



Treball de fi de màster

MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL

Estimació del consum de combustible i les
emissions de NO_x i partícules associades en
un tram de via urbana segons la tipologia
de vehicles que hi circulen

Autor:

Josep Oriol Díaz Hernández

Convocatòria: Juliol 2017

Quadrimestre: Primavera

Tutor:

Jesús Álvarez Flórez

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de
Barcelona

Resum

La contaminació atmosfèrica és un problema que afecta negativament als espais urbans i les grans ciutats. El trànsit és un dels principals causants d'aquests contaminants (òxids de nitrogen, monòxid de carboni, hidrocarburs sense cremar i partícules fines en suspensió) que suren a l'aire. A que estem exposats? Quins perills existeixen per la salut? És possible mesurar la contaminació en cada tram de via urbana d'una manera senzilla?

En aquest treball es planteja la possibilitat d'estudiar discretament cada segment de via urbana mitjançant anàlisis d'imatge digital per estimar el consum de combustible, les emissions de partícules i gasos contaminants associats als vehicles que circulen per les ciutats.

Per dur-ho a terme s'ha desenvolupat un software de seguiment i detecció de vehicles basat íntegrament en MATLAB. S'ha fet un estudi d'un cas real en un tram de via de la ciutat d'Eivissa. L'estimació de les emissions i el consum s'ha dut a terme amb ADVISOR que és una eina d'anàlisi ràpid del comportament de vehicles.

Finalment es conclou que la detecció de vehicles amb imatges és una feina que és abordable i que s'ha demostrat possible en aquest treball sota una sèrie de condicions específiques.

Abstract

Nowadays the impact of air pollution in big cities and urban environments is becoming a main field of study. Transit is the biggest contribution and the principal origin of toxic elements (nitrogen oxide, carbon monoxide, unburned fuel and particulate matter pollution) that float in the air. What are we exposed to? Which are the main risks for health? Is it possible to gauge the air pollution in each urban street in an easy way?

The aim of this project is the possibility of studying each urban section discretely by image analysis techniques to measure the spent fuel and emissions from vehicles that run into it.

A detection and tracking tool has been developed in MATLAB to achieve the purpose of the project. Furthermore a real study in the city of Ibiza has been done. Emissions and particle emissions were calculated with ADVISOR that is a tool designed for rapid analysis of the performance and fuel economy of vehicles.

Finally is proven that vehicle detection through image analysis can be affordable under specific bounding conditions.

Índex

Resum	1
Abstract	1
Índex	3
Índex de figures	7
Índex de taules	10
1 Glossari	11
2 Introducció	13
2.1 Identificació del problema i motivació principal	13
2.2 Objectius	14
2.3 Repte tecnològic	15
3 Emissions de gasos i partícules contaminants	17
3.1 El vehicle convencional i el motor de combustió interna	17
3.2 Emissions dels vehicles convencionals	21
3.2.1 Diòxid de carboni CO ₂	23
3.2.1.1 Volum d'emissions de CO ₂	23
3.2.2 Òxids de nitrogen (NOx)	25
3.2.3 Partícules en suspensió (PM _x) i hidrocarburs no cremats (HC)	26
3.2.4 Monòxid de carboni (CO)	27
4 Eina software de detecció i seguiment de vehicles	29
4.1 Què és una imatge? I un vídeo?	29
4.2 Condicions de contorn	31
4.3 Descripció del funcionament	34
4.3.1 Inicialització del programa	34
4.3.1.1 Calibratge de la distància real	34
4.3.1.2 Àrea de treball	35

4.3.1.3	Detector d'objectes, reproductors de vídeo i inicialització de l'estructura de dades	36
4.3.2	Càlcul del fons, tractament de la imatge i detecció d'objectes	36
4.3.2.1	Càlcul del fons	37
4.3.2.2	Filtratge de la imatge i operacions morfològiques	39
4.3.2.3	Detecció d'objectes	41
4.3.3	Identificació i seguiment dels objectes detectats	42
4.3.3.1	Predicció de la posició futura dels vehicles detectats i filtre de Kalman	42
4.3.3.2	Estructura de seguiment de vehicles (<i>tracks</i>)	42
4.3.3.3	Assignació de deteccions a l'estructura de seguiment de vehicles, <i>tracks</i>	43
4.3.3.4	Creació d'una nova estructura de seguiment de vehicles (nou <i>track</i>)	46
4.3.3.5	Actualització dels vehicles visibles que pertanyen a un <i>track</i>	47
4.3.3.6	Actualització dels vehicles invisibles que pertanyen a un <i>track</i>	48
4.3.3.7	Eliminació de <i>tracks</i>	48
4.4	Diagrama de flux	49
4.5	Càlcul de velocitats i acceleracions dels vehicles	51
4.5.1	Càlcul de la velocitat	51
4.5.2	Càlcul de l'acceleració	52
4.5.2.1	Aproximació polinòmica de les velocitats i acceleracions de cada vehicle	52
4.5.3	Punt de referència de la posició de cada vehicle	52
4.5.4	Estructura i format de les dades entrants	53
4.5.5	Estructura i format de les dades resultants	54
4.6	Limitacions i fortaleces del software	57
4.6.1	Limitacions	57
4.6.2	Fortaleses	57
5	Cas d'estudi (Eivissa)	59
5.1	Descripció del cas d'estudi	59
5.1.1	Emplaçament	59
5.1.2	Duració del vídeo i longitud del tram	60

5.2	Resultats	61
5.2.1	Càlcul dels perfils de velocitat emprant els software desenvolupat de detecció i seguiment de vehicles	61
5.2.2	Càlcul de les emissions i consums amb ADVISOR	62
6	Impacte ambiental, econòmic i social	69
6.1	Horitzó 20/20/20	69
6.2	Contaminació atmosfèrica. A què ens exposem?	69
6.2.1	Riscos per la salut	69
6.2.2	Nivells des gasos contaminants a Europa	71
6.2.3	Nivells de gasos contaminants a la ciutat de Barcelona	73
6.3	Impacte esperat del projecte	77
6.3.1	Impacte ambiental	77
6.3.2	Impacte social	78
6.3.3	Impacte econòmic	78
7	Pressupost	79
	Conclusions	81
	Bibliografia	83
	Bibliografia complementària	85
A	Annexes	i
A.1	Guia d'usuari i configuració del software	i
A.1.1	Requisits	i
A.1.2	Recomanacions	i
A.1.3	Passos previs	i
A.1.4	Execució pas per pas	ii
A.1.5	Configuració del programa principal de detecció i seguiment de vehicles	x
A.1.5.1	Configuració de la mida dels vehicles en el detector d'objectes	x
A.1.5.2	Configuració de la creació de tracks segons el cost de no assignació	xi
A.1.5.3	Quan es dona un vehicle per perdut?	xi

A.1.5.4	Visibilitat mínima per començar l'enregistrament i visualització	xii
A.2	Codi del programa de detecció i seguiment de vehicles	xiii
A.3	Codi del programa de càlcul de velocitats i acceleracions de vehicles	xxii

Índex de figures

3.1	Diagrama de Sankeys d'energia útil [3].	18
3.2	PME, règim de gir i rendiment [4].	19
3.3	Cicle de conducció [4].	19
3.4	Rendiment òptim, parell motor i revolucions [4].	20
3.5	Productes nocius de la combustió d'un Otto amb excés d'aire.	21
3.6	Productes nocius de la combustió d'un Otto amb defecte d'aire.	22
3.7	Productes nocius de la combustió d'un motor de cicle Dièsel.	22
3.8	Emissions respecte l'any 1990 [8].	23
3.9	Emissions en el transport i la seva procedència [8].	24
3.10	Evolució de les emissions de noves matriculacions [9].	24
4.1	Els tres colors primaris.	30
4.2	Exemples de valors de RGB.	30
4.3	Imatges amb punts de fuga.	32
4.4	Fotograma sense punts de fuga d'un vídeo de vehicles.	32
4.5	Imatge ideal en condicions de llum.	33
4.6	Menú de calibratge.	34
4.7	Selecció de l'àrea de treball.	35
4.8	Selecció de l'àrea de treball.	36
4.9	Fons calculat del vídeo.	37
4.10	Fotograma d'un instant del vídeo.	37
4.11	Diferència entre el fotograma i el fons anteriors (<i>mask</i>)	38
4.12	<i>Mask</i> en valor absolut.	38
4.13	<i>Mask</i> en format uint8 RGB.	38
4.14	<i>Mask</i> en blanc i negre.	39
4.15	<i>Mask</i> en binari.	39
4.16	<i>Mask</i> després de l'apertura.	40
4.17	<i>Mask</i> després del tancament.	40
4.18	<i>Mask</i> després de l'emplenament.	40
4.19	<i>Mask</i> amb vehicles detectats.	41
4.20	Fotograma amb vehicles detectats.	41
4.21	Vehicle existent assignat a un <i>track</i>	44

4.22	Vehicle invisible que té <i>track</i> assignat.	44
4.23	Vehicle nou que no té <i>track</i> assignat.	44
4.24	Resultat de la funció d'assignació [17].	45
4.25	Vehicle nou que no té <i>track</i> assignat.	46
4.26	Vehicle detectat que té <i>track</i> assignat	47
4.27	<i>Track</i> assignat que ha perdut de vista el vehicle.	48
4.28	Diagrama de flux del programa.	49
4.29	Punt de referència de la posició d'un vehicle.	52
4.30	Estructura de dades resultant del programa de detecció i seguiment.	53
4.31	Fitxer Resultats.txt.	55
4.32	Fitxer de resultats en full de càlcul.	56
5.1	Vista aèria de la ciutat d'Eivissa.	59
5.2	Vista aèria del tram de via estudiat.	60
5.3	Vista del tram estudiat des del punt de gravació.	60
5.4	Perfils de velocitat de tots els vehicles detectats.	61
5.5	Perfil de velocitat del vehicle 3.	62
5.6	Perfil de velocitat del vehicle 17.	62
5.7	Característiques del vehicle de gasolina.	63
5.8	Característiques del vehicle dièsel.	64
5.9	Entrada a ADVISOR del vehicle 3.	64
5.10	Resultats de la simulació del vehicle 3.	65
5.11	Entrada a ADVISOR del vehicle 17.	65
5.12	Resultats de la simulació del vehicle 17.	66
6.1	Emissions i el seu origen [19].	70
6.2	Mitjana de NOx [21].	71
6.3	Mitjana de PM10 [21].	72
6.4	Mitjana de PM2,5 [21].	72
6.5	Taula resum del compliment dels valors de referència de la UE i de l'OMS de les concentracions mitjanes funció de la intensitat de trànsit (trànsit interns o fons) [22].	74
6.6	Distribució dels nivells màxims horaris de NO ₂ mesurats (en % hores) [22].	75
6.7	Distribució dels nivells màxims diaris de PM10 mesurats (en % dies) [22].	75
6.8	Distribució dels nivells màxims diaris de PM2,5 mesurats (en % dies) [22].	76

A.1 Pantalla principal de MATLAB.	ii
A.2 Barra de direcció de MATLAB.	ii
A.3 Canvi del directori de treball.	ii
A.4 Pantalla principal de MATLAB amb el directori de treball corresponent.	iii
A.5 Finestra de calibratge de la distància real.	iv
A.6 Finestra de calibratge de la distància real.	v
A.7 Introducció de la mesura real.	v
A.8 Finestra de selecció de l'àrea de treball.	vi
A.9 Ordre en que s'han de fer els clics.	vi
A.10 Eina de selecció de l'àrea de treball.	vii
A.11 Reproductor de vídeo amb deteccions.	vii
A.12 Reproductor de vídeo de la màscara.	viii
A.13 Finestra principal de MATLAB amb la variable que emmagatzema els vehicles detectats.	viii
A.14 Editor de codi de MATLAB.	ix
A.15 Resultats en el fitxer de full de càlcul.	x
A.16 Línia de codi on es troba la configuració del detector d'objectes.	x
A.17 Línia de codi on es troba el cost de no assignació.	xi
A.18 Línia de codi on es troben els paràmetres d'edat mínima i invisibilitat.	xi
A.19 Línia de codi on es troba el minVisibleCount.	xii

Índex de taules

4.1	Atributs d'un <i>track</i>	43
4.2	Creació d'un <i>track</i>	46
4.3	Actualització d'un <i>track</i> que té vehicles visibles.	47
4.4	Actualització d'un <i>track</i> on no hi ha vehicles visibles.	48
4.5	Explicació del diagrama de flux.	50
4.6	Capçalera de l'estructura de dades d'entrada.	54
4.7	Capçalera de les columnes de resultats.	54
5.1	Resultats individuals de cada simulació.	67
5.2	Resultats totals i mitjanes.	68
5.3	Resultats de les emissions en el tram de via.	68
6.1	Emissions del carrer estudiat.	77
7.1	Pressupost de les eines i materials.	79
7.2	Pressupost de desenvolupament, programació i estudi.	80
7.3	Pressupost total.	80

1 Glossari

ADVISOR: programa de simulació del comportament d'un vehicle segons la seva tipologia que permet estimar consums i emissions a partir d'un cicle de conducció.

bbox, bounding box: Rectangle que emmarca un vehicle.

Blob analyzer: funció que genera els *bbox, bounding box*.

CO: monòxid de carboni. Tòxic pels éssers vius. Contaminant atmosfèric.

CO₂: diòxid de carboni. Un dels principals gasos culpables de l'efecte hivernacle. Contaminant atmosfèric.

Diagrama de flux: representació gràfica per etapes del funcionament d'un algorisme.

Diagrama de Sankeys: mapa conceptual amb un origen comú i varies destinacions. L'origen representa el 100% de l'energia i les destinacions poden ser pèrdues, energia útil final o altres. El que es pretén és la representació visual del camí que segueix l'energia i les seves pèrdues amb el seu final.

Filtre de Kalman: algorisme desenvolupat per Rudolf E. Kalman el 1960 que serveix per identificar l'estat ocult (no mesurable) d'un sistema dinàmic lineal.

FPS: *frames per second*, imatges per segon en català. Referent a la taxa d'imatges per segon a la que es reproduceix un vídeo o es grava.

Frame: en aquest context és un fotograma. Una imatge del vídeo.

Full HD: acrònim referent a la resolució de 1920 x 1080 píxels en horitzontal i vertical respectivament.

HC: hidrocarburs en general. En el treball s'esmenten com a HC els hidrocarburs sense cremar que hi ha a l'ambient. Contaminant atmosfèric.

ISO: és un paràmetre que indica al sensor (càmera) quanta quantitat de llum recollir.

Lag: retràs, percepció de lentitud entre les imatges d'un vídeo.

Mask: és la imatge tractada i filtrada on s'hi realitzen les deteccions.

MATLAB: software d'ordinador i llenguatge de programació.

NOx: família d'òxids de nitrogen resultants de la combustió. Contaminant atmosfèric.

OMS: Organització Mundial de la Salut.

Operació morfològica: tipus d'operació de tractament d'imatge.

PME: pressió mitjana efectiva, és la mitjana de totes les pressions instantànies que es produeixen en la combustió i expansió dels gasos dins del cilindre. La PME es funció del combustible que entra al cilindre i l'aprofitament d'aquest.

PMx: família de partícules en suspensió de diferent diàmetre en l'escala dels micrometres. Contaminant atmosfèric.

Punt de fuga: és el lloc geomètric en el qual convergeixen les projeccions de les rectes paral·leles en una direcció donada en l'espai, no paral·leles al pla de projecció. És un punt situat en l'infinit.

Règim de gir: velocitat de rotació del cigonyal d'un motor. Rendiment η : paràmetre adimensional que mesura el percentatge d'energia que s'aprofita per al seu ús final. $1 - \eta$ són les pèrdues.

RGB, uint: *Red Green Blue*, format d'imatge que mesura la quantitat de color primari que té un píxel.

Track: estructura que s'encarrega de guardar els atributs necessaris per fer el seguiment d'un vehicle.

UE: Unió Europea.

2 Introducció

El problema que resol aquest projecte és el càlcul de les velocitats i acceleracions dels vehicles en un tram de via urbana d'acord amb la densitat de flux mitjançant la creació i programació d'una eina software per posteriorment calcular les emissions i consum de combustible a partir de les dades obtingudes.

S'ha realitzat una tasca de camp de gravació de vídeo. S'ha desenvolupat un software de tractament d'imatge i processat de les dades íntegrament en MATLAB, s'han calculat emissions i consums i finalment s'ha fet una recerca sobre la contaminació atmosfèrica i el seu impacte ambiental, social i econòmic.

2.1 Identificació del problema i motivació principal

Els episodis de contaminació de les grans àrees urbanes com Madrid o Barcelona és un tema recurrent que esdevé portades als medis de comunicació quan succeeixen. Millorar la qualitat de l'aire que es respira a les ciutats i garantir una bona qualitat de vida a les mateixes, així com saber quines actuacions dur a terme durant un episodi de contaminació greu és el repte d'aquests propers anys.

L'Organització Mundial de la Salut xifra en 10 micro-grams per metre cúbic de PM_{2,5} el llindar a partir del qual les partícules contaminants comencen a tenir efectes perjudicials per a la salut. Els barcelonins respiren un aire que conté de mitjana 16 micro-grams de PM_{2,5}, i 25 micro-grams de PM₁₀ [1].

Per trobar les emissions i consums és necessari saber les velocitats i les acceleracions dels vehicles que circulen per la ciutat. Les emissions són proporcionals al combustible que gasta el vehicle i aquest als canvis en la velocitat i acceleració de l'automòbil. Per això la tasca principal serà la determinació dels perfils de velocitat i acceleració dels vehicles que circulen per el tram viari.

La qualitat de l'aire de les ciutats és un tema que sempre m'ha preocupat i d'alguna manera afectat. A Barcelona la ciutat on resideixo ha sofert al llarg del temps molts episodis de contaminació. Personalment em desplaço a diari en bicicleta i practico esport a l'aire lliure per la ciutat. Recordo un professor que ens va dir una vegada... "Hi ha gent que fuma i n'hi ha d'altra que corre per Diagonal". Quants paquets hauré fumat en el trajecte de casa a l'escola en bicicleta?

2.2 Objectius

Definit el problema i la seva problemàtica s'han definit uns objectius específics a dur a terme que s'enumeren a continuació:

1. Recerca de les emissions dels vehicles. Origen i tipus.
2. Obtenció de dades. Determinació de la posició i angle de la càmera mitjançant captures aleatòries de vídeo en trams de via urbana. Essent clau una imatge el més zenital possible, la fixació de la ISO, el control del focus de la càmera i la altura de gravació.
3. Desenvolupament d'un software de reconeixement de vehicles en el medi per fixar la tipologia de vídeo que millor s'hi adapti d'acord amb el punt 1.
4. Programació d'una eina que realitzi el seguiment dels vehicles detectats, els hi assigni una etiqueta, sàpiga diferenciar els vehicles i doni les dades de posició i temps.
5. Integració dels punts 2 i 3 per la seva visualització en temps real del que esta passant en el tram viari.
6. Realització d'un programa de post-processat de les dades obtingudes de posició i temps per calcular proporcionalment les acceleracions i velocitats de cadascun dels vehicles detectats.
7. Proves en diferents condicions de lluminositat i densitat de flux de transit per depurar al màxim els programes, fer-los robusts i trobar les seves fortaleses i limitacions.
8. Càlcul de les emissions i consums a partir dels perfils de velocitat de cada vehicle detectat en el tram d'estudi amb el software ADVISOR.
9. Recol·lecció de dades sobre la contaminació atmosfèrica i risc per a la salut. Impacte social, ambiental i econòmic del projecte.

2.3 Repte tecnològic

En un tram de via urbana hi circulen tot tipus de vehicles: bicicletes, motos, camions, autobusos, turismes, etc. La imatge obtinguda, malauradament, incorpora a més dels vehicles, l'entorn amb tots els seus esdeveniments. Condicionants que formaran part del repte tecnològic de l'estudi.

Si es pensa en els colors dels vehicles gairebé s'ocupa tot l'espectre d'ona visible. Essent la majoria de pintures metal·litzades que creen un efecte mirall a les imatges obtingudes del tram de via. D'altra banda la lluminositat segons l'hora del dia afecta, canviant la intensitat del color i creant ombres.

El software desenvolupat haurà de ser capaç d'adaptar-se a totes les condicions estocàstiques anteriorment descrites. Les condicions no estocàstiques, com el format del vídeo o altura de gravació, que afecta la mida dels vehicles des del punt d'observació, són paràmetres que s'hauran de poder adaptar i configurar d'alguna manera en el programa desenvolupat.

Saber diferenciar un vehicle d'un altre i fer el seguiment amb els nostres sentits és una feina d'apreciació visual relativament senzilla. Som capaços d'identificar un vehicle segons molts paràmetres, entre ells el color, la forma o el model. Dotar d'aquesta intel·ligència a un ordinador esdevé un repte. El programa haurà de saber diferenciar els cotxes i entendre quan n'és un de nou o és el mateix que simplement s'ha parat.

El càlcul de les acceleracions, velocitats, consum i emissions en part haurà d'estar automatitzat i funcionar per tot el rang de vehicles que es detectin a més de resultar en un fitxer que sigui accessible en qualsevol ordinador o dispositiu.

3 Emissions de gasos i partícules contaminants

Actualment es dedica molt d'esforç en fomentar l'eficiència energètica, la reducció de les emissions, les energies renovables i en general un món més net. En automoció i transport la majoria de l'energia per realitzar aquesta feina prové dels combustibles fòssils.

En aquest capítol es fa un anàlisi per conèixer l'origen i el tipus d'emissions del motor tèrmic que utilitzen els vehicles.

3.1 El vehicle convencional i el motor de combustió interna

Els motors de combustió interna alternatius emprats en el transport tenen una eficiència molt dolenta. Només el 35% de l'energia emmagatzemada al combustible, en el millor dels casos, s'utilitza per genera treball útil mentrestant que la resta se'n va pels fums a través del tub d'escapament en forma de calor cap a l'ambient.

A Europa al voltant del 15% de les emissions de CO₂ procedeixen dels automòbils i se li suma un 6% procedent del transport pesat rodat (tràilers i camions) [2]. A demés s'afegeix la generació de gasos i partícules NOx i les anomenades PM (partícules en suspensió) que són perjudicials per la salut.

Un diagrama de Sankeys és un mapa conceptual amb un origen comú i varies destinacions. L'origen representa el 100% de l'energia i les destinacions poden ser pèrdues, energia útil final o altres. El que es pretén és la representació visual del camí que segueix l'energia i les seves pèrdues amb el seu final.

