

## Resum

Degut a l'augment progressiu del parc de vehicles de la ciutat de Barcelona, s'han incrementant també les emissions de gasos contaminants a l'atmosfera, tot i l'enduriment de les diferents normatives europees en referència als valors líndar d'emissions de gasos per part dels fabricants dels vehicles. Aquest fet ha comportat que en la ciutat de Barcelona es superi els valors límit imposats per la directiva europea 1999/30/CE, referent a la qualitat de l'aire. Els agents contaminants en què es centrarà aquest estudi són els Òxids de Nitrogen i les partícules de mida superior a 10 µm.

Per tal de poder conèixer les emissions del global del parc, en aquest projecte s'estudia, tant l'evolució en el temps de la normativa europea d'emissions de gasos contaminants, com el parc de vehicles de la ciutat en funció de la data de matriculació d'aquests i de la seva categoria.

Amb les dades obtingudes de parc de vehicles de la ciutat de Barcelona i la normativa d'emissions europea des de 1990, es podrà crear una eina de simulació que permeti avaluar com disminuirà percentualment la contaminació en funció de les accions que es realitzin sobre el parc de vehicles existent. La proposta de les diferents alternatives de modificació es realitzarà considerant la tecnologia de catalitzadors i filtres de partícules que hi ha en el mercat, també descrites en el projecte, i les accions que altres països i ciutats amb el mateix problema de contaminació han realitzat.





## Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>LLISTAT DE TAULES</b>	<b>5</b>
<b>LLISTAT DE FIGURES</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDIX D'ANNEXOS</b>	<b>9</b>
<b>1 GLOSSARI</b>	<b>11</b>
<b>2 INTRODUCCIÓ, OBJECTIU I ABAST DEL PROJECTE</b>	<b>13</b>
2.1 Objectiu	13
2.2 Abast del projecte	13
<b>3 MECANISMES DE FORMACIÓ DELS NO<sub>x</sub> I PM<sub>10</sub></b>	<b>15</b>
3.1 Mecanisme de formació dels NO <sub>x</sub>	15
3.1.1 Termodinàmica i cinètica de la formació	15
3.2 Mecanismes de formació de les partícules	16
3.2.1 Orígen de les emissions en motors d'encesa provocada (MEP)	16
3.2.2 Mètodes de reducció de contaminants en els MEP	19
3.2.3 Orígen de les emissions en els Motors d'encesa per Compresió (MEC)	20
3.2.4 Mètodes de reducció de contaminants en els MEC	22
<b>4 ESTAT ACTUAL DEL PARC D'AUTOMÒBILS DE BARCELONA</b>	<b>23</b>
<b>5 NORMATIVA APLICABLE</b>	<b>29</b>
5.1 NO <sub>x</sub>	29
5.2 Partícules PM <sub>10</sub>	30
<b>6 POTENCIAL CONTAMINANT DELS VEHICLES</b>	<b>33</b>
6.1 Potencial contaminant en g/km	33
6.1.1 NO <sub>x</sub>	33
6.1.2 Partícules PM <sub>10</sub>	35
6.2 Potencial contaminant en g/dia	37
6.2.1 NO <sub>x</sub>	38
6.2.2 Partícules PM <sub>10</sub>	40



---

<b>7</b>	<b>TECNOLOGIA DISPONIBLE</b>	<b>43</b>
7.1	SCR (Selectiv Catalític Reduction)	43
7.2	CRT (Continuously Regeneration Trap)	44
7.3	DPX (Dièsel Particulate Filter)	47
7.4	FBC (Fuel Borne Catalysts)	48
<b>8</b>	<b>EXPERIÈNCIES EN ALTRES PAÏSOS O CIUTATS</b>	<b>51</b>
8.1	Tecnologies verificades per la EPA	52
8.2	Tecnologies verificades per tfl	53
<b>9</b>	<b>PROGRAMA D'AJUDA DE PRESA DE DECISIONS</b>	<b>55</b>
9.1	Anàlisi preliminar	56
9.2	Exemple de càlcul	59
<b>10</b>	<b>ANÀLISI ECONÒMICA</b>	<b>63</b>
10.1	Costos de personal	63
10.2	Costos de material	64
10.3	Altres costos	64
10.4	Total	64
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONS</b>	<b>67</b>
<b>12</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>69</b>
12.1	Referències bibliogràfiques	69
12.2	Bibliografia Complementaria	71



## Llistat de taules

Taula 4.1 Parc de vehicles de Barcelona segons categoria, tipus de combustible i any [3]	25
Taula 5.2 Límits emissions de NO <sub>x</sub> en g/km per categoria i any.	30
Taula 5.3 Límits emissions de PM <sub>10</sub> en g/km segons normativa europea , per categoria i any.	31
Taula 6.4 Potencial contaminant en g/km i percentatge de contaminació per NO <sub>x</sub> .	34
Taula 6.5 Potencial contaminant en g/km i percentatge de contaminació per PM <sub>10</sub> .	36
Taula 6.6 Potencial contaminant en g/dia i percentatge de contaminació per NO <sub>x</sub> .	39
Taula 6.7 Potencial contaminant en g/dia i percentatge de contaminació per PM <sub>10</sub> .	42
Taula 8.8 Alguns fabricants amb tecnologia verificada perla EPA i % de reducció aconseguit. [16]	53
Taula 8.9 Fabricants amb tecnologia verificada per Tfl i Euro a la que es possible arribar. [17]	54
Taula 10.10 Avaluació dels costos de personal	63
Taula 10.11 Avaluació dels costos de material	64
Taula 10.12 Avaluació dels altres costos	64
Taula 10.13 Avaluació dels altres costos	65





## Llistat de figures

Figura 3.1 Efectes de la relació entre l'aire i el combustible sobre les emissions de contaminants en un MEP [1]	18
Figura 3.2. Efectes de la vàlvula EGR i de catalitzadors en les emissions en els motors MEP [1]	20
Figura 3.3 Efectes del dosat sobre les emissions de contaminants en un MEC [2]	22
Figura 4.6 Distribució del parc (any 2006) segons categoria i any [3]	26
Figura 4.7 Distribució anual del parc (any 2006) segons categoria i any [3]	27
Figura 4.8 Parc de vehicles acumulat (%)	27
Figura 6.9 Potencial contaminant per NO <sub>x</sub> en g/km (%)	35
Figura 6.10 Potencial contaminant per PM <sub>10</sub> en g/km (%)	37
Figura 6.11 Potencial contaminant per NO <sub>x</sub> en g/dia (%)	40
Figura 6.12 Potencial contaminant per PM <sub>10</sub> en g/dia (%)	42
Figura 7.13 Implantació del sistema SCR BASF en un camió i esquema de funcionament [9].	44
Figura 7.14 Tall d'un filtre CRT de Johnson Matthey [11].	45
Figura 7.15 Tall d'un filtre SCRT <sup>®</sup> de Johnson Matthey [11].	46
Figura 7.16 Sistema Dinox <sub>x</sub> <sup>®</sup> en el que es combina un filtre de partícules amb dos sistemes SCR en paral·lel [12].	47
Figura 7.17 Principi de funcionament del filtre DPX d'Engelhard [9].	48
Figura 9.18 Programa Matlab de càlcul del % de reducció de contaminació , % de parc modificat i cost, segons modificació aplicada	55



---

Figura 9.19 % de reducció del Parc de vehicles en funció del % modificat de cada categoria. _____	57
Figura 9.20 % de reducció de NO <sub>x</sub> i de PM <sub>10</sub> en funció del % de parc eliminat i la categoria _____	58
Figura 9.21 % de reducció de NO <sub>x</sub> i de PM <sub>10</sub> en funció del % de parc catalitzat i la categoria _____	58
Figura 9.22 % de reducció de NO <sub>x</sub> i de PM <sub>10</sub> en funció del % de parc renovat i la categoria _____	59
Figura 9.23 Exemple funcionament GUIDE contaminació _____	60





## Índex d'annexos

<b>SUMARI</b>	<b>1</b>
<b>LLISTAT DE FIGURES</b>	<b>3</b>
<b>LLISTAT DE TAULES</b>	<b>5</b>
<b>A NORMATIVA DE QUALITAT AMBIENTAL</b>	<b>9</b>
A.1 Valors límit i llindar d'alerta per NO <sub>x</sub>	9
A.2 Valors límit i llindar d'alerta per PM <sub>10</sub>	11
A.3 Valors assolits a la ciutat de Barcelona	11
<b>B ESTIMACIÓ PARC VEHICLES DE BARCELONA</b>	<b>15</b>
B.1 Classificació dels vehicles	15
B.2 Turismes (Categoria M)	16
B.3 Furgonetes i camions	18
B.3.1 Categoria N1(I)	20
B.3.2 Categoria N1(II)	20
B.3.3 Categoria N1(III)	21
B.3.4 Categoria N2	21
B.3.5 Categoria N3	22
<b>C NORMATIVA EUROPEA SOBRE EMISSIONS DE CONTAMINANTS DELS VEHICLES A MOTOR</b>	<b>23</b>
C.1 Directiva 88/436/CEE	23
C.2 Directiva 91/441/CEE	23
C.3 Directiva 93/59/CEE	24
C.4 Directiva 94/12/CE	24
C.5 Directiva 96/69/CE	25
C.6 Directiva 98/69/CE	26
C.7 Reglament (CE) N° 715/2007	28
C.8 Directiva 88/77/CEE	30
C.9 Directiva 91/542/CEE	30
C.10 Directiva 1996/96/CE	31
C.11 NO <sub>x</sub>	33
C.11.1 Categoria M1	34



C.11.2	Categoria N1(I)	35
C.11.3	Categoria N1(II)	35
C.11.4	Categoria N1(III)	36
C.11.5	Categories N2 i N3	37
C.12	Partícules PM <sub>10</sub>	40
C.12.1	Categoria M1	41
C.12.2	Categoria N1(I)	41
C.12.3	Categoria N1(II)	42
C.12.4	Categoria N1(III)	43
C.12.5	Categories N2 i N3	43
<b>D</b>	<b>PROVES DE FUNCIONAMENT</b>	<b>45</b>
D.1	Vehicles categoria M I N1	45
D.1.1	Prova tipus I descrita directiva 83/351	45
D.1.2	Prova tipus I descrita directiva 91/441	49
D.1.3	Prova tipus I descrita directiva 98/69	53
D.2	Vehicles categoria N2 i N3	53
D.2.1	Prova ECE R-49, directiva 88/77	53
D.2.2	Prova ESC, directiva 91/542	54
D.2.3	Prova ESC, directiva 1999/96	55
D.2.4	Prova ETC, directiva 1999/96	56
<b>E</b>	<b>PROGRAMES MATLAB</b>	<b>63</b>
E.1	Integració cicle ETC	64
E.1.1	etc.m	64
E.2	Excel que interacciona amb la guide	74
E.3	Guide Contaminació	75
E.3.1	contaminacio.m	76
E.3.2	potencial.m	85
E.3.3	renovacio.m	88
E.3.4	Grafics.m	91
E.3.5	Graf_3d.m	92



## 1 Glossari

**NO<sub>x</sub>** : Òxids de Nitrogen

**PM<sub>10</sub>** : Partícules de tamany igual a superior a 10 µm

**EGR** : Exhaust Gas Recirculation

**EPA** : Environmental protection agency

**LEZ** : Low emissions zones

**Tfl** : Transportation for London

**SCR** : Selectiv Catalitic Reduction

**CRT** : Continuously Regeneration Trap

**DPF** : Diesel Particulate Filter

**DPX** : Diesel Particulate Filter

**FBC** : Fuel Borne Catalysts

**CCRT** : (Catalysed Continuously Regeneration Trap

**M** : massa contaminant (g/km)

**K<sub>H</sub>** : factor de correcció de la humitat.

**C<sub>NOx</sub>** : Concentració del contaminant en els gasos d'escapament diluïts. (ppm)

**d** : distància efectiva equivalent a un cycle operatiu.

**H**: Humitat absoluta, (g aigua/Kg aire sec).

**R<sub>d</sub>** : Humitat relativa de l'atmosfera ambient (%).

**P<sub>sat</sub>** : Pressió de saturació a la temperatura ambient (kPa).

**P<sub>atm</sub>** : Pressió atmosfèrica a la cambra de prova (kPa).

**V<sub>ep</sub>** : flux que travessa els filtres

**V<sub>max</sub>** : flux que travessa el túnel



**m** : massa de partícules recollides pers filtres (g)

**NO<sub>x(massa)</sub>** : cabal màssic de NO<sub>x</sub> (g/h)

**NO<sub>x(conc)</sub>** : concentració de NO<sub>x</sub> (ppm)

**G<sub>EXH</sub>** : cabal de gasos d'escapament (kg/h)

**R<sub>a</sub>** : Humitat relativa de l'aire d'admissió, en%.

**P<sub>a</sub>** : pressió de vapor de saturació del aire d'admissió, en kPa.

**P<sub>s</sub>** : pressió baromètrica total, en kPa.

**CO<sub>2(conc)</sub>** : concentració de CO<sub>2</sub> en el gas d'escapament diluït, en % volum.

**HC<sub>(conc)</sub>** : concentració d'hidrocarburs en el gas d'escapament diluït en ppm.

**NMHC<sub>(conc)</sub>** : concentració d'hidrocarburs no metànics en el gas d'escapament diluït en ppm.

**CO<sub>(conc)</sub>** : concentració de monòxid de Carboni en el gas d'escapament diluït en ppm.

**F<sub>s</sub>** : Factor estequiomètric, que depèn del combustible emprat: en el cas del Diesel és de 13.4, gas líquid del petroli de 11.6 i de Gas natural 9.5

**M<sub>f</sub>** : massa de partícules mostrejades durant el cicle en mg

**M<sub>SAM</sub>** : massa de gas d'escapament agafada en el túnel de dil·lució per a recollir partícules, en kg.

**M<sub>TOTW</sub>** : massa de gas d'escapament diluït per la via humida al llarg del cicle en kg.

**M<sub>DIL</sub>** : massa d'aire de dil·lució principal recollit en el mostrador de partícules de fons, en kg.

**M<sub>d</sub>** : massa de partícules de fons recollides a l'aire de dil·lució principal, en mg

**DF** : factor de dil·lució



## **2 Introducció, objectiu i abast del projecte**

En els últims anys s'ha anat incrementant el nombre de vehicles que circulen per l'interior de les ciutats i rodalies, cosa que ha fet augmentar considerablement la contaminació en les àrees amb un major volum de trànsit.

És per això que la Unió Europea ha aprovat una sèrie de directives que regulen:

- Les emissions dels vehicles a l'hora de ser homologats.
- La concentració màxima que es pot assolir. Considerant la mitjana anual i el límit màxim assolible durant un determinat temps.

Les institucions dels diferents països i ciutats són els encarregats de fer complir aquestes directrius.

### **2.1 Objectiu**

El projecte proposat consta de 2 parts principalment. Una primera on s'analitza el parc de vehicles de la ciutat de Barcelona, així com la normativa referent a les emissions aplicable a cada part del parc, i una segona on s'analitzen diferents formes de reducció de les emissions de gasos contaminants d'aquest parc.

### **2.2 Abast del projecte**

En el present projecte s'estudiarà la situació actual referent a la contaminació per NO<sub>x</sub> i partícules PM<sub>10</sub> a la ciutat de Barcelona, així com quines serien les solucions més eficients per reduir-la, mitjançant l'estudi del parc d'automòbils amb les seves corresponents emissions, així com les diferents mesures que s'han pres a diferents ciutats europees i americanes.





### 3 Mecanismes de formació dels NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub>

#### 3.1 Mecanisme de formació dels NO<sub>x</sub>

##### 3.1.1 Termodinàmica i cinètica de la formació

Els òxids de nitrogen estables inclouen el NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, encara que els 3 primers són els que tenen una major contribució a la contaminació atmosfèrica.

Es formen degut a l'activació de la reacció entre l'O<sub>2</sub> i el N<sub>2</sub> atmosfèrics admesos al motor, en una reacció independent del procés de combustió. .

La reacció de formació de l'òxid de nitrogen és la següent:



On la constant d'equilibri de la reacció és:

$$k_p = \frac{(p_{\text{NO}})^2}{(p_{\text{N}_2})(p_{\text{O}_2})} \quad (\text{Eq 3.2})$$

Aquesta constant augmenta progressivament a l'augmentar la T. Per tant s'observa que a majors temperatures obtindrem una major formació de l'òxid.

Pel que fa al hidròxid la reacció de formació és:



On la constant d'equilibri s'expressa:

$$k_p = \frac{(p_{\text{NO}_2})}{(p_{\text{NO}})(p_{\text{O}_2})^{1/2}} \quad (\text{Eq 3.4})$$

Contràriament al que passa a la reacció (Eq 3.1), la constant augmenta al disminuir la temperatura. Així s'observa com la formació del NO<sub>2</sub> es veu afavorida per les temperatures mentre que a temperatures més elevades aquest NO<sub>2</sub> es dissocia novament a NO.



