,v)+A(j,desti)*consums(jj)/O/1000;
end
else
% Es defineix una variable per saber si en cas d'haver de portar més d'una
% persona en el proper destí s'ha de verificar que la capacitat del vehicle
% ho permeti
espaioK=0
%Es defineix un vector agafant del graf la fila del treballador
% que s'està recollint
C=A(j,:);
while espaioK~=1
% Es marca com a visitat el node convertint en el vector B el node com a
% sense valor
kkk=find(isnan(B));
B(j)=NaN;
C(kkk)=NaN;
C(j)=NaN;
% Es calculen dues distàncies mínimes: la distància mínima al treballador
% que s'està recollint i la distància mínima del treballador que s'està
% recollint més la distància entre el destí i l'empresa
[Min,k]=min(C+B);
[Mindsv,kk]=min(C);
D=Mindsv+B(kk);
if Mindsv==0
    desti=kk
else
if k==kk
    desti=k
% Si el destí més proper no es desvia més de 20% del trajecte cap a la
% feina es selecciona aquest sinó és així s'escull el que té el trajecte més en
% línia amb l'empresa a no ser que es desviï més de 40% del trajecte per
% anar a l'empresa, en aquest cas es va directament a l'empresa
else
    if Min<(1.2*D)
        desti=k
        D=Min
    else
        desti=kk
    end
    if D>1.4*A(z2(1),j)
        desti=z2(1)
    end
end
end
%Es fa la comprovació que hi haurà espai en cas que en el destí s'hagi
%de portar nens
if desti~=z2(1)
if or(O+1+N(desti)<=P(jj),O+1+N(desti)<P(desti))
    espaioK=1
else
    C(desti)=NaN
end
else
```

```
espaioK=1
end
end
%Es distribueixen els costos del viatge a tots els ocupants del vehicle
Kilometratgeglobal=Kilometratgeglobal+A(j,desti)/1000
Emissionsglobal=Emissionsglobal+A(j,desti)/1000*emissions(jj)
for pp=pp_
    v=LListaocupants(pp);
    Costos(jj,v)=Costos(jj,v)+A(j,desti)*consums(jj)/O/1000;
end
end
end
zz=size(find(isnan(B+C)));
zz(2)
end
end
end
end
% Es guarda la llista d'ocupants per tenir la planificació output d'aquest
% algorisme
trajectes{uu,i}=LListaocupants
end
% Es guarden les despeses, emissions i quilometratge de la nova solució per
% poder comparar amb la solució actual
Despeses{i}=Costos;
Despesaglobal=Despesaglobal+sum(Despeses{i},"all");
end
Despesaglobal=Despesaglobal*225*2
Kilometratgeglobal=Kilometratgeglobal*225*2
Emissionsglobal=Emissionsglobal*225*2
```

ANNEX L. DADES TAVIL

Taula 20: Empresa i ubicació d'aquesta (Font: formulari Google respost per Tàvil).

nº	Nom	Ubicació	nº	Nom	Ubicació
1	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	41	Tàvil	Sant Jaume de Llierca
2	TAVIL	GIRONA	42	Tàvil	Sant Jaume Llierca
3	Tàvil IND SAU	Sant Jaume de Llierca	43	Tàvil	Sant Jaume Llierca
4	TAVIL	Sant Jaume de Llierca	44	TAVIL	SANT JAUEME DE LLIERCA
5	TAVIL	sant jaume de llierca	45	Tàvil	Sant Jaume de Llierca
6	TAVIL	Sant Jaume de Llierca	46	Tàvil	Sant Jaume de Llierca
7	TAVIL IND.	Sant Jaume de Llierca	47	TAVIL	Sant Jaume de Llierca
8	TAVIL INDS.A.U.	SANT JAUME DE LLIERCA (GIRONA)	48	TAVIL	Sant Jaume de Llierca
9	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	49	TAVIL	Sant Jaume de Llierca
10	Tàvil	Sant Juame de Llierca	50	Tàvil S.A.U.	Sant Jaume de Llierca
11	Tàvil	Sant Jaume de Llierca (Garrotxa)	51	Tàvil INDEBE SAU	Sant Jaume de Llierca
12	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	52	TAVIL IND. SAU	Sant Jaume de Llierca
13	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	53	Tàvil	Sant Jaumen De Llierca