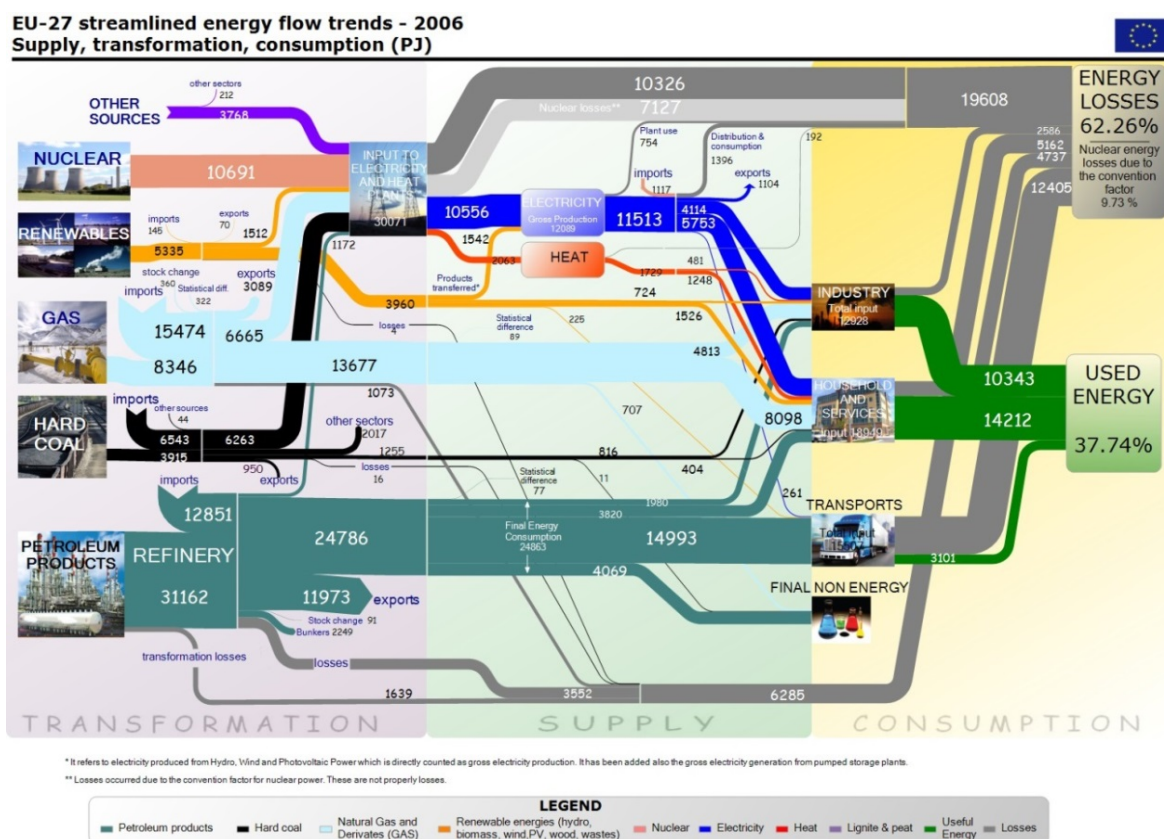


Figura 3.1: Diagrama de Sankeys d'energia útil [3].

Al diagrama de Sankeys anterior s'aprecia com és un sistema on només un terç del que es consumeix es dedica a la seva finalitat. Actualment la major part del transport es realitza mitjançant combustibles derivats del petroli.

Un bon motor de combustió interna arriba aproximadament al 35% de rendiment en el seu punt òptim de treball. La problemàtica afegida que tenen aquestes màquines és que no acostumen a treballar en aquest.

A la figura 3.2 s'aprecia com el motor al ralentí té una eficiència del 18,5% mentre que al voltant de les 2500 revolucions per minut es troba el seu punt de màxim rendiment. Allunyar-se d'aquest òptim implica més consum de gasolina, més emissions i més contaminació.

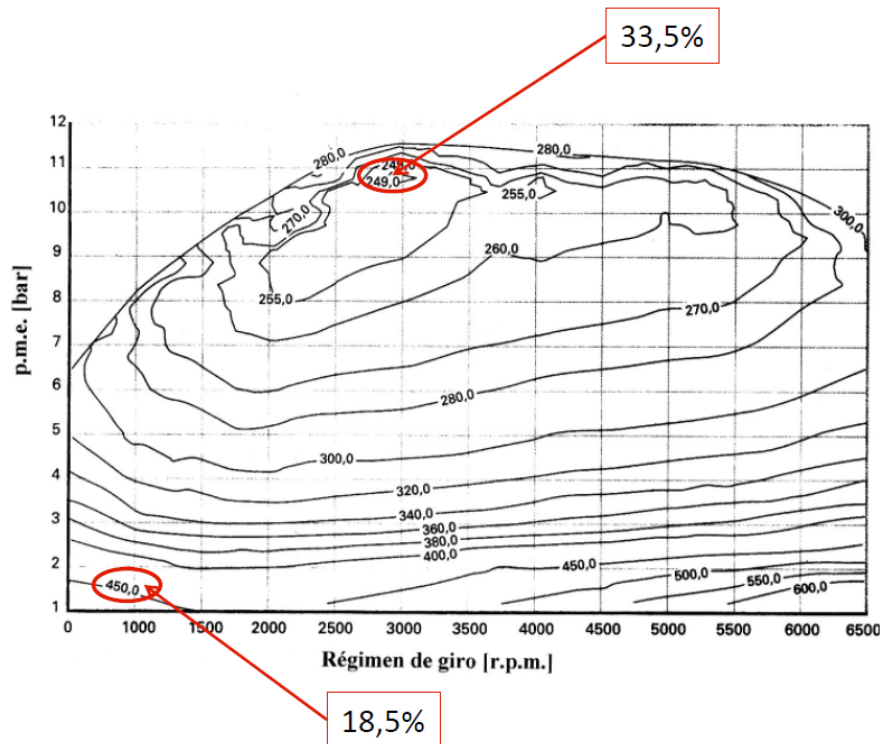


Figura 3.2: PME, règim de gir i rendiment [4].

La pregunta que se'ns pot plantejar ara és sota quina situació treballen aquestes màquines més temps. En un cicle de conducció donat com el de la figura 3.3 s'aprecia que la majoria del temps es troba en un règim urbà o interurbà. Són règims transitoris d'acceleracions i desacceleracions. En el cas de circular per autopista o carreteres nacionals on la velocitat sol ser constant és la situació ideal menys usual.

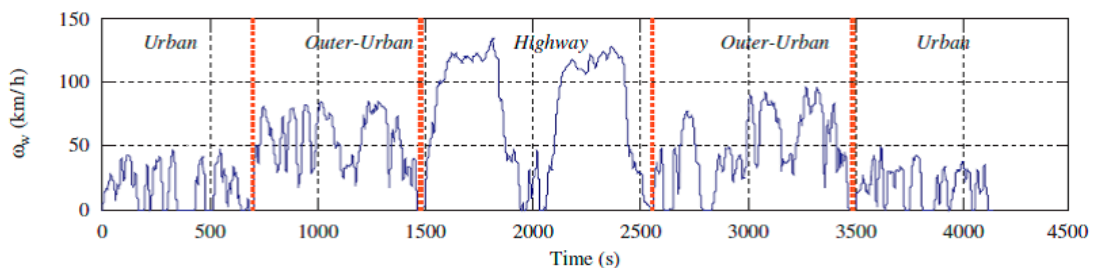


Figura 3.3: Cicle de conducció [4].

La corba vermella representa els punts de rendiment màxim per cada règim de treball. Cada creu és un punt de treball on el motor hi ha estat en el cicle de conducció de la figura anterior.

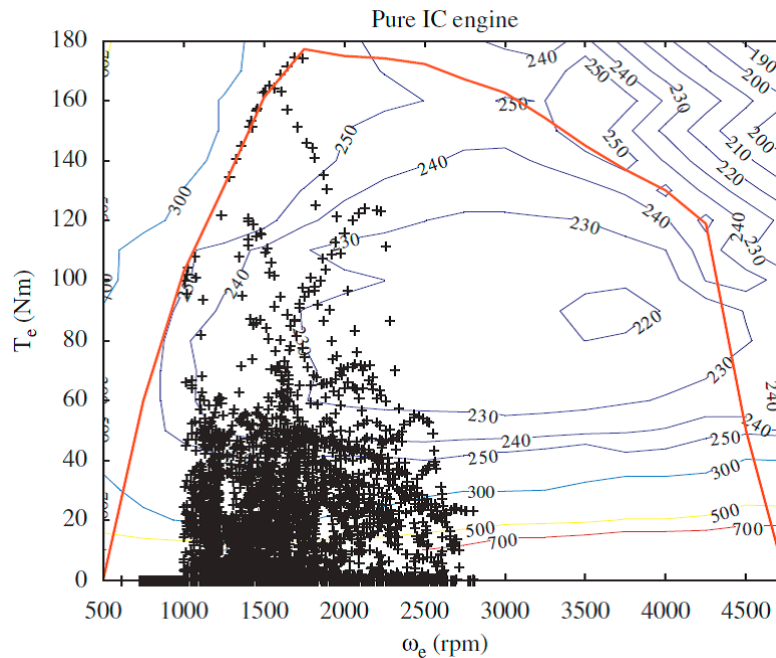


Figura 3.4: Rendiment òptim, parell motor i revolucions [4].

La majoria del temps es troba allunyat del seu òptim. Es tenen motors que per naturalesa ja són poc eficients i l'afegit de que es passen la majoria del temps fora del seu punt òptim degut a les acceleracions i desceleracions.

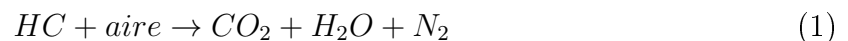
D'acord amb els objectius de l'horitzó 20/20/20 la mitjana de consum de combustible de la flota de vehicles lleugers es preveu de 4,1 l/100 km de gasolina o 3,6 l/100 km de dièsel [5]. Per tant es deurà augmentar la eficiència del motor de combustió interna a més de migrar cap a un parc automobilístic de diferent naturalesa, com poden ser els cotxes híbrids o elèctrics [6].

3.2 Emissions dels vehicles convencionals

La gran majoria dels vehicles a motor porten un motor de combustió interna alternatiu i funcionen amb el cicle de Otto o Dièsel que consumeixen gasolina i gasoil respectivament.

La reacció química que esdevé dins d'aquestes màquines endotèrmiques és la de combustió. En una reacció es tenen reactius i productes. Els reactius en una reacció de combustió són: el combustible (hidrocarburs, HC), que sol ser algun tipus de composició de carboni i l'aire, format per oxigen (O₂) i nitrogen (N₂). La combustió no és espontània i es necessita un agent que aporti l'energia per iniciar la reacció. En els motors de cicle Otto és la bugia que genera un arc elèctric d'encesa de la combustió i en els motors de cicle Dièsel la combustió s'inicia mitjançant la compressió de la mescla dels reactius.

En una reacció estequiomètrica (Reac. 1) els productes de la combustió són: diòxid de carboni (CO₂), aigua (H₂O) i nitrogen (N₂).



El problema resulta quan la reacció no és estequiomètrica. En un cicle Otto es mesclen els reactius segons la relació 14,7 g aire/g HC. Aquesta relació es coneix com la relació d'aire i combustible i és l'estequiomètrica. Si es varia la relació poden passar dues coses respecte la mateixa quantitat de combustible introduïda.

- Si hi ha un excés no apareixen aquests productes nocius però es té l'oxigen que no ha reaccionat com a producte.

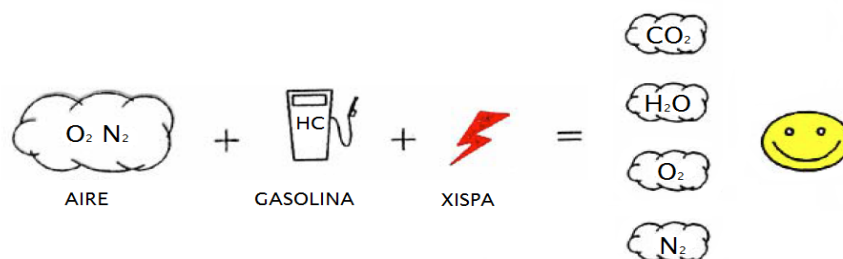


Figura 3.5: Productes nocius de la combustió d'un Otto amb excés d'aire.

- Quan hi ha un defecte d'aire es generen productes nocius com els òxids de nitrogen (NO_x), monòxid de carboni (CO) i els hidrocarburs sense cremar (HC). Degut a que la manca d'aire fa reaccionar el nitrogen que en un principi és inert en aquesta reacció.

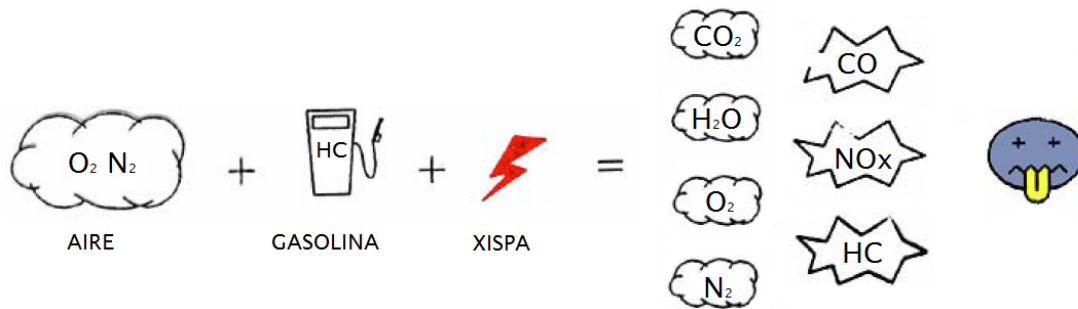


Figura 3.6: Productes nocius de la combustió d'un Otto amb defecte d'aire.

En les màquines tèrmiques que segueixen un cicle Dièsel no s'empra aquesta relació perquè la combustió es pot produir en un marge molt ampli de proporcions d'aire combustible, de forma contrària al marge estret que tenen els motors de gasolina. Al motor d'encesa per compressió hi entra tot l'aire i es regula la quantitat de combustible directament. Al motor d'encesa provocada es regula a l'hora la quantitat d'aire i combustible per sempre procurar estar al punt estequiomètric.

A diferència dels motors de gasolina els Dièsel generen dos productes més no desitjats. Les partícules en suspensió (PM) que són partícules fines degudes a la combustió del gasoil (*carbonilla*) i el diòxid de sofre (SO_2).

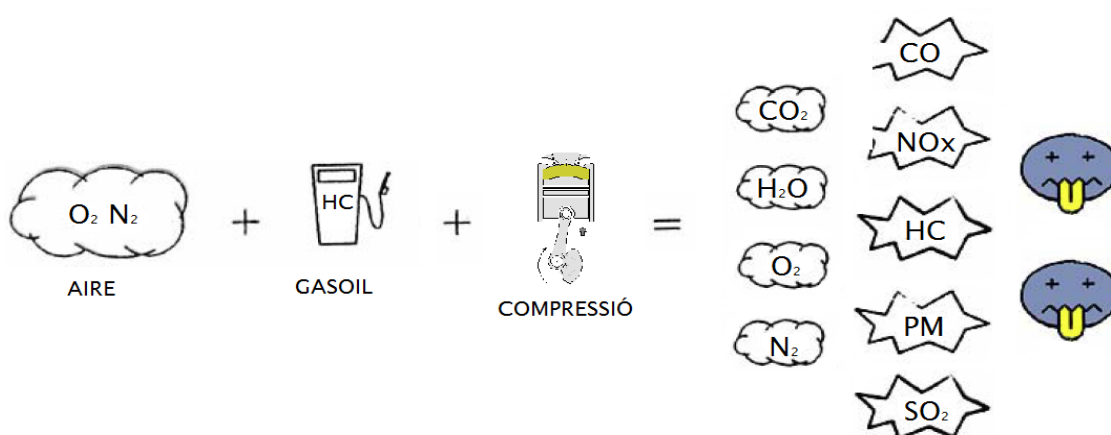


Figura 3.7: Productes nocius de la combustió d'un motor de cicle Dièsel.

La realitat és que qualsevol dels dos motors sempre genera algun producte no desitjat en algun transitori.

3.2.1 Diòxid de carboni CO₂

És un dels productes finals de la combustió dels combustibles orgànics, i de la respiració dels animals, i alguns vegetals, com en els fongs.

El diòxid de carboni és un dels gasos que ajuda a regular la temperatura de la terra gràcies a l'anomenat efecte hivernacle. L'augment actual de la concentració d'aquest gas a l'atmosfera, està creant l'escalfament global del planeta. S'han establert normatives internacionals, com el Protocol de Kyoto, per a intentar reduir aquest augment, però són seguides per molt pocs països. És considerat el segon gas hivernacle més important, després del vapor d'aigua [7].

3.2.1.1 Volum d'emissions de CO₂

A Europa el transport representa una quarta part de les emissions de CO₂ i és la principal causa de pol·lució a les ciutats.

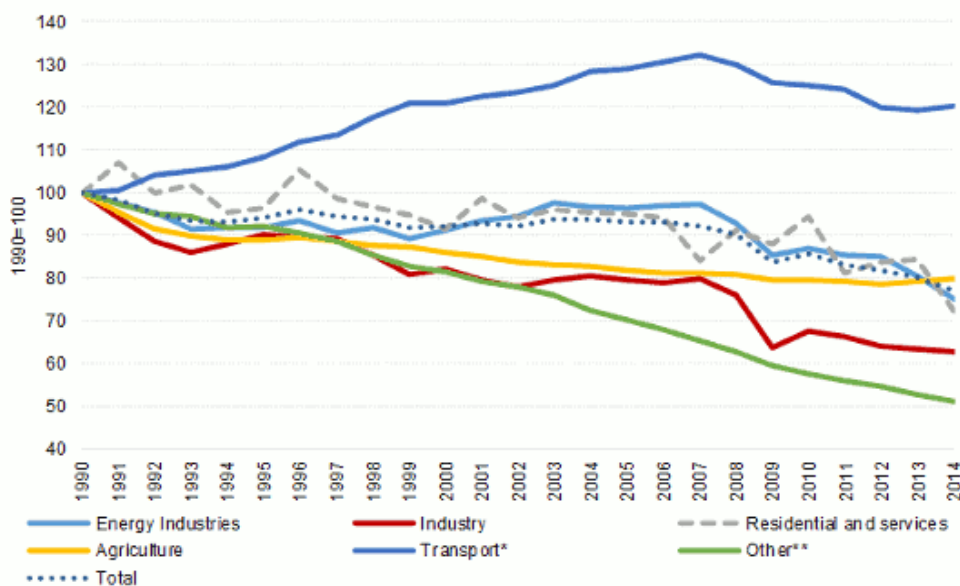


Figura 3.8: Emissions respecte l'any 1990 [8].

Dins del transport, més del 70% de les emissions provenen dels automòbils. Essent el major contribuent en aquest aspecte.

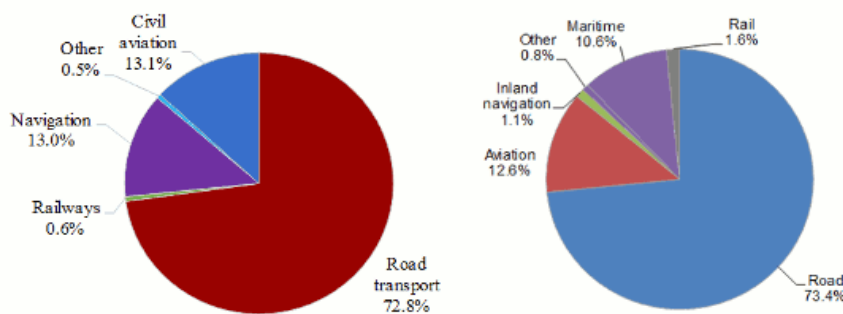


Figura 3.9: Emissions en el transport i la seva procedència [8].

Per què va començar a de créixer el 2007?

Gràcies a la implantació massiva de l'electrònica en els vehicles a partir de principis del segle XXI. Malgrat tot, els esforços són encara insuficients i es per això que es busca cada vegada més la reducció de les emissions. Vegis que l'esmentat sobre l'horitzó 20/20/20 es veu a la figura 3.10. Al 2020 es pretén rebaixar fins els 95 g CO₂/km de mitjana en els automòbils de nova matriculació.

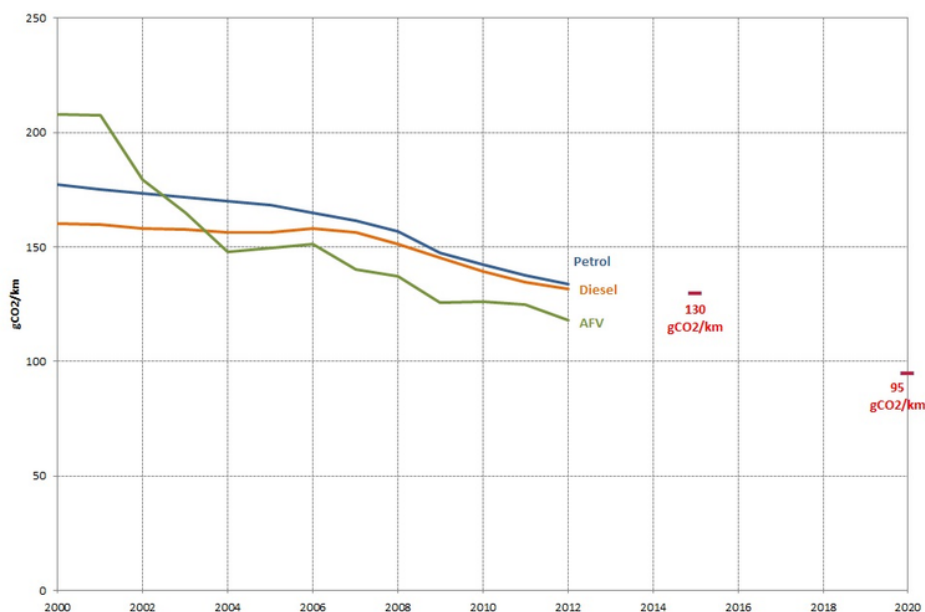


Figura 3.10: Evolució de les emissions de noves matriculacions [9].

Al ser una gràfica una mica vella es pot saber si al 2015 es va arribar la reducció de 130 g CO₂/km. Un model utilitari com el Seat Ibiza de 2016 emet 93 g CO₂/km[10].

Amb aquestes dades s'ha d'anar una mica alerta. Totes les dades de consum i emissions són extretes en bancs de treball sota condicions molt específiques. El cicle de conducció i demés paràmetres per certificar aquest consum es troben lluny del funcionament al que estaran sotmesos realment (cas Volkswagen [11]).

3.2.2 Òxids de nitrogen (NOx)

L'òxid de nitrogen (NO) i el diòxid de nitrogen (NO₂) són els únics òxids de nitrogen presents a l'atmosfera introduïts per l'home.