En els processos reals, les reaccions (Eq 3.1) i (Eq 3.3) tenen lloc simultàniament. Així s'obtidran diverses concentracions d'equilibri depenent de la temperatura.

Però a més a més també s'haurà de tenir en compte el temps, ja que tant la descomposició del NO en NO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> com la reacció del NO amb el oxigen per a formar NO<sub>2</sub>, estan limitades cineticament. Ja que, per exemple, quan disminueix la temperatura a valors inferiors a 1550 K, les taxes d'aquestes reaccions es fan molt petites, quedant-se la concentració final dels òxids de nitrogen en els gasos de combustió amb els valors trobats durant la seva formació a temperatures més elevades.

Així, s'observa que per tal de reduir al màxim la formació dels òxids es necessari, evitar les elevades taxes d'alliberació de calor i aconseguir-ne unes d'elevades per tal d'extreure'l, evitant així, les elevades temperatures, que afavoririen la formació dels òxids.

### **3.2 Mecanismes de formació de les partícules**

Les partícules estan formades bàsicament per microglòbuls de carboni sobre els que s'adhereixen i condensen hidrocarburs procedents del carburant i del lubricant.

La formació de partícules és deguda bàsicament a problemes físics de formació de la mescla i estan associades a les injeccions a la càmera, especialment en els motors d'encesa per compressió.

En certs moments del funcionament del motor hi pot haver casos en els quals es produeixin zones riques en carburant dins del cilindre. La combustió en aquestes zones tindrà lloc de forma incompleta, degut a la manca d'oxigen, i facilitarà que els hidrocarburs del combustible es converteixin en petites partícules de carboni.

#### **3.2.1 Orígen de les emissions en motors d'encesa provocada (MEP)**

En aquest tipus de motors es generen bàsicament HC, CO i NO<sub>x</sub>, amb detriment de l'emissió de partícules, ja que a l'interior del motor la barreja de combustible i aire és més homogènia que en el cas dels motors d'encesa per compressió.

A l'hora de disminuir la quantitat d'òxids de nitrogen, els factors a tenir en compte seran els següents:





### 3.2.1.1 Dosat

#### Relació aire-combustible

Un factor important en la formació dels NO<sub>x</sub> és la presència d'Oxigen. Per tant s'observa que la relació aire-combustible emprada en un procés de combustió, tindrà una gran importància.

Així es defineix el dosat (F) com la relació aire-combustible emprada en un procés de combustió.

$$F = \frac{m_{combustible}}{m_{aire}} \quad (\text{Eq 3.5})$$

Quan aquesta relació és la que es correspon a la relació estequiomètrica del procés de combustió ideal, rebrà el nom de dosat estequiomètric, F<sub>e</sub>.

Finalment es definirà el dosat relatiu com el quocient entre el dosat (Eq 3.5), i el dosat estequiomètric.

$$F_r = \frac{F}{F_e} \quad (\text{Eq 3.6})$$

Així, tindrem que:

F<sub>r</sub> < 1 es tindrà una mescla pobra, amb un excés d'aire.

F=1, mescla estequiomètrica.

F<sub>r</sub> > 1 es tindrà una mescla rica, amb un excés de combustible, i per tant, amb una manca d'aire.

La generació total de contaminants ve determinada pel dosat que s'emprí. En la Figura 3.1. es mostra com varia la formació dels diferents gasos contaminants en funció del dosat emprat en els motors d'encesa provocada.



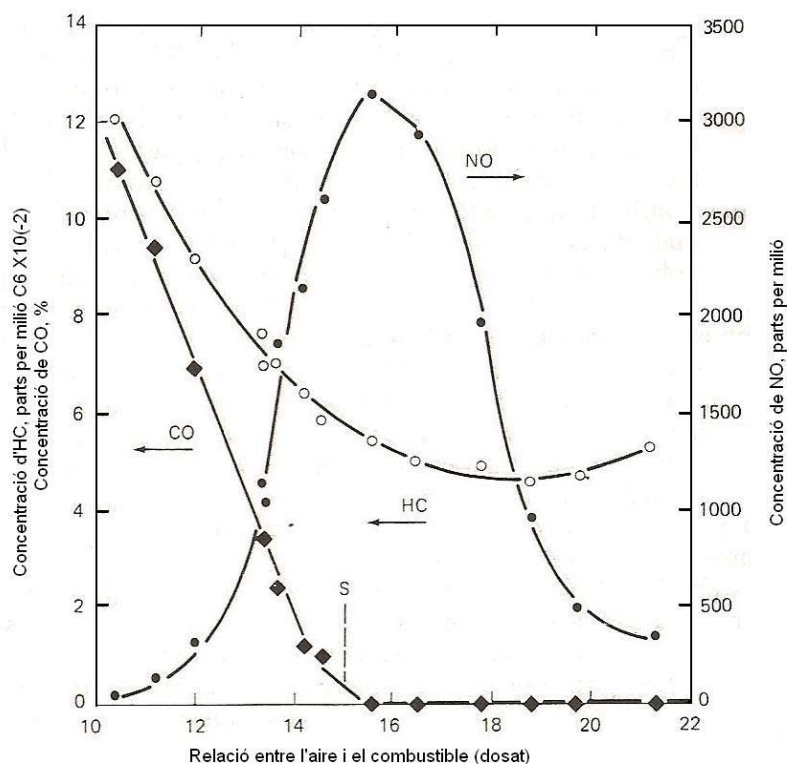


Figura 3.1 Efectes de la relació entre l'aire i el combustible sobre les emissions de contaminants en un MEP [1]

On s'observa que la màxima producció de contaminants per  $\text{NO}_x$  es produeix en dosats propers a l'estequiomètric (relació aire/combustible 14,7) ja que és en aquest rang on s'assoleixen majors temperatures al no haver-hi excés d'aire i cremar-se tot el combustible.

Però també es mostra en la Figura 3.1 que no hi ha cap dosat en el qual l'emissió de tots els contaminants sigui mínima, efectuant únicament canvis en el dosat del motor.

Per tant, per tal de reduir les emissions de contaminant fins als límits permesos es necessitaran elements de suport, com ara catalitzadors, per tal de disminuir-les.

### 3.2.1.2 Aportació de combustible

El carburador és l'encarregat de subministrar al motor la mescla homogènia de vapors del combustible i l'aire a les relacions de mescla requerides per tal d'obtenir l'operació satisfactòria del motor en un ampli interval de condicions.



Ja que si no s'introdueix el dosat requerit la combustió no serà tant ràpida i no es produirà un cremat complet de tot el combustible aportat, amb el que aquests fets comporten, és a dir una major emissió de gasos contaminants a l'atmosfera.

Per tal d'aconseguir subministrar el dosat adequat s'empren dos sistemes diferents.

El sistema de carburació, on el combustible es introduït a través de petits orificis de forma proporcional al flux d'aire aspirat pel motor. Però té un inconvenient, i és que quan el dosat que s'estableix en funció de la mida del raig no s'ajusta a les necessitats d'optimització o de funcionament del motor, és a dir en acceleracions brusques, transitoris d'encesa, etc, el dosat que es subministrarà no serà l'òptim i per tant hi haurà una major emissió de gasos.

En el sistema d'injecció, en canvi, es regula el dosat mitjançant una unitat electrònica de control que controla la dosificació de combustible en funció de la massa d'aire introduïda.

### **3.2.1.3 Sincronització de la guspira**

Una altra forma de reduir l'emissió de NO<sub>x</sub>, i dels hidrocarburs aconseguint una reducció de les temperatures locals de combustió és retrassant la guspira (reduint l'avançament de la guspira), però si la retrassem més enllà de cert punt, s'ocasiona una pèrdua de potència i s'alteren les condicions de maneig.

### **3.2.2 Mètodes de reducció de contaminants en els MEP**

El mètode més emprat per tal de reduir les emissions d'aquests gasos és la utilització de la vàlvula EGR (Exhaust Gas Recirculation) de recirculació de gasos d'escapament, mitjançant la qual s'envia un percentatge de gasos d'escapament al col·lector d'admissió.

Aquests gasos fan d'inhibidors del procés, desplaçant la reacció d'equilibri de formació de NO<sub>x</sub>, al contenir aquests un percentatge de productes de la combustió. Així s'aconsegueix alentir la reacció de combustió, que provocarà a la vegada una disminució de la temperatura a la cambra de combustió, disminuint per tant, la formació dels òxids, però hi ha l'inconvenient, que amb aquesta mesura s'augmenten les emissions de HC i CO, però aquest problema es pot resoldre amb l'ús d'un convertidor catalític.

De fet l'ús de catalitzadors, és un altre dels mètodes emprats, així per les substàncies que s'han d'oxidar (HC i CO bàsicament) s'usarà un catalitzador d'oxidació, que farà



combinar aquestes substàncies amb l'oxigen present per tal d'oxidar-les. Si degut als dosats emprats no hi ha suficient oxigen s'injectarà aire exterior amb el que es permetrà una catalització efectiva.

En la Figura 3.2 s'observa com la vàlvula EGR fa disminuir el consum mínim de combustible i les emissions de  $\text{NO}_x$  i el catalitzador redueix les emissions de CO i HC.

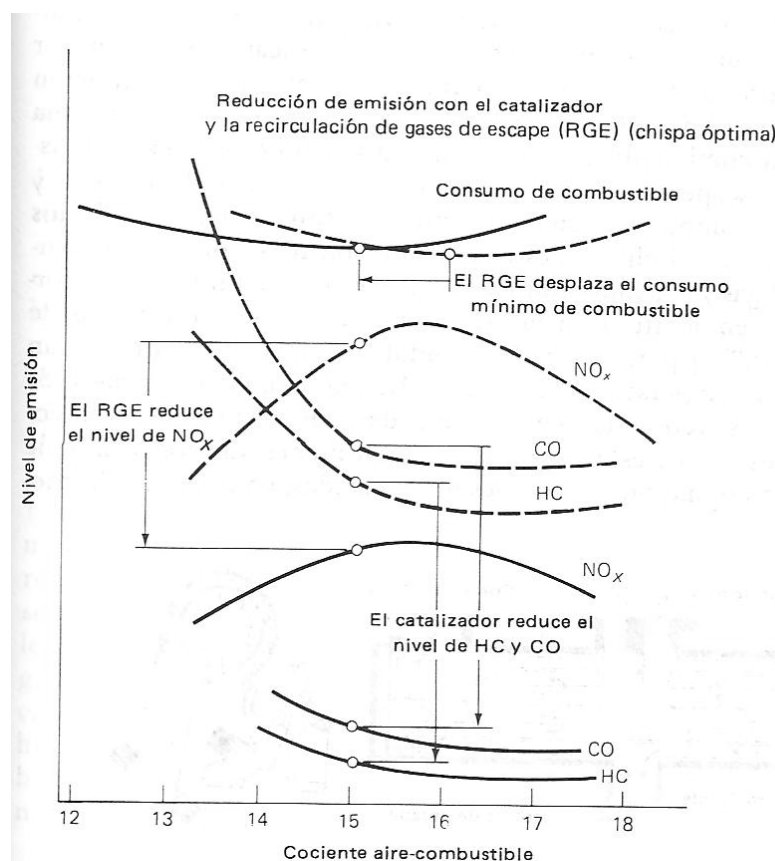


Figura 3.2. Efectes de la vàlvula EGR i de catalitzadors en les emissions en els motors MEP [1]

### 3.2.3 Origen de les emissions en els Motors d'encesca per Compressió (MEC)

En aquest tipus de motors la combustió heterogènia és el que determina la generació de contaminant. la quantitat total de combustible injectat està controlat per la càrrega i velocitat del motor, mentre que la massa d'aire introduïda és constant, és a dir el dosat és variable.



En aquest cas a l'hora de disminuir la quantitat d'òxids de nitrogen i partícules, els factors a tenir en compte seran els següents:

### **3.2.3.1 Disseny del inductor de combustible i de la cambra de combustió**

Durant el període de temps que va des de l'inici de la injecció fins abans de l'aparició de l'autoencesa, tenen lloc diversos processos físics, relacionats amb la formació de la mescla aire-combustible, i químics, deguts a la reacció en cadena que té lloc per tal que l'autoencesa de la mescla es produeixi, que fan possible que el combustible injectat dins de la cambra assoleixi les condicions de pressió i temperatura adequades per tal de que l'autoignició tingui lloc. Aquest temps transcorregut és l'anomenat temps de retard.

Per tal de facilitar la penetració del combustible en la cambra, la vaporització del combustible i la màxima dispersió d'aquest en el recinte és necessari que la pressió d'injecció sigui elevada i que la mida de la gota de combustible sigui petita.

Després d'aquesta fase té lloc el procés de combustió, el qual comença amb l'autoencesa del combustible que s'ha injectat primer, per tant al contorn de la llança de combustible, formant-se una flama de premescla.. El combustible prèviament mesclat a nivells estequiomètrics crema de forma brusca, ja que els punts d'encesa són múltiples mitjançant una reacció d'oxidació en cadena.

Aquesta fase de combustió de la premescla té una gran importància en la quantitat de NO<sub>x</sub> generats, ja que com s'ha dit anteriorment la quantitat de depèn fortament de la pressió i de la temperatura que s'assoleixen en la cambra. D'aquesta fase també depenen la quantitat de partícules formades.

Finalment té lloc la última fase mitjançant la qual es crema la major part del combustible, degut a les elevades pressions i temperatures assolides a l'etapa anterior. La quantitat de NO<sub>x</sub> i partícules generats en aquesta etapa va disminuint en relació als generats durant l'etapa anterior.

### **3.2.3.2 Dosat**

Tal i com es pot observar en la Figura 3.3 .La quantitat de NO<sub>x</sub> i partícules emeses, varia en funció del dosat de combustible que s'empri. On s'observa com a dosats molt pobres



les emissions de  $\text{NO}_x$  i partícules són mínimes i augmenten progressivament a mesura que es va augmentant el dosat.

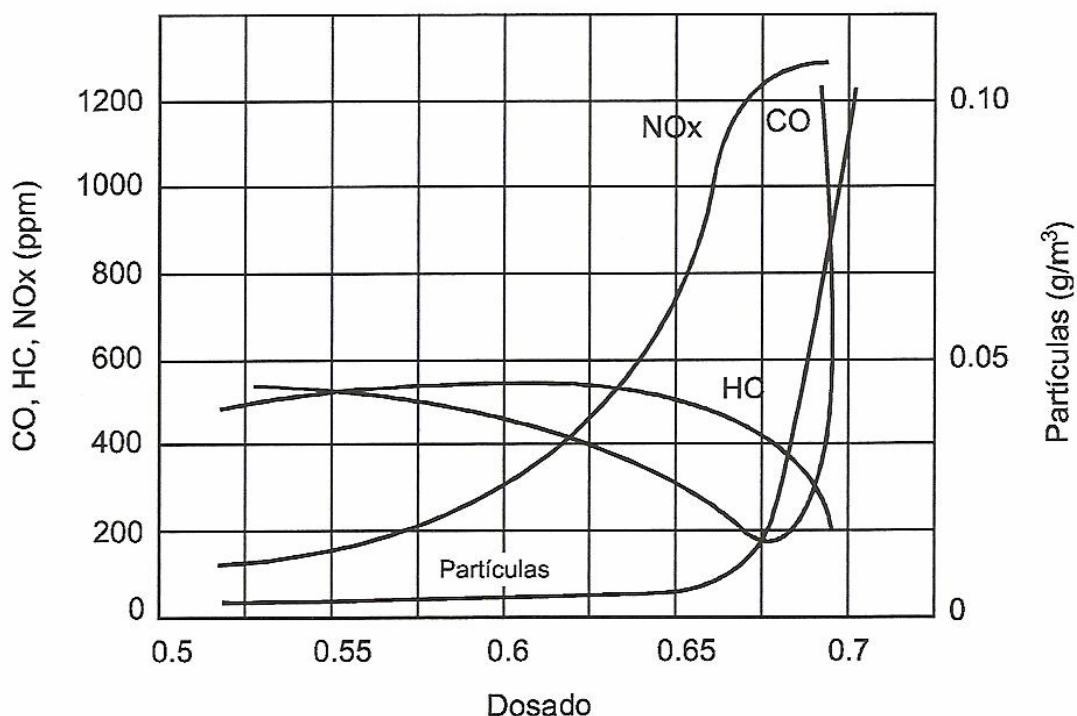


Figura 3.3 Efectes del dosat sobre les emissions de contaminants en un MEC [2]

### 3.2.4 Mètodes de reducció de contaminants en els MEC

Com en els motors MEC, un dels mètodes emprats per tal de reduir la formació de  $\text{NO}_x$  és l'utilització de les vàlvules EGR, però també s'empen sistemes d'injecció orientats a la reducció de la fase de premescla, de forma que aquesta es realitza en dues fases: una primera en la qual s'aporta menys quantitat de combustible, i una segona en la qual es produeix la injecció principal.

