



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL**

**PROYECTO DE GRADO  
CODIGO: ICIV 2003 II 14**

**Comparación y Análisis de los Modelos de  
Ciudad de México, Santiago de Chile y Bogota.  
Análisis normatividad ambiental para  
Fuentes Móviles en Bogota**

**Asesor**

**Germán Camilo Lleras. Echeverri.**

**Estudiante**

**Diego A. González Acosta.**

**199911885**

**Universidad de los Andes**

**Bogota.**

**2003-02-12**



## TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS Y GRAFICOS

### FIGURAS:

5.1 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS VEHICULOS SEGÚN EL TIPO DE COMBUSTIBLE TANTO EN EL DF COMO EN EL ESTADO DE MEXICO	17
5.2 DISTRIBUCION DE LOS VEHICULOS QUE CIRCULAN SEGÚN HOLOGRAMA	21
6.1 DISTRIBUCION PORCENTUAL MALLA VIAL EN BOGOTA	32
6.2 ESTADO DE LA MALLA VIAL EN BOGOTA	34
6.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OPERACIÓN DEL MODELO AIREMIS	38
6.4 MAPA MALLA VIAL PRINCIPAL, BOGOTA	40
6.5 VOLUMENES DE TRÁFICO GENERADOS POR EMME2	45
6.6 RESULTADO DE EMISIONES DE CO EN LA MALLA VIAL ENTRE LAS 7:00 Y 8:00 AM. DEL DIA 7 DE FEBRERO	54
6.7 LOCALIDADES DONDE SE ENCEUNTRA MAS CONCENTRACION DE CONTAMINANTES EN BOGOTA	55
7.1 PROCESAMIENTO GENERAL, BASE DE DATOS DE EMISIONES	59
7.2 MAPA, RED VIAL, SANTIAGO DE CHILE	61

### GRAFICOS:

7.3 FLUJO DIARIO DE VEHICULOS DE TRANSPORTE PUBLICO EN UNA ZONA CENTRICA DE SANTIAGO DE CHILE	63
7.4 PARTICIPACION DE LOS DIFERENTES VEHICULOS EN LA ZONA CENTRICA	65
7.5 EMISION DE CONTAMIANENTES Y ACTIVIDAD VEHICULAR	69
8.1 EMISIONES DE NO <sub>x</sub> COMO FUNCION DE LA VELOCIDAD MEDIA	77
8.2 EMISIONES DE NO <sub>x</sub> COMOFUNCION DE AMP	78
9.1 DISMINNUCION EN LOS NIVELES DE CO COMO CONSECUENCIA DE LA APLICABILIDAD DE PICO Y PLACA	94



## TABLA DE CONTENIDO DE TABLAS

1.1 EDAD PROMEDIO PARQUE AUTOMOTOR PUBLICO	1
5.1 DISTRIBUCION DE LA FLOTA VEHICULAR EN EL DISTRITO FEDERAL Y EL ESTADO DE MÉXICO	15
5.2 DISTRIBUCIÓN DE VEHÍCULOS POR MODELO VS. TIPO DE VEHÍCULO EN EL ESTADO DE MÉXICO Y EL DISTRITO FEDERAL	16
5.3 CLASIFICACION DE VEHIULOS vs. TIPO DE COMBUSTIBLE EN EL DF, Y EN EL ESTADO DE MEXICO	17
5.4 TIPOS DE VEHICULOS	18
5.5 KRV, DIAS QUE RECORREN AL AÑO DEPENDIENDO DEL HOLOGRAMA	20
5.6 KILOMETROS RECORRIDOS POR EL TIPO DE VEHICULO Y POR TIPO DE HOLOGRAMA	21
5.7 KILOMETROS RECORRIDOS POR AÑO, MODELO Y CATEGORIA TIPO	23
5.8 FACTORES DE EMISION PARA HCT POR TIPO DE VEHIULO Y AÑO MODELO	24
5.9 FACTORES DE EMISION PARA CO POR TIPO DE VEHICULO Y AÑO MODELO	25
5.10 FACTORES DE EMISION PARA NO <sub>x</sub> POR TIPO DE VEHICULO Y AÑO MODELO	25
5.11 FACTORES DE EMISION PARA PM <sub>10</sub>	26
5.12 FACTORES DE EMISION PARA PM <sub>2.5</sub>	26
5.13 FACTORES DE EMISION PARA NH <sub>3</sub>	27
5.14 FATORES DE EMISION PARA SO <sub>2</sub>	27
5.15 PORCENTAJES DE CH <sub>4</sub> , COT, COV, DENTRO DE HCT	29
5.16 EMISIONES POR FUENTES MOVILES EN CIUDAD DE MEXICO	29
6.1 INVENTARIO VEHICULAR, BOGOTA	39
6.2 CLASIFICACION VIAS PRINCIPALES, BOGOTÁ	41
6.3 VELOCIDADES MALLA VIAL PRINCIPAL SEGÚN MODELO	44
6.4 PROPIEDADES GASOLINA CORRIENTE	46
6.5 PROPIEDADES GASOLINA DIESEL	46
6.6 RESULTADO TOTAL DE CONTAMIANTES PARA UNA HORA Y UN DIA ESPECÍFICO DEL AÑO	53
7.1 CLASIFICACION VEHICULAR UTILIZADA EN EL MODELO DE SANTIAGO DE CHILE	64
7.2 FACTORES DE EMISION LOCALES Y OBTENIDOS DEL MODELO COPERT II	67
9.1 EDAD PROMEDIO PARQUE AUTOMOTOR PUBLICO	84
9.2 EMISIONES POR TIPO DE VEHICULO SEGÚN SU EDAD PROMEDIO	85
9.3 PORCENTAJE DE INCUMPLIMIENTO EN LA CERTIFICACION DE GASES	86



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>4</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>7</b>
3.1 Objetivos Generales	7
3.2 Objetivos Específicos	8
<b>4. ANTECEDENTES</b>	<b>9</b>
4.1 Modelo de Contaminación Atmosférica	9
4.2 Antecedentes Históricos en Latinoamérica	10
<b>5. ESTUDIO, DETERMINACION DE EMISIONES ATMOSFERICAS   POR FUENTES MOVILES PARA LA CIUDAD DE MEXICO Y EL   ESTADO DE MEXICO</b>	<b>12</b>
5.1 Introducción	12
5.2 Metodología	12
5.2.1 Técnicas generales de estimación de emisiones	13
5.2.1.1 Muestreo en la Fuente	13
5.2.1.2 Modelo de Emisión	13
5.2.1.3 Factores de Emisión	13
5.2.1.4 Balance de Materiales	14
5.2.2 Metodología Aplicada en Ciudad de México	14
5.2.2.1 Flota Vehicular	15
5.2.2.2 Tipo de Combustible	16
5.2.2.3 Actividad Vehicular	18
5.2.2.4 Factores de Emisión	23
5.2.2.4.1 Factores de Emisión para HCT, CO, NO <sub>x</sub>	23
5.2.2.4.2 Factores de Emisión para SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>	26
5.2.2.5 Emisiones generadas por Fuentes Móviles	28
<b>6. ESTUDIO, METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION   DE EMISIONES ATMOSFERICAS PRODUCIDAS POR   FUENTES MOVILES PARA LA CIUDAD DE BOGOTA</b>	<b>30</b>
6.1 Introducción	30
6.2 Generalidades	30
6.2.1 Red Vial de Bogota	31
6.2.2 Estado actual Malla Vial	33
6.2.2.1 Conclusiones Estado de la Malla Vial	34
6.3 Modelo AIREMIS	35
6.3.1 Variables de Entrada Modelo AIREMIS	37
6.3.1.1 Inventario Vehicular	38
6.3.1.2 Condiciones de Conducción	39
6.3.1.3 Características sobre Combustibles Utilizados	45
6.3.2 Metodología Modelo AIREMIS	47
6.3.2.1 Emisiones en Caliente	48
6.3.2.2 Emisiones Arranque en Frío	49
6.3.2.3 Emisiones de Evaporación del Combustible	51
6.3.2.4 Resultado Modelo AIREMIS	52



<b>7. ANALISIS DEL ESTUDIO, DETERMINACION DE EMISIONES CAUSADAS POR FUENTES MOVILES PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CHILE</b>	<b>57</b>
7.1 Introducción	57
7.2 Metodología	58
7.2.1 Actividad Vehicular	59
7.2.2 Factores de Emisión	65
7.3 Resultados Modelación	68
<b>8. CONCLUSIONES GENERALES ACERCA DE LA METODOLOGIA Y LOS RESULTADOS OBSERVADOS, EN LOS DIFERENTES ESTUDIOS ANALIZADOS</b>	<b>70</b>
8.1 Conclusiones Variables Iniciales	71
8.2 Conclusiones Ejecución del Modelo	74
8.3 Conclusión de los Resultados del Modelo	78
<b>9. POLITICAS AMBIENTALES FRENTE AL CONTROL DE EMISIONES CAUSADAS POR FUENTES MOVILES</b>	<b>80</b>
9.1 Introducción	80
9.2 Generalidades	80
9.3 Políticas ambientales aplicadas en Bogota y Relacionadas con Fuentes Móviles	82
9.3.1 Problemas del Sector del transporte en Bogota	82
9.3.2 Descripción de Políticas	87
9.3.2.1 Efectos Nocivos de los Contaminantes Generados por Fuentes Móviles	88
9.3.2.2 Políticas Generales	90
9.3.2.3 Impactos Significativos de la aplicabilidad De las políticas en Bogota	93



## 1. INTRODUCCION

Numerosos estudios realizados por diversas instituciones tanto privadas como estatales a lo largo del mundo, han demostrado que una de las causas fundamentales en el deterioro de la calidad del aire, la constituyen las emisiones generadas por fuentes móviles, es decir los vehículos de todo tipo, incluyendo, motocicletas, vehículos pesados y vehículos livianos.

Bogota es una ciudad que obviamente no es ausente a este tipo de problemas, mas aun si tenemos en cuenta las tasas tan elevadas de crecimiento vehicular las cuales según datos consultados reflejan una proximidad entre el 3% y el 4% anual, y sobretodo a la presencia de un parque automotor totalmente antiguo el cual presenta una renovación mínima y una falta de mantenimiento abrumadora, especialmente en vehículos pesados, como camiones y buses. Para confirmar estos datos expongo a continuación una serie de valores obtenidos de la web del DAMA (*Departamento técnico administrativo del medio ambiente*) acerca del parque automotor del transporte publico de bogota.