L'òxid de nitrogen i el diòxid de nitrogen de l'aire urbà es produeixen a través de dos processos consecutius. En primer lloc, les altes temperatures assolides en les combustions provoquen la combinació directa de l'oxigen i el nitrogen de l'aire per donar NO i aquest és oxidat parcialment a NO₂. Per tant, les instal·lacions fixes de combustió, els vehicles de gasolina i els motors dièsel emeten NOx amb proporcions variables de NO₂ i NO. Posteriorment, l'NO introduït a l'atmosfera urbana per les fonts emissores és oxidat a NO₂, principalment, per reaccions fotoquímiques.

La principal font emissora d'òxids de nitrogen a l'atmosfera urbana són els vehicles (especialment els motors dièsel), i en menor mesura les instal·lacions de combustió com les calefaccions [12].

3.2.3 Partícules en suspensió (PMx) i hidrocarburs no cremats (HC)

Les partícules en suspensió són els contaminants atmosfèrics més complexos, ja que engloben un ampli espectre de substàncies, tant sòlides com líquides, procedents de diverses fonts, entre les que destaquen les següents: pols (produït pel desgast mecànic), fums (procedents de la combustió), vapors per condensació i aerosols (mescla de partícules sòlides i/o líquides suspeses en un gas).

En respirar inhalem amb l'aire els gasos, vapors i partícules que hi són. La composició de les partícules en suspensió pot ser una barreja molt variada. Per això es classifiquen segons la seva mida i segons com es comporten en respirar.

- PM10 (partícules grans o de diàmetre aerodinàmic $\leq 10 \mu m$): la major part solen ser d'origen natural, però dins aquest grup es troben contaminants bàsicament primaris que es generen per desgast mecànic: minerals locals o transportats, aerosols marins, partícules biològiques (restes vegetals) i partícules primàries derivades de processos industrials o del tràfic (asfalt erosionat i restes de pneumàtics i frens generats per abrasió). Solen anar més enllà de la gola.
- PM2,5 (partícules fines o de diàmetre aerodinàmic $\leq 2,5 \mu m$): la seva composició és més tòxica, ja que el seu principal origen és antropogènic, especialment les emissions dels fums dels vehicles dièsel. Estan fonamentalment formades per partícules secundàries: nitrats i sulfats (originats per l'oxidació de NOx i SOx), aerosols (PAN)). Poden arribar fins als pulmons.
- Finalment hi ha les partícules ultrafines, amb un diàmetre igual o inferior a $0,1 \mu m$, que poden arribar a passar de l'alvèol pulmonar a la sang.

En resum els fums dels motors dièsel estan formats en gran part de partícules fines i ultrafines d'hidrocarburs, que són degudes a una combustió incompleta. Per això l'ús creixent de dièsel preocupa des del punt de vista ambiental. També hi ha partícules d'origen natural (aerosols marins, erosió, intrusió de pols africà) o per altres activitats humanes (obres públiques i construcció, mineria, fabricació de ceràmiques o ciment...). La suspensió i re-suspensió de les partícules és més marcada en episodis de sequera. Això fa que hi hagi nivells més elevats de partícules en anys amb pocs dies de pluja, freqüents a Barcelona [13].

Donat que a les PM2,5 la proporció de material mineral és substancialment menor, els seus nivells no solen veure's afectats per les intrusions de pols sahariana. Les PM10 poden perdurar a l'aire durant minuts o hores i les partícules fines degut a la seva mida i pes menor, si les condicions meteorològiques són adients, aconseguen mantenir-se suspeses a l'aire durant dies o inclús setmanes.

3.2.4 Monòxid de carboni (CO)

El monòxid de carboni és produït a partir de l'oxidació parcial dels compostos que contenen carboni; es produeix quan no hi ha suficient oxigen per a produir diòxid de carboni (CO₂), com quan funciona una estufa o en un motor de combustió interna en un espai tancat. El gas d'hulla, que va ser molt utilitzat abans de la dècada dels anys 60 -del segle XX- per a donar llum domèstica, cuinar i escalfar, tot i la seva toxicitat, tenia com a constituent important el CO. Alguns processos en la tecnologia moderna, com per exemple la fusió del ferro, encara produeixen monòxid de carboni com a subproducte [14].

En tot el món, la font més gran de monòxid de carboni és d'origen natural, a causa de les reaccions fotoquímiques de la troposfera que generen a prop de $5 \cdot 10^{12}$ quilograms a l'any [15]. Altres fonts naturals de CO són els volcans, els incendis forestals, i altres formes de combustió.

4 Eina software de detecció i seguiment de vehicles

L'eina que s'ha desenvolupat de detecció i seguiment de vehicles s'explicarà d'una manera abstracte i descriptiva sense entrar en detall al codi del programa. Per entendre tot el procés s'explica que és una imatge digital i un vídeo. Es defineixen les condicions de contorn i la tipologia de vídeo que es necessita.

El software es divideix en dos blocs. La primera part realitza la detecció dels vehicles, identifica i realitza el seguiment. L'altre bloc és un programa addicional de tractament de les dades on es calculen les acceleracions i velocitats de cada vehicle.

4.1 Què és una imatge? I un vídeo?

L'input del programa són fitxers de vídeos, un fitxer de vídeo són una sèrie d'imatges concatenades cada cert instant de temps. Normalment aquestes imatges es capturen a una velocitat d'unes 24 o 30 imatges per segon. Tot i que actualment s'està instaurant el format de les 60 imatges per segon. En anglès s'empra el terme *frames per second* (fotogrames per segon) o FPS. L'ull humà pot llegir, arrodonint, 25 fotogrames per segon. Una pregunta que es podria plantejar és; Per què s'empra vídeo a 60 si només podem veure fins a 25? Entre d'altres raons, el més important és perquè les imatges que pren el nostre ull no estan sincronitzades en el temps amb la imatge que produeix una TV. D'aquesta manera quan el nostre ull pren una imatge de la TV es produeix un desfasament de temps respecte a la següent imatge que es pren de la TV i això multiplicat per 25 vegades en un segon redueix la sensació de lag o moviment lent. Dit d'una altra manera l'ull percep una imatge i la següent imatge que rep és la mateixa que la anterior, però la següent imatge que rep és troba dos fotogrames més avançada (s'ha saltat una imatge).

Amb aquesta descripció ja és pot deduir que, per exemple, fent una simple resta de la imatge següent menys la anterior es pot saber quins objectes s'han mogut. Encara que aquesta part és comentarà més endavant en el seu apartat corresponent.

Seguint amb el tema del fitxer d'entrada, ja s'ha descrit un dels canals que té però en falten tres més, referents a la composició del color de la imatge.

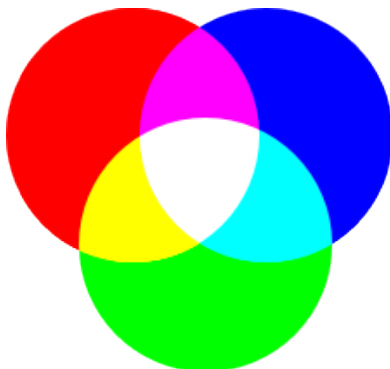


Figura 4.1: Els tres colors primaris.

Una imatge és una composició dels tres colors primaris: vermell, verd i blau mentre que l'absència de color és el negre. Els tres canals restant són respectivament el vermell, verd i blau que depenent del tipus de format guanyen un valor o un altre.

Cada regió de color té assignada una intensitat. En aquarel·les equivaldria a la quantitat que poses d'un color i un altre a la barreja per fer el color no primari que vols. Si per exemple es mescla meitat vermell i meitat verd surt el groc. Dins d'aquest món hi ha molts formats d'imatge però tots funcionen de la mateixa manera. Són tres camps en una escala numèrica i cadascun representa la intensitat del color primari per formar el color que es visualitza.

En el format estàndard uint RGB (*Red Green Blue*) els colors per cobrir tota l'escala cromàtica varien en intensitat del 0 al 255. Per exemple un valor RGB de [255 0 0] donaria el vermell, [255 255 255] seria el blanc, tot zeros el negre o l'exemple d'abans de meitat i meitat de vermell i verd respectivament es té el groc [255, 255, 0].



Figura 4.2: Exemples de valors de RGB.

Sabent el funcionament dels colors, i descrits els quatre canals que té un vídeo es pot deduir un seqüència d'imatges molt senzilla. Si s'agafen els quatre colors descrits anteriorment i suposant que cada color es mostra durant un segon (1 FPS). Numèricament es un vector de tres components de quatre dimensions, on la dimensió o quart component fa referència al *frame* i indirectament al temps. Per tant queden quatre vectors de colors que varien en el temps seguint la seqüència:

$$[255\ 0\ 0\ 1]$$

$$[255\ 255\ 255\ 2]$$

$$[0\ 0\ 0\ 3]$$

$$[255\ 255\ 0\ 4]$$

De moment s'ha descrit numèricament el color i la dimensió d'un vídeo d'un vector. Però les imatges són de dues dimensions de grandària $n \times m$ on n és l'amplada vertical i m l'amplada horitzontal.

La resolució *fullHD* és una imatge de 1080 x 1920 píxels. Cada píxel conté informació de color per tant, d'acord amb els tres colors primaris, es tenen tres matrius de $n \times m$ que emmagatzemen el valor de la intensitat de cada canal. La superposició de les tres dona la imatge que es projecta.

Normalment el primer camp emmagatzema l'amplada en l'eix de les ordenades, el segon camp emmagatzema l'amplada en l'eix de les abscisses i el tercer camp és el del color sempre seguint l'ordre vermell, verd i blau. Per tant queda un format de $n \times m \times 3$.

Aquest format multiplicat per el número de fotogrames que es tinguin és el fitxer de vídeo.

4.2 Condicions de contorn

La detecció d'objectes mitjançant eines d'edició d'imatge és una tasca molt laboriosa. Per minimitzar els errors cal tenir un fitxer de vídeo gravat sota unes condicions específiques. La detecció és de vehicles en un carrer i per sort s'hi troba un fons de color gris, l'asfalt. Aquest factor es favorable a l'hora de calcular el fons de la imatge.

Un vídeo relativament bo ha de ser gravat amb un trípod per evitar qualsevol vibració al punt de gravació. Si la imatge tremola, el programa és sensible i detectarà coses que es mouen que no són els vehicles.

En una imatge d'un carrer el més normal és que hi hagi punts de fuga. Un punt de fuga, és el lloc geomètric en el qual convergeixen les projeccions de les rectes paral·leles en una direcció donada en l'espai, no paral·leles al pla de projecció. És un punt situat en l'infinit.

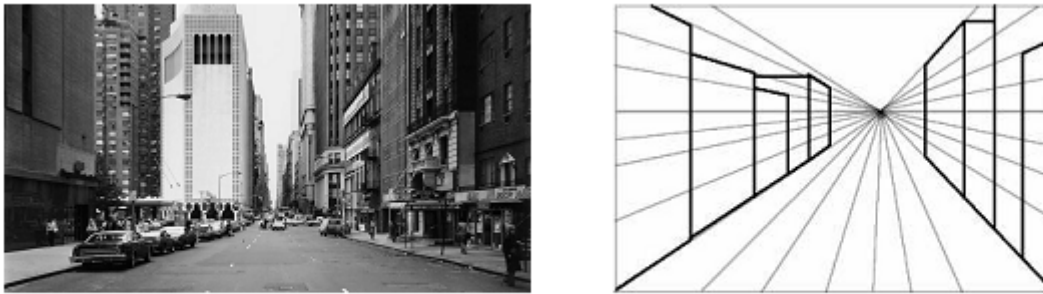


Figura 4.3: Imatges amb punts de fuga.

A la figura 4.3 anterior es veu un exemple de punt de fuga. Aquests s'han d'evitar en la mesura del possible perquè faran que el programa detecti més d'un vehicle com si en fos un, apart que per mesurar la distància real a la imatge és necessita passar de píxel a metres. En les figures anteriors un píxel a la part més propera de la càmera té un valor real menor que un píxel en el punt de fuga.

Una imatge sense punts de fuga seria la que es mostra a continuació.



Figura 4.4: Fotograma sense punts de fuga d'un vídeo de vehicles.

La figura 4.4 és un fotograma d'un vídeo que s'ha intentat fer des d'un punt el més zenital possible, on s'eviten els punts de fuga i només existeix una petita desviació deguda a l'angle de la càmera. Aquesta desviació pot fer que a l'hora de la detecció el vehicle que circula per un carril i el de just a sota o a damunt és solapi i l'identifiqui com un de sol.

Un problema greu que ens crea una imatge com l'anterior són les ombres segons l'hora del dia. Si es calcula un fons i resulta que es deixa funcionant el programa al llarg d'un dia pot ser que hagi trobat objectes i coses que no eren vehicles degut a les ombres. Com que els vídeos d'entrada que accepta el programa són curts (2 min o menys) és un problema secundari, però que se li dona solució.

L'ideal seria tenir una imatge com la següent:



Figura 4.5: Imatge ideal en condicions de llum.

No té ombres ni cap tipus de reflex i és bona. El fons es va calculant cada cert interval de temps per adaptar-se a les condicions de lluminositat.

Resumint, els punts essencials per disposar d'un bon vídeo a l'hora de la gravació és:

- Punt fixe de gravació, sense vibracions.
- Evitar punts de fuga.
- Una imatge el més zenital possible per evitar la distorsió deguda a l'angle de la càmera.
- La ISO i el focus de la imatge ha de ser el mateix i la mateixa durant tot el vídeo.
- El vídeo ha de ser curt (2 min aproximadament).
- Ha de tenir la mateixa lluminositat en tota l'àrea de treball. Evitant ombres.

4.3 Descripció del funcionament

El problema es pot separar en tres grans tasques. Una primera tasca és la referent al tractament d'imatge per ordinador i la preparació d'aquesta per poder reconèixer-hi objectes. La segona tasca important és, una vegada reconeguts els objectes, fer el seguiment d'aquests i idear una manera de que el programa entengui que l'objecte detectat en el fotograma següent és el mateix que apareixia en el fotograma immediatament anterior. Finalment la tercera tasca es redueix a un tractament de dades i càlculs amb les dades obtingudes. A continuació s'expliquen detalladament les diferents parts d'aquest a més de les funcions auxiliars que s'han necessitat.

4.3.1 Inicialització del programa

4.3.1.1 Calibratge de la distància real

Quan s'executa el programa el primer que es realitza és un petit calibratge que bescanvia la distància en píxels per la distància real. Mitjançant una interfície, es demana a l'usuari que dibuixi una recta i que introdueixi la distància real entre els dos punts.

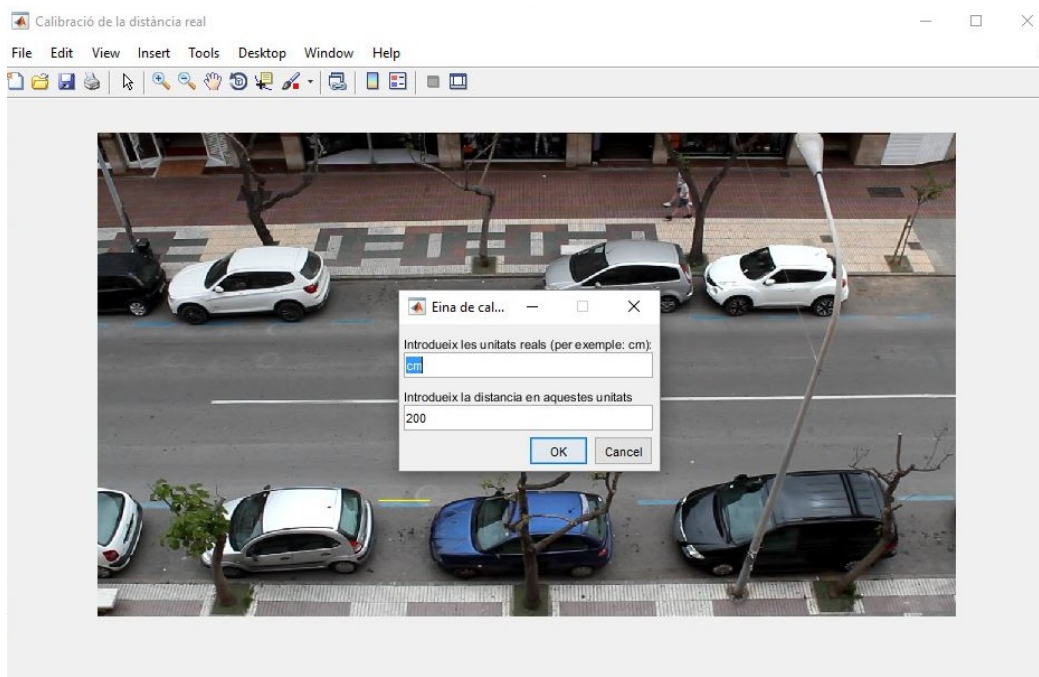


Figura 4.6: Menú de calibratge.

Aquesta distància introduïda es divideix entre la distància en píxels entre els dos punts. Les coordenades en píxels es prenen a la vegada que l'usuari fa clic amb el ratolí. Finalment amb la simple operació següent es troba el valor real de distància per cada píxel.

$$Dist.per\ pixel = \frac{Dist.real\ [cm]}{Dist.en\ pixels} = \frac{Dist.real\ [cm]}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (1)$$

4.3.1.2 Àrea de treball

Seguidament s'inicia una altra interfície que demana a l'usuari la selecció de l'àrea de treball.

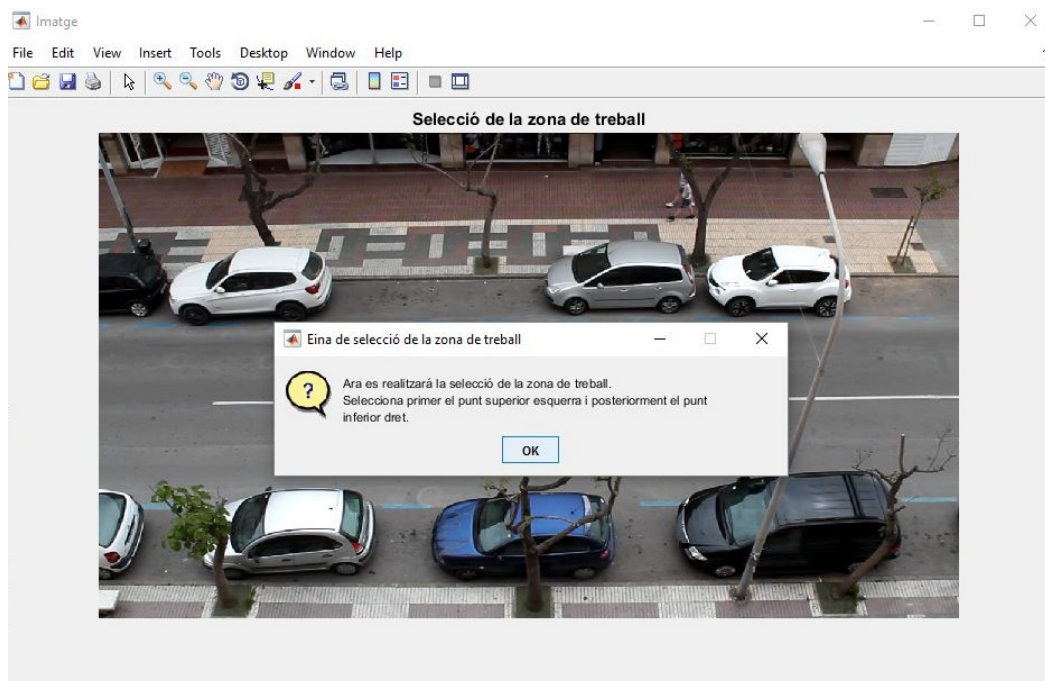


Figura 4.7: Selecció de l'àrea de treball.

Per reduir la dimensió del problema, estalviar recursos i focalitzar-los en els objectes a seguir s'ha ideat aquesta solució. L'usuari amb dos clics de ratolí selecciona un rectangle dedicat a la detecció d'objectes. Primer clic pel vèrtex superior esquerra i el segon clic pel vèrtex inferior esquerra.



Figura 4.8: Selecció de l'àrea de treball.

4.3.1.3 Detector d'objectes, reproductors de vídeo i inicialització de l'estructura de dades

Fetes les dues operacions anteriors on intervé l'usuari el programa ara configura els reproductors de vídeo on es veuran els resultats en temps real i el detector d'objectes. El detector d'objectes (blob analyzer) és una funció de MATLAB d'alt nivell que s'hi configuren una sèrie de paràmetres d'acord amb els objectes que ha de detectar com la grandària, i el tipus de variable de sortida de l'objecte detectat per el seu posterior ús. Per acabar la inicialització inicia una estructura de seguiment de vehicles, tracks (rastreig), amb els camps necessaris per fer l'assignació i el seguiment dels objectes a més d'enregistrar-los per al seu ús final. A l'apartat 4.3.3.2 s'explica en detall aquesta estructura.

4.3.2 Càlcul del fons, tractament de la imatge i detecció d'objectes

La detecció d'objectes és el primer pas a realitzar dins el bucle del programa principal. Dins d'aquest podríem diferenciar dues grans operacions: la primera operació s'encarrega de calcular el fons. La segona operació s'encarrega de tractar la imatge per diferenciar els objectes de la resta, detectar i emmarcar els objectes que es mouen.

4.3.2.1 Càlcul del fons

Primer es calcula el fons del vídeo. La situació ideal per calcular el fons seria fer la moda de tots els fotogrames del vídeo. Per realitzar-ho es necessita carregar a la memòria RAM tot el vídeo i amb un ordinador domèstic de nivell usuari no es té suficient memòria per a fer-ho. Seguint el refrany, *divide et impera*, s'ha partit el càlcul del fons en el temps. És a dir cada cert interval de fotogrames el programa para i calcula novament el fons adaptant-se a les condicions de lluminositat.

Per agilitzar-ho encara més i com que el vídeo va a 30 FPS els recursos per calcular una moda de 30 imatges cada segon durant 2000 fotogrames és molt i els canvis en la imatge són menors. És per això que s'ha decidit que la obtenció de dels fotogrames sigui de 2 per cada segon en comptes de 30.

Es calcula la moda en el temps dels fotogrames que es decideixin. Per defecte esta posat que la calculi cada 2000 fotogrames. La figura 4.9 és el fons calculat i la figura 4.10 correspon a un fotograma qualsevol d'un instant del vídeo. El fons com s'aprecia esta lliure dels objectes que no són fixes.



Figura 4.9: Fons calculat del vídeo.