Per tal de reduir l'emissió de partícules es poden emprar equips d'injecció de major pressió i menor mida de gota o com s'ha dit anteriorment reduint el dosat, cosa que implica una disminució de la potència específica del motor. També es poden emprar filtres.



## 4 Estat actual del parc d'automòbils de Barcelona

El parc total d'automòbils de la ciutat de Barcelona ha anat creixent al llarg dels anys, En la Figura 4.4 es mostra aquest creixement.

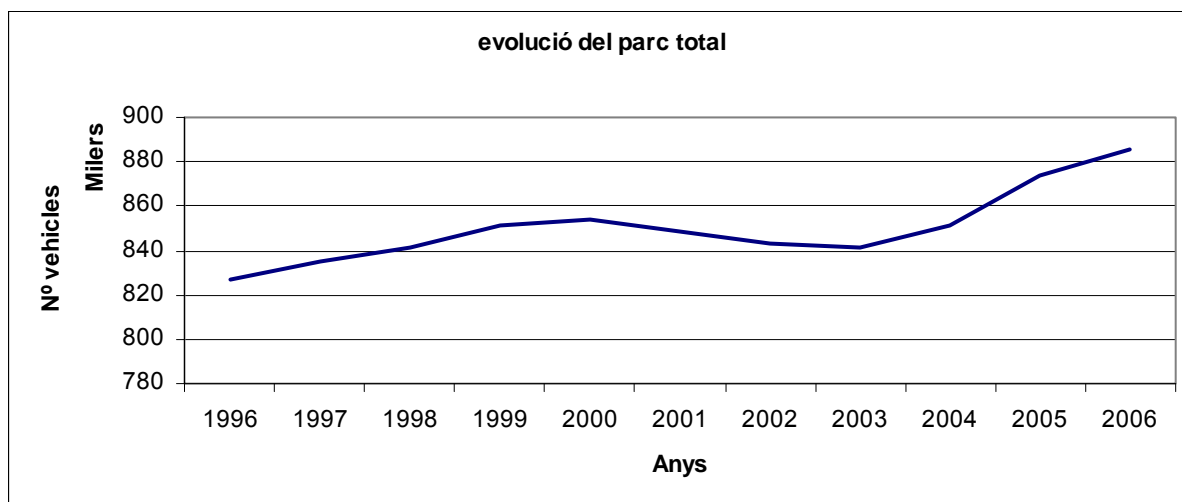


Figura 4.4 Evolució anual del parc total d'automòbils de la ciutat de Barcelona [3]

S'observa com en general el parc d'automòbils augmenta, excepte en el tram que va des de l'any 2001 al 2003 aproximadament en el que el parc disminueix. Per tant, cada any es van renovant vehicles antics i se n'introdueixen de nous de tal forma que el global del parc augmenta.

Així cada any es va fent una renovació del parc, es donen de baixa els vehicles més antics i se n'incorporen de nous, col·laborant així a la reducció de les emissions dels gasos contaminants, ja que els cotxes nous que s'introdueixen, compleixen una normativa d'emissions molt més estricta.

En la Figura 4.5 es mostra la distribució anual del parc per diferents anys. Així per exemple la línia blava mostra el parc de vehicles de l'any 2006, distribuïts segons els anys de matriculació d'aquests. Si la comparen amb la línia magenta (any 2005), s'observa com hi ha menys automòbils de anys anteriors al 2005, però al 2006 s'introdueixen de nous, cosa que contribueix a la renovació del parc a la vegada que pot augmentar.



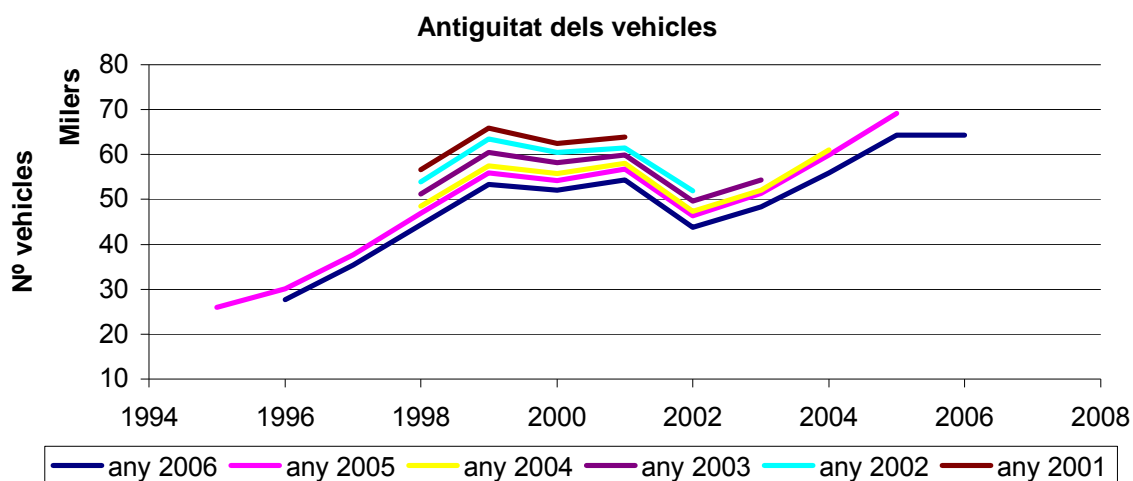


Figura 4.5 Parc d'automòbils segons antiguitat dels anys 2001 a 2006 [3]

El parc de vehicles de l'any 2006 de la ciutat de Barcelona agrupat segons els anys segueix la distribució que es mostra a la Figura 4.5. Però per tal de realitzar l'estudi es necessita les dades agrupades per tipus de vehicles a més a més de la distribució anual.

El parc de vehicles agrupat per anys i per categories és el que es mostra a la Taula 4.1 i s'ha calculat seguint el procediment explicat a l'Annex B.





<b>Parc de vehicles de Barcelona (any 2006)</b>						
<b>Categoria</b>	<b>M1</b>	<b>N1</b>	<b>M1</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>
<b>Anys</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Dièsel</b>	<b>Dièsel</b>	<b>Dièsel</b>	<b>Dièsel</b>
<b>&lt; 1990</b>	109952	3989	17208	9723	1941	1280
<b>1991</b>	12017	438	4384	1458	81	36
<b>1992</b>	12017	438	4384	1458	81	36
<b>1993</b>	12017	438	4384	1458	81	36
<b>1994</b>	12017	438	4384	1458	81	36
<b>1995</b>	12017	438	4384	1458	81	36
<b>1996</b>	12470	342	9164	1874	46	15
<b>1997</b>	14318	486	12009	2896	82	31
<b>1998</b>	16426	487	16463	3449	102	47
<b>1999</b>	18697	552	20398	5216	191	101
<b>2000</b>	17578	471	20948	4623	176	97
<b>2001</b>	19623	472	21733	4020	157	95
<b>2002</b>	13835	235	19101	2853	120	77
<b>2003</b>	13874	334	22171	2947	71	52
<b>2004</b>	13583	377	26356	3444	64	48
<b>2005</b>	12862	341	28246	4216	78	54
<b>2006</b>	11811	309	27019	4201	92	68

Taula 4.1 Parc de vehicles de Barcelona segons categoria, tipus de combustible i any [3]

A la Taula 4.1 es pot intuir que la gran majoria del parc és el compost per vehicles de la categoria M1, és a dir, de turismes, en detriment del vehicles dedicats al transport de mercaderies, però que encara que estiguin en menor quantitat no són menyspreables, ja que encara que estiguin en menor quantitat la seva contribució a la contaminació pot ser que sigui no menyspreable, ja que aquest tipus de vehicles recorren més kilòmetres a la vegada que tenen un potencial contaminant en g/km molt major que els de la categoria M1.

A més a més també s'observa que una part important del parc és més antiga a l'any 1990, cosa que significa que el parc d'automòbils és força antic, i que per tant té un potencial contaminant en g/km molt elevat, ja que la normativa europea de emissions dels vehicles s'ha anat endurint.



En la Figura 4.6 es pot veure la distribució del parc, en el temps i entre categories. La discontinuïtat que es troba a l'any 1996 indica que en els anys anteriors els vehicles es troben acumulats entre anys. És a dir, per exemple a l'any 1991 es troben els de l'any 91 i anteriors, per això estan en major nombre.

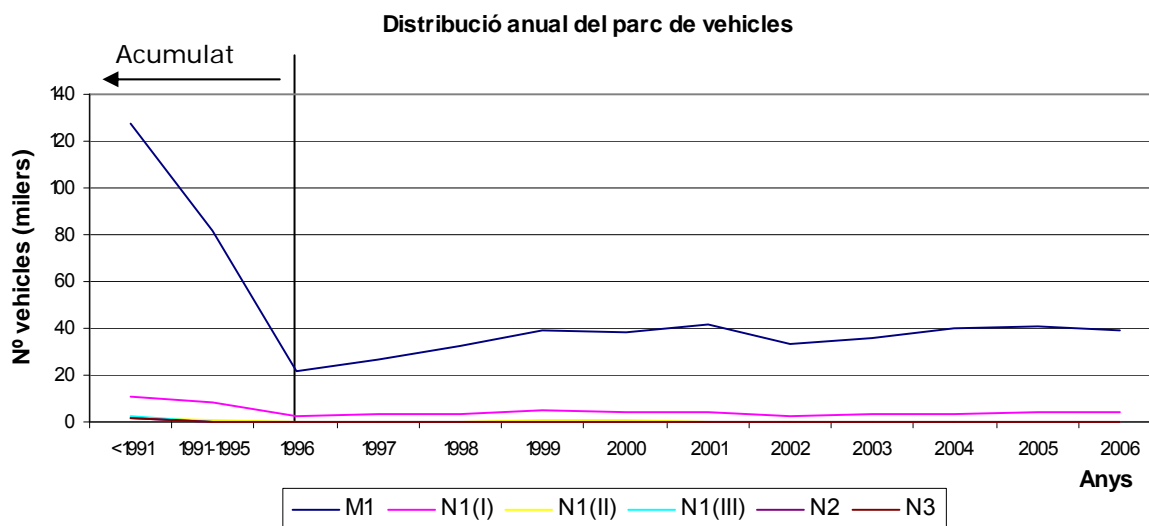


Figura 4.6 Distribució del parc (any 2006) segons categoria i any [3]

Si s'extreuen els vehicles anteriors a l'any 1995, que a l'estar acumulats distorsionen la gràfica s'obté la Figura 4.7. On s'observa més clarament com els vehicles de la categoria M són els que estan en major mesura.

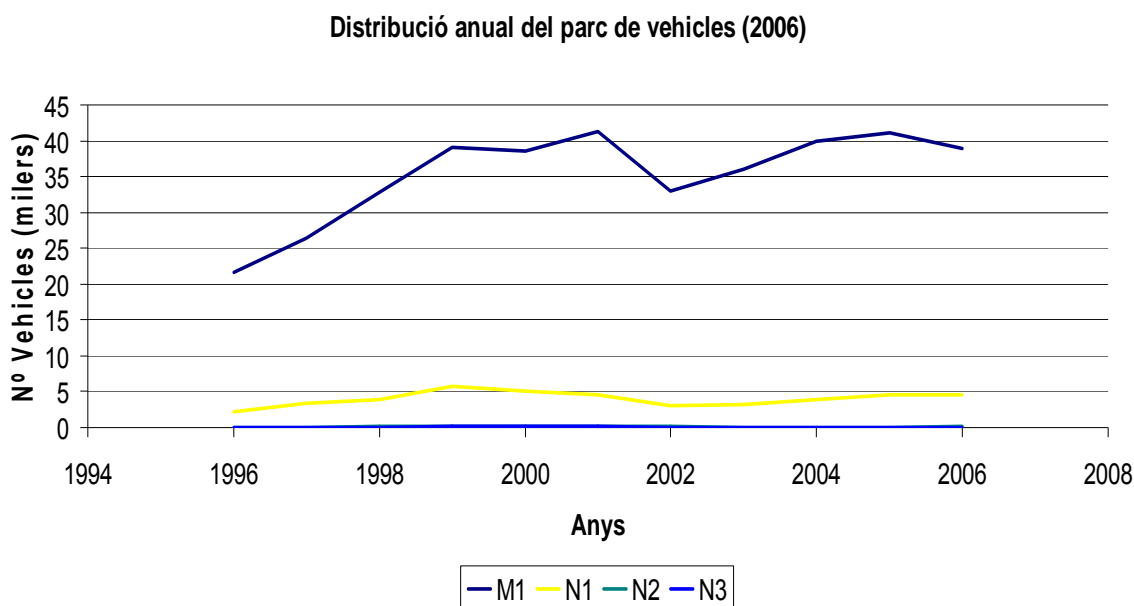


Figura 4.7 Distribució anual del parc (any 2006) segons categoria i any [3]

Finalment es mostra la gràfica de la distribució del parc acumulat, Figura 4.8, és a dir a cada any, enlloc de mostrar-se els vehicles corresponents a aquest any, es mostra la suma dels vehicles d'aquest any i dels anteriors.

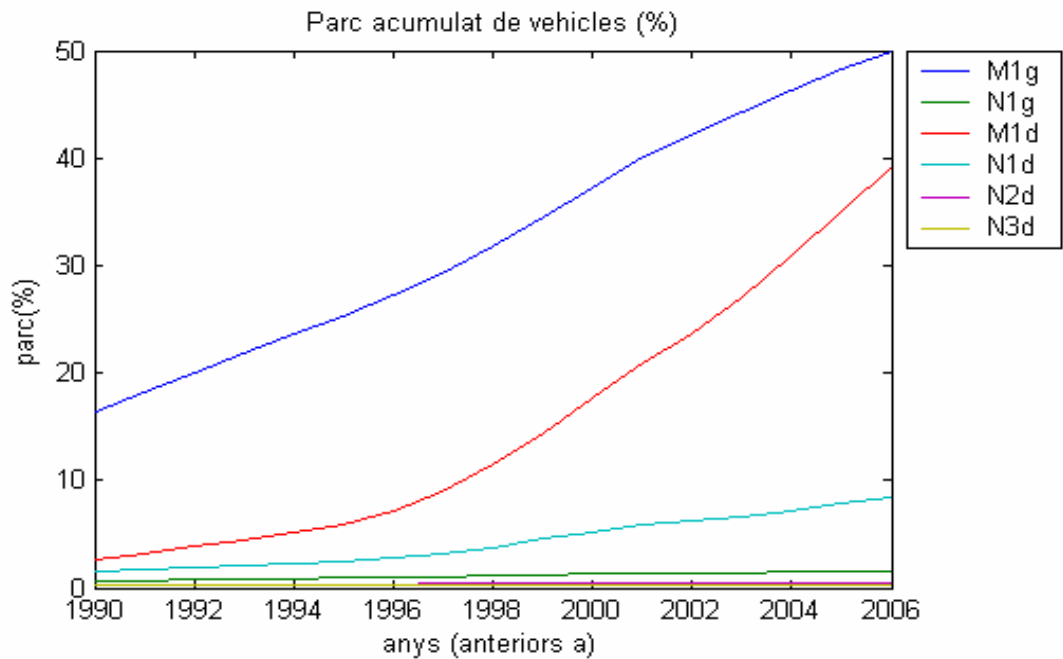


Figura 4.8 Parc de vehicles acumulat (%)





## 5 Normativa aplicable

Tal i com es mostra en l'Annex C la normativa europea d'emissions, tant pel que fa als NO<sub>x</sub> com a la partícules PM<sub>10</sub> ha anat variant al llarg del temps.

En la Taula 5.2 i la Taula 5.3 es mostra la normativa en g/km que han de complir els automòbils, en referència als òxids de nitrogen i les partícules, segons categoria i any en el qual és té dades sobre el parc.

### 5.1 NO<sub>x</sub>

Per tal d'aproximar les emissions dels vehicles segons l'any del qual tenim dades, s'ha considerat que les directives que segueixen, encara que tenim dades de matriculació, són les corresponents a dates d'homologació, ja que així es fa una aproximació més conservadora.

A més a més també s'ha considerat que tot i que han passat els anys l'eficiència dels vehicles, segueix essent la mateixa i que, per tant, emeten el que marca la normativa.