**TABLA 1.1 Edad promedio parque automotor publico.**

<b>NIVEL DE SERVICIO</b>	<b>EDAD PROMEDIO</b>	<b>MODELO PROMEDIO</b>
<i>Bus corriente</i>	18	1979
<i>Bus intermedio</i>	4	1993
<i>Bus Ejecutivo</i>	8	1989
<i>Buseta corriente</i>	25	1972
<i>Buseta ejecutiva</i>	16	1981
<i>Buseta súper-ejecutiva</i>	2	1995
<i>Colectivo</i>	14	1984

FUENTE: DATOS, DAMA Plan Maestro de Gestión Ambiental pg 158.



Es importante por lo tanto señalar que aunque este problema se constituye en una amenaza potencial para todos los habitantes de nuestra ciudad, debido a que todos los días debemos estar preparados a enfrentarnos a recibir una alta carga de contaminantes atmosféricos, se han planteado en forma oportuna y concisa políticas gubernamentales que no han permitan generar en nuestro medio un adecuado control referente a la cantidad y al grado de contaminación que pueden emitir las diversas fuentes móviles en nuestro medio, debido a la falta de consientización ciudadana y otros serios problemas que serán analizados en capítulos posteriores referentes a este proyecto de grado

Existen muchas metodologías importantes para la modelación y el cálculo de las diferentes emisiones generadas por estas fuentes , metodologías que presentan funciones dependientes de parámetros fundamentales, tales como el modelo de los vehículos, clase de vehículo, el combustible que utilizan, la velocidad promedio a la que se mueven los automotores por determinada calle o carrera de la ciudad, la longitud de la vía a analizar, el numero de vehículos promedio por hora que utilizan esta vía, etc.

Este tipo de modelaciones lo que pretende mostrar, es la cantidad de contaminantes que se producen en Bogota a determinada hora y en un sitio determinado, para poder tener así un marco de referencia del cual basarse y poder establecer medidas correctivas que puedan mitigar y minimizar el impacto que generan estas alteraciones en nuestra ciudad.

Es por esta razón que dentro de los objetivos principales de este proyecto de grado final, se encuentra analizar y comparar diferentes estudios realizados en importantes ciudades Latinoamericanas, para encontrar así debilidades y fortalezas que puedan ser derivadas de las conclusiones significativas en cuanto a similitud y diferenciación que presentan los estudios puestos a consideración.

El hecho de generar una documentación de este tipo, en donde se genere un desglose y un análisis concienzudo sobre las metodologías y los mecanismos que utilizaron, los diferentes estamentos tanto privados como públicos de los diferentes países y ciudades del estudio, permiten observar diferentes debilidades y fortalezas



que pueden ser tanto suprimidas como adaptadas a futuras modelaciones para poder así reducir el margen de incertidumbre que presentan este tipo de modelaciones.

Además de lo mencionado con anterioridad este trabajo pretende exponer de una forma muy objetiva y ordenada diversas políticas ambientales aplicadas en otras grandes ciudades de nuestro continente, las cuales son utilizadas principalmente para poder generar medidas de control acertadas que puedan regular las concentraciones de los contaminantes manteniéndolas dentro de los límites aceptables de calidad, e identificar así el potencial cambio que pueden generar la correcta aplicación de estas medidas en el ámbito local.

Así mismo, no solamente me centraré en la exposición de políticas externas, sino que también analizaré las políticas internas establecidas por organismos nacionales encargados del control ambiental, para generar una documentación que permita observar y comparar que tan efectiva ha sido su aplicabilidad en otras importantes ciudades Latinoamericanas, y que tipos de iniciativa se están promoviendo internamente, para que las diferentes ciudades de nuestro territorio nacional, ejerzan o generen un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos que permitan crear nuevas políticas que ayuden a la mitigación, y al control de este tipo de emisiones.



## 2. JUSTIFICACIÓN

A medida que la humanidad progresa, la obtención de diferentes fuentes de energía para el adecuado funcionamiento de todos los procesos y sistemas creados por el hombre, ha generado en nuestro ambiente una serie de alteraciones de relativa importancia debido a la evolución del mundo.

Fue hasta la utilización de los combustibles como los principales generadores de energía útil y eficiente para el funcionamiento de nuestras fuentes móviles, que el fenómeno de contaminación ambiental empezó a cobrar trascendencia en nuestro medio; sin embargo no hace muchos años nuestro ambientalistas empezaron a preocuparse seriamente por la amenaza que generaba este fenómeno en nuestro planeta, y establecieron así diferentes modelos que han venido actualizándose desde hace muchos años principalmente en países desarrollados, que demuestran no solamente el potencial destructivo que ejercen estos contaminantes atmosféricos en la naturaleza, sino lo perjudiciales que pueden llegar a ser para los seres humanos.

Es por esta razón que toma tanta trascendencia el hecho de crear metodologías apropiadas y eficaces que generen resultados lo bastante prácticos y reales sobre la verdadera dimensión de las emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles. Muchos países en vía de desarrollo en especial Latinoamericanos, han intentado comprometerse con este tipo de procedimientos y modelaciones, las cuales tienen como objetivo fundamental el poder crear un inventario de contaminantes que permita adoptar políticas necesarias para la mitigación y control de este tipo de emisiones generadas por los automotores.

Es allí donde se genera grandes interrogantes como por ejemplo *¿Qué tan reales pueden llegar a ser los resultados de los diferentes modelos?* , o *¿Qué tipo de medidas pueden adoptarse para mejorar estos resultados en modelaciones Futuras?*. En este último interrogante es donde se centra la justificación principal en la realización de un proyecto de grado, acerca de una análisis sobre las diversas



metodologías de modelaciones empleadas en varias ciudades de nuestro continente.

Y es que si bien, cada ciudad crea y genera su propio modelo, el hecho de extraer y mostrarle al lector los diferentes pasos que se realizaron para producir los inventarios, puede crear debilidades y fortalezas comparativas entre modelos, que permitan adoptar nuevas metodologías y consideraciones para futuras modelaciones.

El hecho de crear este tipo de inventarios trae como consecuencia inmediata la producción de diversas políticas y diversos controles ambientales sobre áreas críticas en donde la contaminación producida por fuentes móviles es significativa

Por lo tanto ciudades tan importantes como Bogota han creado una serie de medidas y políticas ambientales fundamentadas en estudios realizados con anterioridad, las cuales pretenden principalmente reducir en gran porcentaje la contaminación creada por el desplazamiento de los diferentes vehículos en sus calles. En nuestra ciudad la autoridad ambiental dentro del perímetro urbano y la encargada de la regulación de políticas ambientales es el D.A.M.A (*Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente*), nace en el acuerdo 9 de 1990 aprobado por el concejo de la capital, como una necesidad en cuanto a revisar la problemática ambiental que vive la ciudad.

Debido a la creación de esta serie de políticas, realizadas a partir de estudios pertinentes, nace otro de los objetivos importantes de este proyecto de grado, y es el de demostrar en una forma comparativa, (como ya se explico con anterioridad en la introducción), que tan eficaz ha sido la aplicabilidad de estas políticas en cuanto a la disminución de contaminantes atmosféricos, causada principalmente por la correcta aplicación de las diversas normas impartidas para controlar los contaminantes a limites de calidad permisibles.



No solo se analizarán las políticas internas, si no también se anexará otra normatividad empleada por otras grandes metrópolis; cabe resaltar que se hará mayor énfasis en políticas generadas a partir de estudios ambientales realizados en Ciudad de México, y Santiago de Chile, ciudades escogidas debido a la similitud en cuanto a la altura con Bogotá, y en cuanto al promedio de temperaturas presentes en sus perímetros urbanos .

De este análisis se podrá deducir si es importante adoptar esta serie de medidas a nuestro sistema ambiental normativo, de acuerdo a los resultados que se puedan presentar o pueda arrojar la variación de parámetros en el modelo.



### 3. OBJETIVOS

Al realizar un proyecto de grado, es necesario definir el alcance que este puede llegar a presentar, este alcance esta determinado por los objetivos que deben generarse en la realización del trabajo. Los objetivos mas importantes son:

#### 3.1 **Objetivos Generales:**

- Ratificar de manera cualitativa, que las políticas creadas por el departamento ambiental distrital para mitigar las emisiones generadas por fuentes móviles, son de relativa importancia en cuanto a su cumplimiento.
- Analizar el modelo ejecutado por la Universidad de los Andes, para la determinación de emisiones atmosféricas, realizado actualmente, por un grupo interdisciplinario coordinado por el ingeniero Luis Carlos Belalcázar. De este análisis se pretende sustentar las nuevas ideas que puedan generarse en cuanto a la política ambiental se refiere, como resultado de la modelación.
- Analizar el modelo de determinación de contaminantes atmosféricos utilizado en Ciudad de México, para encontrar posibles aportes a futuras modelaciones que se puedan ejecutar en nuestra ciudad, ya que el modelo de la capital Azteca esta bastante bien estructurado en cuanto a funcionalidad y aplicabilidad.
- Analizar el modelo de Santiago de Chile sobre la metodología empleada para la determinación de emisiones de contaminantes causadas por fuentes móviles, y encontrar similitudes y diferencias con relación al modelo de Bogota, que permitan adoptar metodologías prácticas y necesarias en modelaciones futuras.
- Crear un trabajo que proporcione datos, acerca de la importancia que tiene el cumplimiento de la normatividad ambiental referente al control de emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles creada por el D.A.M.A.



### **3.2 Objetivo Específicos:**

- Realizar un análisis importante de los estudios efectuados en Ciudad de México, y Santiago de Chile para poder encontrar metodologías aplicables a modelaciones referentes al ámbito local.
- Analizar las políticas utilizadas actualmente en el distrito, desde un punto de vista cualitativo que permita demostrar la importancia de su aplicabilidad en el entorno urbano de nuestra capital.
- Suministrar documentación referente a la problemática para la salud pública que genera los contaminantes producidos por fuentes móviles.
- Generar finalmente una conciencia ciudadana sobre la importancia de cumplir las normas ambientales y participar activamente en pro de su mejoramiento e reestructuración.