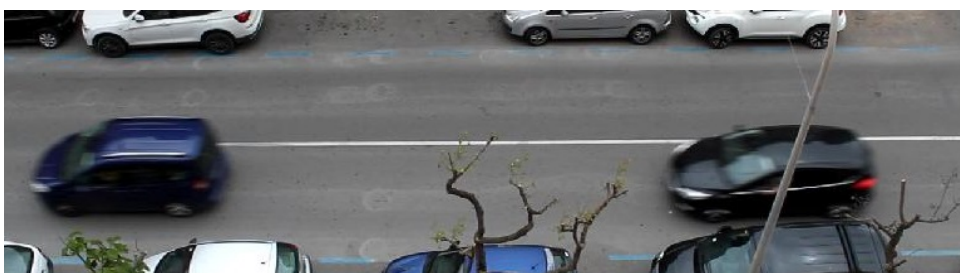


Figura 4.10: Fotograma d'un instant del vídeo.

Seguidament es fa la resta entre el fotograma actual i el fons, per obtenir els objectes que no són fixes i que per tan no formen part del fons. Aquesta imatge resultant s'anomenarà d'ara en endavant *mask* (màscara).



Figura 4.11: Diferència entre el fotograma i el fons anteriors (*mask*)

Per no perdre informació, la operació es fa en un format que permet nombres negatius d'intensitat de color. És per això que en la figura 4.11 anterior apareix el color negre. Valors que corresponen a un 0 o negatius. Per seguir amb el procediment de la detecció de vehicles es passa aquesta a valor absolut.



Figura 4.12: *Mask* en valor absolut.

Per acabar es converteix a format d'imatge uint8 RGB, el 8 és de 8 bits.

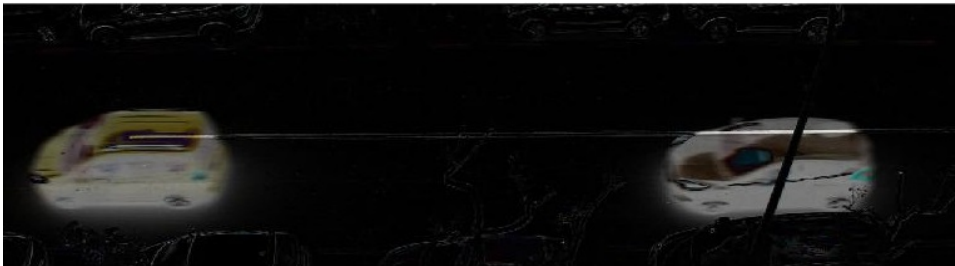


Figura 4.13: *Mask* en format uint8 RGB.

4.3.2.2 Filtratge de la imatge i operacions morfològiques

Ara ja es tenen els vehicles diferenciats de l'entorn i es procedeix a fer tot el tractament d'imatge perquè el software sigui capaç de detectar-los. Primerament es converteix la imatge de color a blanc i negre. Una imatge en blanc i negre es crea a partir de les intensitats de color RGB. Es perd la informació de color i es representa la imatge amb un sol valor d'intensitat.



Figura 4.14: *Mask* en blanc i negre.

Seguidament es transforma la imatge en blanc i negre a binari. Una imatge binària segueix reduïx encara més la informació sobre la imatge perquè els valors d'intensitat ara són zeros o uns. La transformació en binari es crea a partir d'un valor llindar d'intensitat sobre la imatge en blanc i negre. Per exemple si es decideix que tot el que sigui superior a 0 sigui 1 la imatge quedaria completament en blanc. Si es proposa una intensitat de 25,5 sobre 255 (0,1 sobre 1) es té la imatge següent.



Figura 4.15: *Mask* en binari.

La imatge binària ja és suficient bona però hi ha elements petits que encara hi surten i poden interferir a l'hora de la detecció. Per eliminar tot aquest soroll de la imatge es necessiten fer una sèrie d'operacions morfològiques bàsiques de filtrat d'imatge que es detallen seguidament.

- i. Operació morfològica d'apertura de la imatge. Realitza una erosió seguidament d'una dilatació de la imatge. És a dir erosiona els elements petits i posteriorment dilata els grans per formar un sol bloc.



Figura 4.16: *Mask* després de l'apertura.

- ii. Operació morfològica de tancament de la imatge. Tanca els objectes segons una estructura geomètrica definida: rectangle, cercle, línia.

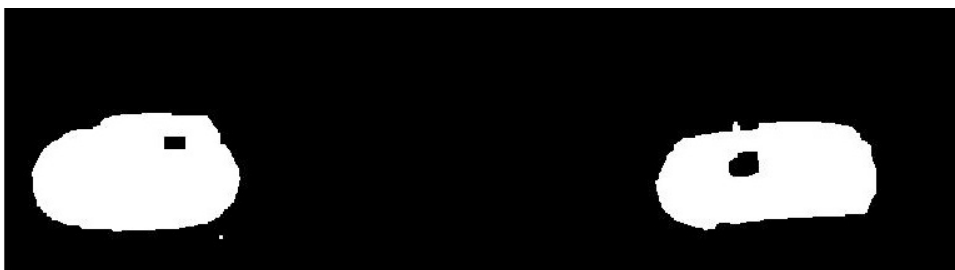


Figura 4.17: *Mask* després del tancament.

Encara queden espais dins dels objectes i es necessita que siguin el més uniformes possibles. Per això es finalitza amb una operació més.

- iii. Operació morfològica d'emplenament de la imatge. Aquest emplena els espais buits que estiguin envoltats per uns.

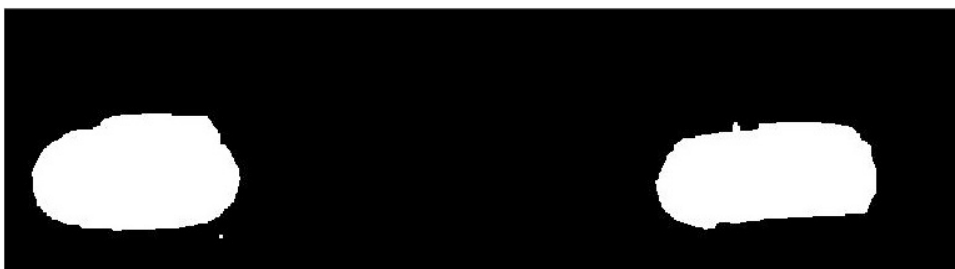


Figura 4.18: *Mask* després de l'emplenament.

La darrer imatge de la figura 4.18 ja és bona per passar el detector d'objectes i veure si els pot arribar a detectar i emmarcar.

4.3.2.3 Detecció d'objectes

El detector d'objectes és una funció que s'encarrega de detectar els uns dins de la imatge binària. Allí on hi ha una àrea de uns de dimensions màximes i mínimes establertes entén que hi ha un objecte i l'emmarca amb una capsa o *bounding box* (*bbx*).



Figura 4.19: *Mask* amb vehicles detectats.

En aquest punt el programa ja és capaç de detectar vehicles, gràcies a totes les operacions d'imatge anteriors. Per acabar es mostra una captura del vídeo on s'hi veu l'àrea de treball i els vehicles detectats en el fotograma que s'ha emprat.

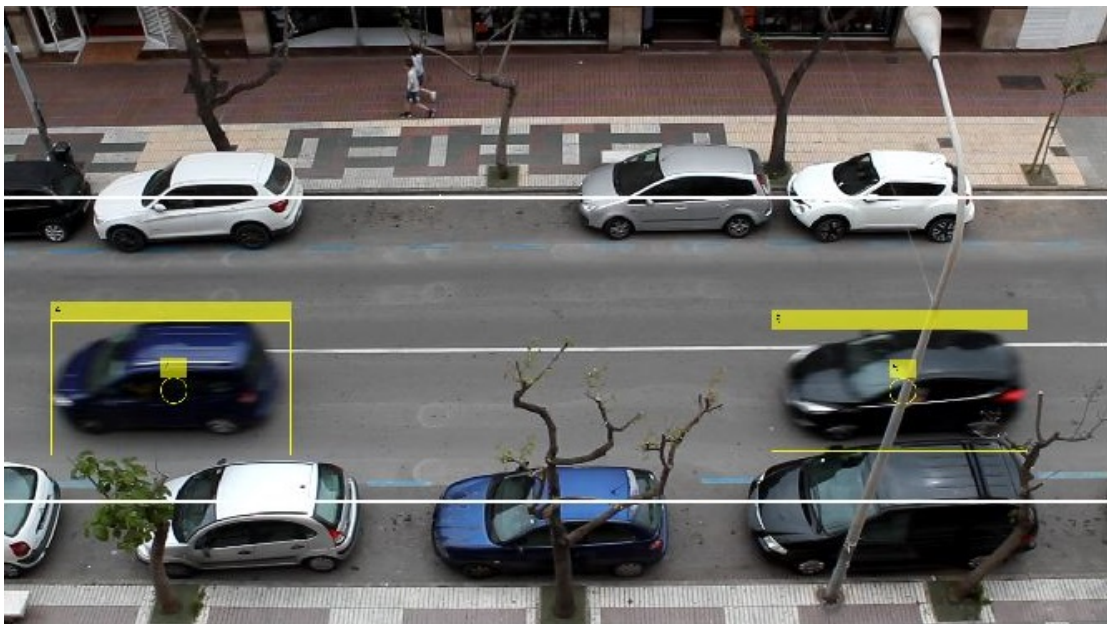


Figura 4.20: Fotograma amb vehicles detectats.

4.3.3 Identificació i seguiment dels objectes detectats

El detector d'objectes assigna una capsa (*bbox*, *bounding box*) a cada objecte que detecta en cada fotograma del vídeo. Per exemple, si es tingués un vídeo de 100 fotogrames on s'hi detecten 3 vehicles a cada fotograma es tindrien 300 deteccions.

Per fer el seguiment dels vehicles el software necessita ser intel·ligent i identificar cada vehicle posant-li etiquetes i mantenint-la en el futur per evitar la problemàtica descrita.

4.3.3.1 Predicció de la posició futura dels vehicles detectats i filtre de Kalman

La predicció de les ubicacions dels vehicles ja detectats, en els fotogrames següents, és necessària per dotar al programa d'una certa intel·ligència i entendre que és el mateix objecte però desplaçat. Per fer una predicció de la posició dels vehicles s'empra un filtre de Kalman.

El filtre de Kalman és un algorisme desenvolupat per Rudolf E. Kalman el 1960 que serveix per identificar l'estat ocult (no mesurable) d'un sistema dinàmic lineal [16]. En el cas del projecte aquest filtre és molt bàsic i és de velocitat constant per cada vehicle.

Una vegada es troba configurat el filtre de Kalman es pot predir la localització dels vehicles. En MATLAB s'empra una funció anomenada *predict*. Aquesta funció prediu la resposta temporal del vehicle segons el filtre de Kalman configurat.

4.3.3.2 Estructura de seguiment de vehicles (tracks)

S'ha ideat una estructura amb la informació suficient per poder fer el rastreig i la identificació dels vehicles. Un *track* és un element de l'estructura de seguiment i conté les propietats necessàries per realitzar el rastreig de l'objecte. Cada vehicle té un únic *track*.

Un *track* està format per els següents atributs:

Taula 4.1: Atributs d'un *track*.

Atribut	Descripció
id	Etiqueta del vehicle segons ordre d'aparició amb un número.
bbox	Rectangle (<i>bounding box</i>) corresponent al vehicle detectat.
centroid	El centroide és el centre geomètric del rectangle (<i>bbox</i>) corresponent al vehicle detectat.
filtreKalman	Filtre de Kalman de velocitat constant corresponent al vehicle <i>track</i> del vehicle detectat.
edat	L'edat és el número de fotogrames en que s'ha vist el vehicle en el <i>track</i> des de que ha set detectat.
totalVisibleCount	El número total de fotogrames en que el vehicle ha estat visible en el <i>track</i> .
consecutiveInvisibleCount	El número consecutiu de fotogrames on el vehicle no ha estat visible en el <i>track</i> .

4.3.3.3 Assignació de deteccions a l'estructura de seguiment de vehicles, *tracks*

L'assignació de les deteccions (vehicles detectats) en el fotograma actual a *tracks* es realitza mitjançant el cost d'assignació.

Primer es calcula el cost d'assignar cada detecció a cada *track* emprant la distància Euclidiana entre el centroide predit i el centroide detectat. Segon es resol el problema d'assignació emprant la funció d'alt nivell *assignDetectionsToTracks*.

La funció té en compte el cost abans calculat d'assignar-ho tot i el cost de no assignar res. Aquesta funció retorna tres variables que s'expliquen a continuació:

- assignacions que són els vehicles que ha ubicat en un *track* existent.

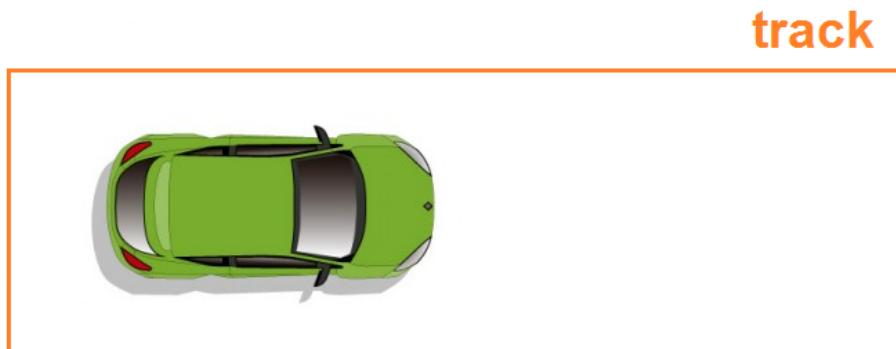


Figura 4.21: Vehicle existent assignat a un *track*.

- *tracksAmbVehiclesInvisibles* que són *tracks* on ja no s'hi detecten vehicles.



Figura 4.22: Vehicle invisible que té *track* assignat.

- *novesDeteccionsSenseTrack* que són nous vehicles que no tenen *track* assignat i poden començar-ne un de nou.

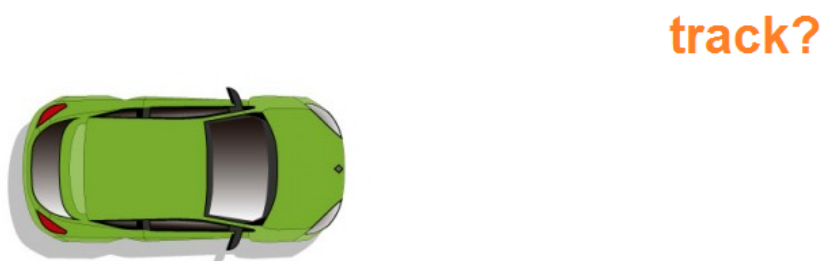


Figura 4.23: Vehicle nou que no té *track* assignat.

Una mostra del funcionament de la funció es representa a la figura 4.24. Els asteriscs són les prediccions que s'han fet mitjançant el filtre de Kalman i els cercles són les deteccions dels objectes. Es pot veure que hi ha un detecció que no es troba assignada. Aquesta seria, en el cas a estudi, un vehicle que és nou i no té *track* dins l'estructura de *tracks*. Els *tracks* no assignats no hi surten perquè no s'hi ha detectat cap objecte.

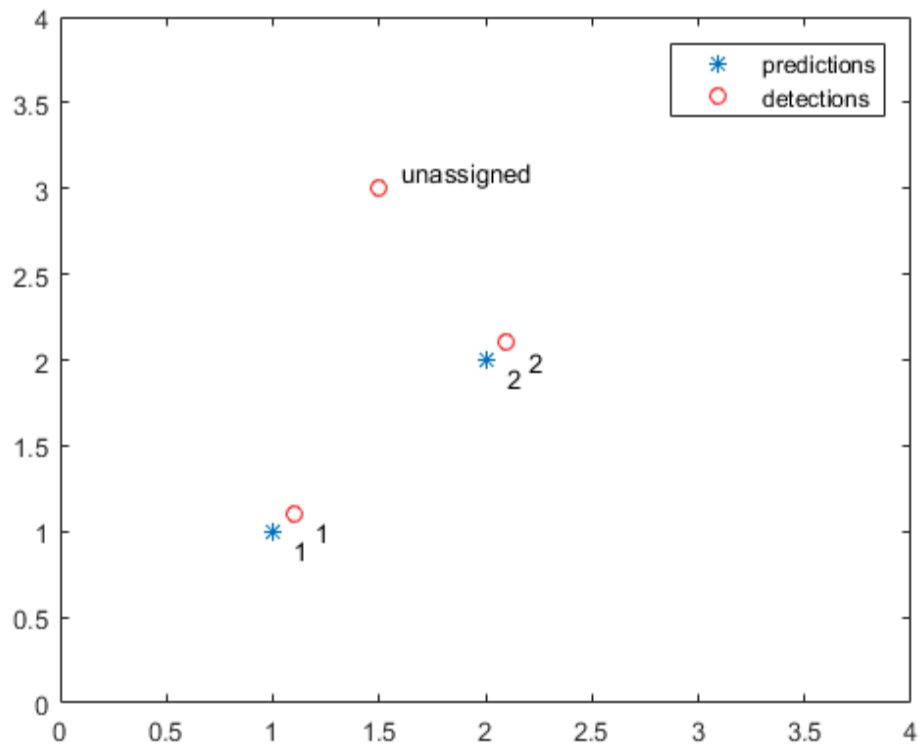


Figura 4.24: Resultat de la funció d'assignació [17].

4.3.3.4 Creació d'una nova estructura de seguiment de vehicles (nou *track*)

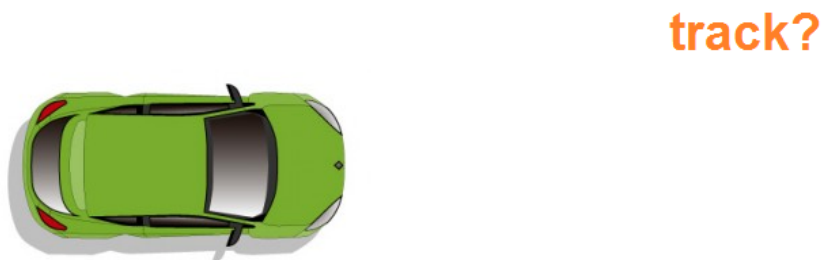


Figura 4.25: Vehicle nou que no té *track* assignat.

Amb les deteccions no assignades a cap *track* es crea una nova estructura de seguiment del vehicle segons ordre d'aparició. Un nou *track* conté l'etiqueta identificadora numèrica corresponent *id*, el *bbox* que ha detectat el detector d'objectes, el centroide, es configura el filtre de Kalman de velocitat constant i s'inicia el comptador d'edat, visibilitat i invisibilitat. A la taula 4.2 següent s'exposa un possible primer vehicle i les seves propietats.

Taula 4.2: Creació d'un *track*.

Atribut	Valor
<i>id</i>	1
<i>bbox</i>	[200 50 50 50], [X Y Amplada Altura]
<i>centroid</i>	[225 75], [X Y]
<i>filtreKalman</i>	<code>configureKalmanFilter('ConstantVelocity', centroide, [200, 50], [100, 25], 100)</code>
<i>edat</i>	1
<i>totalVisibleCount</i>	1
<i>consecutiveInvisibleCount</i>	0

Les coordenades X i Y estan referenciades a l'origen de la imatge, que sol ser el vèrtex superior esquerra.

4.3.3.5 Actualització dels vehicles visibles que pertanyen a un *track*



Figura 4.26: Vehicle detectat que té *track* assignat

L'actualització de les deteccions s'encarrega de bescanviar la localització real que ha fet el detector d'objectes i augmentar l'edat, la visibilitat i mantenir la invisibilitat.

Taula 4.3: Actualització d'un *track* que té vehicles visibles.

Atribut	Valor
id	1
bbox	[300 50 50 50], [X Y Amplada Altura]
centroid	[325 75], [X Y]
filtreKalman	configureKalmanFilter('ConstantVelocity', centroide, [200, 50], [100, 25], 100)
edat	2
totalVisibleCount	2
consecutiveInvisibleCount	0

En la taula anterior es suposa que el vehicle s'ha mogut 100 píxels en l'eix de les X.

4.3.3.6 Actualització dels vehicles invisibles que pertanyen a un *track*



Figura 4.27: *Track* assignat que ha perdut de vista el vehicle.

Els vehicles que ja no es detecten en el fotograma i tenen un *track* assignat augmenten l'atribut d'invisibilitat i edat i mantenen el de visibilitat.

Taula 4.4: Actualització d'un *track* on no hi ha vehicles visibles.

Atribut	Valor
id	1
edat	3
totalVisibleCount	2
consecutiveInvisibleCount	1

4.3.3.7 Eliminació de *tracks*

Si el vehicle ha estat invisible un munt de fotogrames i no té l'edat suficient o no s'ha vist en un mínim d'un terç de la seva edat el programa elimina aquest *track* assignat a un vehicle i el dona per perdut.

$$Visibilitat = \frac{totalVisibleCounts}{edat\ total} \quad (2)$$

4.4 Diagrama de flux

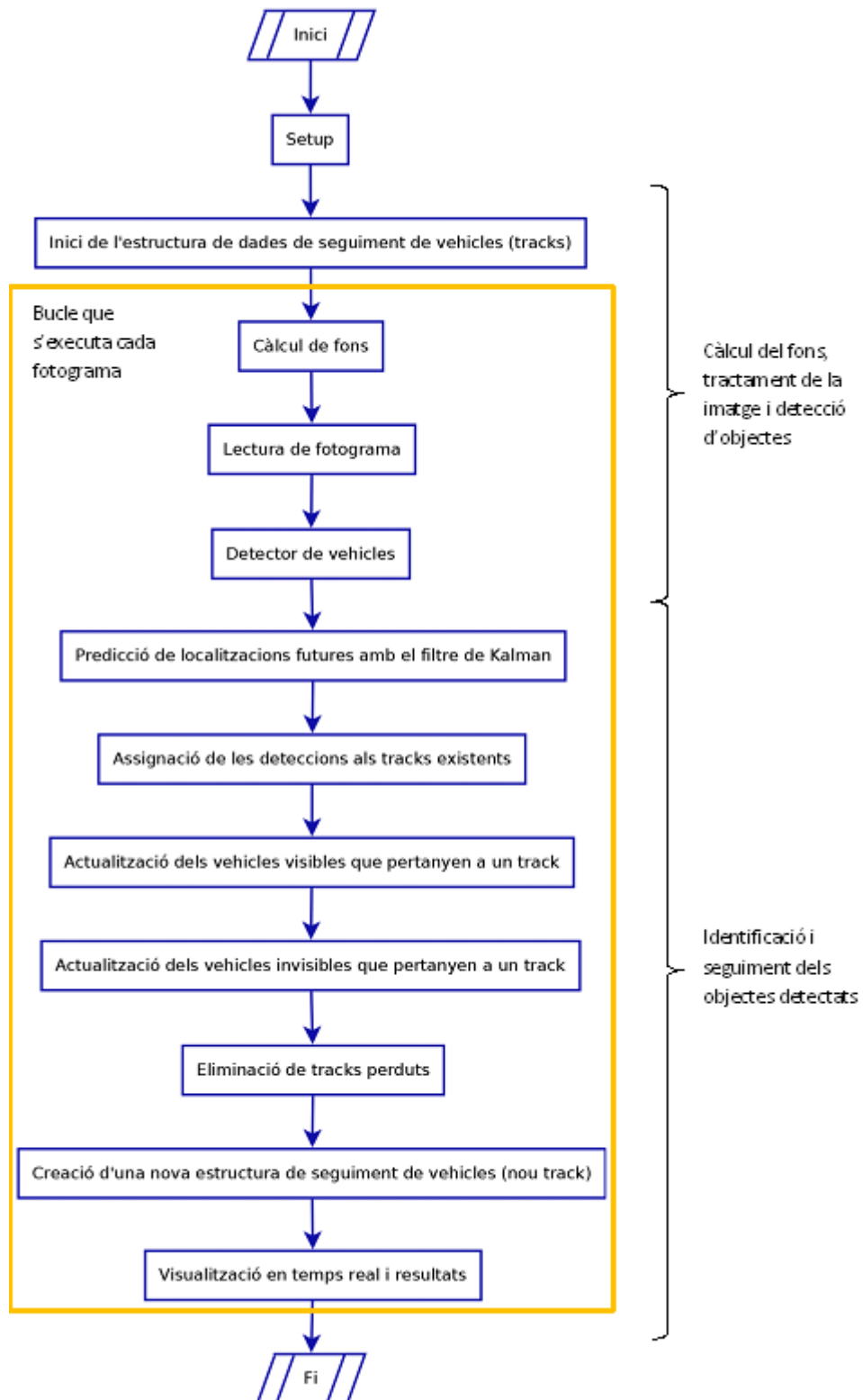


Figura 4.28: Diagrama de flux del programa.