Finalment, agrupant les dades de les taules de l'annex C corresponent a la normativa d'emissions de NO<sub>x</sub>, s'obtenen les emissions dels diferents tipus de vehicles, depenent de l'any de matriculació d'aquests:



Límits emissions NO <sub>x</sub> en mg/km						
	M1	N1	M1	N1	N2	N3
Anys	Gasolina	Gasolina	Dièsel	Dièsel	Dièsel	Dièsel
1990	620	417	620	1260	10800	16457
1991	417	417	873	1260	6000	9143
1992	417	417	873	1260	6000	9143
1993	417	417	873	1260	6000	9143
1994	417	417	873	1260	6000	9143
1995	417	417	873	1260	6000	9143
1996	215	417	630	1260	5250	8000
1997	215	215	630	900	5250	8000
1998	215	215	630	900	5250	8000
1999	215	215	630	900	5250	8000
2000	150	150	500	650	3750	5714
2001	150	150	500	650	3750	5714
2002	150	150	500	650	3750	5714
2003	150	150	500	650	3750	5714
2004	150	150	500	650	3750	5714
2005	80	80	250	330	2625	4000
2006	80	80	250	330	2625	4000

Taula 5.2 Límits emissions de NO<sub>x</sub> en g/km per categoria i any.

En la s'observa la diferència en els límits, tant pel que fa als anys, com a la gran diferència entre categories, especialment entre els camions de la categoria N2 i N3 respecte els de les categories M1 i N1. Essent així de gran importància la contaminació per NO<sub>x</sub> dels camions, ja que a la vegada que el límit permès és molt superior al de les altres categories, aquest tipus de vehicles realitzen un major quilometratge.

## 5.2 Partícules PM<sub>10</sub>

Amb la normativa esmentada en l'annex C, s'ha realitzat la Taula 5.3, on es resumeix la normativa sobre contaminació per PM<sub>10</sub> segons categoria i any d'homologació dels vehicles.



<b>Límits emissions partícules (PM<sub>10</sub>) en mg/km</b>						
	<b>M1</b>	<b>N1</b>	<b>M1</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>
<b>Anys</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Dièsel</b>	<b>Dièsel</b>	<b>Dièsel</b>	<b>Dièsel</b>
<b>1990</b>	5	5	124	190	270	411
<b>1991</b>	5	5	170	190	270	411
<b>1992</b>	5	5	170	190	270	411
<b>1993</b>	5	5	170	190	270	411
<b>1994</b>	5	5	170	190	270	411
<b>1995</b>	5	5	170	190	270	411
<b>1996</b>	5	5	80	190	113	171
<b>1997</b>	5	5	80	120	113	171
<b>1998</b>	5	5	80	120	113	171
<b>1999</b>	5	5	80	120	113	171
<b>2000</b>	5	5	50	70	75	114
<b>2001</b>	5	5	50	70	75	114
<b>2002</b>	5	5	50	70	75	114
<b>2003</b>	5	5	50	70	75	114
<b>2004</b>	5	5	50	70	75	114
<b>2005</b>	5	5	25	40	15	23
<b>2006</b>	5	5	25	40	15	23

Taula 5.3 Límits emissions de PM<sub>10</sub> en g/km segons normativa europea , per categoria i any.

Com en el cas dels NO<sub>x</sub> s'observa una major importància a la contribució a la contaminació per partícules dels vehicles de les categories N2 i N3, encara que la diferència no és tant gran com en el cas anterior. Però en aquest cas on sí hi ha una gran disminució és entre els diferents anys, en totes les categories de vehicles Dièsel s'observa que els límits d'emissions de l'any 2006 són més de deu cops menor que les de l'any 1990.







## 6 Potencial contaminant dels vehicles

Amb les dades de normativa i de parc abans esmentades, es calcularà en primer lloc el potencial contaminant en g/km segons la categoria i l'antiguitat del vehicle.

Però per tal de saber quina seria l'opció que reduiria en major quantitat les emissions de NO<sub>x</sub> i partícules PM10 es necessita una aproximació dels g/dia o g/anys que emeten els diferents vehicles. Per tal de fer-ho és necessari saber quin és el recorregut diari que realitzen els diferents vehicles. Un cop realitzat aquest càlcul ja es podrà procedir a concretar les accions que es poden dur a terme per reduir la contaminació i quin serà l'impacte que tindran.

### 6.1 Potencial contaminant en g/km

Per tal de calcular el potencial contaminant del parc s'ha multiplicat les dades del parc per la normativa aplicable segons antiguitat i categoria –en g/(km·vehicle)–. Les dades obtingudes, en g/km, són les que es mostren a la Taula 6.4 i la Taula 6.5. En elles es pot observar, com era d'esperar que la categoria que contribueix a la contaminació atmosfèrica en major mesura, és la dels vehicles M1, ja que són els que es troben en major quantitat.

#### 6.1.1 NO<sub>x</sub>

Potencial contaminant en g/km segons categoria i antiguitat

Anys	M1		N1		M1	
	Gasolina		Gasolina		Dièsel	
1990	68170	19,06%	1663	0,47%	10669	2,98%
1991	5011	1,40%	183	0,05%	3827	1,07%
1992	5011	1,40%	183	0,05%	3827	1,07%
1993	5011	1,40%	183	0,05%	3827	1,07%
1994	5011	1,40%	183	0,05%	3827	1,07%
1995	5011	1,40%	183	0,05%	3827	1,07%
1996	2681	0,75%	143	0,04%	5773	1,61%
1997	3078	0,86%	104	0,03%	7566	2,12%
1998	3532	0,99%	105	0,03%	10372	2,90%



<b>1999</b>	4020	1,12%	119	0,03%	12851	3,59%
<b>2000</b>	2637	0,74%	71	0,02%	10474	2,93%
<b>2001</b>	2943	0,82%	71	0,02%	10867	3,04%
<b>2002</b>	2075	0,58%	35	0,01%	9551	2,67%
<b>2003</b>	2081	0,58%	50	0,01%	11086	3,10%
<b>2004</b>	2037	0,57%	57	0,02%	13178	3,68%
<b>2005</b>	1029	0,29%	27	0,01%	7061	1,97%
<b>2006</b>	945	0,26%	25	0,01%	6755	1,89%
<b>TOTAL</b>	120284	33,63%	3383	0,95%	135338	37,84%

Anys	N1		N2		N3	
	Dièsel		Dièsel		Dièsel	
<b>1990</b>	12251	3,43%	17469	4,88%	19928	5,57%
<b>1991</b>	1837	0,51%	407	0,11%	312	0,09%
<b>1992</b>	1837	0,51%	407	0,11%	312	0,09%
<b>1993</b>	1837	0,51%	407	0,11%	312	0,09%
<b>1994</b>	1837	0,51%	407	0,11%	312	0,09%
<b>1995</b>	1837	0,51%	407	0,11%	312	0,09%
<b>1996</b>	2361	0,66%	201	0,06%	115	0,03%
<b>1997</b>	3649	1,02%	360	0,10%	235	0,07%
<b>1998</b>	3104	0,87%	448	0,13%	359	0,10%
<b>1999</b>	4694	1,31%	835	0,23%	762	0,21%
<b>2000</b>	3005	0,84%	550	0,15%	526	0,15%
<b>2001</b>	2613	0,73%	492	0,14%	515	0,14%
<b>2002</b>	1854	0,52%	374	0,10%	416	0,12%
<b>2003</b>	1916	0,54%	221	0,06%	281	0,08%
<b>2004</b>	2238	0,63%	201	0,06%	261	0,07%
<b>2005</b>	1391	0,39%	170	0,05%	206	0,06%
<b>2006</b>	1386	0,39%	201	0,06%	258	0,07%
<b>TOTAL</b>	49650	13,88%	23559	6,59%	25421	7,11%

Taula 6.4 Potencial contaminant en g/km i percentatge de contaminació per NO<sub>x</sub>.

A la Figura 6.9 es mostra el potencial acumulat en percentatge, i el % de parc acumulat que representa.



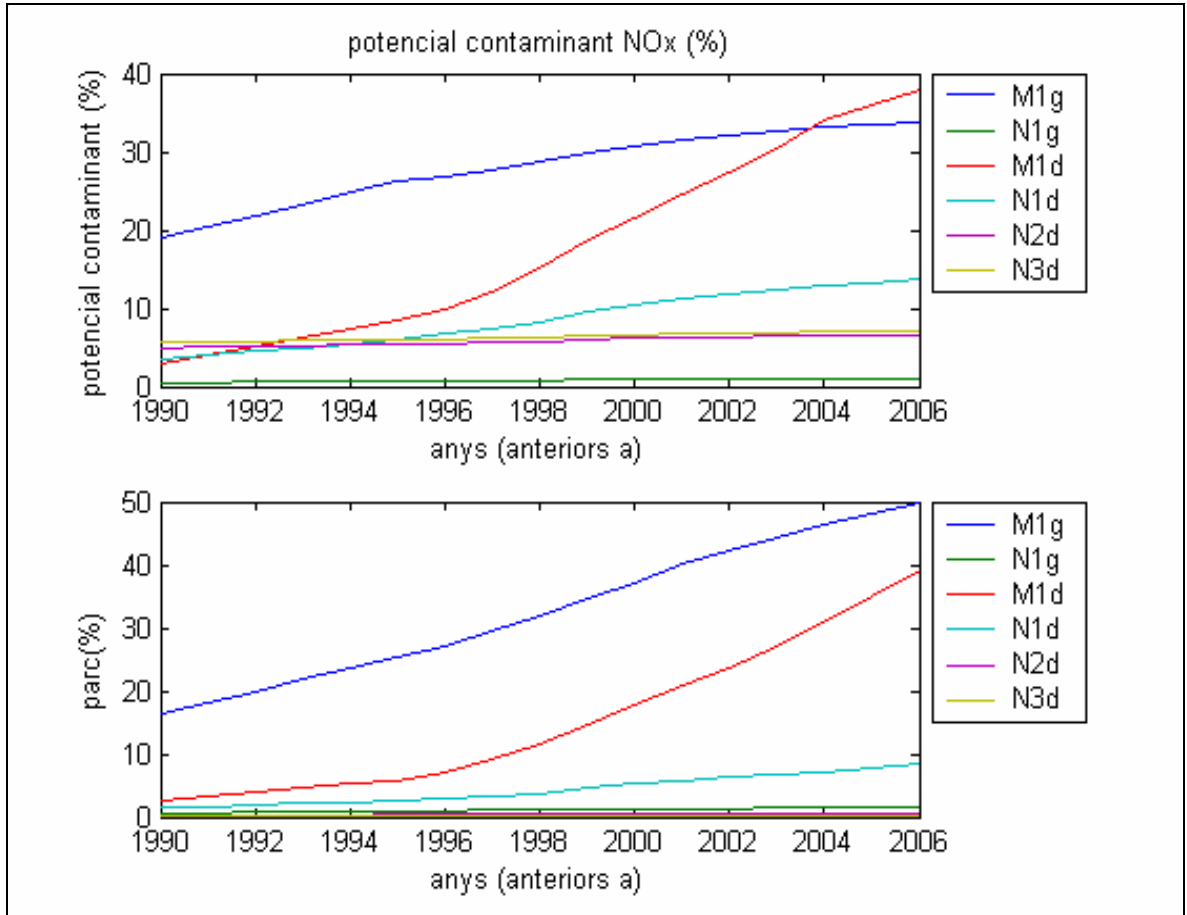


Figura 6.9 Potencial contaminant per NO<sub>x</sub> en g/km (%)

### 6.1.2 Partícules PM<sub>10</sub>

Potencial contaminant en g/km segons categoria i antiguitat

Anys	M1		N1		M1	
	Gasolina		Gasolina		Dièsel	
1990	550	2,03%	20	0,07%	2134	7,86%
1991	60	0,22%	2	0,01%	745	2,75%
1992	60	0,22%	2	0,01%	745	2,75%
1993	60	0,22%	2	0,01%	745	2,75%
1994	60	0,22%	2	0,01%	745	2,75%
1995	60	0,22%	2	0,01%	745	2,75%
1996	62	0,23%	2	0,01%	733	2,70%
1997	72	0,26%	2	0,01%	961	3,54%
1998	82	0,30%	2	0,01%	1317	4,85%



<b>1999</b>	93	0,34%	3	0,01%	1632	6,01%
<b>2000</b>	88	0,32%	2	0,01%	1047	3,86%
<b>2001</b>	98	0,36%	2	0,01%	1087	4,00%
<b>2002</b>	69	0,25%	1	0,00%	955	3,52%
<b>2003</b>	69	0,26%	2	0,01%	1109	4,08%
<b>2004</b>	68	0,25%	2	0,01%	1318	4,85%
<b>2005</b>	64	0,24%	2	0,01%	706	2,60%
<b>2006</b>	59	0,22%	2	0,01%	675	2,49%
<b>TOTAL</b>	1676	6,17%	53	0,19%	17400	64,10%

<b>Anys</b>	<b>N1</b>		<b>N2</b>		<b>N3</b>	
	<b>Dièsel</b>		<b>Dièsel</b>		<b>Dièsel</b>	
<b>1990</b>	1847	6,81%	437	1,61%	498	1,84%
<b>1991</b>	277	1,02%	18	0,07%	14	0,05%
<b>1992</b>	277	1,02%	18	0,07%	14	0,05%
<b>1993</b>	277	1,02%	18	0,07%	14	0,05%
<b>1994</b>	277	1,02%	18	0,07%	14	0,05%
<b>1995</b>	277	1,02%	18	0,07%	14	0,05%
<b>1996</b>	356	1,31%	4	0,02%	2	0,01%
<b>1997</b>	550	2,03%	8	0,03%	5	0,02%
<b>1998</b>	414	1,52%	10	0,04%	8	0,03%
<b>1999</b>	626	2,31%	18	0,07%	16	0,06%
<b>2000</b>	324	1,19%	11	0,04%	11	0,04%
<b>2001</b>	281	1,04%	10	0,04%	10	0,04%
<b>2002</b>	200	0,74%	7	0,03%	8	0,03%
<b>2003</b>	206	0,76%	4	0,02%	6	0,02%
<b>2004</b>	241	0,89%	4	0,01%	5	0,02%
<b>2005</b>	169	0,62%	1	0,00%	1	0,00%
<b>2006</b>	168	0,62%	1	0,00%	1	0,01%
<b>TOTAL</b>	6767	24,93%	607	2,24%	643	2,37%

Taula 6.5 Potencial contaminant en g/km i percentatge de contaminació per PM10.

En aquest cas s'observa també una major rellevància en el potencial contaminant dels vehicles M1 Dièsel, seguit dels vehicles dels de la categoria N1 Dièsel, s'intueix també



una diferència notable entre el percentatge de potencial contaminant total (8%) i el percentatge del parc que representa (~0%).

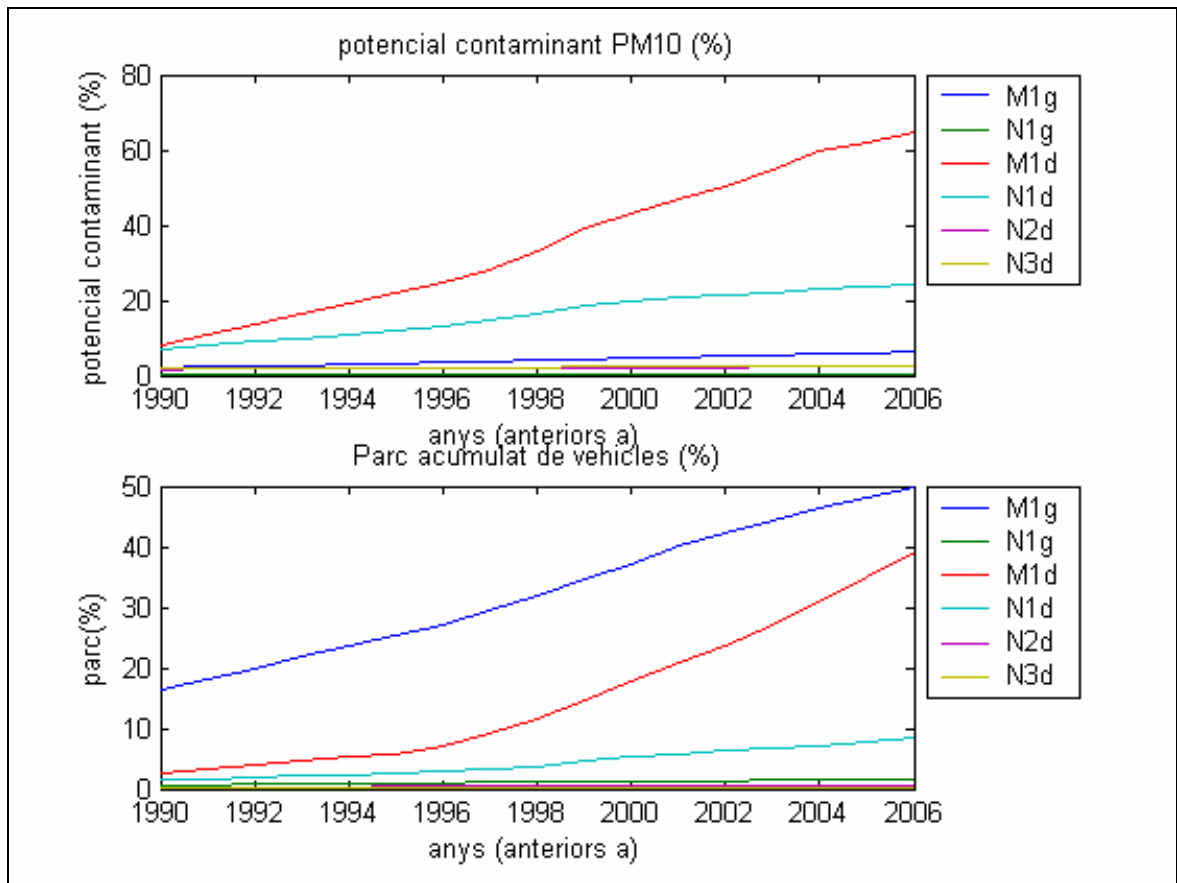


Figura 6.10 Potencial contaminant per PM<sub>10</sub> en g/km (%)

## 6.2 Potencial contaminant en g/dia

Per tal de fer una estimació més exacta de la contribució de les diferents categories al potencial contaminant, s'ha de considerar també els km/dia recorreguts per les diferents categories, ja que els vehicles de les categories N2 i N3 tenen un major quilometratge al estar en funcionament 10 hores diàries, en diferència als vehicles M1 i N1, que per tal de realitzar el present estudi s'ha considerat que realitzen una mitja de 11 km diaris.