## 4. ANTECEDENTES

Es importante analizar el significado de la metodología para la generación de un inventario de contaminantes atmosféricos, haciendo la salvedad que el tema principal a tratar son las determinaciones de emisiones atmosféricas generadas por fuentes móviles.

Además de esto se presentaran en este capitulo una serie de antecedentes históricos tanto nacionales como de Latinoamericana, sobre la aplicabilidad y creación de medidas por parte de organizaciones panamericanas, que fundamentalmente surgen de una preocupación desmedida por parte de muchas naciones al rededor de nuestro continente de poder controlar y mitigar mediante la creación de políticas que rijan el sector ambiental, las crecientes tasas de producción de contaminantes atmosféricos.

### ***4.1 Modelo de Contaminación atmosférica:***

A medida que la vida a evolucionado significativamente en nuestro planeta, el numero de actividades productoras de contaminación ambiental, se ha multiplicado en forma alarmante. Los resultados de estudios realizados hace muchos años arrojaban valores que no eran nada críticos ni preocupantes para las pocas entidades estatales preocupadas por la conservación del medio ambiente, sin embargo a medida que los años han pasado los países se han dado cuenta el efecto tan importante que puede tener si no se controla, la contaminación atmosférica tanto para la salud humana como para la sostenibilidad del equilibrio de nuestro ecosistema denominado planeta Tierra.

Esta preocupación ha generado diversos estudios que comprometen y ratifican la intención humana de controlar el avance desmesurado en cuanto a la emisión de contaminantes atmosféricos, es por esto que se crearon los denominados modelos de contaminación atmosférica, los cuales nacen de una necesidad de establecer la relación que existe entre las emisiones que puede producir las Fuentes fijas o



móviles, y los impactos negativos que estas emisiones generan tanto en los seres vivos, como en un diversos sectores específicos de nuestra ciudad.

#### **4.2 Antecedentes históricos en Latinoamérica <sup>1</sup>:**

En muchas ocasiones me he referido a la preocupación que varios estados latinoamericanos empezaron a sentir por la contaminación atmosférica debido a los crecientes índices de ésta; es por esto que la Organización Panamericana de la Salud (OPS) inicio investigaciones en la década de los 50, cuando muchas universidades y los ministerios de salud de algunos países empezaron a realizar mediciones sobre la contaminación del aire.

Fue entonces que en 1965 la organización delegó a su director, generar proyectos que midieran la calidad de aire en los diferentes escenarios latinoamericanos, estableciendo una ayuda bilateral entre la organización y cada país miembro. Se creo por lo tanto *La red panamericana de muestreo normalizado de la contaminación del aire (REDPANAIRE)*, la cual comenzó a operar con 8 estaciones, sin embargo a finales de 1973, REDAPANAIRE ya contaba con mas de 88 estaciones distribuidas a lo largo de Latinoamérica en 26 ciudades de 14 países miembros. En Colombia se inicio el muestreo en 1967 ya que el gobierno se vinculó al proyecto como país interesado en ayudar a establecer datos que midieran la calidad ambiental de la atmósfera nacional. Por lo tanto se creo así primera estación de monitoreo en Bogota.

Después de adoptar muchas políticas, debido a la creciente ola de información que se venia por parte de las estaciones locales de control ambiental, la organización estableció una serie de encuestas a finales del año 1990, declarando los siguientes resultados:

- 6 Países establecieron estándares de calidad de aire.
- 10 desarrollaron redes de monitoreo de calidad de aire.
- 9 prepararon inventario de emisiones.

---

<sup>1</sup> FUENTE: MINSITERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Historia ambiental de Colombia.



- 4 establecieron estrategias de control.
- 4 llevaron acabo estudios epidemiológicos.

Resultados que generaron en la organización una satisfacción enorme, dado el cuantioso trabajo que estaban ejerciendo los países por generar políticas adecuadas para poder mitigar lo efectos de las emisiones de contaminantes atmosféricos.

Actualmente la organización sigue promoviendo diversos planes en los países latinoamericanos, generando grandes esfuerzos para controlar la calidad del aire y prevenir el deterioro del mismo. En Latinoamérica se han promulgado una serie de medidas en los países, tales como, la capacitación de profesionales en el sector de producción vehicular, campañas de sensibilización de la población frente al problema ambiental, establecimiento de sistemas de inspección regular de los contaminantes arrojados por los automóviles, etc.



## **5. ESTUDIO, DETERMINACION DE EMISIONES ATMOSFERICAS POR FUENTES MOVILES PARA LA CIUDAD DE MÉXICO Y EL ESTADO DE MÉXICO<sup>1</sup>.**

### **5.1 Introducción:**

Las áreas urbanas con inmensas densidades de poblaciones presentan problemas sustanciales en la calidad del aire, el objetivo de estudiar la calidad del aire y controlar las emisiones de contaminantes generados por fuentes móviles, es el de mantener un nivel de calidad para conseguir así un control sobre la salud pública de todos los individuos que pertenecen a la región, además del control ambiental específico sobre el área analizada.

Se sabe que muchos contaminantes presentan efectos significativos a determinadas concentraciones, es por esto que Ciudad de México implantó una serie de políticas necesarias para controlar toda esta clase de emisiones, e incluso en ocasiones controlar la visibilidad de los habitantes perturbada por las concentraciones tan altas de estos contaminantes.

La modelación de contaminantes emitidos por fuentes móviles en muchas zonas urbanas requiere de muchos parámetros a tener en consideración los cuales describen la actividad del tráfico en el sitio de análisis. Es importante mencionar que esta información en muchas ocasiones puede provenir de mediciones directas, encuestas, o generación de resultados por modelos aplicados al entorno urbano.

Los contaminantes que se tuvieron en cuenta para la realización de este modelo son los siguientes: *CO*, *NO<sub>x</sub>*, *SO<sub>2</sub>*, *COT*, *COV*, *CH<sub>4</sub>*, *NH<sub>3</sub>*, *PM<sub>10</sub>*, *PM<sub>2.5</sub>*.

### **5.2 Metodología:**

A continuación se enunciará la metodología que emplearon los diferentes entes tanto estatales como privados en la realización de este inventario de emisiones de

---

<sup>1</sup> FUENTE: Metodología para la estimación del inventario de Emisiones para el DF.



contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles, el estudio fue realizado en el año de 1998, pero se le hizo una actualización con una serie de recomendaciones bastante importantes en el año 2000.

Las técnicas de estimación generalmente utilizadas en diversas metodologías para diversos países pueden subdividirse en los siguientes grupos importantes:

1. *Muestreo en la fuente*
2. *Modelos de emisión (Mecanísticos).*
3. *Factores de emisión.*
4. *Balance de Materiales.*

### **5.2.1 Técnicas generales de estimación de emisiones:**

#### **5.2.1.1 Muestreo en la fuente:**

Este tipo de muestras son denominadas muestras en la fuente, porque se hacen de forma directa, y determinan la concentración de los diferentes contaminantes, además de su flujo y su tasa de variación de flujo, parámetros importantes dentro del análisis del estudio. Estos muestreos se utilizan principalmente en situaciones en las que se genera producción de emisiones por combustión.

#### **5.2.1.2 Modelos de emisión (Mecanísticos):**

Existen diversos casos en los que los que las emisiones no se relacionan directamente de un solo parámetro, sino que su dependencia hacia diversos parámetros, generan la creación de ecuaciones que se desarrollan para poder entender el problema. Por lo general en este tipo de modelaciones se utiliza computadora para poder resolver los diferentes cálculos complejos que pueden llegar a presentarse a lo largo de su resolución.

#### **5.2.1.3 Factores de emisión:**

Los factores de emisión son los principales generadores de un inventario de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes móviles, marcan una relación



entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y las actividades que emiten dicha contaminación, dentro de las actividades podemos mencionar las siguientes: consumo de combustibles, Kilómetros recorridos por los automotores, modelo de los vehículos, tipo de combustible, cantidad de vehículos, etc.

#### **5.2.1.4 Balance de materiales:**

El balance de materiales parte de un principio general aplicado a diversos modelos utilizados tanto en el área ambiental como en el área hídrica, etc. En nuestro caso particular parte de la premisa que el material que entra debe ser igual al material que se utiliza en el proceso, mas el material que se emite al generar dicho proceso, es una premisa de conservación de la energía deducida para obtener un balance en procesos en actividades como la combustión.

#### **5.2.2 Metodología aplicada en Ciudad de México:**

La metodología utilizada en Ciudad de México parte de un punto inicial y es el de la utilización y generación de factores de emisión, multiplicándolos por la actividad vehicular que pueden presentar los diversos vehículos según su clasificación establecida, la actividad vehicular corresponde a los Kilómetros recorridos por los vehículos (*KRV*). En la determinación de los factores de emisión participaron 2 fuentes principalmente:

1. El IPM (*Instituto Mexicano del Petróleo*): Proporciono Factores de emisión para vehículos a gasolina exceptuando las motocicletas.
2. El Modelo MOBILE 5-México: Proporciono factores para vehículos Diesel, este modelo fue desarrollado por la EPA adaptándolo a Ciudad de México.

Estos corresponden a 3 contaminantes principalmente: CO, HC, NO<sub>x</sub>. Para los demás contaminantes generados el caso específico del PM<sub>10</sub> se utilizaron factores reportados por el estudio de (*Measurement of exhaust particulate matter emissions from in-use light duty motor vehicle*). Fue un estudio realizado por la universidad de Denver en los Estados Unidos en el año de 1998. Para el caso del PM<sub>2.5</sub> y el NH<sub>3</sub> se utilizaron factores de emisión reportados por el Comité de recursos del aire de



California. Finalmente para la estimación de los factores de SO<sub>2</sub> se utilizo la metodología del balance de materiales, explicada con anterioridad.