14	TAVIL	St. Jaume de Llierca	54	TAVIL IND SAU	SAN JAUME DE LLERCA
15	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	55	Tàvil	Sant Jaume de Llierca
16	TAVIL	Sant Jaume de Llierca	56	TAVIL INDEBE S.A.U.	Sant Jaume de Llierca
17	TAVIL	SANT JAUME LLIERCA	57	TAVIL	Sant Jaume de Llierca
18	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	58	TAVIL	SANT JAUME LIERCA
19	TAVIL	SANT JAUME DE LLIERCA	59	TAVIL IND, S.A.U.	17854 SANT JAUME DE LLIERCA, GIRONA
20	TAVIL	OLOT	60	Tàvil Ind, SAU	Sant Jaume de Llierca
21	TAVIL IND., SAU	Sant Jaume de Llierca	61	Tàvil	Sant Jaume de Llierca
22	tàvil ind asu	sant jaume de llerca	62	Tàvil S.A.U.	Sant Jaume de Llierca
23	TAVIL IND. S.A.U.	Sant Jaume de Llierca	63	TAVIL S.A.U	Sant Jaume de Llierca
24	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	64	Tàvil	Sant Jaume de Llierca
25	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	65	Tàvil	Sant Jaume de Llierca
26	TAVIL	SANT JAUME DE LLIERCA	66	TAVIL	Sant Jaume de Llierca
27	TAVIL	SANT JAUME DE LLIERCA	67	TAVIL	Sant Jaume de Llierca
28	TAVIL IND. S.A.U.	Sant Jaume de Llierca	68	TAVIL	Sant Jaume de Llierca
29	TAVIL	Sant Jaume de Llierca	69	TAVIL	SANT JAUME DE LLIERCA
30	Tàvil	Sant Jaume de llierca	70	TAVIL	SANT JAUME DE LLIERCA
31	TAVIL-IND, SAU	SANT JAUME DE LLIERCA	71	TAVIL	SANT JAUME DE LLERCA
32	Tàvil	sant Jaume de Llierca	72	Tàvil Ind. S.A.U.	Olot
33	TAVIL	Sant Jaume de Llierca	73	TAVIL	SANT JAUME DE LLIERCA
34	TAVIL	SANT JAUME DE LLIERCA	74	TAVIL IND SAU	SANT JAUME DE LLIERCA
35	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	75	TAVIL IND. S.A.U.	Poliger Sud, Sector 1, 17854 Sant Jaume de Llierca, Girona
36	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	76	Tàvil	Sant Jaume de Llierca
37	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	77	Tàvil	Sant Jaume de Llierca
38	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	78	tàvil	sant jaume de llierca
39	Tàvil	Sant Jaume de Llierca	79	Tàvil	Sant Jaume de Llierca
40	TAVIL IND	SANT JAUME DE			

SAU

LIERCA

Taula 21: Domicili dels treballadors (Font: formulari Google respost per Tavil).

nº	Adreça del domicili del treballador (ciutat)	nº	Adreça del domicili del treballador (ciutat)
1	Girona	41	Besalú
2	ARBUCIES	42	Olot
3	Olot	43	Sant Julià de Ramis
4	Girona	44	OLOT
5	OLOT	45	Olot
6	Olot	46	Olot
7	Vallfogona de Ripollès	47	Olot
8	ARGELAGUER (GIRONA)	48	Olot
9	Lloret de Mar	49	Banyoles
10	Les preses	50	Olot
11	Girona	51	Sant Joan de les Abadesses
12	Girona	52	Santa Coloma de Farners
13	Sant Joan les Fonts	53	Sant Joan Les Fonts
14	Berga	54	SANTA LLOGAIA DE ALGUEMA
15	Santa Pau	55	Girona
16	Manlleu	56	Olot
17	BANYOLES	57	Santa Coloma de Farners
18	Olot	58	RIBES DE FRESE
19	SANT JOAN LES FONTS	59	OLOT
20	GIRONA	60	Porqueres
21	Banyoles	61	Banyoles
22	banyoles	62	Montagut i oix
23	Banyoles	63	Sant Joan Les Fonts
24	Fontcoberta	64	Olot
25	Olot	65	Girona
26	SANT GREGORI	66	Batet de la Serra - Olot
27	SANT JOAN LES FONTS	67	Olot
28	Girona	68	La Vall de Bianya
29	Besalú	69	SANT JOAN LES FONTS
30	Olot	70	OLOT
31	SANT JOAN LES FONTS	71	RODA DE TER
32	Castellfollit de la Roca	72	Campdevàrol
33	Girona	73	OLOT
34	GIRONA	74	LES PRESES
35	Olot	75	Olot
36	Olot	76	Banyoles
37	Olot	77	Sant Gregori
38	Banyoles	78	olot
39	Olot	79	Taravaus
40	VALL DE BIANYA		

o

Taula 22: Horari dels treballadors (Font: formulari Google respost per Tavil).