Per tal de tenir una aproximació dels kilòmetres recorreguts pel camions N2 i N3, s'ha considerat el funcionament abans esmentat de 10 hores diàries, a una mitjana de velocitat de 20 km/h que correspon a u recorregut mig de 200 km/dia.



Amb les dades abans esmentades s'ha calculat el potencial en g/km. Els resultats obtinguts es mostren a la Taula 6.6 i la Taula 6.7 i es representen a la Figura 6.11 i la Figura 6.12.

En ambdós casos, com era d'esperar, s'observa una diferència notable amb la Figura 6.9 i la Figura 6.10, bàsicament en referència a l'augment considerable del potencial contaminant dels vehicles de la categoria N2 i N3.

### 6.2.1 NO<sub>x</sub>

Potencial contaminant en g/dia segons categoria i antiguitat

Anys	M1		N1		M1	
	Gasolina		Gasolina		Dièsel	
1990	749873	5,68%	18297	0,14%	117358	0,89%
1991	55122	0,42%	2010	0,02%	42100	0,32%
1992	55122	0,42%	2010	0,02%	42100	0,32%
1993	55122	0,42%	2010	0,02%	42100	0,32%
1994	55122	0,42%	2010	0,02%	42100	0,32%
1995	55122	0,42%	2010	0,02%	42100	0,32%
1996	29492	0,22%	1568	0,01%	63505	0,48%
1997	33861	0,26%	1149	0,01%	83226	0,63%
1998	38847	0,29%	1153	0,01%	114090	0,86%
1999	44217	0,34%	1305	0,01%	141361	1,07%
2000	29004	0,22%	777	0,01%	115213	0,87%
2001	32378	0,25%	778	0,01%	119533	0,91%
2002	22827	0,17%	387	0,00%	105057	0,80%
2003	22892	0,17%	551	0,00%	121942	0,92%
2004	22412	0,17%	622	0,00%	144957	1,10%
2005	11319	0,09%	301	0,00%	77676	0,59%
2006	10393	0,08%	272	0,00%	74303	0,56%
<b>TOTAL</b>	<b>1323125</b>	<b>10,03%</b>	<b>37210</b>	<b>0,28%</b>	<b>1488718</b>	<b>11,29%</b>



Anys	N1		N2		N3	
	Dièsel		Dièsel		Dièsel	
<b>1990</b>	134762	1,02%	3493785	26,49%	3985550	30,21%
<b>1991</b>	20211	0,15%	81490	0,62%	62394	0,47%
<b>1992</b>	20211	0,15%	81490	0,62%	62394	0,47%
<b>1993</b>	20211	0,15%	81490	0,62%	62394	0,47%
<b>1994</b>	20211	0,15%	81490	0,62%	62394	0,47%
<b>1995</b>	20211	0,15%	81490	0,62%	62394	0,47%
<b>1996</b>	25974	0,20%	40127	0,30%	22993	0,17%
<b>1997</b>	40137	0,30%	71951	0,55%	46935	0,36%
<b>1998</b>	34142	0,26%	89634	0,68%	71772	0,54%
<b>1999</b>	51637	0,39%	166968	1,27%	152330	1,15%
<b>2000</b>	33052	0,25%	110077	0,83%	105181	0,80%
<b>2001</b>	28742	0,22%	98377	0,75%	102971	0,78%
<b>2002</b>	20396	0,15%	74895	0,57%	83182	0,63%
<b>2003</b>	21072	0,16%	44299	0,34%	56280	0,43%
<b>2004</b>	24621	0,19%	40112	0,30%	52252	0,40%
<b>2005</b>	15306	0,12%	33996	0,26%	41132	0,31%
<b>2006</b>	15250	0,12%	40161	0,30%	51674	0,39%
<b>TOTAL</b>	546145	4,14%	4711834	35,72%	5084224	38,54%

Taula 6.6 Potencial contaminant en g/dia i percentatge de contaminació per NOx.

A la Figura 6.11 es mostra el potencial acumulat en percentatge, i el % de parc acumulat que representa.



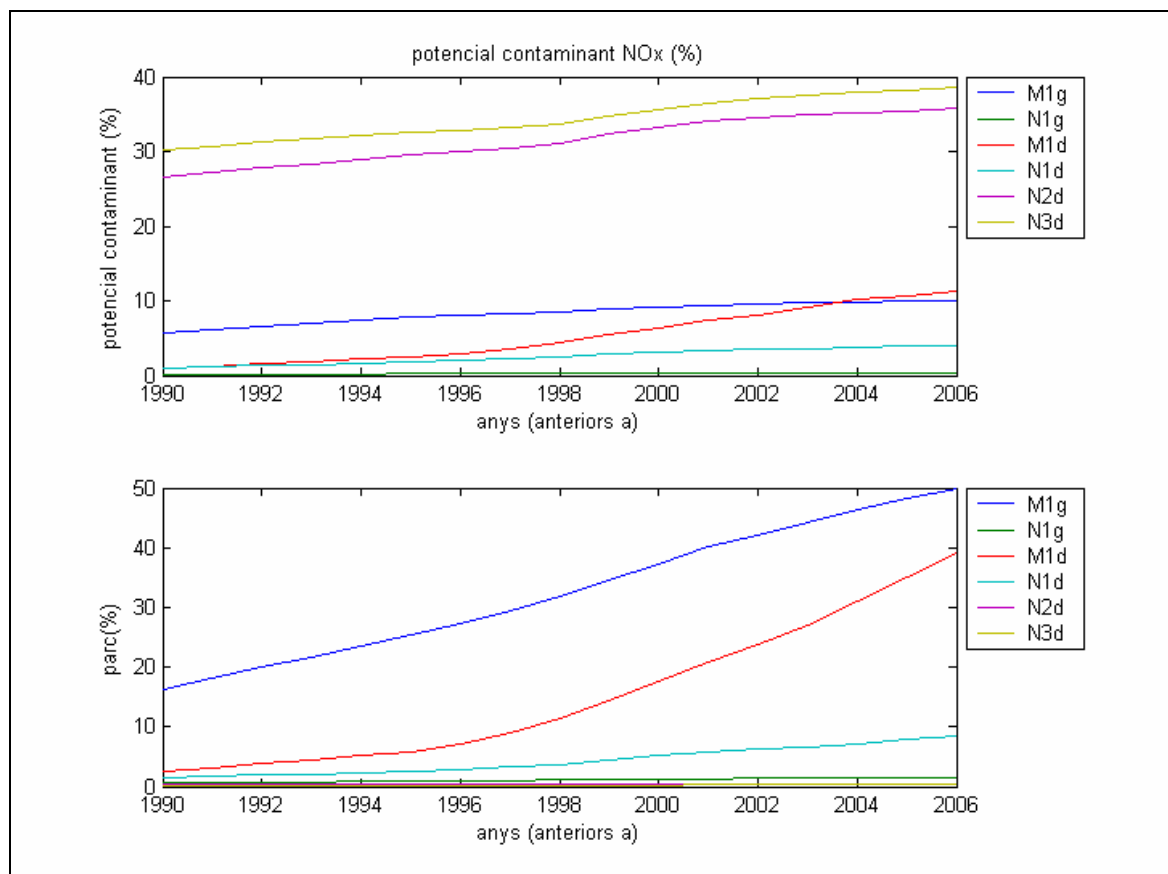


Figura 6.11 Potencial contaminant per NO<sub>x</sub> en g/dia (%)

Tant en la Taula 6.6 com en la Figura 6.11 s’observa que ara considerant els km/dia que recorren els diferents tipus de vehicles, hi ha un canvi notable amb el que s’obté sense tenir en compte aquest paràmetre (Taula 6.4). La diferència principal radica en la major aportació per part dels vehicles de la categoria N2 i N3 al potencial contaminant, on s’observa que aquesta augmenta del 8% a més d’un 40% cada una.

Aquest fet ja apunta que la forma més adient de reduir la contaminació per NO<sub>x</sub> anirà encaminada a realitzar alguna modificació en les categories N2 i N3 que són les que contribueixen a la major part de la contaminació a la vegada que representen un % del parc gairebé menyspreable, de l’ordre del 1%.

### 6.2.2 Partícules PM<sub>10</sub>

Potencial contaminant en g/km segons categoria i antiguitat





Anys	M1		N1		M1	
	Gasolina		Gasolina		Dièsel	
1990	6047	0.80%	219	0.03%	23472	3.09%
1991	661	0.09%	24	0.00%	8198	1.08%
1992	661	0.09%	24	0.00%	8198	1.08%
1993	661	0.09%	24	0.00%	8198	1.08%
1994	661	0.09%	24	0.00%	8198	1.08%
1995	661	0.09%	24	0.00%	8198	1.08%
1996	686	0.09%	19	0.00%	8064	1.06%
1997	787	0.10%	27	0.00%	10568	1.39%
1998	903	0.12%	27	0.00%	14488	1.91%
1999	1028	0.14%	30	0.00%	17951	2.37%
2000	967	0.13%	26	0.00%	11521	1.52%
2001	1079	0.14%	26	0.00%	11953	1.58%
2002	761	0.10%	13	0.00%	10506	1.38%
2003	763	0.10%	18	0.00%	12194	1.61%
2004	747	0.10%	21	0.00%	14496	1.91%
2005	707	0.09%	19	0.00%	7768	1.02%
2006	650	0.09%	17	0.00%	7430	0.98%
<b>TOTAL</b>	<b>18431</b>	<b>2.43%</b>	<b>582</b>	<b>0.08%</b>	<b>191401</b>	<b>25.22%</b>

Anys	N1		N2		N3	
	Dièsel		Dièsel		Dièsel	
1990	20321	3,80%	87345	16,33%	99639	18,63%
1991	3048	0,57%	3667	0,69%	2808	0,53%
1992	3048	0,57%	3667	0,69%	2808	0,53%
1993	3048	0,57%	3667	0,69%	2808	0,53%
1994	3048	0,57%	3667	0,69%	2808	0,53%
1995	3048	0,57%	3667	0,69%	2808	0,53%
1996	3917	0,73%	860	0,16%	493	0,09%
1997	6052	1,13%	1542	0,29%	1006	0,19%
1998	4552	0,85%	1921	0,36%	1538	0,29%
1999	6885	1,29%	3578	0,67%	3264	0,61%
2000	3559	0,67%	2202	0,41%	2104	0,39%
2001	3095	0,58%	1968	0,37%	2059	0,39%



<b>2002</b>	2197	0,41%	1498	0,28%	1664	0,31%
<b>2003</b>	2269	0,42%	886	0,17%	1126	0,21%
<b>2004</b>	2652	0,50%	802	0,15%	1045	0,20%
<b>2005</b>	1855	0,35%	194	0,04%	235	0,04%
<b>2006</b>	1849	0,35%	229	0,04%	295	0,06%
<b>TOTAL</b>	74442	13,92%	121359	22,70%	128506	24,03%

Taula 6.7 Potencial contaminant en g/dia i percentatge de contaminació per PM<sub>10</sub>.

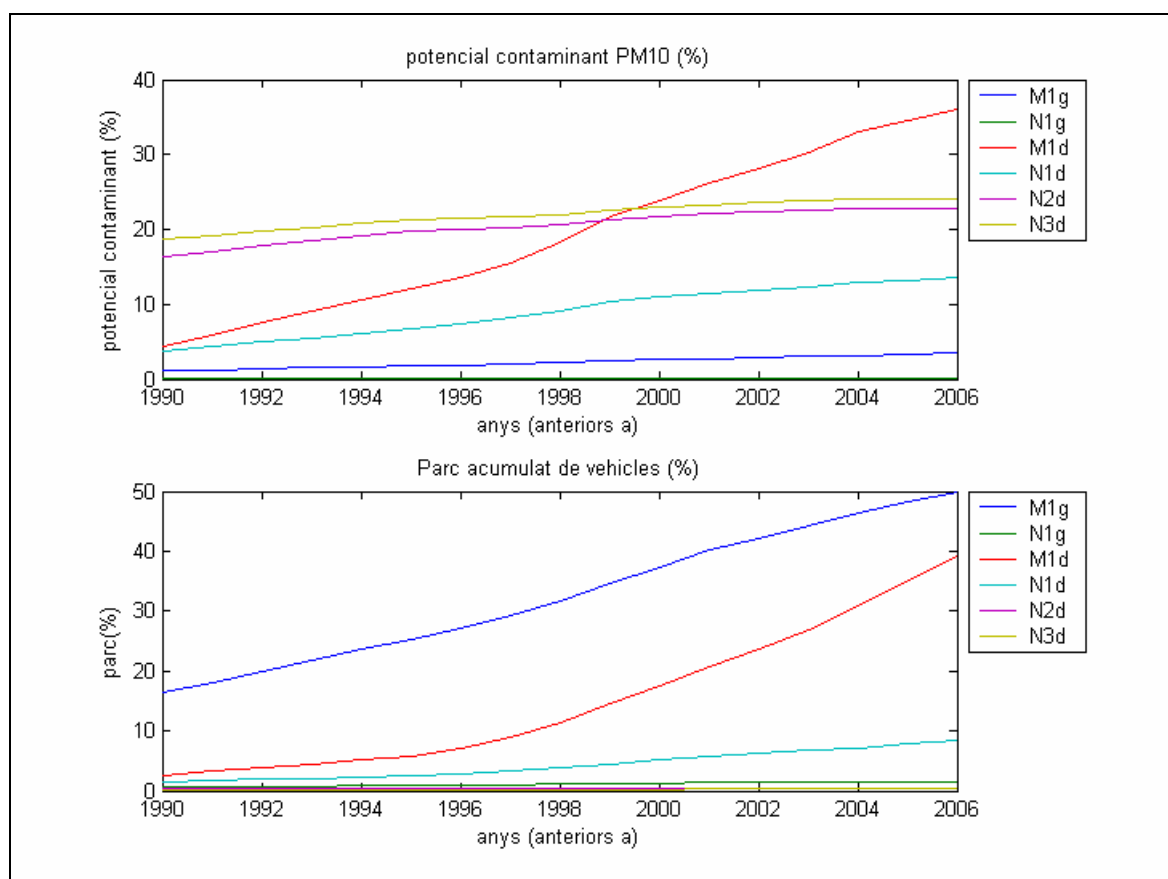


Figura 6.12 Potencial contaminant per PM<sub>10</sub> en g/dia (%)

En aquest cas també s’observa un augment considerable del potencial contaminant dels vehicles de les categories N2 i N3, encara que no tant accentuat com en el cas anterior.



## 7 Tecnologia disponible

A continuació es mostra una llista de diferents tecnologies emprades en la actualitat per tal de disminuir les emissions de partícules contaminants dels vehicles a motor. També s'explicarà resumidament el principi de funcionament de cadascun d'ells així com quines són les companyies que els fabriquen.

### 7.1 SCR (*Selectiv Catalitic Reduction*)

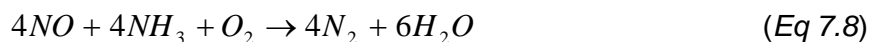
En el sistema SCR té lloc una reducció catalítica selectiva dels òxids de nitrogen. Per tal que aquesta reducció tingui lloc és necessari la introducció d'un agent reductor, que en aquest cas serà el Adblue<sup>®</sup>, que és una solució aquosa d'urea.

Aquesta solució és injectada en una cambra on es barreja amb els gasos d'escapament. Per tal que aquesta injecció sigui òptima s'haurà de controlar que la pressió de l'injector sigui elevada i que el disseny de la canonada que condueix.

En aquesta primera cambra l'urea comença a descompondre a amoníac (Eq 7.7), que és l'agent reductor dels òxids de nitrogen.