### 5.2.2.1 Flota vehicular:

La flota vehicular se distribuyo en 12 grandes categorías, se estimaron un poco mas de 3 millones 165 mil vehículos, y la distribución realizada se presenta en la siguiente tabla:

**TABLA 5.1 Distribución de la flota vehicular en el Distrito Federal y el Estado De México.**

Tipo de Vehículo	Vehículos		
	Distrito Federal	Estado de México	ZMVM
Autos particulares <sup>1, 8</sup>	1,649,371	657,951	2,307,322
Taxis <sup>6, 8</sup>	103,694	11,992	115,686
Combis <sup>1,9</sup>	2,661	15,581	18,242
Microbuses <sup>1, 8</sup>	17,981	11,320	29,301
Pick ups <sup>1,8</sup>	64,648	77,539	142,187
Vehículos < 3 ton <sup>1, 2, 8</sup>	280,181	32,590	312,771
Tractocamiones <sup>5,8</sup>	49,077	13,830	62,907
Autobuses <sup>2, 5, 7, 8</sup>	21,866	3,553	25,419
Vehículos >3 ton <sup>1, 8</sup>	20,086	21,057	41,143
Motocicletas <sup>3,9</sup>	78,347	10,019	88,366
Camiones de carga a gas LP <sup>4,8</sup>	15,236	5,605	20,841
Vehículos a GNC <sup>4,8</sup>	999	26	1,025
<b>Totales</b>	<b>2,304,147</b>	<b>861,063</b>	<b>3,165,210</b>

<sup>1</sup> Consultas a la base datos correspondiente al 1° semestre del PVVO del 2001 en el Distrito Federal.

<sup>2</sup> Anuario de transporte y vialidad de la ciudad de México 2000, SETRAVI, 2000.

<sup>3</sup> Dirección de registro público de transporte, SETRAVI, 2001.

<sup>4</sup> Dirección de instrumentación de políticas, SMA, 2000.

<sup>5</sup> Estadística básica del auto transporte federal de pasaje, turismo y carga federal SCT.

<sup>6</sup> Instituto del Taxi, SETRAVI, 2001.

<sup>7</sup> Conformación del Parque Vehicular Operable, Dirección de Operación, Gerencia de Mantenimiento, RTP, mayo 2001.

<sup>8</sup> Consultas a la base datos correspondiente al 1° semestre del PVVO del 2001 en el Estado de México.

<sup>9</sup> Dirección General de Transporte Terrestre, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Gobierno del Estado de México, 2001.

**Fuente: Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg 120.**

Es importante hacer mención que el estudio hizo un acotamiento a vehículos con edades mayores de 25 debido a los requerimiento establecido por el MOBILE 5-México. Los vehículos con edades superiores fueron considerados de 25 años. Resaltando la consideración anterior a continuación se muestra la clasificación y la distribución de los vehículos por tipo de modelo, en comparación al tipo de vehículo:



**TABLA 5.2 Distribución de Vehículos por Modelo Vs. Tipo de Vehículo.  
En el Estado de México y el Distrito Federal.**

Año-Modelo	Vehiculos												Total
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V > 3	TRA	AUT	V > 3	MC	CGLP	VGNC	
1976 y ant.	172,581	246	535	818	12,149	21,878	13,117	1,570	4,021	-	326	1	227,242
1977	23,309	53	156	88	1,966	4,373	1,488	446	389	-	27	-	32,297
1978	30,100	103	79	134	2,945	4,924	1,836	541	612	-	67	-	41,341
1979	40,323	82	175	172	3,665	4,778	2,614	622	788	-	172	1	53,392
1980	54,624	181	329	208	4,524	6,741	3,819	815	1,019	-	296	2	72,558
1981	67,292	283	600	278	5,996	8,756	4,755	783	1,321	-	613	-	90,677
1982	65,029	424	899	279	6,551	11,619	2,835	591	1,420	-	625	-	90,272
1983	37,273	279	501	119	3,253	14,013	898	207	429	-	236	1	57,211
1984	44,792	308	662	121	3,327	13,124	1,604	626	562	-	324	-	65,452
1985	54,183	604	1,006	271	4,760	6,290	2,291	604	1,197	-	811	-	72,017
1986	49,927	903	1,078	243	4,486	7,218	1,424	458	938	-	386	-	67,063
1987	34,892	853	783	253	3,394	12,113	1,159	230	547	-	596	-	54,822
1988	49,946	1,300	714	420	5,298	9,770	1,399	312	822	-	333	-	70,314
1989	74,337	2,390	1,243	1,738	6,830	8,527	1,770	535	1,472	26,762	502	1	126,107
1990	93,624	8,908	1,458	4,491	6,866	9,718	1,613	1,667	2,083	3,702	1,156	1	135,287
1991	107,419	16,964	1,592	7,893	7,339	15,015	2,722	1,989	3,309	4,496	1,223	-	169,961
1992	119,190	25,116	2,633	8,096	5,963	20,096	2,704	2,416	3,347	7,276	2,112	1	198,957
1993	120,942	15,719	1,680	1,186	6,671	24,486	2,464	2,795	2,869	7,721	1,551	5	188,089
1994	123,200	15,614	753	444	6,370	26,976	2,080	1,839	2,382	8,592	1,906	1	190,159
1995	78,056	5,692	638	293	3,746	24,412	1,141	647	1,430	3,409	1,729	1	121,194
1996	56,777	2,354	152	119	3,164	15,761	308	684	631	2,899	1,340	-	84,189
1997	103,724	3,783	132	236	6,313	10,407	1,641	1,626	1,450	4,307	1,369	3	134,991
1998	182,139	4,910	145	333	8,999	4,809	2,042	1,064	1,627	6,427	1,334	186	214,019
1999	203,110	3,529	72	374	6,517	11,961	2,047	1,113	2,387	6,391	1,054	650	239,201
2000	320,533	5,092	227	694	11,095	15,003	3,136	1,233	4,091	6,382	745	171	368,402
<b>TOTAL</b>	<b>2,307,321</b>	<b>115,686</b>	<b>18,242</b>	<b>29,301</b>	<b>142,187</b>	<b>312,777</b>	<b>62,907</b>	<b>25,419</b>	<b>41,143</b>	<b>88,366</b>	<b>20,841</b>	<b>1,025</b>	<b>3,165,210</b>

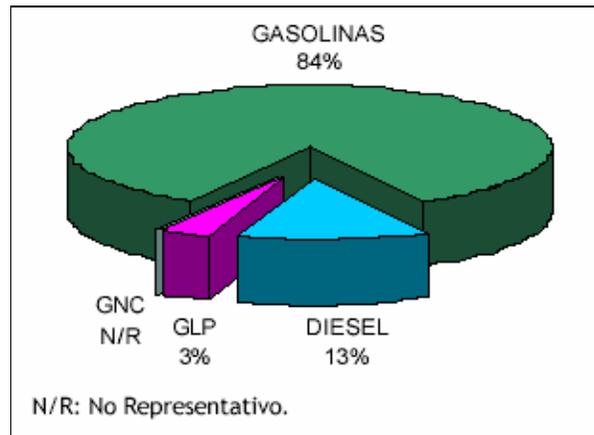
Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 100.

### 5.2.2.2 Tipo de combustible:

De acuerdo a los estudios realizados se presenta a continuación una nueva forma de clasificación según el tipo de combustible que utilizan los automotores tanto en el D.F como en el Estado de México. De esta clasificación se pudo deducir como conclusión importante lo siguiente: El 84% de los vehículos utilizan como combustible la gasolina, el 13% utilizan Diesel, el 3% utilizan GLP (Gas licuado procesado), y unidades no representativas en comparación a los vehículos totales utilizan GNC (Gas Natural). A continuación se muestran tanto la figura de distribución porcentual del tipo de combustible utilizado, como la distribución de combustible Vs. Tipo de vehículo clasificado.



**FIGURA 5.1 Distribución porcentual de los vehículos según el tipo de Combustible tanto en el D.F como en el Estado de México.**



Fuente: Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 121.

**TABLA 5.3 Clasificación de Vehículos Vs. Tipo de combustibles en el D.F, y en El Estado de México.**

Tipo de Vehículo	Vehículos				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Autos particulares	2,305,474	266	1,582	-	2,307,322
Taxis	115,684	-	2	-	115,686
Combis	18,242	-	-	-	18,242
Microbuses	27,079	617	1,306	299	29,301
Pick ups	140,747	548	892	-	142,187
Vehículos < 3 ton	298,581	14,190	-	-	312,771
Tractocamiones	180	62,700	27	-	62,907
Autobuses	150	25,239	30	-	25,419
Vehículos > 3 ton	34,287	6,856	-	-	41,143
Motocicletas	88,366	-	-	-	88,366
Camiones de carga a gas LP	-	-	20,841	-	20,841
Vehículos a GNC	-	-	-	1,025	1,025
Totales	3,028,790	110,416	24,680	1,324	3,165,210

Fuente: Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 121.



### 5.2.2.3 Actividad vehicular:

Corresponde a uno de los datos más importantes dentro de la generación del inventario de contaminantes atmosféricos, es indispensable para poder determinar las cantidades de emisiones que generan las fuentes móviles a medida que ellas se desplazan en el perímetro de la ciudad, los datos deben ser expresados para cada tipo de vehículo y para cada año modelo.

Es importante mencionar ahora la clasificación que el estudio hace acerca del tipo de vehículo que se presenta en la ciudad, el estudio divide en 3 grandes grupos los diversos automotores dependiendo de su funcionalidad, peso, actividad y otras características de menos importancia. A continuación se muestra una tabla en la que se presenta dicha clasificación de los automotores en Ciudad de México:

**TABLA 5.4 Tipos de Vehículos.**

Uso	Tipo de vehículo
Uso Particular	Autos particulares
	Pick ups
	Motocicletas
	Vehículos a GNC
Transporte de Pasajeros	Taxis
	Combis
	Microbuses
	Autobuses
Transporte de Carga	Vehículos ? 3 ton
	Tractocamiones
	Vehículos >3 ton
	Camiones de carga a gas L.P.