nº	HE	HS	HSI	HEI	nº	HE	HS	HSI	HEI
1	8:00	17:00	13:00	14:00	41	8:00	18:00	14:00	15:00
2	7:30	18:00			42	7:30	18:00	12:30	14:00
3	8:00	18:00	13:30	14:30	43	7:30	17:00	13:00	14:30
4	8:00	17:00			44	7:30	18:30	13:30	15:00
5	7:30	18:30	13:00	14:15	45	7:30	18:30		
6	7:30	18:00	13:15	14:15	46	8:00	18:00	13:30	14:30
7	7:30	18:30			47	7:30	17:30		
8	9:00	19:00	14:00	15:00	48	8:00	17:00	14:00	15:00
9	8:00	17:00	13:00	14:00	49	8:00	17:00	13:00	14:00
10	7:30	18:00	14:00	15:00	50	9:00	19:00	13:00	14:00
11	7:30	17:00	13:00	14:00	51	7:30	17:00	14:00	15:00
12	8:00	18:00	13:00	14:00	52	7:30	16:30	14:00	15:00
13	8:00	18:00	14:00	15:00	53	7:30	18:00	14:00	15:00
b	8:30	17:30			54	8:00	18:00	13:00	14:00
15	7:30	17:30	13:00	14:00	55	8:00	18:00	14:30	7:30
16	8:00	17:00	14:00	15:00	56	7:30	18:30	12:30	14:00
17	0:08	0:17	14:00	15:00	57	7:30	18:00		
18	7:30	18:00	15:00	16:00	58	8:00	19:00	13:00	14:00
19	8:15	19:30	13:30	15:00	59	8:30	18:00		14:00
20	9:00	19:00			60	7:30	18:00	13:30	14:30
21	7:30	17:30			61	7:30	17:00	7:30	14:30
22	9:00	19:00	13:00	15:00	62	7:30	17:30	13:30	14:30
23	8:00	18:00	13:00	14:00	63	7:30	18:00	0:30	14:00
24	8:00	18:00	13:00	14:00	64	8:00	17:00	14:00	15:00
25	7:30	17:00	13:30	15:00	65	8:00	19:00	14:00	15:00
26	8:00	5:30			66	8:00	18:00	13:30	14:30
27	8:00	18:00			67	8:00	18:00	13:30	15:00
28	8:00	18:00	18:00	8:00	68	8:00	18:00	13:00	14:00
29	8:30	18:00	13:00	14:30	69	8:00	17:30	13:30	15:00
30	7:30	13:00	14:30	18:00	70	8:30	18:00	13:00	14:00
31	8:30	19:00	13:30	15:00	71	7:30	17:00		
32	7:30	17:30			72	8:00	17:00	14:00	15:00
33	7:30	18:00	14:30	15:30	73	7:30	17:00		
34	8:00	18:00	14:00	15:00	74	9:30	19:00	14:00	15:00
35	7:30	18:00	13:30	15:00	75	8:00	17:30	14:00	15:00
36	7:30	16:30	14:00	15:00	76	7:30	17:00	13:00	14:00
37	7:30	19:00			77	8:00	18:00	14:00	15:00
38	8:00	18:00			78	7:30	17:00	12:30	13:30
39	8:00	18:00	12:30	14:00	79	8:00	17:30	13:00	14:00
40	7:30	18:00							

Taula 23: Nens a l'escola (Font: formulari Google respost per Tàvil).