El diagrama de flux del programa de detecció i seguiment es representa a la figura 4.28 anterior. Cada pas fa referència a una funció del codi. Posant-ho en concordança amb els apartats descrits fins ara cada pas és:

Taula 4.5: Explicació del diagrama de flux.

Setup	Inclou, el calibratge de la distància real, la selecció de l'àrea de treball, la configuració dels reproductors i la configuració del blob analyzer. Apartat 4.3.1.
Inici de l'estructura de dades de seguiment de vehicles (<i>tracks</i>)	Es defineix i inicia l'estructura de seguiment de vehicles. Apartat 4.3.1 i 4.3.3.2.
Càlcul de fons	Es calcula el fons del vídeo. Apartat 4.3.2.1.
Lectura de fotograma	Es llegeix un fotograma del vídeo.
Detector de vehicles	Aquesta funció fa les operacions de filtratge de la imatge i detecció d'objectes explicat als apartats 4.3.2.2 i 4.3.2.3 respectivament.
Predicció de localitzacions futures amb el filtre de Kalman	Es fa la predicció de la ubicació futura d'un vehicle detectat i existent. Apartat 4.3.3.1.
Assignació de les deteccions als <i>tracks</i>	Es diferencien 3 tipus de casos. Vehicles amb <i>track</i> i que es detecten, nous vehicles sense <i>track</i> i vehicles amb <i>track</i> invisibles. Apartat 4.3.3.3.
Actualització dels vehicles visibles que pertanyen a un <i>track</i>	Segons la funció d'assignació anterior. Apartat 4.3.3.5.
Actualització dels vehicles invisibles que pertanyen a un <i>track</i>	Segons la funció d'assignació anterior. Apartat 4.3.3.6.
Eliminació de <i>tracks</i> perduts	Apartat 4.3.3.7.
Creació d'una nova estructura de seguiment de vehicles (nou <i>track</i>)	Segons la funció d'assignació anterior. Apartat 4.3.3.4.
Visualització en temps real i resultats	Sobren els reproductors i es pot veure en temps real el que succeeix. Així mateix també guarda les dades obtingudes per al seu posterior ús per el càlcul d'acceleracions i velocitats.

4.5 Càlcul de velocitats i acceleracions dels vehicles

El programa de detecció retorna una estructura de dades complexa amb els tracks de tots els vehicles. Per poder calcular les velocitats i acceleracions es necessita tenir les dades de temps i posició.

El programa encarregat de fer-ho es anomenant de tractament de dades i és independent de l'anterior. També calcula una aproximació polinòmica de la velocitat i acceleració per al seu possible ús.

4.5.1 Càlcul de la velocitat

El temps és proporcional al número de fotogrames que grava la càmera. Si es grava a 30 fotogrames per segon cada fotograma correspon a 1/30 segons. La posició s'obté referenciada a l'origen de coordenades de la imatge i en principi és en píxels. Gràcies al calibratge que realitza l'usuari, i s'explica a l'apartat 4.3.1.1, es pot obtenir proporcionalment la posició en unitats de distància del sistema internacional.

Amb les dades de posició i temps es pot calcular la velocitat essent la divisió entre l'interval de distància que recorre i l'interval de temps. La posició és donada en [X Y] per tant per calcular la distància entre els dos punts s'ha de fer per cada coordenada per separat.

$$v_i = \frac{\Delta x_i}{\Delta t_i} = \frac{\sqrt{(X_2^i - X_1^i)^2 + (Y_2^i - Y_1^i)^2}}{t_2^i - t_1^i} = \frac{[cm]}{[s]} \quad (3)$$

On:

X_2^i posició final en l'eix de les x [cm].

X_1^i posició inicial en l'eix de les x [cm].

Y_2^i posició final en l'eix de les y [cm].

Y_1^i posició inicial en l'eix de les y [cm].

t_2^i és el temps a la posició final [s].

t_1^i és el temps a la posició inicial [s].

Aquest càlcul genera un punt menys d'informació. Per n punts de posició i temps es tenen $n - 1$ punts de velocitat.

4.5.2 Càlcul del l'acceleració

Una vegada s'han calculat les acceleracions del vehicle es calculen les acceleracions d'una manera similar. Pel cotxe i ;

$$a_i = \frac{\Delta v_i}{\Delta t_i} = \frac{v_2^i - v_1^i}{t_2^i - t_1^i} \quad (4)$$

On:

v_2^i velocitat final [cm/s].

v_1^i velocitat inicial [cm/s].

t_2^i és el temps a la posició final [s].

t_1^i és el temps a la posició inicial [s].

Aquest càlcul genera dos punts menys d'informació. Per n punts de posició i temps es tenen $n-2$ punts d'acceleració.

4.5.2.1 Aproximació polinòmica de les velocitats i acceleracions de cada vehicle

El programa de tractament de dades a més s'encarrega de fer una aproximació polinòmica de les velocitats i acceleracions del grau que es desitgi. Per defecte és de grau 3.

Aquesta aproximació s'ha calculat per tenir un polinomi que approximi la velocitat i l'acceleració per si fos necessari en alguna aplicació futura.

4.5.3 Punt de referència de la posició de cada vehicle

El punt de posició de cada vehicle és el vèrtex superior esquerra de cada *bounding box* de cada vehicle.

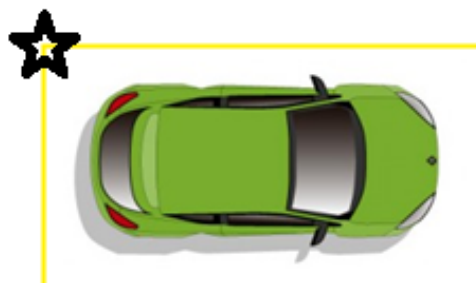


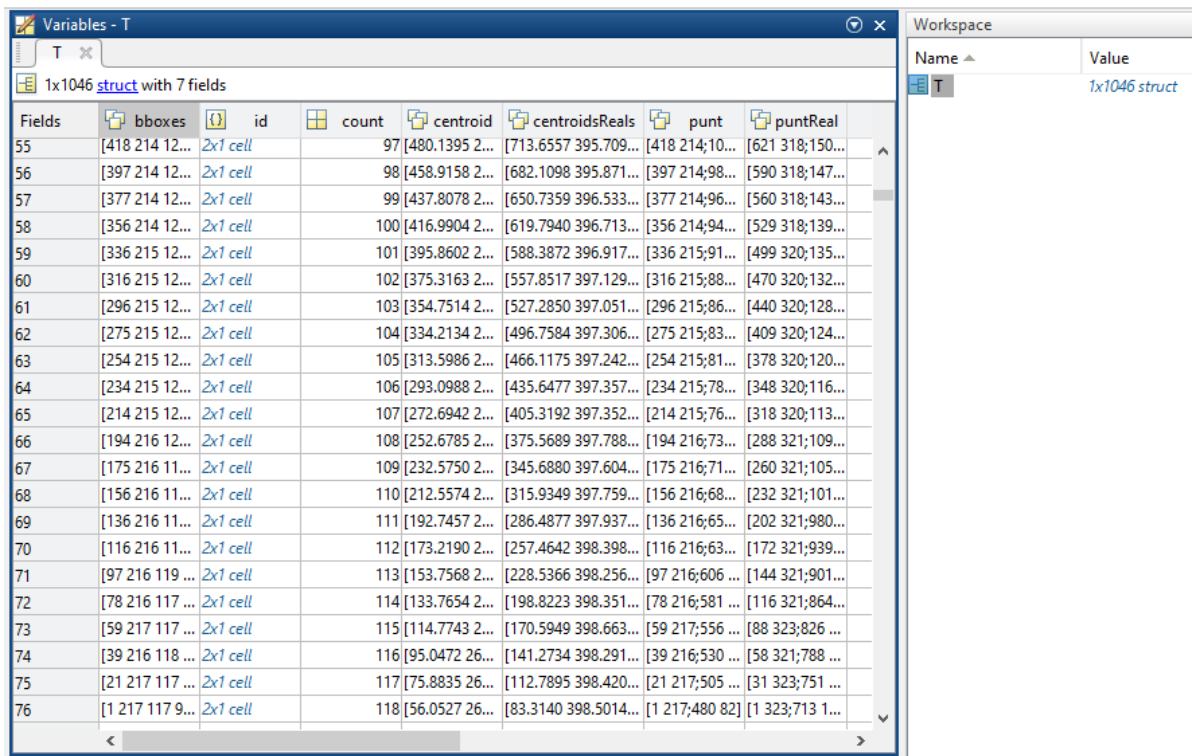
Figura 4.29: Punt de referència de la posició d'un vehicle.

S'ha pres així perquè els *bbox* s'adaptin a la mida del vehicle i quan entra a l'àrea de treball, entre d'altres situacions, la mida canvia i afecta negativament a les velocitats. D'aquesta manera es suprimeix el problema però es generen 0 de velocitats quan entra o surt de l'àrea de treball dependent del sentit de la via.

Si el sentit es de dreta a esquerra els 0 es generen quan el vehicle surt de l'àrea de treball. Si el sentit es d'esquerra a dreta els 0 es generen quan entra a l'àrea de treball.

4.5.4 Estructura i format de les dades entrants

El programa de detecció i seguiment guarda les dades en una variable de tipus estructura. Aquesta estructura és una matriu on les columnes són fixes i les files són els vehicles que es detecten en el fotograma del vídeo. A la imatge següent s'aprecia el descrit.



Fields	bboxes	id	count	centroid	centroidsReals	punt	puntReal
55	[418 214 12...	2x1 cell	97	[480.1395 2...	[713.6557 395.709...	[418 214;10...	[621 318;150...
56	[397 214 12...	2x1 cell	98	[458.9158 2...	[682.1098 395.871...	[397 214;98...	[590 318;147...
57	[377 214 12...	2x1 cell	99	[437.8078 2...	[650.7359 396.533...	[377 214;96...	[560 318;143...
58	[356 214 12...	2x1 cell	100	[416.9904 2...	[619.7940 396.713...	[356 214;94...	[529 318;139...
59	[336 215 12...	2x1 cell	101	[395.8602 2...	[588.3872 396.917...	[336 215;91...	[499 320;135...
60	[316 215 12...	2x1 cell	102	[375.3163 2...	[557.8517 397.129...	[316 215;88...	[470 320;132...
61	[296 215 12...	2x1 cell	103	[354.7514 2...	[527.2850 397.051...	[296 215;86...	[440 320;128...
62	[275 215 12...	2x1 cell	104	[334.2134 2...	[496.7584 397.306...	[275 215;83...	[409 320;124...
63	[254 215 12...	2x1 cell	105	[313.5986 2...	[466.1175 397.242...	[254 215;81...	[378 320;120...
64	[234 215 12...	2x1 cell	106	[293.0988 2...	[435.6477 397.357...	[234 215;78...	[348 320;116...
65	[214 215 12...	2x1 cell	107	[272.6942 2...	[405.3192 397.352...	[214 215;76...	[318 320;113...
66	[194 216 12...	2x1 cell	108	[252.6785 2...	[375.5689 397.788...	[194 216;73...	[288 321;109...
67	[175 216 11...	2x1 cell	109	[232.5750 2...	[345.6880 397.604...	[175 216;71...	[260 321;105...
68	[156 216 11...	2x1 cell	110	[212.5574 2...	[315.9349 397.759...	[156 216;68...	[232 321;101...
69	[136 216 11...	2x1 cell	111	[192.7457 2...	[286.4877 397.937...	[136 216;65...	[202 321;980...
70	[116 216 11...	2x1 cell	112	[173.2190 2...	[257.4642 398.398...	[116 216;63...	[172 321;939...
71	[97 216 119 ...	2x1 cell	113	[153.7568 2...	[228.5366 398.256...	[97 216;606 ...	[144 321;901...
72	[78 216 117 ...	2x1 cell	114	[133.7654 2...	[198.8223 398.351...	[78 216;581 ...	[116 321;864...
73	[59 217 117 ...	2x1 cell	115	[114.7743 2...	[170.5949 398.663...	[59 217;556 ...	[88 323;826 ...
74	[39 216 118 ...	2x1 cell	116	[95.0472 26...	[141.2734 398.291...	[39 216;530 ...	[58 321;788 ...
75	[21 217 117 ...	2x1 cell	117	[75.8835 26...	[112.7895 398.420...	[21 217;505 ...	[31 323;751 ...
76	[1 217 117 9...	2x1 cell	118	[56.0527 26...	[83.3140 398.5014...	[1 217;480 82]	[1 323;713 1...

Figura 4.30: Estructura de dades resultant del programa de detecció i seguiment.

El programa també guarda els punts predits si no han set substituïts per una detecció real. A la Id hi afegeix *predicted*.

A continuació s'explica en una taula que és cada camp de les columnes.

Taula 4.6: Capçalera de l'estructura de dades d'entrada.

bboxes	Són els <i>bounding box</i> dels vehicles detectats en el fotograma.
id	Són les etiquetes, <i>ids</i> , dels vehicles detectats en el fotograma.
count	És el número de fotograma.
centroide	Són els centroides en píxels dels <i>bounding box</i> de cada vehicle.
centroidsReals	Són els centroides en distància real dels <i>bounding box</i> de cada vehicle.
punt	És la ubicació en la imatge del punt de referència en píxels.
puntsReal	És la ubicació del punt de referència en distància real.

Cada camp de la taula té tantes dades com vehicles detectats. Si en un fotograma es detecten 4 vehicles, es tenen 4 camps de cada propietat descrita.

4.5.5 Estructura i format de les dades resultants

Finalment el programa de tractament de dades retorna dos fitxers de format genèric que es poden executar en gairebé qualsevol dispositiu. L'estructura de dades és de columnes i la seva capçalera és la que segueix:

Taula 4.7: Capçalera de les columnes de resultats.

Id	Temps [s]	V [km/h]	A [m/s ²]	VFit [km/h]	AFit [m/s ²]
----	-----------	----------	-----------------------	-------------	--------------------------

- Id és la etiqueta de cada vehicle. Es recorda que era numèrica i seguia l'ordre d'aparició del vehicle.
- La capçalera de temps és el fotograma de la detecció entre els fotogrames de gravació de la càmera.
- V és la velocitat i és el resultat de les operacions descrites més un canvi d'unitats de [cm/s] a [km/h].

- A és l'acceleració resultant de les operacions anteriors i es troba en [m/s²].
- VFit es el resultat d'avaluar l'aproximació polinòmica en cada instant de temps. En les mateixes unitats que la velocitat
- AFit és l'avaluació del polinomi de l'acceleració en cada instant de temps. Unitats idèntiques que en l'acceleració.

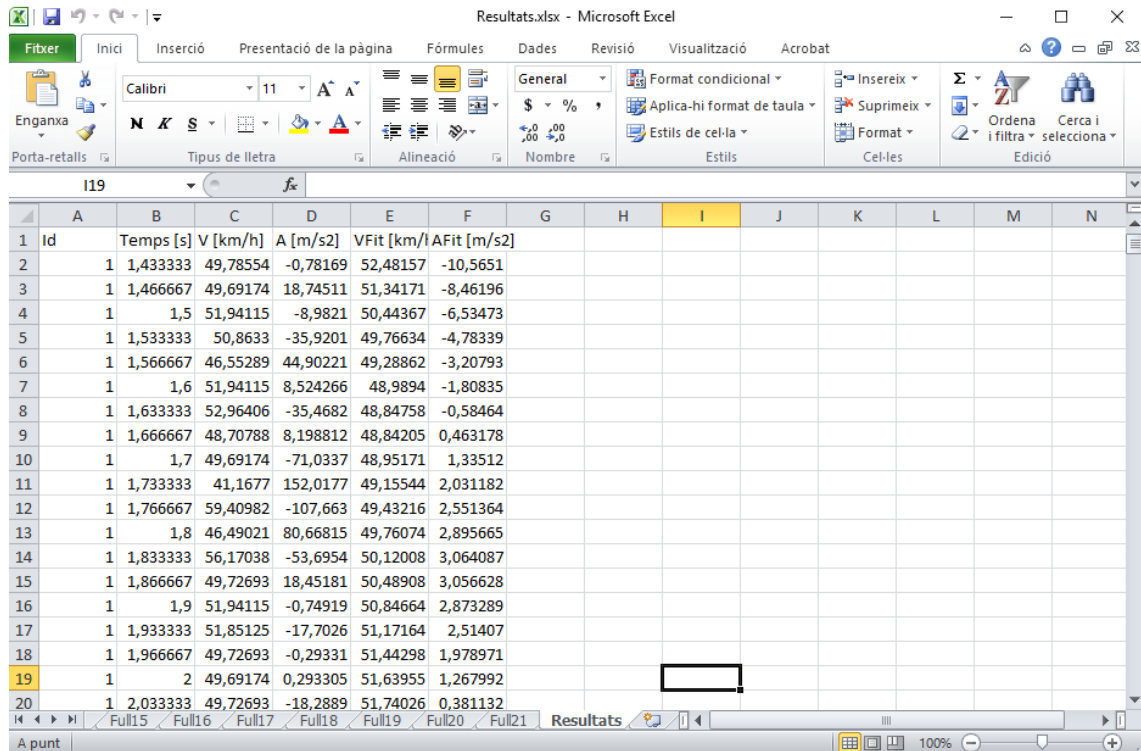
Els fitxers que retorna com a resultat són:

1. Un fitxer de text "Resultats.txt" amb les dades separades per tabulador, la capçalera i tots els vehicles en ordre d'aparició i temps.

Id	Temps	V	A	VFit	AFit	
1	1.43333333333333			49.7855400693818	-0.781686046398497	52.4815722467831
1	1.46666666666667			49.691737743814	18.7451130990134	51.3417100143722
1	1.5	51.9411513156956		-8.98210141539676		50.4436673403337
1	1.53333333333333			50.863299145848	-35.9201090948593	49.7663386068044
1	1.56666666666667			46.5528860544648	44.9022105102591	49.288618195921
1	1.6	51.9411513156959		8.52426643781154		48.9894004898204
1	1.63333333333333			52.9640632882333	-35.468191852541	48.8475798706396
1	1.66666666666667			48.7078802659284	8.19881231571298	48.8420507205147
1	1.7	49.691737743814		-71.0336805859555	48.9517074215833	1.33512017258948
1	1.73333333333333			41.1676960734993	152.017677475273	49.1554443559817
1	1.76666666666667			59.4098173705321	-107.663432920544	49.4321559058473
1	1.8	46.4902054200669		80.6681519614913	49.7607364533161	2.89566533596903
1	1.83333333333333			56.1703836554459	-53.6954108660794	50.1200803805254
1	1.86666666666667			49.7269343515164	18.4518080348267	50.4890820696119
1	1.9	51.9411513156956		-0.749187801113979		50.8466359027122
1	1.93333333333333			51.8512487795619	-17.7026202337156	51.1716362619637
1	1.96666666666667			49.726934351516	-0.293305064181096	51.4429775295023
1	2	49.6917377438143		0.293305064178364		51.6395540874656
1	2.03333333333333			49.7269343515157	-18.2888600719858	51.7402603179899
1	2.06666666666667			47.5322711428774	9.29754314001062	51.7239906032123
1	2.1	48.6479763196787		-0.299815006619088		51.5696393252695
1	2.13333333333333			48.6119985188844	9.29113193859416	51.2561008662982
1	2.16666666666667			49.7269343515157	-27.2864825790446	50.7622696084354
1	2.2	46.4525564420304		26.895362983082	50.0670399338177	-6.69136740791216
1	2.23333333333333			49.6800000000002	-26.5816214994443	49.1493062245822
1	2.26666666666667			46.4902054200669	17.5816214994386	47.987962862865
1	2.3	48.5999999999995		-35.8902602206171		46.5619042308038
1	2.33333333333333			44.2931687735255	35.8902602206225	44.850024710535
1	2.36666666666667			48.6000000000002	-35.561236468072	42.8312186841955

Figura 4.31: Fitxer Resultats.txt.

2. Un fitxer de fulla de càlcul "Resultats.xlsx" on es troben separats per fulles els vehicles detectats. Amb la seva capçalera i el nombre de fulla correspon a la seva Id. A més una darrer fulla anomenada "Resultats" on es troben tots els resultats de tots els vehicles com el fitxer anterior. Tot en un mateix arxiu.