Fuente: Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 123

Según los datos reportados en el estudio se puede deducir que el 80% de los vehículos corresponde a automotores de uso particular, el 14% corresponde al transporte de pasajeros, y finalmente el 6% corresponde al transporte de carga<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Fuente: Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 123



Analizando nuevamente el objetivo fundamental de este numeral, “La Actividad Vehicular”, podemos especificar que esta genera datos en unidades de (KRV) o sea Kilómetros recorridos por vehículo, dependiendo de su clasificación en cuanto a modelo, y a su uso o tipo. El PVVO (Plan de verificación vehicular obligatoria) a creado en la capital Mexicana una nueva forma de clasificación de vehículos, que es importante tomarla en consideración, esta disgregación se efectúa de acuerdo a la edad del automotor y al grado de contaminación que este vehículo pueda generar a la atmósfera, por lo tanto se crearon 4 tipos de formas de clasificar los vehículos, las cuales son:

- *Holograma tipo doble cero 00*: Corresponde a los vehículos de menor edad actual, es decir que para el estudio realizado en el año 2000, esta clasificación tuvo en cuenta los modelos 2001 y 2000 como verificación doble 00, son automotores que presentan muy bajos índices de contaminación atmosférica. Este tipo de vehículos son exentos de presentar una verificación vehicular aproximadamente por 1 o 2 años<sup>1</sup>.
- *Holograma tipo cero 0*: Son vehículos que poseen edades mas altas es decir pueden abarcar modelos 1999 hasta 1997, su cantidad de contaminantes también sigue siendo baja sin embargo se establecen unas pautas para el control en cuanto a emisiones de hidrocarburos, también pueden incluirse modelos desde 1993 hasta 1996 que posean sistema de dosificación de combustible electrónico, además de un sistema de control de emisiones<sup>1</sup>.
- *Holograma Tipo 1*: Este tipo de clasificación la portara vehículos que se encuentren también dentro del rango de modelo de 1993 hasta 1996 sin embargo, son vehículos de mayor peso como por ejemplo vehículos de transporte, y que poseen combustible Diesel para funcionar, son automotores que aunque poseen sistemas de control de emisiones los contaminantes que

---

<sup>1</sup> Fuente: Gaceta Oficial del Distrito Oficial de México pg 9



producen son mucho mayores y por lo tanto se encuentra dentro de los límites máximos de permisibilidad para este tipo de Holograma<sup>1</sup>.

- *Holograma Tipo 2:* Finalmente en esta clasificación se encuentran los vehículos particulares cuyo modelo sea 1993 y anteriores, los cuales generan emisión de contaminantes que se encuentran dentro de los límites establecidos para enmarcarse dentro de esta clasificación<sup>1</sup>.

Cabe resaltar que estas clasificaciones se generaron para cumplir unos estándares mínimos de producción de contaminantes, es decir que los vehículos que se encuentren dentro del grupo 2 todavía generan emisiones permisibles por los códigos y las políticas propuestas, sin embargo aquellos automotores a los que se les realice verificación vehicular y no se encuentren dentro del último rango establecido de permisibilidad se les aplicara la inmovilización temporal del vehículo hasta que cumpla con los requerimientos establecidos.

Después de aplicar esta clasificación a los automóviles de la Ciudad se generaron los kilómetros recorridos por vehículo (KRV), es decir corresponde los kilómetros que en promedio se recorren durante un día determinado automóvil, se hizo esta clasificación teniendo en cuenta también la separación de tipo de vehículos por hologramas. Todos los resultados se hicieron con base a los datos del PVVO (*Programa de verificación vehicular obligatoria*) basándose en las lecturas proporcionadas por el odómetro. Además se muestra los días en promedio que circulan los diferentes tipos de vehículos en el área analizada.

**TABLA 5.5 KRV, Días que recorren al año, dependiendo del Holograma**

	Tipo de holograma	Km / día	Días / año
<b>Autos particulares</b>	Doble cero	36	365
	Cero	36	365
	Uno	24	313
	Dos	25	313

Fuente: Programa de verificación Vehicular Obligatorio primer semestre 2001.

**Fuente: Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 124**

<sup>1</sup> Fuente: Gaceta Oficial del Distrito Oficial de México pg 9



Para los otros tipos de vehículos que ya fueron mencionados, vehículos de transporte y los vehículos de carga los datos generados fueron obtenidos con base al estudio que realizó COMETRAVI (*Comisión Metropolitana de Transporte y viabilidad*) y el PVVO en la zona analizada. Los datos se presentan en la siguiente tabla.

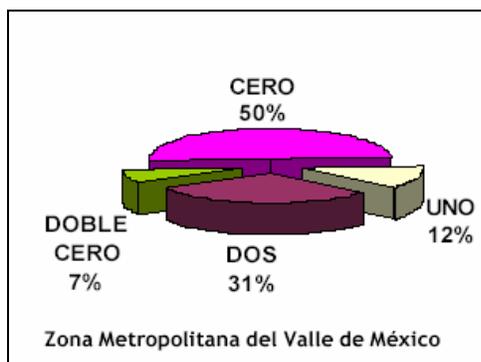
**TABLA 5.6 Kilómetros recorridos por tipo de Vehículo y por tipo de Holograma**

Clasificación final	Tipo de vehículo	Km / día	Días / año			
			Doble cero	Cero	Uno	Dos
Autos particulares	Autos particulares de uso intensivo	100	365	365	313	313
Pick up's	Pick up's	60	N/A	365	313	313
	Pick up's de uso intensivo	100	N/A	365	313	313
Microbuses	Microbuses	200	N/A	365	313	313
Tractocamiones	Tractocamiones	60	N/A	365	313	313
Vehículos ? 3 ton	Camiones	60	N/A	365	313	313
	Vehículos ? 3 ton	33	N/A	365	313	313
	Vehículos ? 3 ton de uso intensivo	60	N/A	365	313	313
Vehículos > 3 ton	Vehículos > 3 ton	60	N/A	365	313	313
Combis	Combis de transporte de pasajeros	200	N/A	N/A	N/A	313

Fuente: Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 124

Es importante también plantear una serie de conclusiones que el estudio genera, y que a mi parecer son de relativa importancia para entender el porque muchas de las medidas generadas por las políticas actuales han servido mucho en el control ambiental de la Zona Metropolitana de Ciudad de México.

**FIGURA 5.2 Distribución de los vehículos que circulan según Holograma.**



Fuente: Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 125



Es por esto que se observa, si se analiza la Figura 5.2, que el mayor porcentaje de vehículos particulares que circulan en la ciudad son del tipo de holograma doble cero, y cero, situación que mejora sustancialmente las emisiones producidas por los automotores, ya que el mayor número de vehículos poseen un año modelo relativamente reciente, además la tecnología que pueden tener estos automóviles en cuanto a control de emisiones es bastante adecuada para mantener estándares de calidad de aire apropiados para la salud humana.

Finalmente el estudio plantea la ecuación definitiva para calcular el Número de Kilómetros recorridos por vehículo por año, dados los datos mostrados con anterioridad. La ecuación es la siguiente:

$$KRV_{ij} = (KD_i)(NV_{ij})(DA)^1.$$

En donde las variables son las siguientes:

- $KRV_{ij}$ : Kilómetros recorridos por el vehículo tipo (i), del año modelo (j).
- $KD_i$ : Kilómetros recorridos por el tipo de vehículo (i).
- $NV_{ij}$ : Número de Vehículos del tipo (i), del año modelo (j).
- $DA$ : Días al año en los que circulan los vehículos.

Aplicando esta ecuación fundamental podemos obtener para cada tipo de vehículo, y para cada año modelo de vehículo, el número de Kilómetros que recorren los vehículos incluidos en ambas categorías al año.

Es importante recordar, que los resultados se dan en millones de kilómetros recorridos por los vehículos, desde modelos de 1976 y anteriores hasta modelos del año 2000, además de esto se muestran los datos en una clasificación de 12 categorías que se enunciaron en un principio en el análisis de este modelo.

---

<sup>1</sup> Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 103.



**TABLA 5.7 Kilómetros recorridos por año modelo y categoría tipo.**

Año-Modelo	Millones de Kilómetros recorridos al año (KRV)												Total
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V ? 3	TRA	AUT	V > 3	MC	CGLP	VGNC	
1976 y ant.	748	-	-	4	64	281	225	27	13	-	3	-	1,365
1977	99	-	-	-	12	71	26	7	2	-	-	-	217
1978	128	3	-	1	18	76	32	12	3	-	1	-	274
1979	178	-	-	1	22	69	45	10	3	-	2	-	330
1980	249	1	1	1	28	99	65	13	5	-	4	-	466
1981	314	2	2	2	40	131	82	13	8	-	10	-	604
1982	306	1	4	2	47	184	49	10	8	-	9	-	620
1983	180	1	1	1	26	252	15	3	3	-	4	-	486
1984	227	1	2	2	27	236	28	16	5	-	4	-	550
1985	285	8	4	4	38	98	39	10	11	-	13	-	510
1986	271	24	7	3	35	122	24	7	8	-	7	-	508
1987	202	31	6	6	29	219	20	4	5	-	12	-	534
1988	285	55	5	12	45	169	24	5	7	-	7	-	614
1989	456	109	11	65	59	140	30	8	14	203	9	-	1,104
1990	633	568	15	200	69	160	27	57	20	36	22	-	1,807
1991	764	1,150	20	370	82	247	46	31	33	44	23	-	2,810
1992	840	1,722	43	363	77	341	46	36	34	73	36	-	3,613
1993	1,317	1,078	20	36	89	426	42	44	30	77	26	-	3,189
1994	1,419	1,094	9	8	93	483	35	27	27	83	35	-	3,313
1995	954	394	7	4	60	446	19	12	17	34	26	-	1,975
1996	826	159	2	2	55	290	5	25	7	26	23	-	1,420
1997	1,600	258	1	6	102	183	28	56	18	44	20	-	2,319
1998	2,736	338	2	7	161	79	35	17	21	62	16	2	3,478
1999	3,100	239	1	6	125	207	35	16	29	62	13	13	3,846
2000	5,302	334	3	20	200	252	53	17	46	65	3	2	6,297
<b>TOTAL</b>	<b>23,419</b>	<b>7,570</b>	<b>166</b>	<b>1,128</b>	<b>1,603</b>	<b>5,261</b>	<b>1,075</b>	<b>490</b>	<b>377</b>	<b>809</b>	<b>334</b>	<b>17</b>	<b>42,249</b>

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 104.

### 5.2.2.4 Factores de emisión:

Después de haber obtenido los datos de la actividad vehicular de los diversos automotores, es necesario mostrar los factores de emisión que se calcularon u obtuvieron para los diversos contaminantes analizados en el inventario.

Como ya se menciono con anterioridad los contaminantes que serán analizados en esta parte del proceso y los cuales fueron presentados en el inventario del modelo de emisiones son los siguientes: CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, COT, COV, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>.

#### 5.2.2.4.1 Factores de emisión para HCT, CO, y NO<sub>x</sub>.

Los factores de emisiones para estos tres compuestos se obtuvieron según el informe de 3 maneras diferentes:

1. Para algunos vehículos Diesel, motocicletas y vehículos particulares se utilizaron los resultados obtenidos del modelo MOBILE5-México.