Posteriorment la mescla dels gasos d'escapament, amoníac i urea passa a la cambra on té lloc la reducció catalítica (Eq 7.8), on s'accelera la reacció entre l'amoni i els òxids de nitrogen produint Nitrogen i aigua.



Tenint en compte la reacció (Eq 7.8) s'observa que s'haurà de controlar que la quantitat introduïda de NH<sub>3</sub> sigui la estequiomètrica, ja que en cas que es trobés en defecte no es consumirien tots els òxids i en el cas que es trobés en excés s'emetria l'amoníac sobrant. Per tal d'evitar aquestes situacions el sistema està dotat d'una sèrie de sensors que eviten que això tingui lloc.

Amb aquesta tecnologia, segons informació de diferents fabricants, com ara EminoX [10] o BASF [9], s'aconsegueix una reducció del 80% dels òxids de nitrogen.



En la Figura 7.13 s'observa el sistema SCR de BASF implantat en un camió, així com l'esquema de funcionament d'aquest.

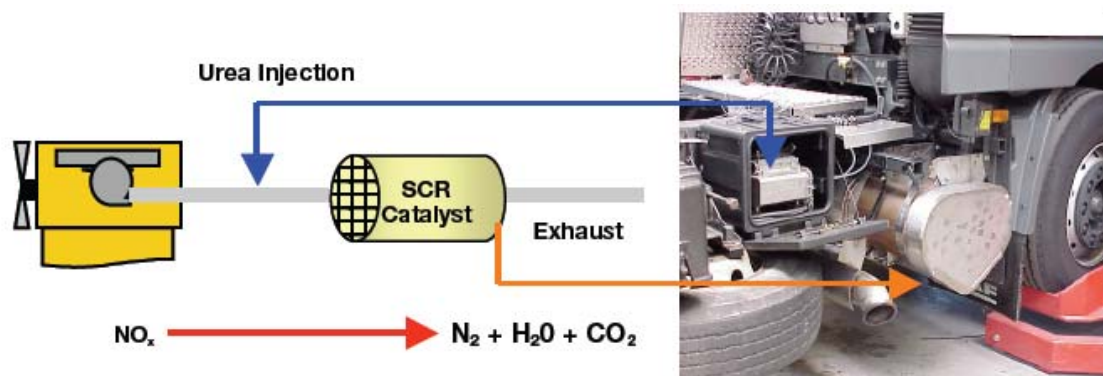


Figura 7.13 Implantació del sistema SCR BASF en un camió i esquema de funcionament [9].

## 7.2 CRT (Continuously Regeneration Trap)

El sistema CRT funciona oxidant el sutge en la presència de  $\text{NO}_2$  que es troba a  $250^\circ\text{C}$ , molt inferior als  $600^\circ\text{C}$  que hauria d'estar en cas que l'oxidació tingués amb oxigen, per tant no és necessària una aportació de calor extra, ja que els gasos d'escapament ja es troben a aquesta temperatura quan entren.

El sistema està format per dues cambres:

En la primera hi ha platí actiu que actua com a catalitzador d'oxidació. Els gasos d'escapament entren en aquesta cambra a través d'un difusor que és l'encarregat de distribuir el gas i és allí on degut a la presència del platí, el CO i els HC s'oxiden a  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  i els NO a  $\text{NO}_2$ , mitjançant les reaccions (Eq 7.9), (Eq 7.10) i (Eq 7.11)



En la segona cambra es troba el filtre que és l'encarregat d'atrapar les partícules a la vegada que el  $\text{NO}_2$  anteriorment format oxida aquestes partícules a  $\text{CO}_2$  reduint-se el  $\text{NO}_2$  a NO (Eq 7.12)





A aquest equip se li pot acoblar fàcilment el mòdul SCR per tal de reduir a la vegada les partícules i els NO<sub>x</sub>, o un mòdul de diagnòstic que introdueix en el sistema una realimentació durant la operació, que assegura una reducció de les emissions òptima.

Les característiques d'aquest equip són les següent:

- Reducció dels HC, CO i PM en més d'un 90%.
- Verificat per l'EPA i tfl.
- No necessita de gasoil o calor suplementaris.
- Opera amb Gasoil amb una concentració de Sofre de 15 ppm o inferior.
- Mínim manteniment. S'ha de netejar el filtre cada 100.000 –160.000 km.

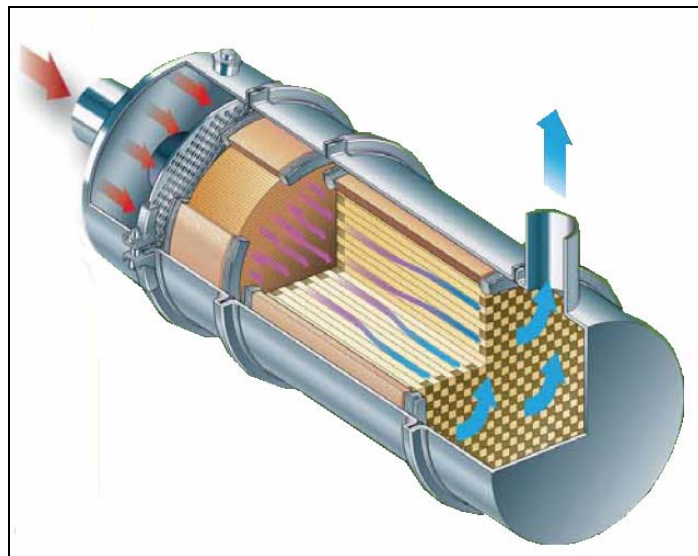


Figura 7.14 Tall d'un filtre CRT de Johnson Matthey [11].

Un nou model és l'anomenat CCRT (Catalysed Continuously Regeneration Trap) que permet treballar en un major rang de temperatures i composició dels fums d'escapament. SCRT i Dino<sub>x</sub>

El sistema SCRT està format mitjançant la unió dels sistemes CRT i el SCR aconseguint així una reducció tant en les emissions de partícules com les de NO<sub>x</sub>, i permet a vehicles



que compleixen les normatives Euro 1 a 3 arribar a aconseguir complir els requisits de les normatives 4 i 5.

El funcionament és el mateix que els dos en què es compona és a dir en primer lloc es troba el model CRT en el què es redueixen les partícules, HC i els CO per posteriorment passar a la zona on es troba el catalitzador SCR on s'extreuen els òxids de nitrogen amb el reductor AdBlue.

En la Figura 7.15 es mostra un tall d'un filtre SCRT on s'observen les dues cambres amb els respectius filtres i catalitzadors, així com allà on té lloc la injecció d'urea.

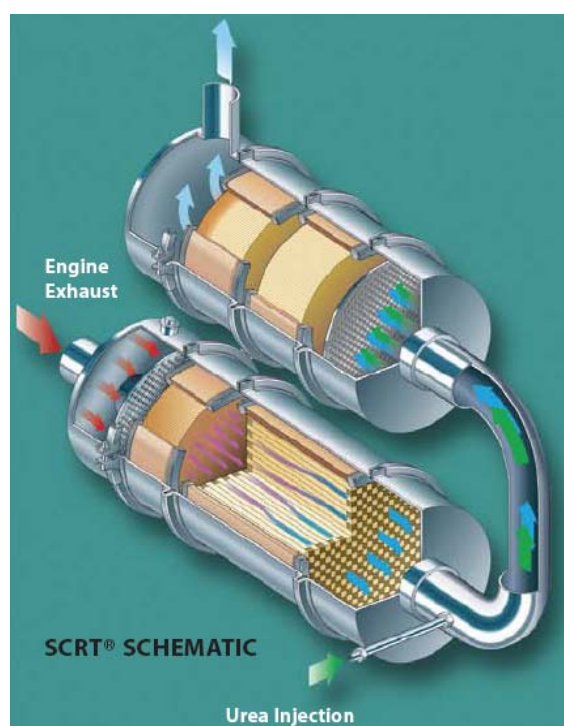


Figura 7.15 Tall d'un filtre SCRT® de Johnson Matthey [11].

Una altra companyia que empra una tecnologia similar és Dinex [12] (UK), en l'anomenat Dino<sub>x</sub>® system, en el que es combinen un filtre de partícules (DPF) i dos SCR muntats en paral·lel (Figura 7.16).



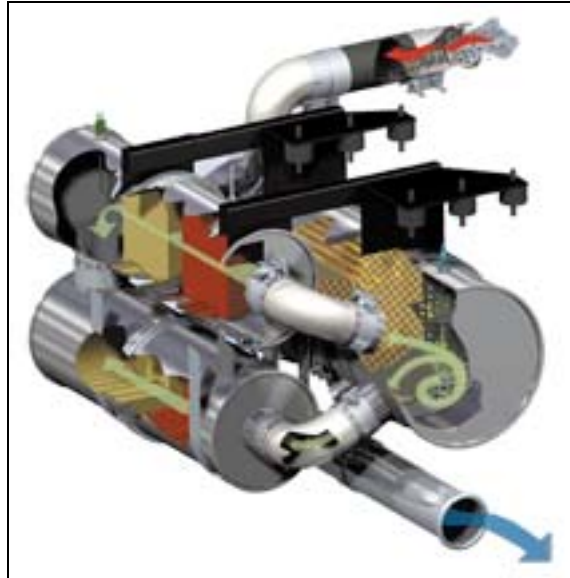


Figura 7.16 Sistema Dinnox<sup>®</sup> en el que es combina un filtre de partícules amb dos sistemes SCR en paral·lel [12].

### ***7.3 DPX (Dièsel Particulate Filter)***

El funcionament del filtre DPX d'Engelhard [9] es basa en l'anomenat efecte paret, en aquest procés els gasos d'escapament entren en diferents canals sense sortida on el carbó sense cremar es diposita i els gasos d'escapament travessen les parets poroses amb una estructura de porus definida. Així les partícules atrapades són cremades gràcies a l'acció catalítica dels components del filtre i a les elevades temperatures dels gasos d'escapament, tal com es mostra en la Figura 7.17.



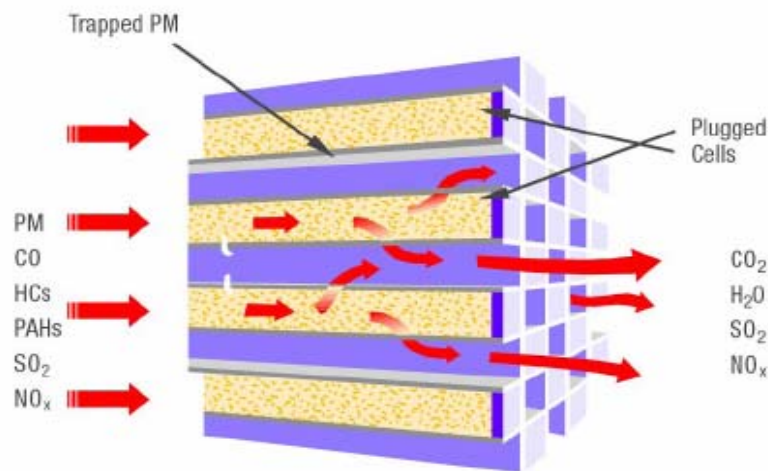


Figura 7.17 Principi de funcionament del filtre DPX d'Engelhard [9].

Característiques:

- Està provat en desenes de milers de camions i autobusos arreu del món.
- Pot atrapar partícules de mida inferior a 1 desè de  $\mu\text{m}$ , que inclou la majoria de les partícules  $\text{PM}_{10}$ .
- Pot reduir les emissions per partícules un 60%, segons la EPA.
- No requereix assistència addicional pel seu manteniment i és de fàcil instal·lació.

#### **7.4 FBC (Fuel Borne Catalysts)**

Algunes de les companyies que empren aquest tipus de tecnologia, amb les seves diferents variants, depenent del fabricant, són:

- Astra Vehicles Technology [13]
- Gat Eurokat [14]
- Pirelli Ambiente [15]

Aquest filtre és capaç d'extreure més d'un 90% de les partícules, sense impactar negativament en les emissions d'altres agents contaminants com els  $\text{NO}_x$ .

Està compost de 3 elements bàsics que són els que fan possible aquesta reducció i són:





- **Filtre de partícules:** Es tracta d'un filtre rugós que de carbur de silici fabricat en forma de rusc, d'elevada eficiència i tèrmicament robust. Es troba situat a l'interior d'un silenciador modular d'acer inoxidable. El sotge catalitzat juntament amb el gas passen a través dels canals de filtre, on les parets ceràmiques dels porus permeten que el gas circuli a través d'ells, atrapant les partícules. Aquesta operació requereix una temperatura elevada per tal que el sotge es pugui cremar, que s'assoleix amb facilitat en l'operació normal del vehicle. En el cas que no sigui possible aconseguir-la es realitza la regeneració del filtre, procés que posteriorment s'explicarà detalladament.
- **Introducció dels additius:** En aquesta part es troben el tanc d'emmagatzematge del FBC (Fuel Borne Catalyst) que és l'encarregat de fer disminuir la temperatura d'ignició del sotge; la bomba d'injecció d'aquest . El FBC es consumeix aproximadament en 1l per cada 2200 l de combustible i es pot reomplir amb facilitat.
- **Unitat de Control:** Mesura la pressió de la part posterior en els vehicles que disposen de sistemes de control





## 8 Experiències en altres països o ciutats

Altres ciutats amb el mateix problema de contaminació per NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub> han creat normatives per tal de disminuir-la.

Així, per exemple, en ciutats com Londres [17] i diverses ciutats alemanyes [18] s'han creat normatives específiques que regulen el tràfic dins de la ciutat, creant les anomenades zones de baixes emissions (Low emissions zones LEZ), on únicament hi poden entrar vehicles en funció de la norma Euro que compleixen.

A Londres s'ha creat una zona de baixes emissions que engloba la ciutat de Londres i rodalies, en la qual no poden entrar determinats vehicles si no compleixen amb la normativa Euro III o Euro IV pel que fa a les emissions de partícules.

Els vehicles que entren dins d'aquesta restricció varien en funció de l'any. Així, per exemple, a partir del 4 de febrer de 2008 no podran entrar dins d'aquesta zona els camions de més de 12 tones que no compleixin amb la norma Euro III, però a partir del 2012 la norma que hauran de complir és la Euro IV. Pel que fa als camions menys pesants i els autobusos les dates són juliol de 2008 i gener del 2012. Finalment les furgonetes i els minibus la data és a partir de l'octubre de 2010, i la normativa que hauran de complir és la Euro III.

Per tal de facilitar als propietaris dels vehicles aconseguir que els seus vehicles compleixin amb aquests objectius han creat una llista de fabricants amb la normativa que es pot arribar a aconseguir en funció de la norma inicial que compleixen [17], a més a més també posen a disposició del públic una llista de la tecnologia a emprar en funció del tipus de vehicle que es té.

Pel que fa a Alemanya, diverses ciutats també han creat zones de baixes emissions, i per tal de regular l'entrada dels vehicles a l'interior de les ciutats, s'han creat uns distintius



que els vehicles han de dur i que indiquen quina norma Euro referent a les emissions de PM<sub>10</sub> compleix. Per exemple el distintiu de color verd, indica que el vehicle compleix amb la norma Euro IV, tant si ja la complia des d'un inici com si s'ha realitzat la catàlisi. El distintiu de color groc és pels vehicles que compleixen amb la norma Euro III i el de color vermell la Euro 2.

En funció de la qualitat de l'aire ambiental d'aquestes zones, poden entrar un grup de vehicles

A EUA per tal de que el consumidor tingui una orientació sobre la tecnologia disponible en el mercat, així, dóna la possibilitat als fabricants que puguin sotmetre els seus productes al Environmental Technology Verification Program (ETV). Mitjançant aquest es prova o avalua el funcionament dels sistemes de reducció de contaminants, sota unes determinades condicions.

### **8.1 Tecnologies verificades per la EPA**

Els fabricants i el percentatge de reducció de PM i NO<sub>x</sub> que s'aconsegueix amb les diferents tecnologies es mostren a la Taula 8.