Id	Temps [s]	V [km/h]	A [m/s ²]	VFit [km/l]	AFit [m/s ²]
1	1,433333	49,78554	-0,78169	52,48157	-10,5651
3	1,466667	49,69174	18,74511	51,34171	-8,46196
4	1,5	51,94115	-8,9821	50,44367	-6,53473
5	1,533333	50,8633	-35,9201	49,76634	-4,78339
6	1,566667	46,55289	44,90221	49,28862	-3,20793
7	1,6	51,94115	8,524266	48,9894	-1,80835
8	1,633333	52,96406	-35,4682	48,84758	-0,58464
9	1,666667	48,70788	8,198812	48,84205	0,463178
10	1,7	49,69174	-71,0337	48,95171	1,33512
11	1,733333	41,1677	152,0177	49,15544	2,031182
12	1,766667	59,40982	-107,663	49,43216	2,551364
13	1,8	46,49021	80,66815	49,76074	2,895665
14	1,833333	56,17038	-53,6954	50,12008	3,064087
15	1,866667	49,72693	18,45181	50,48908	3,056628
16	1,9	51,94115	-0,74919	50,84664	2,873289
17	1,933333	51,85125	-17,7026	51,17164	2,51407
18	1,966667	49,72693	-0,29331	51,44298	1,978971
19	2	49,69174	0,293305	51,63955	1,267992
20	2,033333	49,72693	-18,2889	51,74026	0,381132

Figura 4.32: Fitxer de resultats en full de càlcul.

En ambdós fitxers els punts que es perden deguts als càlculs són suprimits i no apareixen en els resultats dels fitxers. Pot ser que apareguin fulles en blanc degut a aquest fet.

Els punts predits també els suprimeix i no apareixen com a resultat final.

4.6 Limitacions i fortalezes del software

4.6.1 Limitacions

- Cal tenir el software MATLAB instal·lat.
- És sensible als canvis de llum. Tota la imatge hauria de ser del mateix grau de lluminositat. Evitant les ombres parcials en la imatge com s'indica a les condicions de contorn de l'apartat 4.2.
- Solapament de vehicles. És possible que els vehicles que circulen per carrils diferenciats i en el mateix si van molt junts es solapin i siguin identificats per un de sol. Les ombres juguen un paper desfavorable en aquest cas. Si la gravació és durant els primers rajos de llum o a l'ocàs les ombres són molt allargades i pot afavorir aquest efecte de solapament.
- Si els vehicles es paren aquests punts són descartats a priori pel software de tractament de dades. Tot i que es pot canviar. Apartat 4.5.3.

4.6.2 Fortalezes

- Programa robust i funcional que detecta els vehicles sota les condicions de contorn establertes en l'apartat 4.2.
- És possible configurar-lo per diferents tipologies de vídeo i requisits de l'entorn i usuari.
- La segona part de tractament de dades és independent i serveix, sense fer cap canvi major, per qualsevol escenari fora de les condicions de contorn.
- Els resultats es donen en un fitxer de fulla de càlcul senzill i accessible des de qualsevol dispositiu.
- És capaç d'identificar la majoria de vehicles independentment del color i grandària.
- Si existeix l'efecte de solapament el software rebutja la detecció en aquell instant gràcies a les dimensions màximes i mínimes de vehicle establertes en el detector d'objectes.
- Els requeriments de hardware són baixos. S'ha pogut executar en un portàtil bàsic.

5 Cas d'estudi (Eivissa)

En aquest apartat s'ha fet l'estudi de les emissions i consum de combustible de vehicles que passen per un tram de via urbà. S'ha emprat el programa de detecció i seguiment de vehicles desenvolupat per calcular les velocitats de cada vehicle i el programa ADVISOR per fer el càlcul de les emissions i combustible.

5.1 Descripció del cas d'estudi

5.1.1 Emplaçament

El tram de via seleccionat es situa a la ciutat d'Eivissa. La ciutat d'Eivissa és troba situada a l'illa d'Eivissa. És la població més gran de l'illa amb una població de 49.549 habitants (2016) [18].



Figura 5.1: Vista aèria de la ciutat d'Eivissa.

El tram de via seleccionat, ressaltat en groc, és una de les vies principal d'entrada a la ciutat. En la vista aèria es veu que a poca distància hi ha una rotonda que absorbeix el trànsit que ve del municipi de Sant Josep, on s'hi troba l'aeroport. És una de les vies més amples de la ciutat disposant de dos carrils en el mateix sentit.



Figura 5.2: Vista aèria del tram de via estudiat.

La imatge del carrer des de la posició de la càmera és la següent.

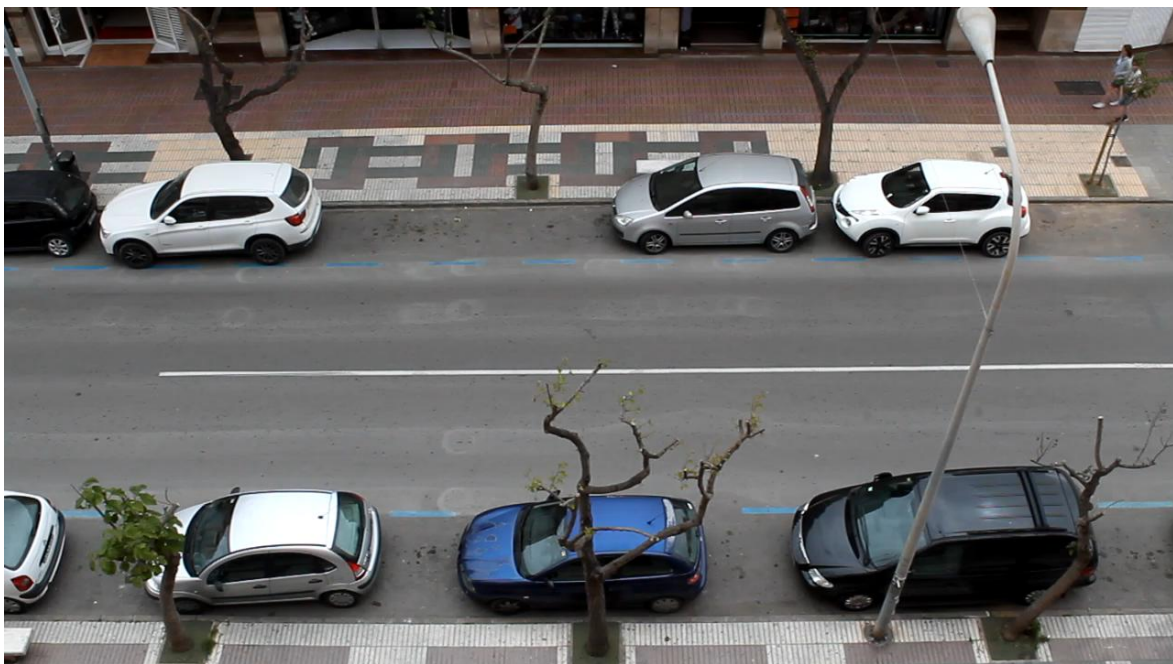


Figura 5.3: Vista del tram estudiat des del punt de gravació.

5.1.2 Duració del vídeo i longitud del tram

La duració del vídeo és d'un minut. Esta gravat a 30 imatges per segon i concretament té 1786 fotogrames.

El tram té aproximadament 23 metres de llargària i per fer el calibratge de la distància real al programa de detecció s'ha mesurat el que fa una de les línies blaves dels aparcaments donant 115 cm aproximadament.

5.2 Resultats

5.2.1 Càlcul dels perfils de velocitat emprant els software desenvolupat de detecció i seguiment de vehicles

Els resultats que dona el programa són 19 vehicles amb els seus respectius perfils de velocitat. La gràfica següent són tots els vehicles en una mateixa gràfica. S'aprecia perfectament cada vehicle amb el seu perfil de velocitat.

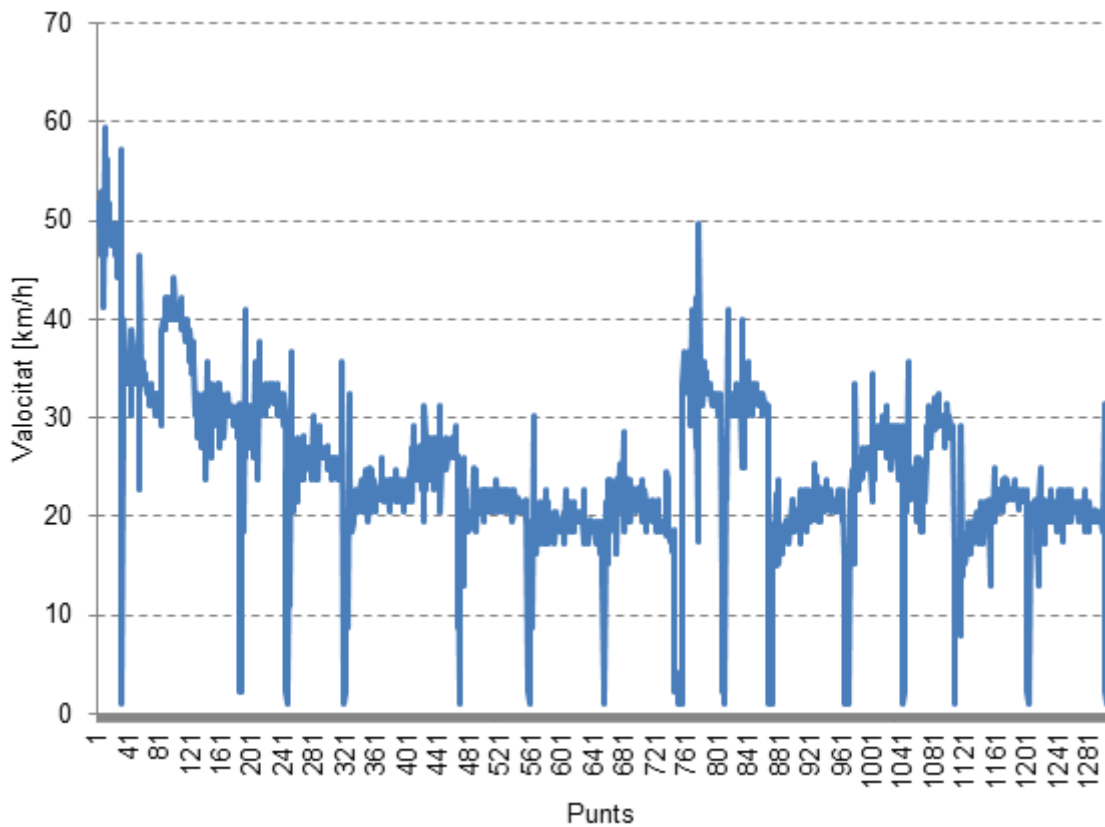


Figura 5.4: Perfils de velocitat de tots els vehicles detectats.

Per exemple el perfil de velocitat en detall dels vehicles 3 i 17 són:

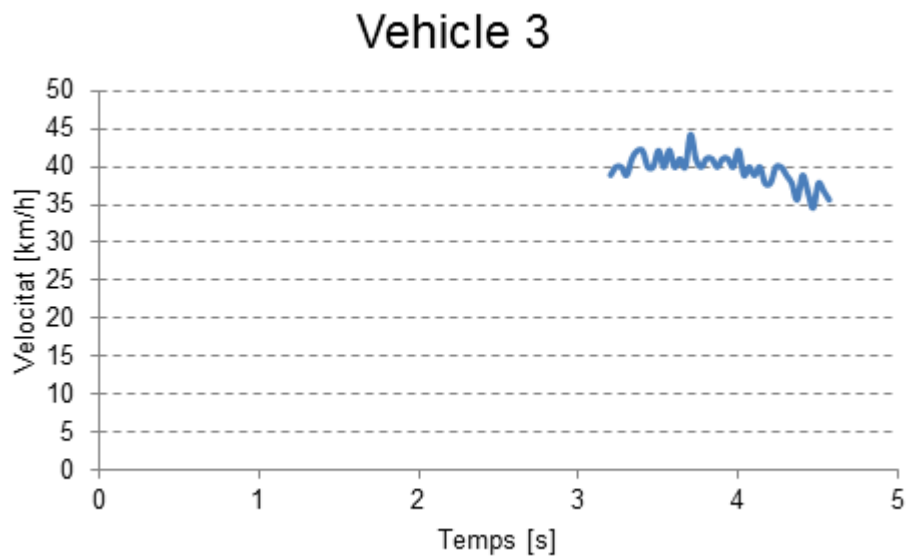


Figura 5.5: Perfil de velocitat del vehicle 3.

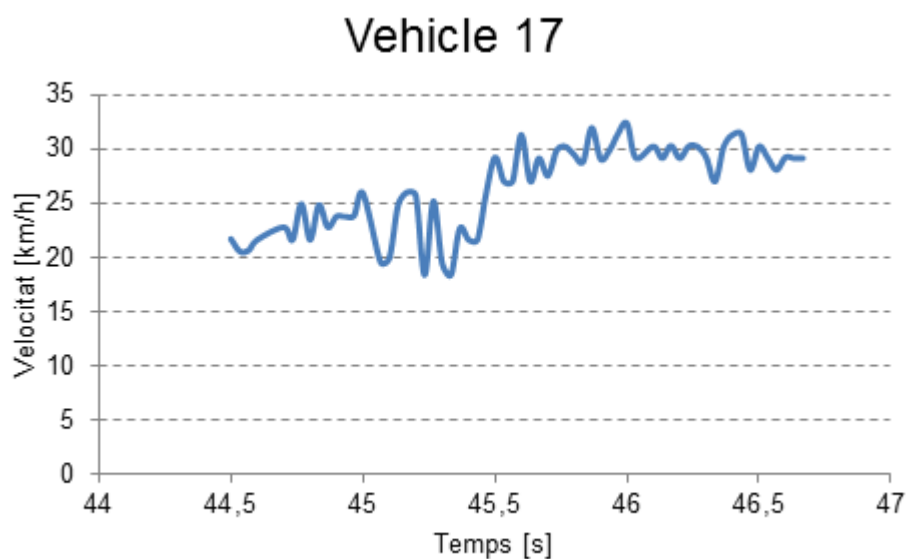


Figura 5.6: Perfil de velocitat del vehicle 17.

5.2.2 Càlcul de les emissions i consums amb ADVISOR

Per calcular les emissions i consum de combustible en el tram viari s'ha utilitzat el programa ADVISOR. Utilitzant un cicle de conducció, velocitat que ha dut el vehicle en el temps, simula el comportament del vehicle segons la seva tipologia i calcula consums de gasolina i emissions.

Els perfils de velocitat de cada vehicle s'han passat individualment per ADVISOR i s'han anotat les dades de consums i emissions. Abans d'això s'ha triat la tipologia de vehicle i per inspecció visual s'ha decidit quins eren gasolina i quins altres dièsel.

A l'hora de seleccionar el tipus de vehicle s'ha utilitzat el mateix mapa de parell – regim de gir en cada vehicle de gasolina i en cada vehicle dièsel. Tots els demés paràmetres com la massa han quedat fixos. L'única variable ha estat el cicle de conducció.

El vehicle 20, té només 6 punts de velocitat i acceleració. Al tenir tants pocs punts ADVISOR no el reconeix i no s'ha pogut emprar.

La selecció de vehicles es fa mitjançant la interfície gràfica de les figures Figura 68 i Figura 69. Cada una d'elles correspon al vehicle de gasolina i al dièsel respectivament. També es mostra en el cas dels vehicles 3 i 17 com s'executa la simulació i l'entrega de resultats.

Els resultats finals s'han agrupat en una taula.

Vehicle Input

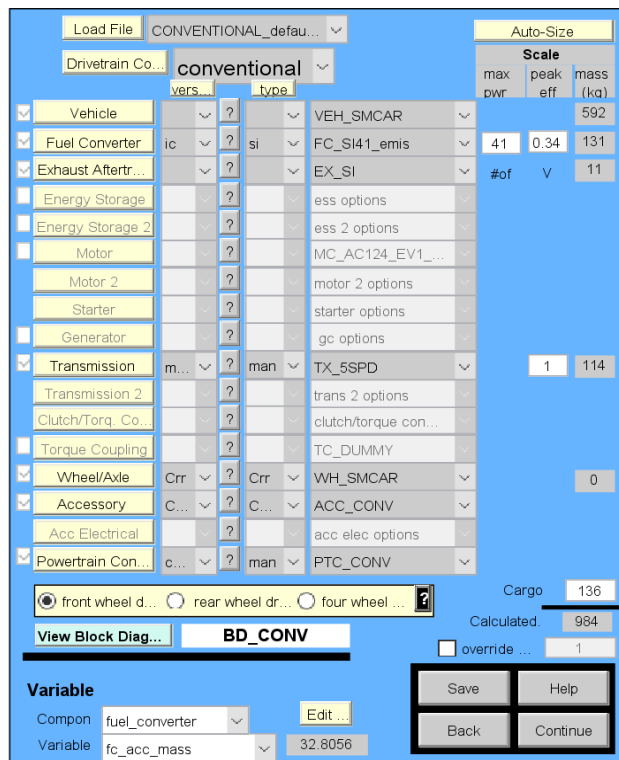
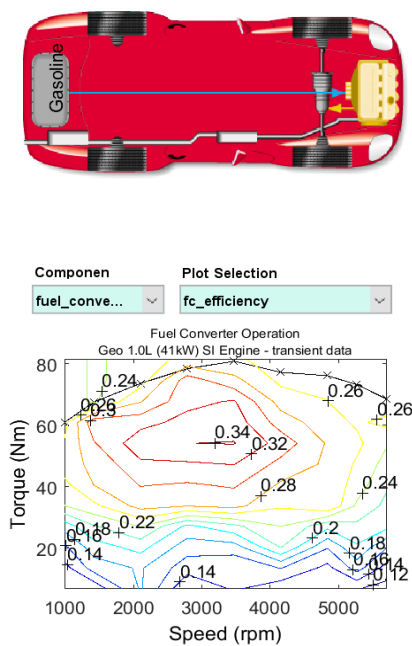
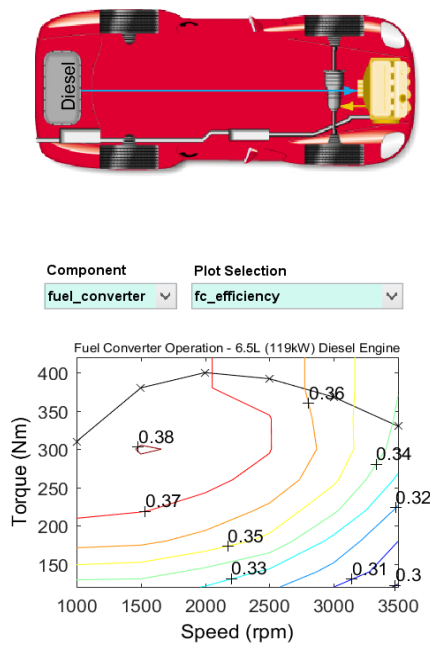


Figura 5.7: Característiques del vehicle de gasolina.

Vehicle Input



The screenshot shows the ADVISOR software interface for vehicle configuration. It includes a "Drivetrain Config" dropdown set to "conventional", a "Scale Components" table, and a "Variable" section.

Component	version	type	max pwr	peak eff	mass (kg)
Vehicle	?	VEH_SMCAR			592
Fuel Converter	ic	ci	121	0.38	508
Exhaust Aftertreat	?	EX_SI			#of mocV nom 31
Energy Storage	?	ess options			
Energy Storage 2	?	ess 2 options			
Motor	?	MC_AC124_EV1_d...			
Motor 2	?	motor 2 options			
Starter	?	starter options			
Generator	?	gc options			
Transmission	man	man			1 114
Transmission 2	?	trans 2 options			
Clutch/Torq. Conv.	?	clutch/torque conve...			
Torque Coupling	?	TC_DUMMY			
Wheel/Axle	Crr	Crr			0
Accessory	C...	Co...			
Acc Electrical	?	acc elec options			
Powertrain Control	conv	man			

Drive Cycle: front wheel drive (selected), rear wheel drive, four wheel drive ?

Variable: Compon fuel_converter, Edit ...

Variables: fc_acc_mass, 96.7611

Figura 5.8: Característiques del vehicle dièsel.

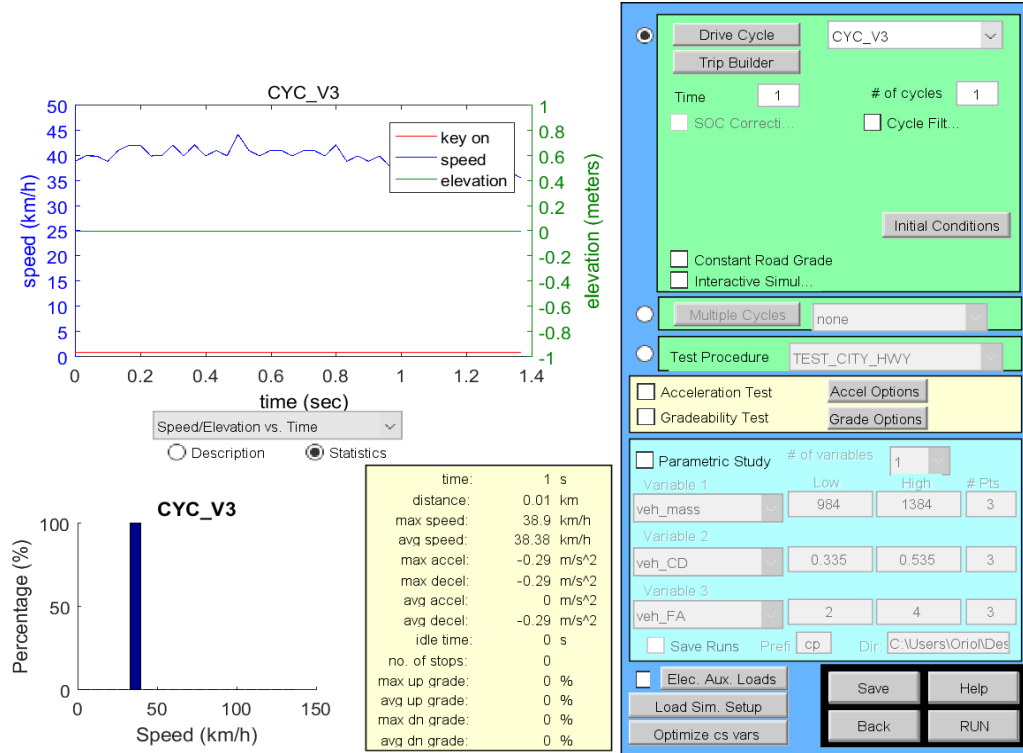


Figura 5.9: Entrada a ADVISOR del vehicle 3.