- Para los demás automotores particulares se utilizaron los factores de emisión proporcionados por el IPM (*Instituto Mexicano del Petróleo*).
- Finalmente para los vehículos que utilizan Gas el caso del GLP, y el GNC, se utilizaron factores proporcionados por *Greenhouse Gas inventory Reference manual Vol. 3*.

A continuación se mostraran una serie de tablas que nos indican lo factores de emisión determinados por los diferentes modelos y estamentos nacionales de México, para los contaminantes a los que se refiere este capítulo.

**TABLA 5.8 Factores de emisión para HCT por tipo de vehículo y año Modelo.**

Año modelo	Factor de Emisión para HCT (g/km)										
	APG	TAXG	COG	PICG	V ? 3G	MICG	TRAG/AUTG/V > 3G	APD	PICD/V ? 3D/MICD	TRAD/AUTD/V > 3D	MCG
1976 y ant.	6.255	6.255	5.651	4.442	7.448	9.856	16.677	2.762	2.124	6.215	0
1977	6.255	6.255	5.651	4.442	7.448	9.856	16.677	2.762	2.124	6.215	0
1978	6.255	6.255	5.651	4.442	7.448	9.856	16.656	2.762	2.100	6.199	0
1979	6.255	6.255	5.651	4.442	7.448	9.856	16.609	2.724	2.078	6.199	0
1980	6.255	6.255	5.651	4.442	7.448	9.856	16.323	2.723	2.057	6.165	0
1981	6.255	6.255	5.651	4.442	7.448	9.856	16.267	2.679	2.049	6.108	0
1982	6.255	6.255	5.651	4.442	7.448	9.856	16.192	2.677	2.007	6.104	0
1983	5.684	5.684	5.651	4.442	7.448	9.856	16.072	2.664	1.990	6.096	0
1984	5.684	5.684	5.651	4.442	7.448	9.856	15.936	2.629	1.967	6.095	0
1985	5.684	5.684	5.651	4.442	7.448	9.856	15.801	2.593	1.948	6.094	0
1986	5.684	5.684	5.651	4.442	7.448	9.856	15.698	2.580	1.925	6.066	0
1987	5.684	5.684	5.651	4.442	7.448	9.856	15.622	2.575	1.895	6.031	0
1988	4.545	4.545	5.651	4.442	7.448	9.856	15.608	2.512	1.865	6.007	0
1989	4.545	4.545	5.651	4.442	7.448	9.856	13.698	2.467	1.846	6.002	9.884
1990	4.545	4.545	5.651	4.442	7.448	9.856	13.556	2.437	1.809	5.968	9.884
1991	3.590	3.590	5.651	4.442	7.448	9.856	11.962	1.106	1.779	5.965	9.748
1992	3.590	3.590	5.651	4.442	7.448	9.856	10.363	1.072	1.733	5.949	9.600
1993	2.456	1.841	5.651	4.442	7.448	9.856	6.185	0.599	0.845	4.431	4.682
1994	2.456	1.841	5.651	4.442	7.448	9.856	4.705	0.413	0.827	3.935	3.847
1995	1.047	1.841	5.651	4.442	7.448	9.856	4.683	0.327	0.536	3.729	3.645
1996	1.047	1.841	5.651	1.867	2.087	9.856	2.662	0.307	0.509	3.199	2.841
1997	1.047	1.841	5.651	1.867	2.087	9.856	2.544	0.280	0.476	3.197	2.651
1998	1.047	1.841	5.651	1.867	2.087	9.856	2.445	0.260	0.446	3.197	2.443
1999	0.534	1.841	5.651	1.867	2.087	9.856	2.366	0.224	0.405	3.197	2.228
2000	0.534	1.841	5.651	1.867	2.087	9.856	2.292	0.199	0.327	3.197	1.997

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 109.

Los valores de los factores están dados en g/Km., esto representa el total de gramos que generan de HCT (Hidrocarburos Totales), los diferentes vehículos clasificados en este inventario por cada kilómetro que ellos recorren dentro del perímetro analizado.



**TABLA 5.9 Factores de emisión para CO por tipo de vehículo y año**

**Modelo.**

Año modelo	Factor de Emisión para CO [gr/km]											
	APG	TAXG	COG	PICG	V ? 3G	MICG	TRAG/AUTG/V > 3G	APD	PICD/V ? 3D/MICD	TRAD/AUTD/V > 3D	MCG	
1976 y ant.	76.4	76.4	59.4	48.2	80.9	108.1	289.704	4.348	3.195	14.062	0	
1977	76.4	76.4	59.4	48.2	80.9	108.1	289.704	4.348	3.195	13.964	0	
1978	76.4	76.4	59.4	48.2	80.9	108.1	287.943	4.330	3.165	13.940	0	
1979	76.4	76.4	59.4	48.2	80.9	108.1	287.821	4.281	3.138	13.940	0	
1980	76.4	76.4	59.4	48.2	80.9	108.1	283.843	4.217	3.112	13.885	0	
1981	76.4	76.4	59.4	48.2	80.9	108.1	282.209	4.257	3.091	13.872	0	
1982	76.4	76.4	59.4	48.2	80.9	108.1	280.658	4.207	3.050	13.762	0	
1983	55.6	55.6	59.4	48.2	80.9	108.1	279.123	4.179	3.023	13.707	0	
1984	55.6	55.6	59.4	48.2	80.9	108.1	277.472	4.143	3.003	13.697	0	
1985	55.6	55.6	59.4	48.2	80.9	108.1	275.016	4.080	2.972	13.661	0	
1986	55.6	55.6	59.4	48.2	80.9	108.1	272.049	4.046	2.945	13.609	0	
1987	55.6	55.6	59.4	48.2	80.9	108.1	271.587	3.995	2.909	13.590	0	
1988	39.6	39.6	59.4	48.2	80.9	108.1	269.804	3.961	2.864	13.497	0	
1989	39.6	39.6	59.4	48.2	80.9	108.1	259.640	3.876	2.831	13.453	38.354	
1990	39.6	39.6	59.4	48.2	80.9	108.1	255.734	3.859	2.793	13.389	38.354	
1991	31.4	31.4	59.4	48.2	80.9	108.1	221.524	1.870	2.754	13.359	38.014	
1992	31.4	31.4	59.4	48.2	80.9	108.1	186.379	1.837	2.719	13.318	37.553	
1993	23.7	15.2	59.4	48.2	80.9	108.1	89.755	1.442	2.667	13.227	26.642	
1994	23.7	15.2	59.4	48.2	80.9	108.1	88.009	1.419	2.615	12.393	25.896	
1995	7.3	15.2	59.4	48.2	80.9	108.1	86.398	0.883	1.581	11.762	25.398	
1996	7.3	15.2	59.4	11.7	48	108.1	38.758	0.854	1.559	11.325	24.844	
1997	7.3	15.2	59.4	11.7	48	108.1	37.753	0.822	1.529	11.249	24.229	
1998	7.3	15.2	59.4	11.7	48	108.1	36.690	0.786	1.493	11.172	23.561	
1999	3.2	15.2	59.4	11.7	48	108.1	35.638	0.750	1.452	11.059	22.848	
2000	3.2	15.2	59.4	11.7	48	108.1	34.490	0.710	1.390	10.983	22.087	

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 109.

**TABLA 5.10 Factores de emisión para NOx por tipo de vehículo y año**

**Modelo.**

Año modelo	Factor de Emisión para NOx [gr/km]											
	APG	TAXG	COG	PICG	V ? 3G	MICG	TRAG/AUTG/V > 3G	APD	PICD/V ? 3D/MICD	TRAD/AUTD/V > 3D	MCG	
1976 y ant.	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.661	1.397	1.830	17.922	0	
1977	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.629	1.381	1.830	17.922	0	
1978	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.613	1.381	1.813	17.919	0	
1979	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.591	1.381	1.797	17.852	0	
1980	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.537	1.362	1.780	17.850	0	
1981	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.527	1.339	1.747	17.646	0	
1982	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.516	1.339	1.737	17.633	0	
1983	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.516	1.332	1.727	17.619	0	
1984	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.515	1.315	1.718	17.593	0	
1985	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.513	1.296	1.700	17.574	0	
1986	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.508	1.290	1.670	17.515	0	
1987	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.501	1.287	1.653	17.358	0	
1988	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.416	1.256	1.621	17.338	0	
1989	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.171	1.245	1.600	17.278	0.167	
1990	2.10	2.10	2.7	3.37	5.75	4.75	4.082	1.219	1.573	17.252	0.167	
1991	2.40	2.40	2.7	3.37	5.75	4.75	3.560	1.159	1.560	17.116	0.170	
1992	2.40	2.40	2.7	3.37	5.75	4.75	3.029	1.133	1.539	17.105	0.175	
1993	2.40	1.48	2.7	3.37	5.75	4.75	2.860	0.995	1.098	13.198	0.373	
1994	2.40	1.48	2.7	3.37	5.75	4.75	2.855	0.976	1.083	11.729	0.385	
1995	1.50	1.48	2.7	3.37	5.75	4.75	2.793	0.959	1.063	11.104	0.387	

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 109.



1996	1.50	1.48	2.7	1.64	3.20	4.75	2.548	0.668	1.044	10.799	0.385
1997	1.50	1.48	2.7	1.64	3.20	4.75	2.492	0.643	1.021	10.798	0.384
1998	1.50	1.48	2.7	1.64	3.20	4.75	2.427	0.613	0.989	10.796	0.381
1999	0.67	1.48	2.7	1.64	3.20	4.75	2.385	0.584	0.968	10.790	0.383
2000	0.67	1.48	2.7	1.64	3.20	4.75	2.322	0.557	0.900	10.790	0.382

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 109.

#### 5.2.2.4.2 Factores de emisión para SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>

Para estimar los factores de emisión del material particulado que presenta diámetros menores a 10 micras, los estudios explican que se utilizaron datos proporcionados por *Measurement of Exhaust Particulate Matter Emissions from In-use Light Duty Motor Vehicle in Denver Colorado Area*, realizado por la Universidad de Colorado en el año de 1998.

**TABLA 5.11 Factores de emisión para PM<sub>10</sub>.**

Tipo de combustible	Factor de emisión PM <sub>10</sub> [gr/km]
Gasolina	0.029
Diesel	1.5
Gas LP <sup>4</sup>	0.029
Gas Natural Comprimido	0.029

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 120.