nº	Quants nens/nenes porta?	Ubicació de l'escola (ciutat i carrer)	També aprofita el viatge de tornada a casa per recollir els/les nens/es?
17	1	BESALU	Sí
31	2	CEIP CASTANYER SANT JOAN LES FONTS	No
59	1	IES GARROTXA, OLOT	No
66	2	Olot - Joaquim Vayreda SANT JOAN LES	No
70	1	FONTS, Carrer Castanyer, 4	No
74	2	LES PRESES	No

Taula 24: Treballadors que ja comparteixen vehicle (Font: formulari Google respost per Tàvil).

nº	Amb quina freqüència el comparteixes?	Utilitzen el seu vehicle?	A quina empresa treballa el/la company/a amb què comparteix vehicle?	De quina ciutat són els companys/companyes amb les que comparteix vehicle
12	4 dies a la setmana	Sí	Treballa a la mateixa empresa	girona
55	3 dies a la setmana	Sí	Treballa a la mateixa empresa	Girona
61	5 dies a la setmana	Sí	Treballa a la mateixa empresa	Banyoles
64	5 dies a la setmana	Sí	Treballa a la mateixa empresa	Riudaura
76	5 dies a la setmana	Sí	Treballa a la mateixa empresa	Banyoles

Taula 25: Tipologia de transport utilitzat (Font: formulari Google respost per Tavil).

nº	Quin transport utilitza per anar de casa a la feina?	nº	Quin transport utilitza per anar de casa a la feina?
1	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	41	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
2	Vehicle elèctric (cotxe, moto)	42	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
3	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	43	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
4	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	44	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
5	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	45	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
6	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	46	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
7	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	47	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
8	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	48	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
9	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	49	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
10	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	50	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
11	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	51	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
12	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	52	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
13	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	53	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
14	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	54	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
15	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	55	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
16	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	56	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
17	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	57	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
18	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	58	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
19	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	59	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
20	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	60	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
21	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	61	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
22	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	62	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
23	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	63	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
24	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	64	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
25	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	65	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
26	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	66	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
27	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	67	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
28	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	68	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