Fabricant	Tecnologia	Aplicació	Reducció (%)	
			PM	NO <sub>x</sub>
Clean Diesel Technologies, Inc. [19]	Platí amb sistema de purificació (FBC + DOC)	Motors per carretera pesant i semipesants, amb cicle de 4 temps. Models d'anys compresos entre 1988-2003, amb turbo o d'aspiració natural.	25 a 30	0 a 5
Clean Diesel Technologies, Inc. [19]	FBC / CWMF	Motors per carretera semipesants, amb cicle de 4 temps. Models	55 a 76	0 a 9



		d'anys compresos entre 1991-2003, amb turbo o d'aspiració natural.		
Engelhard [9]	DPX Filtre catalític de partícules	Motors per carretera semipesants, amb cicle de 4 temps. Models d'anys compresos entre 1994-20023, amb turbo o d'aspiració natural.	60	-
Engine Control System [20]	Filtre purificador de partícules	Motor per carretera, pesant i semipesant. Bus urbà de 4 temps, Models d'anys compresos entre 1994-2003, amb turbo o d'aspiració natural. Motors no EGR	90	-
Johnson Matthey [11]	CCRT i filtre de partícules	Motors de carretera, pesants i autobusos urbans no EGR. Models d'anys compresos entre 1994-2006, amb turbo o d'aspiració natural.	90	-
Johnson Matthey [11]	CRT i filtre de partícules	Motors de carretera, pesants no EGR. Models d'anys compresos entre 1994-2006, amb turbo o d'aspiració natural.	90	-

Taula 8.8 Alguns fabricants amb tecnologia verificada perla EPA i % de reducció aconseguit. [16]

## 8.2 Tecnologies verificades per tfl

El llistat de fabricants i Euro a la que s'arriba després de fer el retrofiting amb la tecnologia proporcionada per aquestes empreses es mostra a la Taula 8.9. Les dades



tant sols es refereixen a les partícules PM<sub>10</sub>, ja que la normativa feta per tfl només contempla la millora de la contaminació en els camions per NO<sub>x</sub> partícules.

	<b>Data del primer registre del vehicle i normativa que compleix</b>			
	<b>Abans 1/10/93</b>	<b>Des de 1/10/93 a 1/10/96</b>	<b>Des de 1/10/96 a 1/10/01</b>	<b>Des de 1/10/01 fins 1/10/06</b>
	<b>Pre Euro</b>	<b>Euro I</b>	<b>Euro II</b>	<b>Euro III</b>
<b>Fabricants amb tecnologia verificada</b>	Normativa que es pot arribar a complir respecte les PM <sub>10</sub> amb la tecnologia disponible.			
<b>Astra Vehicles Technologies [13]</b>	Euro III	Euro III o IV	Euro IV	Euro IV
<b>Cawdell Group [21]</b>	Euro III	Euro III o IV	Euro IV	Euro IV
<b>Clean Diesel Technologies [19]</b>	Euro III	Euro III o IV	Euro IV	Euro IV
<b>Dinex Exhausts [12]</b>	Euro III	Euro III o IV	Euro IV	Euro IV
<b>Eminox [10]</b>	Euro III	Euro III o IV	Euro IV	Euro IV
<b>Gat EuroCat [14]</b>	Euro III o IV	Euro III o IV	Euro III o IV	Euro IV
<b>Kleenair System</b>	-	-	Euro III	-
<b>Per – Tec</b>	-	-	Euro III	-
<b>Pirelli Ambiente [15]</b>	Euro III	Euro IV	Euro IV	Euro IV

Taula 8.9 Fabricants amb tecnologia verificada per Tfl i Euro a la que es possible arribar.

[17]



## 9 Programa d'ajuda de presa de decisions

Amb les dades calculades de parc i de normativa s'ha calculat el potencial contaminant amb g/km que s'ha passat a g/dia considerant el quilometratge d'aquests vehicles segons categoria. Obtenint així uns resultats més pròxims a la realitat. Que amb aquest programa es poden ajustar encara més si s'introdueixen les dades del percentatge d'utilització d'aquests vehicles.

Així per tal de prendre decisions sobre la millor manera de reduir la contaminació s'ha creat el programa de Matlab "contaminació", Figura 9.18 que permet calcular el % de reducció de la contaminació i el seu cost en funció de les mesures que s'estableixin, de la categoria del vehicle i de l'antiguitat d'aquest.

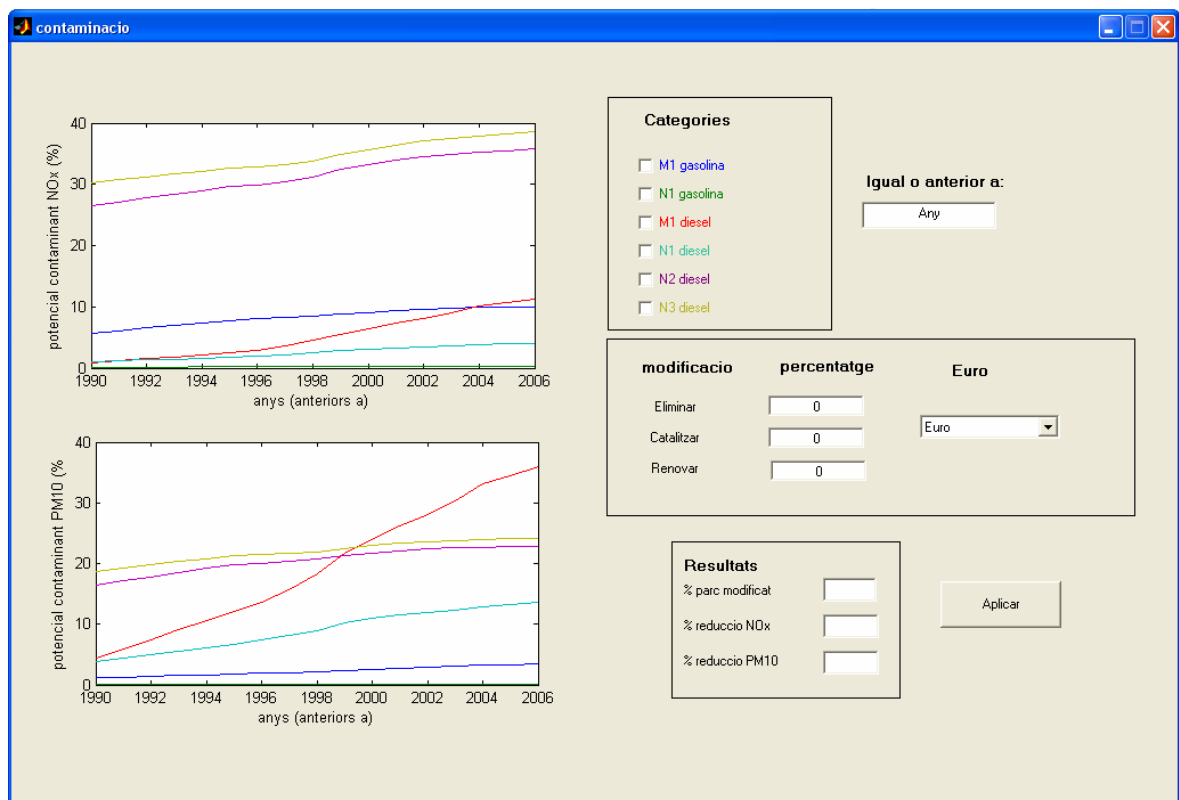


Figura 9.18 Programa Matlab de càlcul del % de reducció de contaminació , % de parc modificat i cost, segons modificació aplicada

Així en un inici apareix una pantalla amb les dades en blanc, i amb els gràfics del potencial contaminant en %, calculat en base els g/dia del total del parc emesos. Tant pel que fa els NO<sub>x</sub> com les PM<sub>10</sub>.



Posteriorment s'han de marcar les categories en les quals es vol introduir modificacions. Així com l'any a partir del qual els vehicles no seran modificats.

A continuació s'introdueixen els percentatges de parc modificats de les diferents mesures.

Les mesures que es consideraran en aquest projecte són:

- Eliminació d'un determinat % dels vehicles d'una o varies categories, anteriors a l'any indicat. Aquesta mesura equivaldria a una prohibició de circular als vehicles més antics i, per tant, més contaminants.
- Introducció de filtres i catalitzadors a un determinat % del parc, per tal que els vehicles més antics aconseguixin complir normatives posteriors a la que compleixen segons la seva data d'homologació. En aquest cas s'ha de marcar també la normativa Euro que hauran de complir.
- Renovació dels vehicles. És a dir es substitueix un determinat percentatge dels vehicles més antics per uns de nous que compleixen la normativa vigent.

Finalment pitjant el botó Aplicar es mostren els resultats que s'obtenen, és a dir:

- Percentatge de parc modificat
- Percentatge de reducció de NO<sub>x</sub>
- Percentatge de reducció de PM<sub>10</sub>
- Gràfiques modificades del potencial contaminant (%)

### ***9.1 Anàlisi preliminar***

Per tal de poder tenir una aproximació de quines seran les millors opcions a l'hora de reduir la contaminació modificant la menor part del parc possible s'ha realitzat un estudi preliminar on s'observa quina reducció de la contaminació s'aconsegueix en funció del percentatge del parc modificat, i de la categoria a la que correspon. Les modificacions que es realitzen són les analitzades en la GUIDE contaminació (eliminar, catalitzar i renovar).





Els gràfics que s'han creat són 7, els quals tenen els mateixos eixos x e y. En l'eix x es mostra la categoria dels vehicles, en l'y el percentatge modificat per a cada categoria.,l'eix z varia en cada gràfic: el primer mostra el percentatge global de reducció del parc, és a dir, modificar un y% dels vehicles de la categoria x, representa modificar un z% del total de vehicles del parc i en els següents varien en funció del tipus de modificació per una banda i pel tipus de contaminant que s'analitza, (NO<sub>x</sub> o PM<sub>10</sub>)

Els gràfics obtinguts es mostren a continuació.

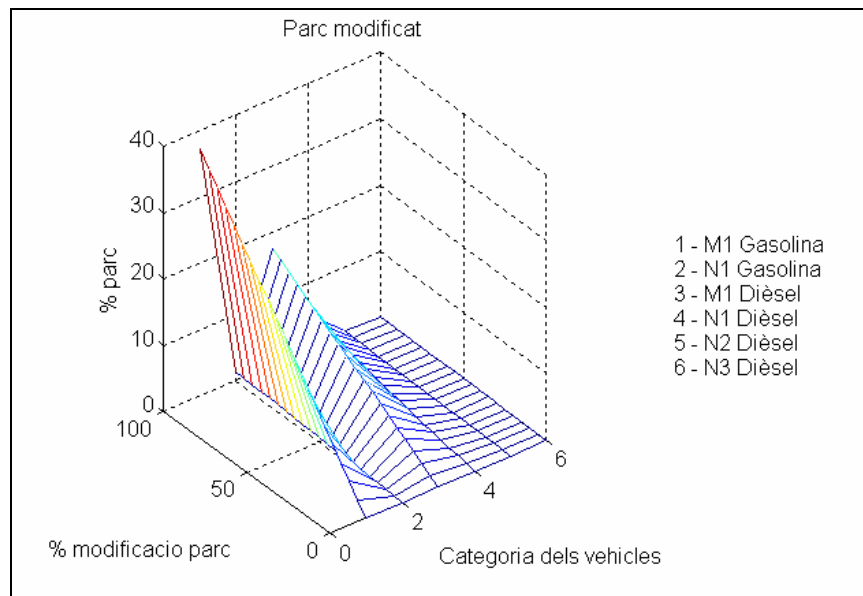


Figura 9.19 % de reducció del Parc de vehicles en funció del % modificat de cada categoria.



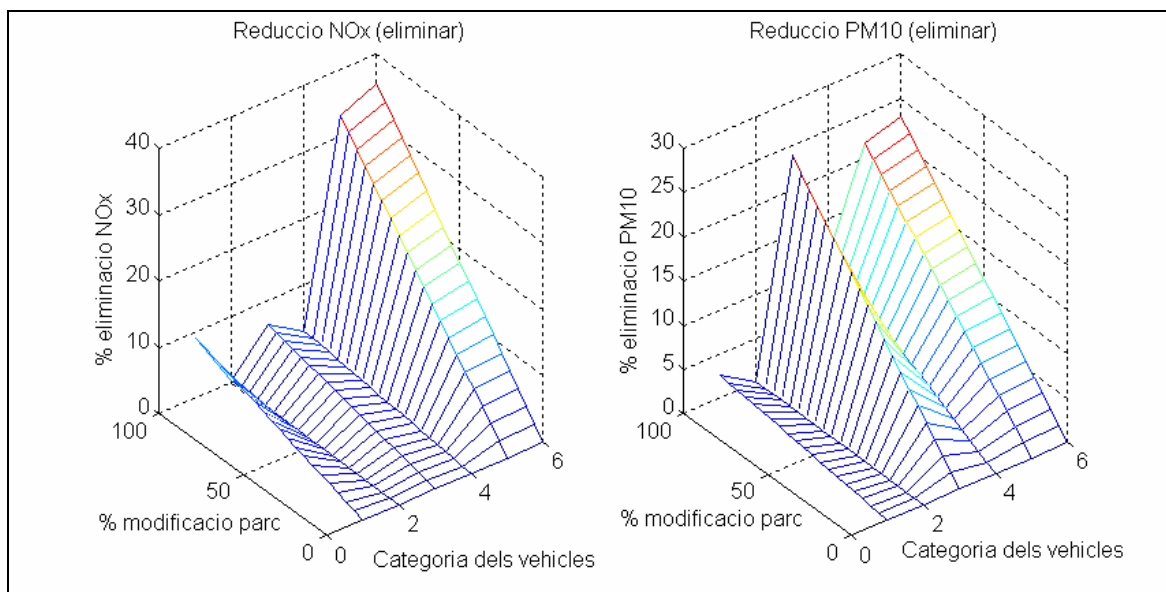


Figura 9.20 % de reducció de NO<sub>x</sub> i de PM<sub>10</sub> en funció del % de parc eliminat i la categoria

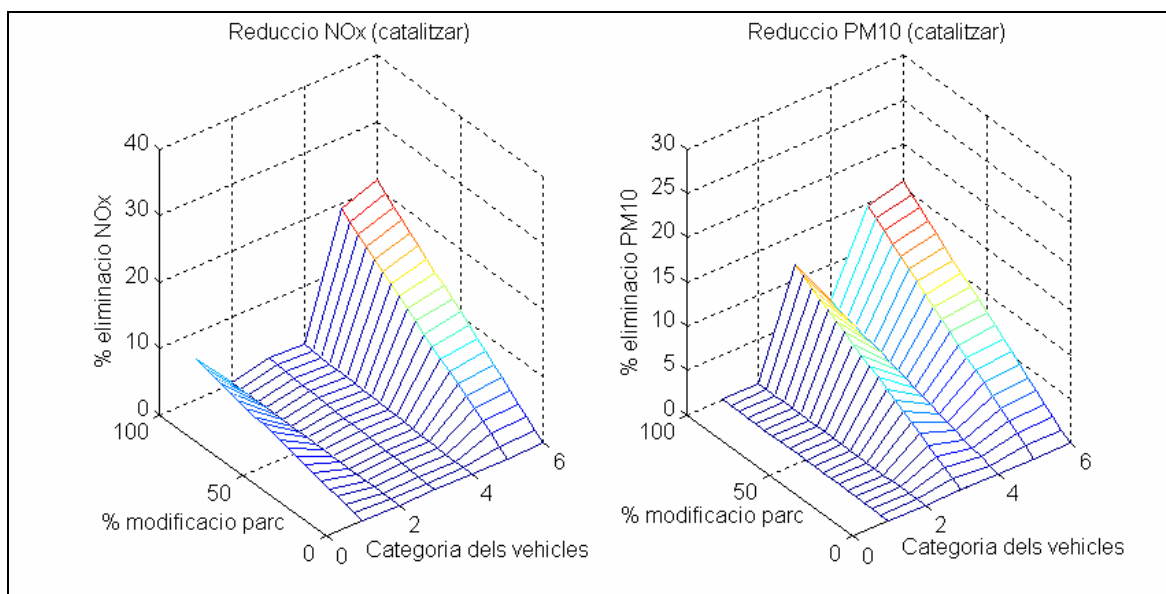


Figura 9.21 % de reducció de NO<sub>x</sub> i de PM<sub>10</sub> en funció del % de parc catalitzat i la categoria



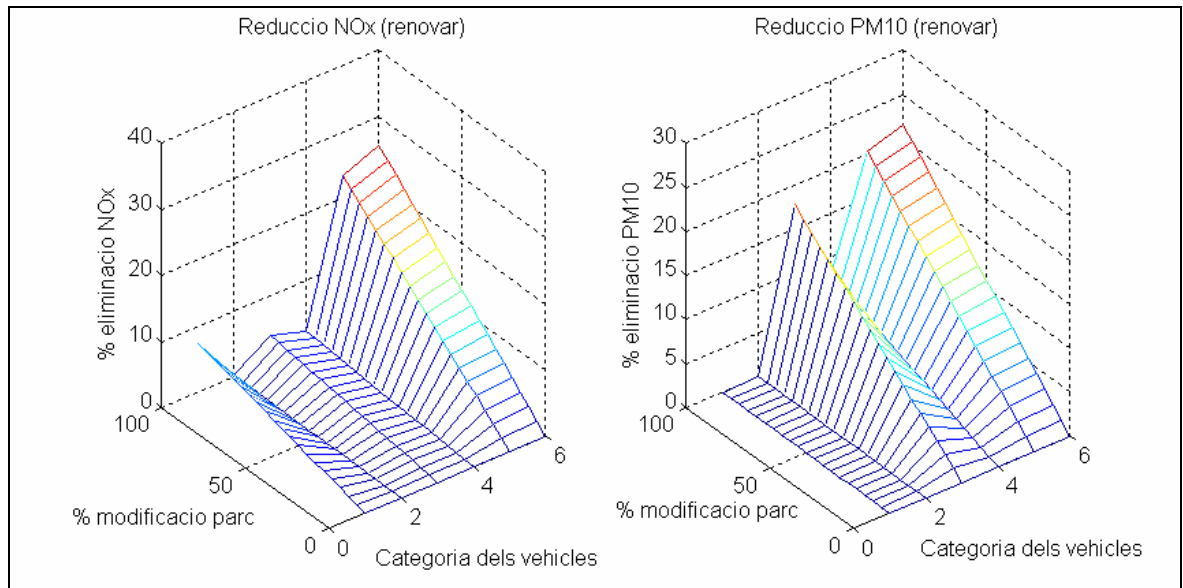


Figura 9.22 % de reducció de NO<sub>x</sub> i de PM<sub>10</sub> en funció del % de parc renovat i la categoria

En aquests gràfics s'observa el que ja s'intuïa des d'un principi i és que els vehicles de les categories N2 i N3 representen menys d'un 1% del parc i catalitzant-los o renovant-los es podria reduir la contaminació per NO<sub>x</sub> en un 40 % aproximadament i la produïda per PM<sub>10</sub> en un 20 % aproximadament. Aquest fet ja ens indica els canvis que preferiblement s'hauran d'introduir en el programa per tenir una reducció de la contaminació satisfactòria amb el mínim parc modificat.