Si mencionamos ahora como obtuvieron los factores de emisión para el material particulado PM<sub>2.5</sub> podemos especificar que se generaron unos porcentajes en relación a los factores de emisión calculados para el PM<sub>10</sub>, estos porcentajes fueron estimados por el Comité de Recursos de Aire de California y son los siguientes:

**TABLA 5.12 Factores de emisión para PM<sub>2.5</sub>**

Combustible	Porcentaje de PM <sub>10</sub>
Gasolina, y combustibles gaseosos.	75%
Diesel.	92%

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 122.



Analizando ahora el NH<sub>3</sub>, el estudio genera una importante consideración en cuanto a su estimación, ya que la generación de estos factores de emisión no se había realizado en otros estudios anteriores y su determinación fue un esfuerzo importante a la hora de expresar un inventario bastante completo sobre emisiones de contaminación atmosférica producidas por fuentes móviles. Los factores fueron determinados también por la Universidad de Colorado en el año de 1998, sus resultados para combustibles líquidos como la gasolina y el Diesel son los siguientes.

**TABLA 5.13 Factores de emisión para NH<sub>3</sub>.**

Año modelo	Factor de Emisión para NH <sub>3</sub> [gr/km]										
	APG	TAX	CO	PICG	V ? 3G	MICG	TRAG/AUTG /V > 3G	APD	PICD/V ? 3D/MICD	TRAD/AUTD/ V > 3D	MC
1990 y ant.	0.00162	0.00162	0.00162	0.00162	0.00162	0.00162	0.00162	0.00192	0.00192	0.00192	0.00162
1991-1992	0.00609	0.00609	0.00609	0.00609	0.00609	0.00609	0.00609	0.00192	0.00192	0.00192	0.00609
1993-2000	0.07203	0.07203	0.07203	0.07203	0.07203	0.07203	0.07203	0.00192	0.00192	0.00192	0.07203

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 123.

Finalmente para determinar los factores de emisión de SO<sub>2</sub> generados en la combustión, se hizo un balance de masas, primero tomando como el 100% todo el combustible que se consume, y se obtuvo un porcentaje de SO<sub>2</sub> consumido de acuerdo al contenido de azufre en el combustible inicial.

**TABLA 5.14 Factores de emisión para SO<sub>2</sub>.**

Tipo de combustible	Consumo [m <sup>3</sup> ]		Contenido de Azufre [%w]	Densidad [ton/m <sup>3</sup> ]
	D.F.	EdoMéx		
Gasolina magna	3,800.929	2,036.584	0.040 <sup>1</sup>	0.730 <sup>1</sup>
Gasolina Premium	448.560	185.978	0.020 <sup>1</sup>	0.734 <sup>1</sup>
Pemex Diesel	575.877	473.879	0.040 <sup>1</sup>	0.835 <sup>1</sup>
Gas LP	183.830	99.326	0.014 <sup>2</sup>	0.540 <sup>4</sup>
Gas Natural	6,201.504	-----	0.0001195 <sup>3</sup>	0.554 <sup>5</sup>

1: PEMEX Refinación; Septiembre 2001/PXR-SC-ASC-104/01.

2: Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994; Tabla 12, Gaceta Ecológica, mayo de 1995, de [0.14 kg/ton].

Equivalente a  $([0.14 \text{ kg de S/ton glp}]/[1000 \text{ kg/ton}]_s) \cdot 100 = [0.014 \%w]$

3: Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994; Tabla 11, Gaceta Ecológica, mayo de 1995, de [0.32 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>].

Equivalente a  $([0.32 \text{ dm}^3 \text{ de S/m}^3 \text{ de gn}]/[0.554 \text{ m}^3/\text{ton}]_g) \cdot [0.001 \text{ m}^3/\text{dm}^3]_s \cdot [(2.07 \text{ kg/m}^3)_s/[1000 \text{ kg/ton}]_S] \cdot 100 = [0.0001195 \%w]$ .

4: PEMEX Gas y Petroquímica Básica; Hoja de datos de seguridad para sustancias químicas "Gas Licuado de Petróleo".

5: PEMEX Gas y Petroquímica Básica; Hoja de datos de seguridad para sustancias químicas "Gas Natural".

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 123.



### **5.2.2.5 Emisiones generadas por Fuentes móviles:**

Después de haber analizado y mostrado de una forma detallada paso por paso, resultado por resultado, como se generaron una serie de datos e inventarios relacionados con la distribución vehicular, la actividad vehicular, los factores de emisión para los diversos contaminantes. Se llega al punto definitivo y la conclusión final del análisis de este estudio, la cual intento mostrar paso a paso como dije anteriormente, que hicieron diferentes empresas y entes estatales, para generar un inventario de todos los contaminantes mas importantes que generan las fuentes móviles después de haber hecho una clasificación exhausta de las mismas y después de haber determinado diferentes valores de actividad vehicular dentro del sector analizado en el informe final.

El objetivo fundamental de este estudio radico en el hecho de generar un punto de comparación sobre la metodología que se empleo para generar un estudio en nuestra ciudad, Bogota D.C, denominado “Aire mas Limpio” y realizado por un grupo interdisciplinario de la Universidad de los Andes, y poder mostrar debilidades y fortalezas frente a otras propuestas utilizadas en ciudades tan importantes como lo es Ciudad de México.

El paso final en la determinación de emisiones de contaminantes se base en la siguiente ecuación sustentada en el modelo:

$$E_{ijk} = (KRV_{ij})(FE_{ijk})/1000000. \text{ (Ton/año)}^1$$

En donde cada una de sus variables corresponde a:

- $E_{ijk}$ : Emisión del tipo de vehículo (i), del año modelo (j), y del tipo de contaminante (k).
- $KRV_{ij}$ : Kilómetros recorridos por el vehículo de tipo (i) del año (j).
- $FE_{ijk}$ : Factor de emisión del vehículo (i), del año modelo (j), y del tipo de contaminante (k).

---

<sup>1</sup> Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 114



Es necesario generar una aclaración final, la cual tiene que ver con la distribución que se hace partiendo de unos datos proporcionados de HCT, los cuales se subdividen en COT, COV, CH<sub>4</sub>, debido a unos porcentajes generados para poder explicar y presentar toda la clasificación, estos porcentajes son:

**TABLA 5.15 Porcentajes de CH<sub>4</sub>, COT, COV, dentro de HCT.**

TIPO DE VEHÍCULO	% CH <sub>4</sub>	% COV's	% COT's
APG	5.3	93.6	1.827
APD	5.6	98.8	5.195
TAXG	5.8	93.6	1.827
COG	4.1	93.6	1.827
MIG	5.2	93.5	1.484
MID	2.8	98.8	4.920
PUG	6.1	93.4	1.366
PUD	3.9	98.8	4.920
V ? 3G	5.9	93.5	1.484
V ? 3D	92.0	98.8	4.920
TRAG	10.0	93.9	2.994
TRAD	4.3	98.8	3.271
AUTG	10.0	93.9	2.994
AUTD	4.1	98.8	3.271
V > 3G	5.9	93.9	2.994
V > 3D	4.2	98.8	3.271
MCG	3.9	96.5	2.830

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 116

Finalmente tenemos el inventario final de emisiones de contaminantes atmosféricos para el Valle de Ciudad de México.

**TABLA 5.16 Emisiones por Fuentes Móviles en Ciudad de México.**

Tipo de vehículo	Emisiones [ton/año].								
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT	CH <sub>4</sub>	COV	NH <sub>3</sub>
Autos particulares	963	721	2,432	822,645	52,029	85,058	4,427	78,185	1,555
Taxis	245	183	587	215,387	16,091	25,126	1,431	23,096	318
Combis	33	25	126	67,832	3,084	6,571	264	6,040	20
Microbuses	111	94	29	184,435	8,504	17,469	954	16,108	18
Pick up	118	93	234	129,259	9,945	12,955	780	12,233	108
Vehículos ? 3 ton	558	485	514	419,384	29,915	37,084	2,465	34,165	182
Tractocamiones	2,058	1,893	159	18,955	22,199	7,855	330	7,193	3
Autobuses	949	873	75	10,150	9,256	3,303	133	3,026	1
Vehículos > a 3 ton	213	193	108	117,151	4,118	7,430	416	6,917	20
Motocicletas	26	20	64	28,324	255	5,935	225	5,682	36
Camiones de carga a gas L.P.	13	9	20	5,248	1,797	1,976	119	1,822	N/S
Vehículos a GNC	N/S	N/S	N/S	18	46	54	49	50	N/S
Total	5,287	4,589	4,348	2,018,788	157,239	210,816	11,593	194,517	2,261

Fuente: Anexo A Inventario emisiones 2000 Distrito Federal y Estado de México pg: 128.



## **6. ESTUDIO, METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE EMISIONES ATMOSFERICAS PRODUCIDAS POR FUENTES MOVILES PARA LA CIUDAD DE BOGOTA, (*Modelo de calidad de aire*)**

### **6.1 Introducción:**

En el anterior capítulo de este proyecto de grado se expuso en gran detalle la metodología que fue utilizada en la Ciudad de México para la determinación de las emisiones atmosféricas producidas por las fuentes móviles. Se escogió Ciudad de México porque es un centro urbanístico que presenta unas características geográficas y físicas similares a Bogotá, en cuanto a la altitud promedio y la temperatura existente en el entorno actual se refiere.

El presente capítulo de este proyecto de grado se centrará principalmente en realizar también un análisis detallado de la forma en la que se están determinando las emisiones atmosféricas generadas por las fuentes móviles.

El estudio se está ejecutando actualmente, el ente encargado en la realización del mismo es la Universidad de los Andes con un modelo denominado (*Modelo de Calidad de Aire para Bogotá*). Aunque el modelo pretende analizar tanto las fuentes móviles, como las fuentes industriales, y las fuentes biogénicas, mi análisis se centrará únicamente en las fuentes móviles debido a que uno de los intereses importantes dentro de la realización de mi proyecto de grado, es el de comparar dos estudios de relativa importancia como lo son, el de México DF y el de Bogotá DC.

Generando el análisis de estos estudios, se podrán generar una serie de conclusiones trascendentales en las diferencias en cuanto a la metodología y realización de los proyectos referentes.