29	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	69	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
30	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	70	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
31	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	71	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
32	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	72	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
33	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	73	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
34	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	74	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
35	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	75	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
36	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	76	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
37	Vehicle gasolina (cotxe, moto)	77	Vehicle gasolina (cotxe, moto)
38	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	78	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
39	Vehicle dièsel (cotxe, moto)	79	Vehicle dièsel (cotxe, moto)
40	Vehicle dièsel (cotxe, moto)		

Taula 26: Consums i places dels vehicles emprats (Font: formulari Google respost per Tavil).

nº	Model	Consum	Places
1	Opel Corsa	6.5	5
2	UTILITARI	13KWh	4
3	Mazda 3	6 L/100Km	5
4	Clio	5	5
5	PEUGEOT 307	5	5
6	Toyota Auris	6L/100km	5
7	Audi Q3	8,5L/100 km	5
8	SKODA YETI	6 L/100 km	4
9	Toyota Avensis 1.8	6.6	5
10	mercedes	ni idea	5
11	Mazda 3	7	5
12	Golf	5.4	5
13	GLA45	8 L/100Km	5
14	Citroen 3	6	4
15	Golf GTI	8.5	5
16	Seat León 1.5 TSI	5,5L/100 km	5
17	AUDI A3	7	5
18	Seat Leon ST	4,5	5
19	BMW 320D	6.5	5
20	Renault	6L	5
21	FORD FOCUS	6	5
22	BMW 320	5.7	5
23	Tot terreny - DAIATSU FEROSA	7 - 8	5
24	Opel Astra	5.4 L/100	5
25	Mercedes	7	5
26	PEUGEOT 407 SW	5,8	5
27	C3	6 L/100 Km	4
28	Hyundai I20	6,5-7 (L/km)	5
29	Toyota	7.5	5
30		308 4.5	5
31	VOLKSWAGEN TIGUAN	6L/100km	5
32	Seat Ibiza	4.5/100	4
33	Audi A3	7L	5
34	MERCEDES BENZ	6.5 L/100	4
35	VW Golf	5.5	5
36	New Beetle	6,5 l/100	4
37	Seat Leon Copa 1.2 TSI	6	5
38	Peugeot 308	5,5	5
39	Opel Corsa	5,5 l/100km	5
40	REANULT LAGUNA	8	5
41	Nissan Micra	6/100	5
42	Seat Ibiza	6l/100	4
43	Peugeot 5008	10	5
44	RANG ROVER 2.5 TD	17 L/100km	5
45	Nissan quasqai	7'5	5
46	R nine t Pure	5,3	2
47	Volkswagen Golf	7'5	5
48	Nissan	6	5
49	Peugeot 206	6.4	5

50	Toyota Yaris	5,9	5
51	Audi A4	5.5	5
52	Nissan Qashqai	5l/100	5
53	Peugeot	7	6
54	JEEP	7.4	5
55	Hyundai	5.8	5
56	Peugeot 2008	5,4 L/100 Km	5
57	Megane Renault	5.4	4
58	VOLKSWAGEN	7	5
59	CITRÖEN C4 PURE-TECH	6,4	4
60	Seat Leon ST Ecomotive 1.6 TDi 110 cv	3.8 - 4.1	5
61	Serie 1	5,0L/100km	5
62	Nissan Qashqai	5	5
63	Range Rover Evoque	7/100KM	5
64	Nissan qashqai	0,068	5
65	Citroen Cactus	5	5
66	BMW 320xd	6,7 l/100km	5
67	Audi A3	5,5	5
68	opel	6	5
69	BMW	6	5
70	MAZDA 3	6	5
71	NISSAN QASHQAI	5	5
72	Ford Focus 2008	7,2 l/100 km	5
73	TOYOTA	6	5
74	A1	(kWh/100km	5
75	Volkswagen Golf	5.5	4
76	BMW	5.5	5
77	Opel Mokka	5,8	5
78	leon	0,6	5
79	Renault Megane	5,5 l/100km	5

ANNEX M. DADES PRETRACTADES

Taula 27: Domicilis dels treballadors pretractats (Font: elaboració pròpia).

nº	Adreça del domicili del treballador (ciutat)	nº	Adreça del domicili del treballador (ciutat)
1	GIRONA	41	BESALÚ
2	ARBUCIES	42	OLOT
3	OLOT	43	SANT JULIÀ DE RAMIS
4	GIRONA	44	OLOT
5	OLOT	45	OLOT
6	OLOT	46	OLOT
7	VALLFOGONA DE RIPOLLÈS	47	OLOT
8	ARGELAGUER	48	OLOT
9	LLORET DE MAR	49	BANYOLES
10	LES PRESES	50	OLOT
11	GIRONA	51	SANT JOAN DE LES ABADESSES
12	GIRONA	52	SANTA COLOMA DE FARNERS
13	SANT JOAN LES FONTS	53	SANT JOAN LES FONTS
14	BERGA	54	SANTA LLOGAIA DE ALGUEMA
15	SANTA PAU	55	GIRONA
16	MANLLEU	56	OLOT
17	BANYOLES	57	SANTA COLOMA DE FARNERS
18	OLOT	58	RIBES DE FRESER
19	SANT JOAN LES FONTS	59	OLOT
20	GIRONA	60	PORQUERES
21	BANYOLES	61	BANYOLES
22	BANYOLES	62	MONTAGUT I OIX
23	BANYOLES	63	SANT JOAN LES FONTS
24	FONTCOBERTA	64	OLOT
25	OLOT	65	GIRONA
26	SANT GREGORI	66	BATET DE LA SERRA
27	SANT JOAN LES FONTS	67	OLOT
28	GIRONA	68	LA VALL DE BIANYA
29	BESALÚ	69	SANT JOAN LES FONTS
30	OLOT	70	OLOT
31	SANT JOAN LES FONTS	71	RODA DE TER
32	CASTELLFOLLIT DE LA ROCA	72	CAMPDEVÀNOL
33	GIRONA	73	OLOT
34	GIRONA	74	LES PRESES
35	OLOT	75	OLOT
36	OLOT	76	BANYOLES
37	OLOT	77	SANT GREGORI
38	BANYOLES	78	OLOT
39	OLOT	79	TARVAUS
40	VALL DE BIANYA		

Taula 28: Ubicacions de les escoles pretractades (Font: elaboració pròpia).