## 9.2 Exemple de càlcul

Per tal d'explicar més detalladament el funcionament del programa a la vegada que es realitza el càlcul de la reducció que s'aconseguiria realitzant una modificació hipotètica del parc, s'explica el següent exemple.

La modificació introduïda és la que es mostra a continuació i s'ha realitzat tenint en compte els resultats anteriorment obtinguts. L'usuari podrà realitzar les suposicions que cregui convenient en funció del resultat que desitgi obtenir i del parc que cregui convenient o que sigui possible modificar.

Categories a tractar : N2 i N3

% Eliminació : 30 %



% Catàlisi : 40 %, aconseguint que els vehicles compleixin amb la normativa Euro III.

%Renovació : 30 %

Any a partir del qual es realitza la modificació: 2000

Per tal de fer el càlcul s'obre el programa contaminacio, escrivint el nom a la línia de comandes de Matlab de forma que apareix una finestra com la Figura 9.18. Llavors s'introdueixen les modificacions en aquesta finestra, tal com es mostra en la Figura 9.23, finalment al clicar sobre Aplicar es mostren els resultats per pantalla, tal i com apareix en la Figura 9.23.

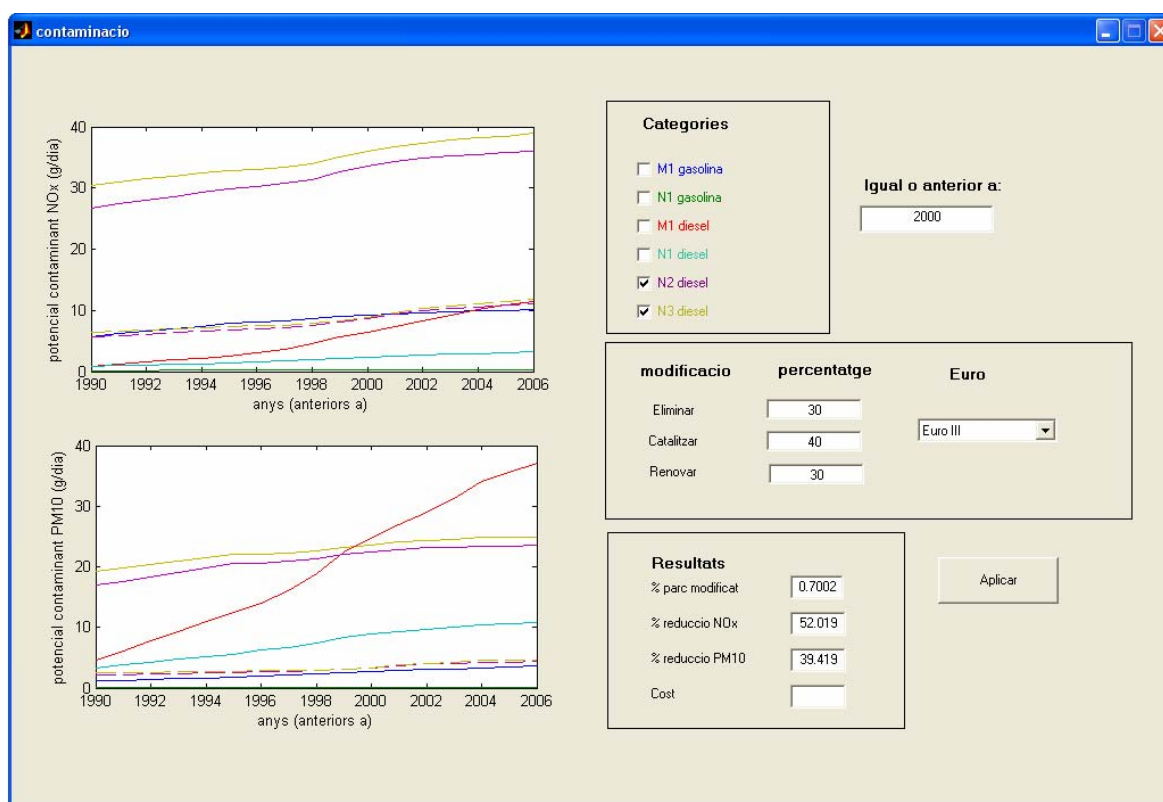


Figura 9.23 Exemple funcionament GUIDE contaminació

Els resultats obtinguts ens indiquen que el % de parc que s'haurà de modificar és el del 0,7% i s'obtindrà una reducció de NO<sub>x</sub> del 52% i de PM<sub>10</sub> del 38,4%. En els gràfics de la part esquerra es mostra com disminueix el potencial contaminant de la categoria modificada en línies discontinües.



Com ja s'intuïa, es veu que modificant una petita part del parc s'obté una reducció de la contaminació no gens menyspreable.

En funció del que es necessiti es poden anar introduint diverses combinacions per tal de trobar quina és la que compleix millor amb els objectius marcats. .





## 10 Anàlisi econòmica

Per tal de realitzar l'anàlisi econòmica d'aquest projecte s'han considerat el material i els recursos humans emprats a l'hora de realitzar-lo. Els costos amb impostos inclosos del projecte es mostren desglossats a continuació.

### 10.1 Costos de personal

El cost de personal es desglossa en funció de les hores dedicades a la realització de cada part del projecte i del cost relatiu de les hores en funció de la qualificació del personal que realitza cada tasca.

Així les tasques de recollida i ordenació de dades es corresponen a les d'un enginyer en pràctiques amb un sou horari de 15 euros, les d'anàlisi de dades, programació, redacció,... són les corresponent a un enginyer junior, amb un sou mig de 20 euros l'hora. Finalment es consideren les hores de personal doctor que es corresponen a un sou de 40 euros hora.

	Cost relatiu	Temps emprat (h)	Total (€)
Anàlisi preliminar	20	30	600
Recull/Ordenacio Documentacio			
- Normativa	15	80	1200
- Dades parc	15	60	900
- Altres	15	30	450
Anàlisi de dades	20	40	800
Programació	20	40	800
Redacció memòria	20	120	2400
Redacció annexos	20	150	3000
Revisió, format/altres	20	80	1600
Hores consultor expert	40	40	1600
<b>TOTAL</b>		<b>670</b>	<b>12750</b>

Taula 10.10 Avaluació dels costos de personal



## 10.2 Costos de material

El material emprat per la redacció del present projecte es troba a continuació.

	nº unitats	Cost relatiu	Cost total
Ordenador amb llicència Windows XP i microsoft Office	1	700	700
Impressora i escàner	1	190	190
Llicència Matlab		1950	1950
Material d'oficina			
- material fungible	1	200	200
<b>TOTAL</b>			<b>3040</b>

Taula 10.11 Avalució dels costos de material

## 10.3 Altres costos

En aquest apartat es comptabilitzen els costos relacionats amb l'electricitat, els desplaçaments i el servei d'ADSL.

	nº unitats	Cost relatiu	Cost total
Desplaçaments	5 T-10	7,2 €/tarjeta	36,00
Electricitat			
- Ordenador	0,1 kW * 500 h	0.092 €/kWh	4,60
- Il·luminació	0.06kW* 300 h	0.092 €/kWh	1,66
Connexió ADSL	7	25	175
<b>TOTAL</b>			<b>217,26</b>

Taula 10.12 Avalució dels altres costos

## 10.4 Total

El cost total del projecte, englobant els diferents apartats abans esmentats és el que es mostra a la següent taula.





	<b>Cost global</b>
<b>Personal</b>	12750
<b>Material</b>	3040
<b>Altres</b>	217,26
<b>TOTAL</b>	16007,26

Taula 10.13 Avaluació dels altres costos

Per tant el cost total de realització del present projecte és d'aproximadament 16.000 euros.





## 11 Conclusions

Les conclusions a les que s'ha arribat durant la realització del projecte i que ja s'han anat comentat en diferents de la memòria són els següents.

- La gran antiguitat del parc de vehicles de la ciutat de Barcelona, juntament amb el fet que la normativa s'ha anat endurint molt notablement en els últims 15 anys, fan que els vehicles de més antiguitat siguin els que causen la major part de les emissions de contaminants.
- Dins d'aquests vehicles, els de les categories N2 i N3, que es corresponen amb els camions de pes entre 3,5 i 12 tones i els de pes superior a 12 respectivament, i que són els que realitzen un major quilometratge diari i unes emissions en g/km molt superiors al de les altres tipologies de vehicles, són els que contribueixen en major mesura en la contaminació per NO<sub>x</sub> i partícules PM<sub>10</sub>.
- En altres països amb el mateix problema s'han realitzat accions per tal de disminuir la contaminació, especialment la produïda per les PM<sub>10</sub>. Aquestes accions estan relacionades en fer disminuir les emissions de contaminants dels vehicles abans esmentats mitjançant l'introducció de filtres i catalitzadors de reducció.
- L'eina Matlab que s'ha programat ens permet verificar les suposicions que s'havien realitzat i conèixer de forma aproximada el % en que disminuiria la contaminació en funció dels canvis realitzats. S'ha verificat que el millor mètode seria centrar les variacions en els vehicles de les categories N2 i N3.

Però també s'ha de tenir en compte que en aquest estudi s'ha fet una estimació del parc i del quilometratge i percentatge d'utilització dels vehicles. Si es desitgessin resultats més acurats s'haurien de tenir dades més precises i introduir la nova funció de mobilitat dels vehicles, molt complexa. A l'hora de fer aquest projecte no s'han pogut aconseguir-les i per tant s'han realitzat suposicions que s'han anat explicant al llarg dels diferents capítols.

No obstant això, per tal de tornar a realitzar l'estudi amb aquestes noves dades, tant sols caldria canviar les dades del full d'excel anomenat matlab amb les noves dades.





## 12 Bibliografia

### 12.1 Referències bibliogràfiques

- [1] WARK K., WARNER C. *Contaminación del aire. Origen y control*. Mèxic, Ed. Limusa, 2006, p. 540-551.
- [2] ALVAREZ J.A., CALLEJÓN I. *Màquinas térmicas motoras – 1*. Barcelona, Edicions UPC, 2002, p. 223
- [3] AJUNTAMENT DE BARCELONA. Anuari estadístic de la ciutat de Barcelona (2006) i anys anteriors. Transport, circulació i comunicacions. [<http://www.bcn.es/estadistica/catala/dades/anuari/cap15/index.htm>, febrer 2008]
- [4] DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I VIVENDA. Balanços e informes de la qualitat de l'aire. [<http://mediambient.gencat.net>, maig 2008]
- [5] MINISTERI DE FOMENT. DIRECCIÓ GENERAL DE PROGRAMACIÓ ECONÒMICA. SUBDIRECCIÓ GENERAL DE ESTADÍSTIQUES I ESTUDIS. Anuari estadístic 2006.
- [6] MINISTERI DE L'INTERIOR. DIRECCIÓ GENERAL DE TRÀFIC. Anuari General 2006. [<http://www.educacionvial.dgt.es/estadisticas>, febrer 2008]
- [7] UNIÓ EUROPEA. Normativa sobre emissions contaminants de vehicles a motor i remolcs. [<http://europa.eu/scadplus/leg/es/lvb/l21047.htm>, febrer 2008]
- [8] UNIÓ EUROPEA . Normativa sobre contaminació atmosfèrica. [<http://europa.eu/scadplus/leg/es/lvb/l28031a.htm>, maig 2008]
- [9] BASF CATALYST. [<http://www.catalysts.basf.com>, Abril 2008]
- [10] EMINOX. [<http://www.eminox.com/products/products.shtml>, Abril 2008]
- [11] JOHNSON MATTHEY CATALYSTS. [<http://ect.jmcatalysts.com/applications-dieselretrofit-na-products.htm>, Abril 2008]
- [12] DINEX [<http://www.dinex.dk>, Abril 2008]



- [13] ASTRA VEHICLES TECHNOLOGIES LTD [<http://www.astra-vt.com>, Abril 2008]
- [14] GAT EUROKAT. [[http://www.gat-kat.com/haupt.aspx?select=view\\_page&mid=81&kid=81&hmid=0&purl=allgem\\_infos.htm](http://www.gat-kat.com/haupt.aspx?select=view_page&mid=81&kid=81&hmid=0&purl=allgem_infos.htm), Abril 2008]
- [15] PIRELLI AMBIENTE. [<http://www.pirelliambiente.com/web/ecotechnology/default.page>, Abril 2008]
- [16] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Verification list. [[www.epa.gov](http://www.epa.gov), maig 2008]
- [17] TRANSPORTATION FOR LONDON. Low emission zone. [[www.tfl.gov.uk/roadusers/default.aspx](http://www.tfl.gov.uk/roadusers/default.aspx), Juny 2008]
- [18] BMU. Emissions-control windscreen sticker. [[http://www.bmu.de/english/air\\_pollution\\_control/general\\_information/doc/40740.php](http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/general_information/doc/40740.php), juny 2008]
- [19] CLEAN DIESEL TECHNOLOGIES. [[http://www.cdti.com/emissions\\_solutions.html](http://www.cdti.com/emissions_solutions.html), MAIG 2008]
- [20] ENGINE CONTROL SYSTEMS [<http://www.enginecontrolsystems.com/prod-doc.aspx>, abril 2008]
- [21] CAWDELL GROUP [<http://www.cawdellgroup.com/diesel-catalyst.html>, maig 2008]
- [22] MATHWORKS. Products & Services. [<http://www.mathworks.com/products/>, juny 2008]
- [23] NEW YORK CITY PLAN. Transportation [<http://www.nyc.gov/html/planyc2030/html/plan/transportation.shtml>, maig 2008]
- [24] CAMIONS VOLKSWAGEN. Models [[http://www.camionesvw.com.mx/vwcms\\_publish/vwcms/master\\_public/virtualmaster/es\\_mxcam/models.html](http://www.camionesvw.com.mx/vwcms_publish/vwcms/master_public/virtualmaster/es_mxcam/models.html), Març 2008]
- [25] VOLVO TRUCKS. Catàleg Camions [<http://www.volvo.com/trucks/spain-market/es-es/trucks>, Març 2008]



## **12.2 Bibliografia Complementaria**

- [26]** ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AUTOMÓVILES Y CAMIONES  
Memòria anual (2006)
- [27]** ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AUTOMÓVILES Y CAMIONES  
Estudio: el sector transporte en España y su evolucion. Horizonte 2010 (2006)
- [28]** ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Anual Report (April 2006)
- [29]** AIR POLLUTION CONTROL DISTRICT. Air Quality in San Diego County. (2006)  
ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Update of Methane and Nitrous Oxide  
Emission Factors for On-Highway Vehicles (November 2004)
- [30]** SWISS AGENCY FOR THE ENVIRONMENT, FORESTS AND LANDSCAPE  
(SAEFL). VERT filter list. Tested and approved Particle-Trap Systems for retrofitting  
Diesel engines. (June 2003)
- [31]** TRANSPORTATION FOR LONDON. Low emission Certificate Supplier List (March  
2008)
- [32]** HJS ABGAS SYSTEME [<http://www.hjs.com>, Maig 2008]
- [33]** UMWELT BUNDESAMT FÜR MENSCH UND UMWELT. Future Diesel, Exhaust gas  
legislation for passengers cars, light-duty commercial vehicles and heavy duty  
vehycles (July 2003)