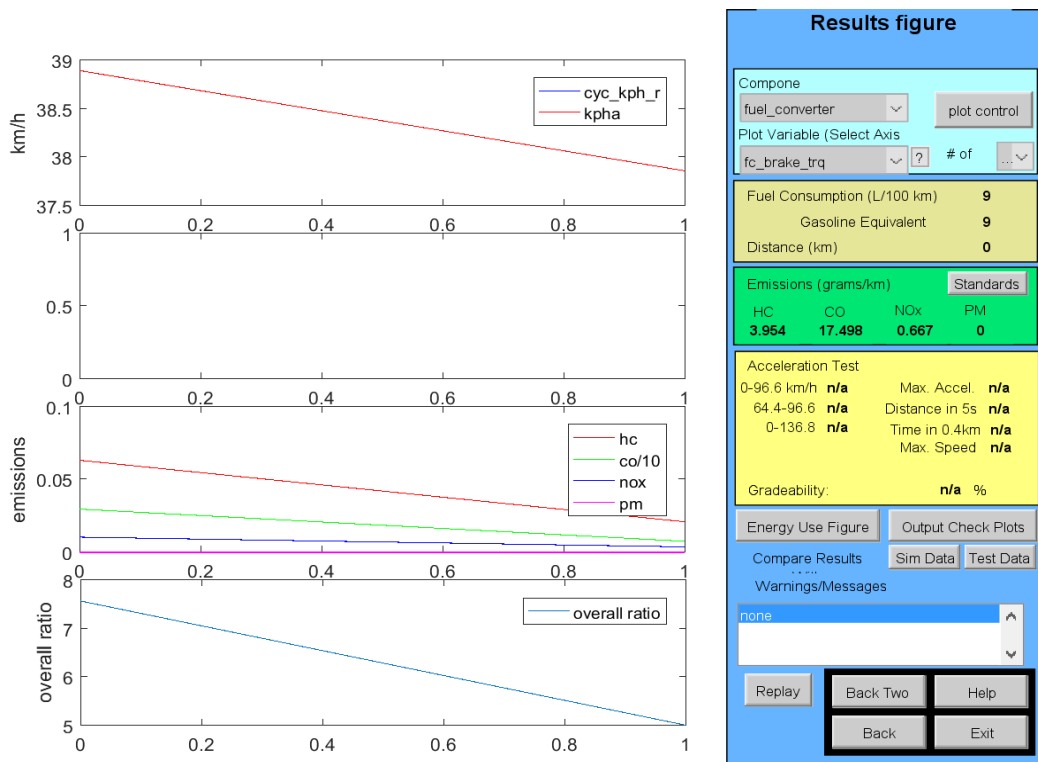


Figura 5.10: Resultats de la simulació del vehicle 3.

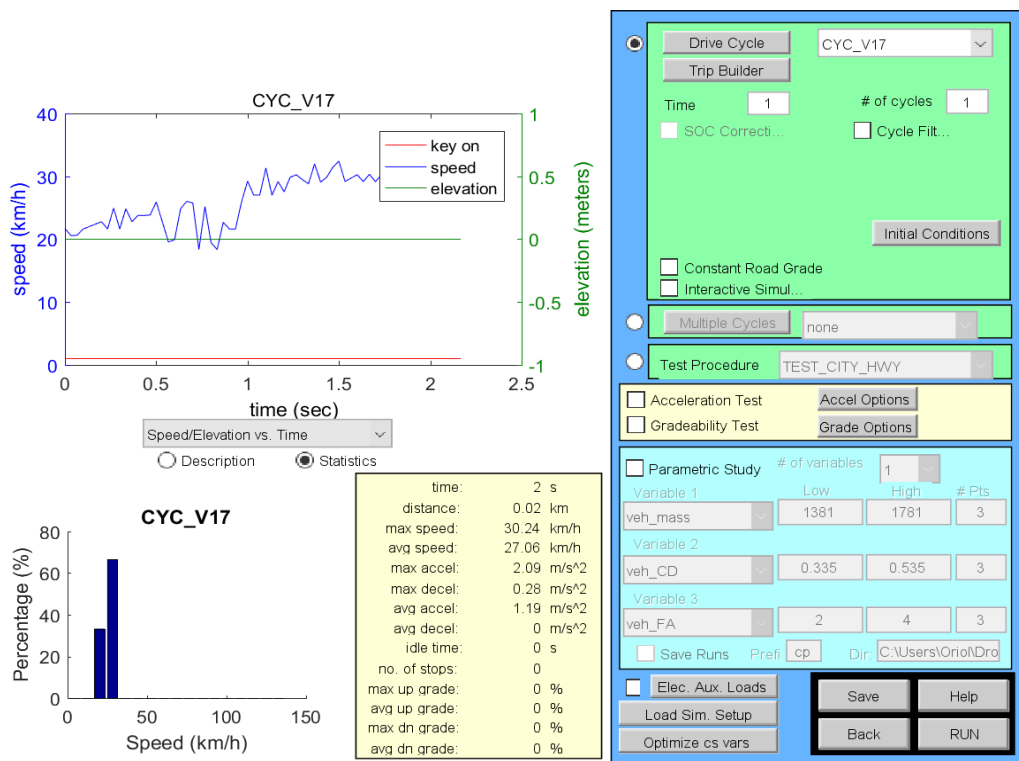


Figura 5.11: Entrada a ADVISOR del vehicle 17.

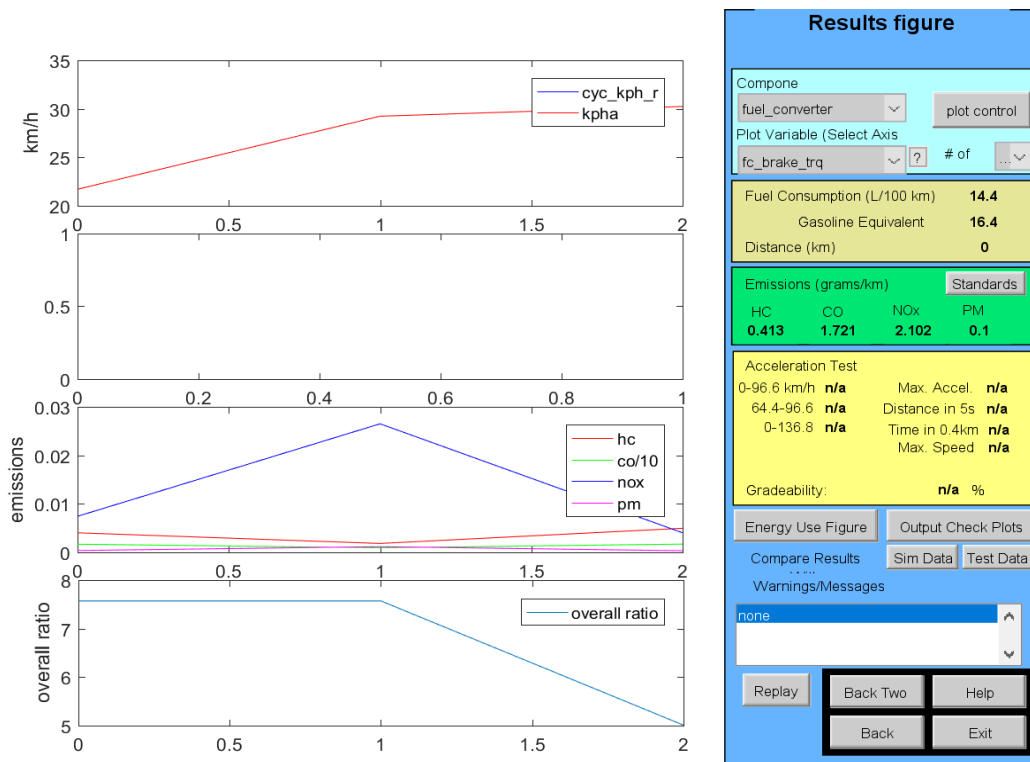


Figura 5.12: Resultats de la simulació del vehicle 17.

Taula 5.1: Resultats individuals de cada simulació.

Id del vehicle	Consum comb. [L/100 km]	Emissions [g/km]				Velocitat mitja [km/h]
		HC	CO	NOx	PM	
1	9,6	3,83	18,425	0,865		48
2	6,8	10,492	24,272	5,169		31
3	9	3,954	17,498	0,667		38
4	7	8,683	23,501	3,331		32
5	10	0,63	2,674	0,897	0,05	29
6	8,5	0,475	1,725	0,907	0,046	24
7	12	0,582	2,098	1,434	0,058	23
8	5,4	6,549	40,736	1,626		24
9	10,7	0,663	2,317	1,301	0,063	19
10	9,4	0,971	2,86	0,944	0,042	18
11	10,4	0,601	1,911	1,496	0,053	21
12	7,9	5,839	19,351	1,469		34
13	6,8	10,983	24,183	5,562		30
14	12,4	11,497	22,582	3,951		20
15	11,2	11,827	25,609	5,665		26
17	14,4	0,413	1,721	2,102	0,1	27
19	12,6	13,085	42,346	4,455		19
21	10,9	0,653	2,281	1,2	0,051	21

Taula 5.2: Resultats totals i mitjanes.

Paràmetre del tram	Consum comb. [L/100 km]	Emissions [g/km]				Vel. mitja [km/h]
		HC	CO	NO _x	PM	
Mitjana dièsel	10,788	0,624	2,198	1,285	0,058	22,750
Mitjana gasolina	8,870	8,674	25,850	3,276		30,200
Total dièsel	86,300	4,988	17,587	10,281	0,463	
Total gasolina	88,700	86,739	258,503	32,760		
Total emissions		91,727	276,090	43,041	0,463	

Considerant que el tram de via té 25 metres de longitud es poden calcular els resultats per aquest. Els resultats finals de consum de combustible i emissions apareixen en la taula 5.3.

Taula 5.3: Resultats de les emissions en el tram de via.

Resultats en el tram	Consum de combustible [cl]	Emissions [g]			
		HC	CO	NO _x	PM
Dièsel	21,58	0,125	0,440	0,257	0,012
Gasolina	22,18	2,168	6,463	0,819	
Emissions		2,293	6,902	1,076	0,012

El consum de gasolina i gasoil és molt similar. Pel que fa a les emissions els vehicles de gasolina no emeten partícules però emeten molt d'hidrocarbur sense cremar (HC). Aquest fet es degut a que la combustió és incompleta i per això es genera tant de CO comparat amb un vehicle dièsel. En un vehicle dièsel la combustió es casi completa però emet partícules.

6 Impacte ambiental, econòmic i social

6.1 Horitzó 20/20/20

El canvi climàtic és un dels majors reptes al que ens enfrontem, requerint canvis a escala mundial. Per això la UE proposa una sèrie de mesures per intentar frenar-lo i així estabilitzar la temperatura del planeta. Respecte a l'any 1990 es pretén:

- Reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle en un 20%.
- Estalviar un 20% del consum d'energia mitjançant una major eficiència energètica.
- Promoure les energies renovables fins arribar a 20% de participació.

L'objectiu del 20/20/20 per al 2020 (si s'arriba a un acord internacional, nou pla 30/30/30 pel 2030) és encaminar Europa cap al futur sostenible, amb una economia que generi poques emissions de carboni i consumeixi menys energia.

6.2 Contaminació atmosfèrica. A què ens exposem?

Actualment la contaminació atmosfèrica és un dels determinants més importants de la salut de les persones a les nostres ciutats i es considera el principal risc ambiental per a la salut a nivell mundial (Lim et al., 2012). Segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS), en 2012 la contaminació atmosfèrica va ser responsable aproximadament de 3 milions de morts prematures al món, 6.860 morts en el cas de l'estat espanyol (WHO, 2016).

6.2.1 Riscos per la salut

Les malalties cardiovasculars i cerebrovasculars són les causes més freqüents (aprox. 80%) de les morts prematures atribuïbles a la contaminació atmosfèrica, seguides de les malalties respiratòries i del càncer de pulmó (WHO, 2014).

A part de ser una causa de morts prematures, la contaminació atmosfèrica pot incrementar la incidència i severitat d'un ventall ampli de malalties amb efectes tant a curt com a llarg termini. Algunes de les malalties associades a la contaminació atmosfèrica inclouen les afectacions respiratòries (asma, pneumònia i malaltia pulmonar crònica), les insuficiències cardíagues i coronàries, la hipertensió arterial i la diabetis (Sunyer et al., 2016). Existeixen també estudis que indiquen que la contaminació atmosfèrica pot tenir efectes negatius sobre la fertilitat, l'embaràs, i el desenvolupament dels nadons i els infants.

PARÁMETRO	T/AÑO	SECTOR DE CONTRIBUCIÓN MÁS IMPORTANTE
SO ₂	3.159,00	Plantas de combustión no industrial (68,5%)
NO _x	29.337,00	Transporte por carretera (77,0%)
PM _{2,5}	1.694,00	Transporte por carretera (81,3%)
PM ₁₀	2.127,00	Transporte por carretera (74,9%)
CO	94.291,00	Transporte por carretera (91,4%)
Pb	4,94	Transporte por carretera (52,9%)
CO ₂	8.352.000,00	Transporte por carretera (51,1%)

Figura 6.1: Emissions i el seu origen [19].

Entre aquests efectes s'inclouen afectacions sobre el desenvolupament neuronal i les capacitats cognitives dels infants (WHO, 2013). D'altra banda, l'Agència Internacional d'Investigació sobre el Càncer (International Agency for Research on Cancer, IARC) ha classificat la contaminació atmosfèrica en general i el material particulat com a carcinogènics per als humans (IARC, 2016) [20].

6.2.2 Nivells des gasos contaminants a Europa

Al mapa següent es poden veure les concentracions de NO₂ a les ciutats més importants d'Europa.

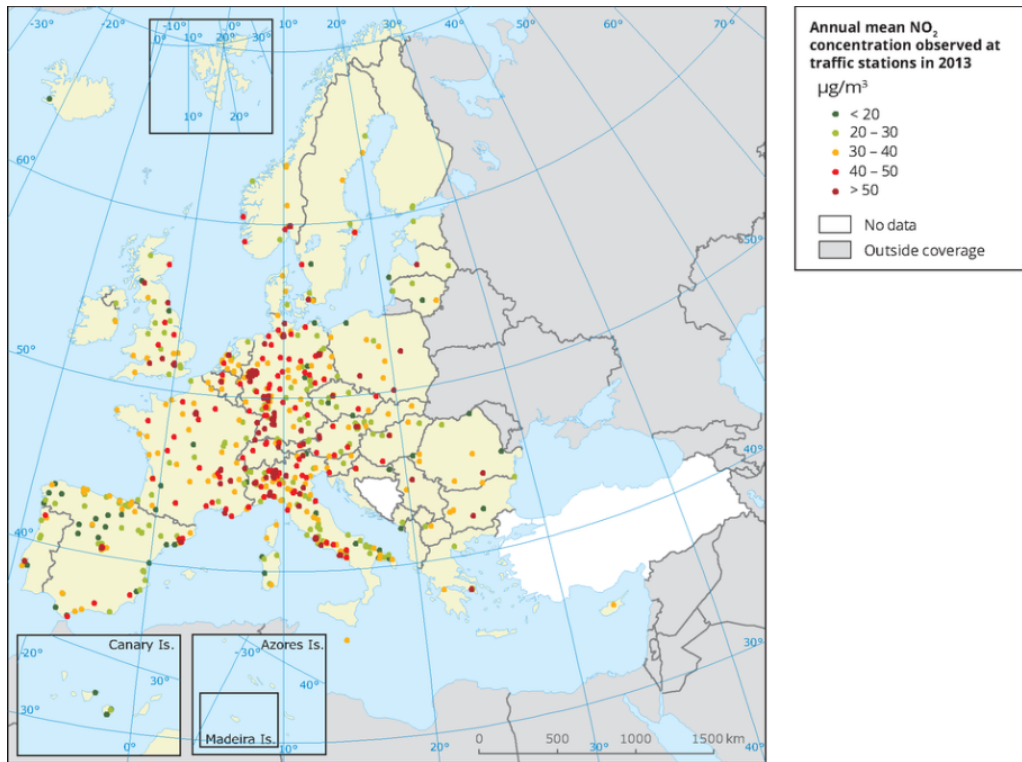


Figura 6.2: Mitjana de NOx [21].

A continuació es mostren dos mapes de contaminació de partícules en suspensió d'Europa. Les dades han set obtingudes d'estacions de mesura de trànsit. Amb un codi de color (com un semàfor) es mesura l'estat en el que es troba la ciutat.

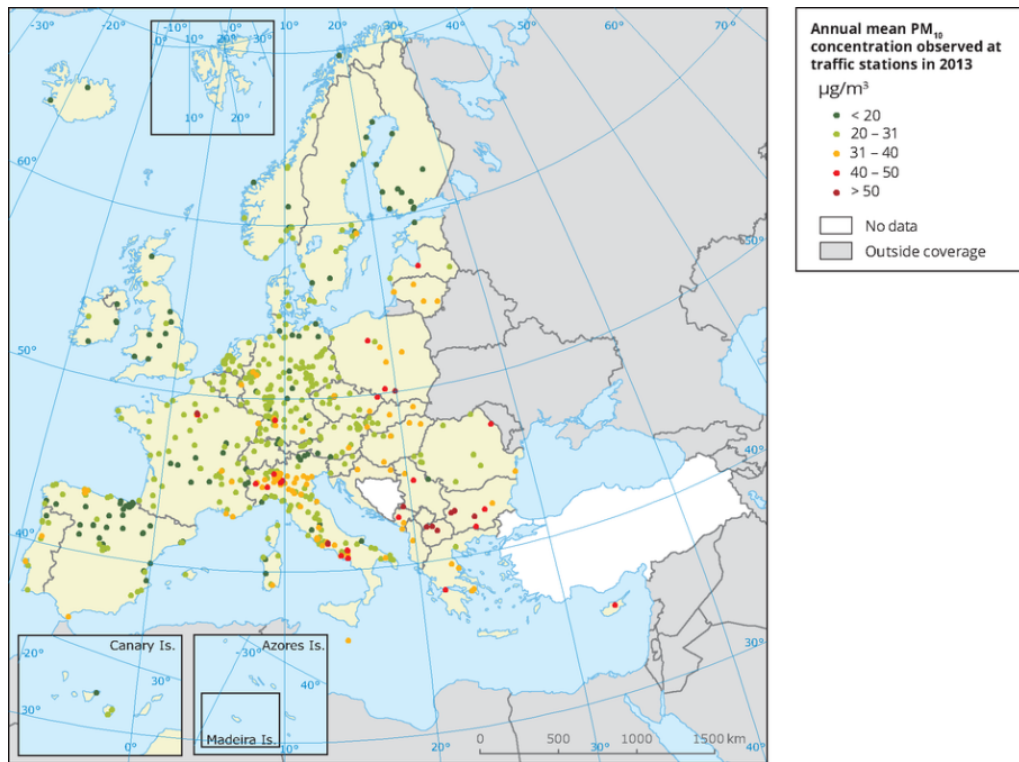


Figura 6.3: Mitjana de PM10 [21].

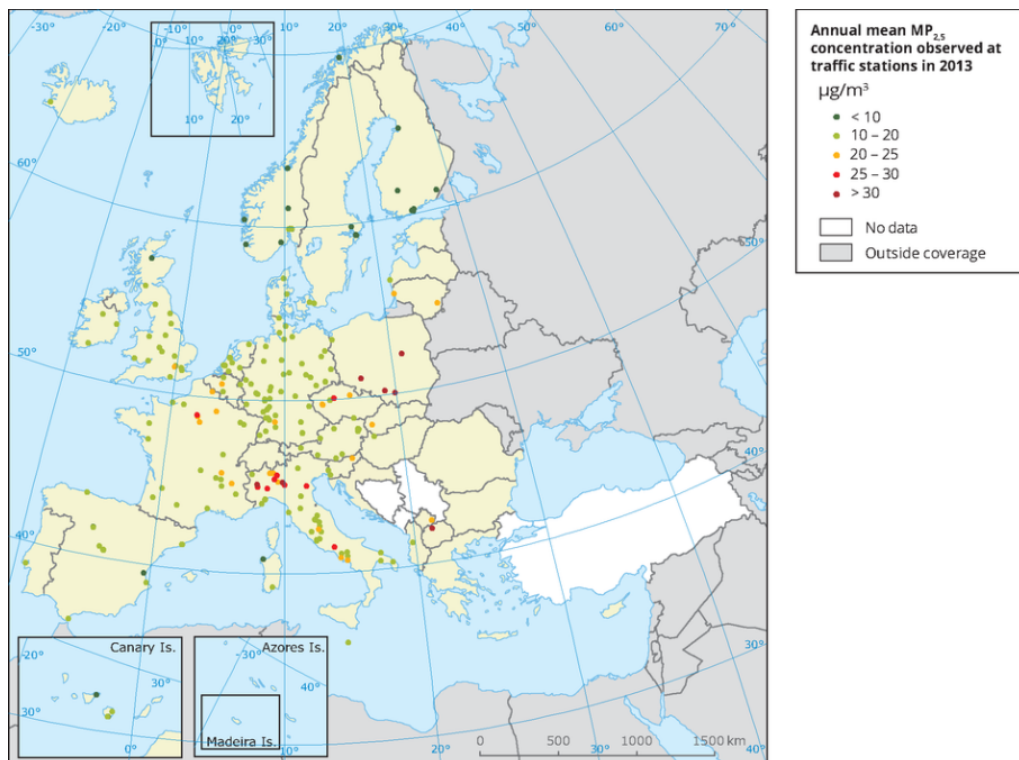


Figura 6.4: Mitjana de PM2,5 [21].

6.2.3 Nivells de gasos contaminants a la ciutat de Barcelona

Barcelona disposa d'estacions de mesura de la qualitat de l'aire. En té una desena repartides per tota la ciutat i en fa la següent diferenciació:

- Estacions de trànsit. Són aquelles que es troben prop de cruïlles i a peu de carrer a pocs metres de la calçada. Mesuren de manera directa l'impacte d'una o diverses vies principals de trànsit.
- Estacions de fons. Mostregen l'aire que conté emissions de diversos orígens i s'han barrejat i que en la mesura del possible no es vegin afectades per cap via principal en un radi de 300 metres.

A part de la proximitat amb el transit també les classifiquen en funció del tipus d'urbanització situada al voltant de l'estació.

- Estacions urbanes. Envoltades de sòl urbanitzat amb edificis alts i carrers transitats.
- Estacions suburbanes. Zones urbanitzades poc actives o al límit de la zona urbanitzada.

De l'informe de l'estudi de l'agència catalana de salut pública sobre la qualitat de l'aire de la ciutat Barcelona al 2016 [22] s'extreuen les següents dades d'emissions i figures.

La taula de la figura 6.5 són les emissions mitjanes anuals de cada contaminant. Pel que fa als que provenen dels vehicles i del nostre interès:

- El diòxid d'oxigen (NO₂) supera els límits de l'OMS (40 µg/m³) i UE (40 µg/m³) en totes les estacions urbanes de trànsit.
- Les partícules PM10 es supera en l'índex de l'OMS (20 µg/m³). UE (40 µg/m³).
- Les partícules PM2,5 es supera en l'índex de l'OMS (10 µg/m³). UE (25 µg/m³).