nº	Ubicació de l'escola (ciutat i carrer)
17	BESALU
31	SANT JOAN LES FONTS
59	OLOT
66	OLOT
70	SANT JOAN LES FONTS
74	LES PRESES

Taula 29: Ubicacions dels companys que ja comparteixen vehicle (Font: elaboració pròpia).

nº	De quina ciutat són els companys/companyes amb les que comparteix vehicle
12	GIRONA
55	GIRONA
61	BANYOLES
64	RIUDAURA
76	BANYOLES

Taula 30: Consums dels vehicles pretractats (Font: elaboració pròpia).

nº	Consum	nº	Consum
1	6,5	41	6
2	13	42	6
3	6	43	10
4	5	44	17
5	5	45	7,5
6	6	46	5,3
7	8,5	47	7,5
8	6	48	6
9	6,6	49	6,4
10	10	50	5,9
11	7	51	5,5
12	5,4	52	5
13	8	53	7
14	6	54	7,4
15	8,5	55	5,8
16	5,5	56	5,4
17	7	57	5,4
18	4,5	58	7
19	6,5	59	6,4
20	6	60	3,95
21	6	61	5
22	5,7	62	5
23	7,5	63	7
24	5,4	64	6,8
25	7	65	5
26	5,8	66	6,7
27	6	67	5,5
28	7,75	68	6
29	7,5	69	6
30	4,5	70	6
31	6	71	5
32	4,5	72	7,2
33	7	73	6
34	6,5	74	5
35	5,5	75	5,5
36	6,5	76	5,5
37	6	77	5,8
38	5,5	78	6
39	5,5	79	5,5
40	8		

ANNEX N. AVALUACIÓ DEL TEMPS D'EXECUCIÓ SEGONS CLUSTER

S'avalua el temps aproximat amb els clústers ideals:

$$Y(\text{segons}) = \frac{4}{2} \cdot 23^2 + \frac{4}{2} \cdot 24^2 + \frac{4}{2} \cdot 23^2 + \frac{4}{2} \cdot 24^2 = 4.420 \text{ s} \quad (\text{VI})$$

S'avalua el temps aproximat amb els clústers obtinguts:

$$Y(\text{segons}) = \frac{4}{2} \cdot 5^2 + \frac{4}{2} \cdot 31^2 + \frac{4}{2} \cdot 51^2 + \frac{4}{2} \cdot 7^2 = 7.272 \text{ s} \quad (\text{VII})$$

S'avalua sense clustering:

$$Y(\text{segons}) = \frac{4}{2} \cdot 91^2 = 16.572 \text{ s} \quad (\text{VIII})$$

ANNEX O. JUSTIFICACIÓ PREUS UNITARIS

Les hores enginyer estan valorades segons el salari anual brut d'aquest estimat a 30.000€ i segons els hores laborals d'un any aproximadament 1700.

$$\frac{30.000}{1700} = \frac{17,64\text{€}}{h} \quad (IX)$$

Els preus unitaris de les hores de software s'han calculat segons el preu de la llicència i del temps que es fan servir. Tant per MATLAB com per Office s'ha determinat que s'emprava la meitat de la jornada laboral, per tant, 850 hores anuals. En la Taula 31 es pot veure el resultat d'aquests càlculs.

Taula 31: Justificació preu softwares (Font: elaboració pròpia).

Llicència	Preu(€)	Temps utilitzat (h/any)	Preu horari(€)
MATLAB	800	850	0,94
Office	69	850	0,08

L'amortització de l'immobilitzat material, que en aquest cas és únicament de l'EPI, s'ha calculat amb el mètode tradicional, avaluant vida útil i valor residual. L'únic EPI que es conta en aquest cas és un ordinador, amb valor aproximat de 1000€ i la seva amortització es pot observar en la Taula 32.

Taula 32: Justificació preu amortització EPI (Font: elaboració pròpia).

	Preu (€)	Vida útil (hores)	Valor residual (€)	Amortització horària (€)
Amortització EPI	1.000	8.500	0	0,12 €

En el pressupost també s'afegeix un càrrec de altres per cobrir altres conceptes com subministrament de llum, internet, lloguer...