Contaminant	Trànsit		Fons	
	OMS	UE	OMS	UE
Mitjana anual NO ₂	Supera 1,3 vegades	Supera 1,3 vegades	No es supera	No es supera
Mitjana anual PM ₁₀	Supera 1,3 vegades	No es supera	Supera 1,1 vegades	No es supera
Mitjana anual PM _{2,5}	Supera 1,5 vegades	No es supera	Supera 1,3 vegades	No es supera
Mitjana anual benzè	Supera 1,7 vegades	No es supera	No es supera	No es supera
Mitjana anual benzo(a)pirè	Supera 1,1 vegades	No es supera	No es supera	No es supera
Màxim 8-horari d'ozó	Supera 1,1 vegades	No es supera	Supera 1,3 vegades	Supera 1,1 vegades
Llindar d'informació horari d'ozó	-	No es supera	-	No es supera
Llindar d'alerta horari d'ozó	-	No es supera	-	No es supera
Màxim diari SO ₂	No es supera	No es supera	No es supera	No es supera
Màxim horari SO ₂	-	No es supera	-	No es supera
Màxim 8-horari CO	No es supera	No es supera	No es supera	No es supera
Màxim horari CO	No es supera	No es supera	No es supera	No es supera
Mitjana anual As	No es supera	No es supera	No es supera	No es supera
Mitjana anual Cd	No es supera	No es supera	No es supera	No es supera
Mitjana anual Ni	No es supera	No es supera	No es supera	No es supera
Mitjana anual Pb	No es supera	No es supera	No es supera	No es supera

Figura 6.5: Taula resum del compliment dels valors de referència de la UE i de l'OMS de les concentracions mitjanes funció de la intensitat de trànsit (trànsit interns o fons) [22].

A les figures següents es presenta la distribució dels nivells màxims horaris de NO₂ mesurats a la ciutat per cada hora i els nivells màxims diaris mesurats de PM₁₀ i PM_{2,5}. Aquestes mesures s'agrupen en els diferents llindars, basats tant en els nivells de referència de l'OMS com de la normativa europea i tant per a exposicions a curt com a llarg termini.

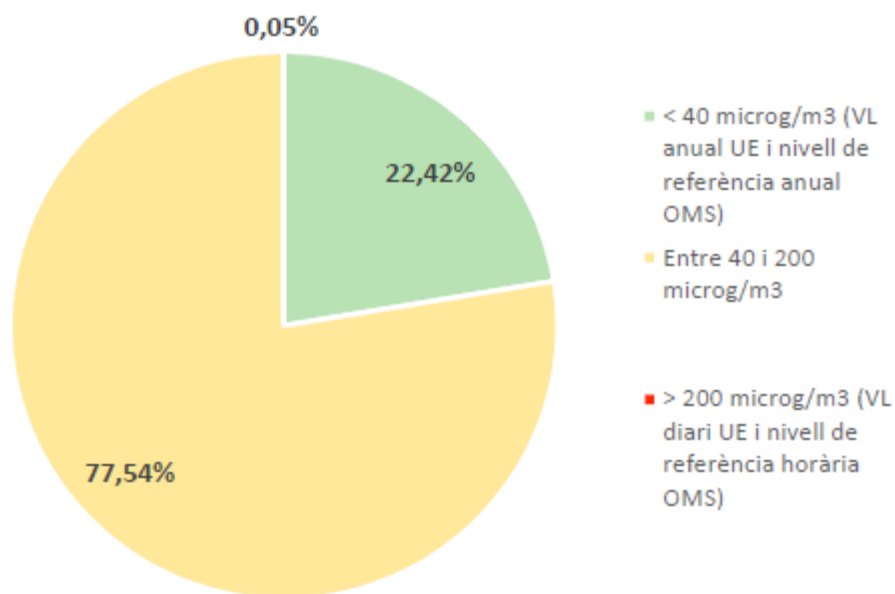


Figura 6.6: Distribució dels nivells màxims horaris de NO₂ mesurats (en % hores) [22].

Així per al NO₂, per exposicions a llarg termini durant el 78% de les hores es supera en almenys una estació de vigilància de la ciutat els nivells anuals de l'OMS i el valor límit anual de la UE (40 µg/m³ en ambdós casos). Per exposicions a curt termini, es redueix a un 0,05% de les hores que es supera nivell de referència horària i el valor límit horari de la UE (200 µg/m³ en ambdós casos).

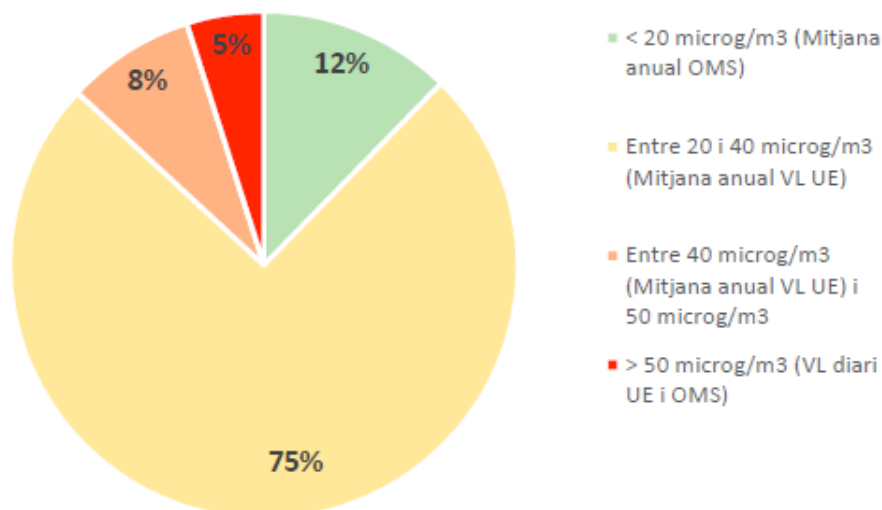


Figura 6.7: Distribució dels nivells màxims diaris de PM₁₀ mesurats (en % dies) [22].

Per a les partícules PM10, es supera el 88% dels dies de l'any i en almenys una estació de vigilància de la ciutat, els nivells anuals de l'OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Aquest percentatge es redueix fins el 13% dels dies en el cas del valor límit anual de la UE ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Per exposicions a curt termini, es supera el 5% dels dies de l'any el nivell de referència diària i el valor límit diari de la UE ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en ambdós casos).

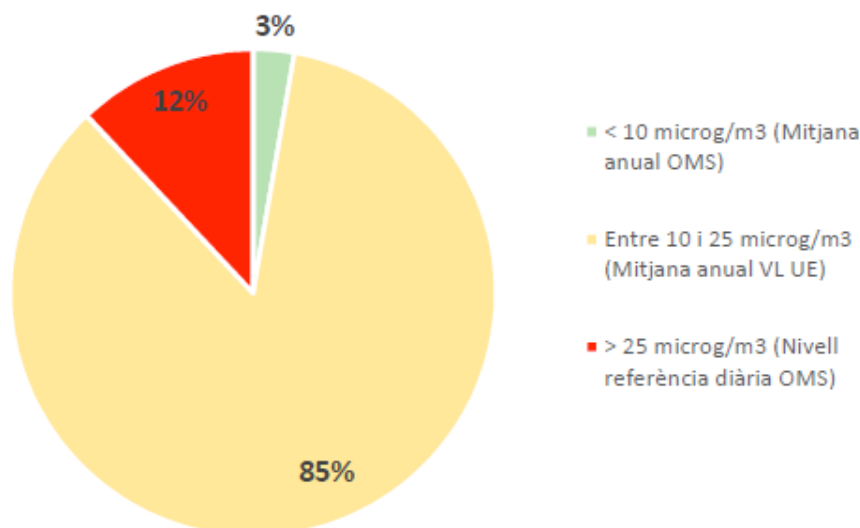


Figura 6.8: Distribució dels nivells màxims diaris de PM_{2,5} mesurats (en % dies) [22].

Finalment, respecte les partícules PM_{2,5}, per a exposicions a llarg termini, es supera el 97% dels dies el nivell de referència anual ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en almenys una estació de mesurament de la ciutat, que es redueixen fins el 12% en el cas dels dies amb superació del valor límit anual de la UE ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Respecte a les exposicions a curt termini, es superen el 12% de dies de l'any el nivell de referència diària de l'OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Així, de forma sintètica es conclou que si bé les superacions dels indicadors d'exposició de tipus episòdic es superen a la ciutat en 1 de cada 3 dies a l'any (OMS) i en 1 de cada 14 dies (UE), l'exposició potencial de la població durant l'any (exposició crònica) s'incrementa respecte als nivells de referència de l'OMS en el 78% de les hores de l'any en el cas del NO₂, el 88% dels dies en el cas de les partícules PM10 i en el 97% dels dies en el cas de les partícules PM_{2,5}. Aquests percentatges, en el cas dels valors límit anuals de la UE són del 78%, 13% i 12% respectivament.

6.3 Impacte esperat del projecte

6.3.1 Impacte ambiental

Els efectes sobre la salut de les emissions junt amb el seu impacte ambiental s'ha comentat al llarg d'aquest capítol. L'eina de detecció i seguiment de vehicles és una possibilitat de estimar els gasos contaminants en un carrer d'una manera relativament senzilla i sense grans eines i/o equips de mesura.

Els resultats del tram estudiat són els de la taula 5.3 que es recuperen en la taula 6.1 següent.

Taula 6.1: Emissions del carrer estudiat.

Resultats en el tram	Consum de combustible [cl]	Emissions [g]			
		HC	CO	NOx	PM
Dièsel	21,58	0,125	0,440	0,257	0,012
Gasolina	22,18	2,168	6,463	0,819	
Emissions		2,293	6,902	1,076	0,012

Longitud del tram estudiat = 25 m.

Emissions totals del tram estudiat = 2,293 g d'hidrocarburs sense cremar, 6,902 g de monòxid de carboni, 1,076 g d'òxids de nitrogen i 0,012 g de partícules.

Consum de combustible total del tram estudiat = 21,58 ml de dièsel i 22,18 ml de gasolina.

Amb l'eina desenvolupada es pot estimar l'impacte ambiental dels vials de la ciutat sense necessitat d'altres recursos.

6.3.2 Impacte social

L'impacte social de la contaminació atmosfèrica incideix, entre d'altres, en les polítiques de prohibició del vehicle, en els efectes sobre la salut i la millora de la qualitat de vida o la congestió de la sanitat pública per casos derivats de la inhalació de contaminants.

Amb aquest projecte es presenta la possibilitat d'ajudar a les polítiques d'ús del vehicle en episodis de contaminació perquè es podrien arribar a determinar els automòbils que més emissions generen i el seu impacte. Des de la regulació de les circulacions, el fluxos, les velocitats, els consums i tipus de vehicles en funció dels vials i carrers urbans.

D'altra banda, mitjançant les eines d'aquest estudi, si s'arribés a poder caracteritzar la contaminació de cada tram de la ciutat contribuiria a detallar i informar sobre les mesures més idònies per als ciutadans per a la selecció d'una zona per viure-hi menys contaminada. Fins i tot diferents programes i actuacions com la selecció de les franges horàries idònies per practicar esport a l'aire lliure o donar un passeig.

6.3.3 Impacte econòmic

A un nivell macroeconòmic, del que no s'entrarà en una definició detallada, els beneficis de tenir una eina que mesuri les emissions i fer possibles estimacions ajudaria a reduir el dispendi públic perquè es sabria en tot moment el que està succeint als carrers.

El software presentat és una eina barata que no necessita manteniment. Els punts de gravació de les imatges és l'única cosa que s'hauria de considerar com detall tecnològic, seleccionant els més adients.

Seguint amb la idea de la caracterització de tota la ciutat s'entraria a altres estudis particularitzats, com podrien ser les polítiques d'habitatge, dels equipaments o infraestructures. Fins i tot podria ser que els preus dels habitatges de les zones més contaminades baixessin.

7 Pressupost

El pressupost del present treball, els materials i eines necessàries pel seu desenvolupament prenen el preus unitaris de mercat, els medis auxiliars i considerant el preu de l'hora d'un enginyer júnior a l'apartat de desenvolupament, resultaria:

1. Pressupost de les eines i materials.

Taula 7.1: Pressupost de les eines i materials.

Descripció	Quantitat	Preu unitari	Cost
	[u]	[€/u]	[€]
Software MATLAB	1	2000	2000
Paquet de processat d'imatge i visió per computador	1	4250	4250
Càmera CANON EOS100D	1	450	450
Trípode - Hama Star 05	1	100	100
Material d'oficina	1	50	50
TOTAL MATERIAL			6850

El pressupost del de les eines material d'aquest projecte d'estudi resulta un total de 6850 €. (Sense incloure el % IVA corresponent).

2. Pressupost de desenvolupament, programació i estudi.

Taula 7.2: Pressupost de desenvolupament, programació i estudi.

Descripció	Quantitat	Preu unitari	Cost
	[h]	[€/h]	[€]
Formació prèvia, recerca i tasques de camp	70	35*	2450
Programació i desenvolupament software	150	35*	5250
Realització de l'estudi d'un tram de carrer	20	35*	700
Redacció i revisió	60	35*	2100
TOTAL DESENVOLUPAMENT	300		10500

*Cost horari d'un enginyer júnior 35 €/h.

El pressupost del desenvolupament d'aquest projecte d'estudi resulta un total de 10500 €. (Sense incloure el % IVA corresponent).

PRESSUPOST TOTAL:

Taula 7.3: Pressupost total.

Pressupost material de les eines i materials	6850 €
Pressupost desenvolupament, programació i estudi	10500 €
TOTAL PRESSUPOST	17350 €

El pressupost material del present treball, d'estudi d'un tram de carrer de 25 m de longitud, suma la quantitat de 17350 €.

(El pressupost final material ascendeix a la quantitat indicada de di-set-mil tres-cents cinquanta euros, sense el % del IVA corresponent).

Nota: s'agafen els preus unitaris de mercat i de la mà d'obra per l'estudi del tram de vial de 25 m de longitud estudiat en aquest treball. Pressupost i preus d'un tram de carrer que es podria extrapolar per un estudi més ampli d'altres vials de la ciutat. El nombre total de hores ha de ser igual o superior al nombre de crèdits estipulats del projecte. En aquest cas són 12 crèdits a 25 h el crèdit suma un total de 300 hores. *(S'ha fet la valoració en funció d'aquestes hores. Per un treball més ampli i una vegada iniciades les feines els valors ajustaríem proporcionalment a les hores útils necessàries).*

Conclusions

El projecte ha abordat diferents àmbits de coneixement però tots en un mateix context que és la determinació el de les emissions de gasos i partícules contaminants.

Sobre l'eina de seguiment de vehicles que s'ha desenvolupat i els resultats obtinguts es conclou:

- El material utilitzat a l'hora de gravació i la ubicació de l'estudi ha estat condicionat bàsicament per la disponibilitat d'aquest.
- La detecció de vehicles amb imatges és una feina que és abordable i relativament senzilla. Un comptador de vehicles o una eina per detectar el flux és viable en qualsevol escenari i sota qualsevol condició.
- Per realitzar el seguiment es necessiten una sèrie de requisits específics referents al tipus del vídeo i la posició de la càmera. Les ombres i canvis de lluminositat són un perill.
- Els resultats del software de seguiment es donen en un fitxer de full de càlcul senzill i accessible des de qualsevol dispositiu.
- És capaç d'identificar la majoria de vehicles independentment del color i grandària.
- Els consums i emissions resultants en el tram de via son referencials i orientatius. La caracterització del tipus de vehicle ha estat genèrica: gasolina o dièsel.

Sobre les emissions, impacte ambiental i contaminació atmosfèrica:

- Les emissions són un problema greu que contribueixen a l'empitjorament de la qualitat de l'aire que es respira a les ciutats. Reduir la contaminació atmosfèrica és uns dels grans reptes a curt i mitjà termini per garantir una bona qualitat de vida.
- Els vehicles són els principals contribuïdors a la contaminació atmosfèrica. L'agència de salut pública fa una sèrie de recomanacions utòpiques. Com: ventilar el pis quan hi hagi menys trànsit al carrer. Es millor caminar pels carrers lluny de les hores punta. En cas d'anar en bicicleta es aconsellable evitar la proximitat als tubs d'escapament.
- La mitjana anual en les estacions de trànsit supera 1,3 vegades els nivells normatius i de l'OMS per a l'NO₂.

Per acabar i sota l'experiència del treball dut a terme es realitzen una sèrie de recomanacions en el cas que es desitgi continuar amb el desenvolupament i perfeccionament del software de seguiment i detecció de vehicles:

- Utilitzant tot el que s'ha desenvolupat es pot provar en diferents tipus de via i sota diferents condicions per determinar la viabilitat d'un projecte a gran escala.
- El seguiment de vehicles és molt sensible i cal una imatge tractada neta i fora distorsions. Quan més neta sigui la imatge primària millor.
- El solapament de vehicles és un problema que apareix quan el trànsit és dens i que es maximitza quan més gran és l'angle de la càmera. Una possible solució seria dividir encara més la imatge en diferents àrees de treball com tants carrils es tinguin.

Bibliografia

- [1] ESTÉVEZ, I., (29/12/2015), Vius a Barcelona? Aquests són els efectes de l'aire que respires en la teva salut, Diari Ara, http://www.ara.cat/societat/barcelona-contaminacio-diesel_0_1486651549.html
- [2] Road transport: Reducing CO2 emissions from vehicles. (2017), Comissió Europea: *Climate Action*, http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm
- [3] Overview of the European energy System. (Gener 2017), Agència Europea de Medi Ambient: *Overview of the European energy System*, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-european-energy-system-3/assessment>
- [4] ÁLVAREZ FLÓREZ, J.A., *La energía del transporte y el medio ambiente: Conceptos.*, Barcelona, Espanya: ETSEIB. Apunts de classe.
- [5] Reducing CO2 emissions from passenger cars. (2017), Comissió Europea: *Climate Action*, http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm
- [6] Electric vehicles will help the shift toward EU's green transport future. (Gener 2017), Agència Europea de Medi Ambient: Electric vehicles will help the shift toward EU's green transport future, <http://www.eea.europa.eu/highlights/electric-vehicles-will-help-the>
- [7] Diòxid de carboni. (Consultat maig 2017), Viquipèdia: *Diòxid de carboni*, https://ca.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B2xid_de_carboni
- [8] Reducing emissions from transport. (2017), Comissió Europea: *Climate Action*, http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/index_en.htm
- [9] Evolution of CO2 emissions from new passenger cars by fuel type. (Abril 2013), Agència Europea de Medi Ambient: *Evolution of CO2 emissions from new passenger cars by fuel type*, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/evolution-of-co2-emissions-from-1>
- [10] SEAT Ibiza. (2017), SEAT: *SEAT Ibiza*, <http://www.seat.es/coches/ibiza-5-puertas/modelo.html>
- [11] Caso Volkswagen (2015 – 2017), El País: *Caso Volkswagen*, http://elpais.com/tag/caso_volkswagen/a
- [12] Els òxids de nitrogen (NOx) a l'aire i la salut. (2017), Agència de Salut Pública: *Qualitat de l'aire*, <http://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2016/07/oxids.pdf>
- [13] Els contaminants atmosfèrics i la salut: les partícules en suspensió (PM). (2017), Agència de Salut Pública: *Qualitat de l'aire*, <http://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2016/05/particulesP10.pdf>

- [14] Monòxid de carboni. (Consultat maig 2017), Viquipèdia: *Monòxid de carboni*, https://ca.wikipedia.org/wiki/Mon%C3%B2xid_de_carboni
- [15] WEINSTOCK, B.; NIKI, H. Carbon Monoxide Balance in nature. *Science*, 176, 32, 1972, pàg. 290. DOI: 10.1126/science.176.4032.290. PMID: 5019781
- [16] Filtre de Kalman. (Consultat maig 2017), Viquipèdia: *Filtre de Kalman*, https://ca.wikipedia.org/wiki/Filtre_de_Kalman
- [17] assignDetectionsToTracks. (Consultat maig 2017), MathWorks: *Documentation*, <https://es.mathworks.com/help/vision/ref/assigndetectionstotracks.html>
- [18] Eivissa (municipi). (Consultat maig 2017), Viquipèdia: *Eivissa (municipi)*, [https://ca.wikipedia.org/wiki/Eivissa_\(municipi\)](https://ca.wikipedia.org/wiki/Eivissa_(municipi))
- [19] Las causas de la contaminación atmosférica y los contaminantes atmosféricos más importantes. (2013), Monográfico Ciudad y transporte: *Calidad del aire y salud*, http://www.ecodes.org/component/option,com_phocadownload/Itemid,340/download,216/id,129/view/category/
- [20] Contaminació atmosfèrica i salut. (2017), Agència de Salut Pública: *Qualitat de l'aire*, <http://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2017/01/Contaminacio-atmosferica-i-salut-2017.pdf>
- [21] Exceedances of air quality objectives due to traffic. (Novembre 2013), Agencia Europea de Medi Ambient: *Exceedances of air quality objectives due to traffic*, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/exceedances-of-air-quality-objectives/exceedances-of-air-quality-objectives-8>
- [22] Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona. (2016), Agència de Salut Pública: *Qualitat de l'aire*, http://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2017/05/Avaluacio-de-la-qualitat-aire-a-la-ciutat-de-barcelona-2016-PRV_170502.pdf

Bibliografia complementària

És saludable córrer per Barcelona? (15/05/2013), Barcelona TV, <http://beteve.cat/es-saludable-correr-per-barcelona/>

ÁLVAREZ FLÓREZ, J.A., CALLEJÓN AGRAMUNT, I., (2002), Máquinas térmicas motoras. Vol 1., Barcelona, Espanya: Edicions UPC.

ÁLVAREZ FLÓREZ, J.A., CALLEJÓN AGRAMUNT, I., (2002), Máquinas térmicas motoras. Vol 2., Barcelona, Espanya: Edicions UPC.

UNDERWOOD, E., (26-01-2017), THE POLLUTED BRAIN - Evidence builds that dirty air causes Alzheimer's dementia, Science, http://www.sciencemag.org/news/2017/01/brain-pollution-evidence-builds-dirty-air-causes-alzheimer-s-dementia?utm_campaign=news_daily_2017-01-26&et rid=17516437&et cid=1127313

La lista de referencias (Normas APA). (Consultat maig 2017), Universidad de La Laguna: Servicio de biblioteca, https://www.ull.es/view/institucional/bbtk/Referencias_normas_APA/es

¿Cómo citar y referenciar páginas web con normas APA? (Consultat maig 2017), Normas APA: ¿Cómo citar y referenciar páginas web con normas APA?, <http://normasapa.com/como-citar-referenciar-paginas-web-con-normas-apa/>