### **6.2 Generalidades:**

Bogotá se constituye en el centro urbano más importante del país debido a su presencia como capital de la República de Colombia, es una ciudad que posee una temperatura promedio de 12 °C. Posee una población según los datos proyectados por el Departamento Administrativo de Proyección Distrital (DAPD) de 6.314.305



Habitantes. Su altitud media es de 2600 m.s.n.m. Posee una presión barométrica aproximada de 565 mm y una superficie aproximada de 35.033 Has.

Es una ciudad que posee un parque automotor bastante grande, según datos consultados en la web de la Secretaria de Transito y Transporte de Bogota, la ciudad posee aproximadamente un parque automotor de 687.374 vehículos, es decir si dividimos el numero de vehículos entre el numero de habitantes obtenemos como un dato aproximado la existencia de 1 vehículo por cada 10 Habitantes.

De ese número de vehículos existentes en la ciudad tenemos la siguiente distribución en cuanto a vehículos privados y públicos:

- **14%** Corresponde a Vehículos de Transporte Publico.
- **86%** Vehículos de Transporte privado.<sup>1</sup>

Además si analizamos la movilidad de los ciudadanos en Bogota, la Secretaria de Transito y Transporte ha reportado las siguientes cifras:

- El 27 % de los habitantes utiliza el transporte privado para movilizarse.
- El 73 % de los habitantes utiliza el transporte público para su movilización.<sup>2</sup>

Estos datos los he presentado en este proyecto para dar a conocer al lector con cifras, la aplicabilidad y necesidad de adoptar y ejercer adecuadamente una de las políticas propuestas por el Distrito Capital para mejorar tanto la movilidad de los vehículos en Bogota, como reducir el volumen de emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por fuentes móviles. Esta política tiene que ver la consentización ciudadana de la desmovilización del carro particular, y la utilización del transporte masivo como alternativa viable a la movilidad ciudadana.

### **6.2.1 Red Vial de Bogota:**

A continuación se mostrara el estado actual de la red vial de la ciudad de Bogota, tanto en su clasificación dependiendo el tipo de vía a la que se refiere como en el

---

<sup>1</sup> Fuente: [www.alcaldiabogota.gov.co](http://www.alcaldiabogota.gov.co)

<sup>2</sup> Fuente: [www.alcaldiabogota.gov.co](http://www.alcaldiabogota.gov.co)



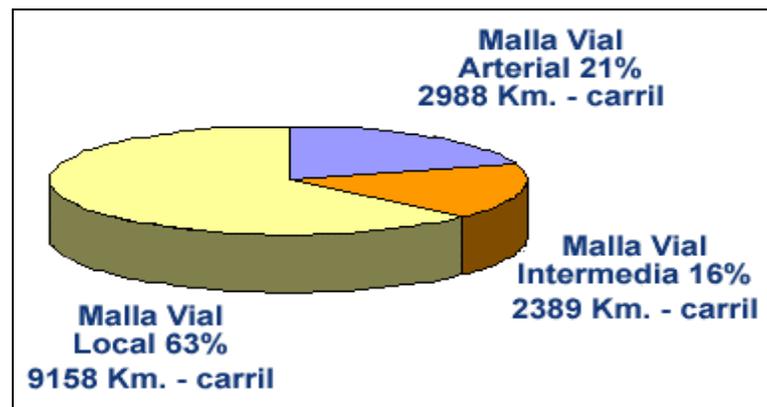
numero de kilómetros que estas posee, este paso dentro de las generalidades se ha realizado para generar en el lector una aproximación mayor, referente a la situación interna que vive la ciudad con relación a sus vías.

El Sistema Vial está constituido por cuatro mallas jerarquizadas y relacionadas funcionalmente, y por las intersecciones generadas entre las mismas.

- Una malla arterial principal, que actúa como soporte funcional de la ciudad central y el ámbito metropolitano y regional.
- Una malla arterial complementaria, que articula la escala urbana y sirve de soporte funcional de la estructura de centralidades.
- Una malla vial intermedia, que garantiza la conectividad de la ciudad a escala zonal.
- Una malla vial local, que establece la permeabilidad y fluidez de acceso a las unidades de vivienda.
- Intersecciones

La Malla Vial existente en Bogotá D.C. alcanza 15.192 Kilómetros carril de los cuales el 96% (14.535 Km.-carril) corresponden al Sistema Vial y el 4% (657 Km.-carril) al Sistema de Transporte.

**FIGURA 6.1 Distribución Porcentual Malla vial en Bogota.**



Fuente: IDU ([http://www.idu.gov.co/sist\\_vial/inventario\\_malla\\_vial.htm](http://www.idu.gov.co/sist_vial/inventario_malla_vial.htm))



### **6.2.2 Estado actual Malla vial:**

Así como es importante conocer la distribución por diversas categorías de las vías existentes en la ciudad de Bogotá es importante también mencionar el estado actual de estas mismas según patrones establecidos por entidades gubernamentales los cuales analizan y sustentan de una manera clara y ordenada esta información. Uno de estos estamentos existentes en nuestra ciudad el cual es de carácter publico estatal es el IDU (*Instituto de Desarrollo urbano*), el cual posee una información muy completa, ya digitalizada y disponible para el publico en general en su pagina Web, acerca del estado de las vías en la Capital Colombiana.

El IDU a generado una clasificación dentro de lo que denomina Diagnostico de la malla vial, esta clasificación esta generada por un índice ICP (*Índice de condición del Pavimento*), el cual depende principalmente de dos parámetros: El primero de ellos es el porcentaje de fallas que presente el tramo escogido sobre la vía analizada, y el segundo de ellos es la superficialidad que presenta la vía sobre un tramo también determinado. Dependiendo del valor del ICP el IDU ha podido establecer que tipo de mantenimiento hay que realizar en la vía, para esto creo una serie de intervalos que me muestran las probables obras que se deben ejecutar en los tramos para obtener una adecuada movilidad por parte de los automotores.

Estos intervalos son:

- ICP < 30 Se requiere de una construcción nuevamente de la vía.
- 30 < ICP < 70 Se requiere de una rehabilitación.
- ICP >70 Se requiere solamente de un mantenimiento.

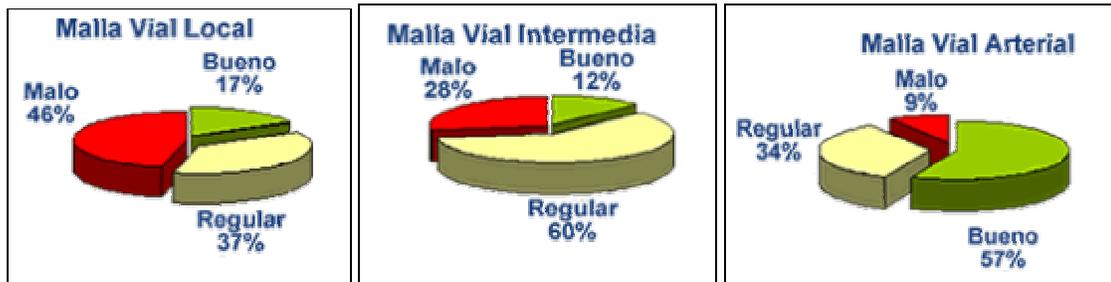
A partir de esta clasificación generada por el estamento encargado, y basándose en los datos obtenidos por el índice ICP, se ha podido crear 3 grandes grupos de clasificación sobre el estado de la malla vial, estos grupos son:

- **MALO:** Posee un ICP menor a 30 y se requiere construcción.
- **REGULAR:** Posee un ICP entre 30 y 70 y se requiere rehabilitación.
- **BUENO:** Posee un ICP mayor a 70 y se requiere mantenimiento.



A continuación se muestran los datos finales entregados por el IDU acerca de el estado de las vías existentes en nuestra ciudad:

**FIGURA 6.2 Estado de la malla vial en Bogota.**



Fuente: IDU ([http://www.idu.gov.co/sist\\_vial/inventario\\_malla\\_vial.htm](http://www.idu.gov.co/sist_vial/inventario_malla_vial.htm))

A partir de los datos mostrados con anterioridad se pueden generar importantes conclusiones que a continuación enunciare acerca de los resultados mostrados por los gráficos generados por el IDU:

#### **6.2.2.1 Conclusiones estado de la malla vial:**

1. Es importante mencionar que el porcentaje mayor de vías del distrito que se encuentran en mal estado corresponden a las vías locales, representando aproximadamente un 46% en mal estado, de un 69% que representan las vías locales presentes en nuestra capital.
2. Las vías arteriales presentan en su mayoría un porcentaje muy alto de estado bueno, establecido por el IDU como un 57%, un valor bastante importante si mencionamos que por las vías arteriales se desplaza o se presenta un gran flujo de automotores sobre las diferentes horas del día.
3. En las vías intermedias sin embargo se presenta un comportamiento curioso, es decir la gran mayoría de estas vías se encuentran en un estado regular, su rehabilitación es inminente.
4. Existe una relación directa entre el porcentaje de vías que se encuentran en un buen estado de la malla arterial, y el tamaño o porcentaje que esta representa dentro de la distribución general. Es decir que podemos decir que como el tamaño de las vías arteriales es mucho menor en cuanto a km/carril



que las vías locales, su recuperación no implica muchas inversiones de dinero y si generan importantes beneficios globales para la ciudad.

5. El porcentaje mayor de vías de la ciudad esta representado en las vías locales, por lo tanto se presenta un disgusto y una incomodada local mas no global por parte de la ciudadanía en referencia al estado de las vías ya que como se muestran en los gráficos anteriores el porcentaje en mal estado es del 46%, un porcentaje muy amplio y que refleja en muchos casos la inconformidad de muchos sectores de la ciudad en especial localidades y barrios acerca del estado de sus vías.

### **6.3 Modelo AIREMIS:**

Es importante mencionar que: *Los datos y demás conclusiones generadas en este proyecto fueron obtenidos y creados a partir de informes preliminares proporcionados al ejecutor de este trabajo por parte de personas encargadas en la realización y ejecución del modelo AIREMIS, modelo que proporciona los datos finales sobre la cantidad de contaminantes atmosféricos generados por los automotores en Bogota, mi labor consistió en analizar estos datos y presentar al lector la metodología que el Modelo emplea para producir los diferentes resultados, y poder generar así una comparación entre el modelo aplicado para la Ciudad de México y el Modelo aplicado para Bogota.*

*Además de estos informes preliminares y parciales se utilizo el manual COPERT III bajado de la web el cual explica la metodología generada para la determinación de contaminantes atmosféricos y se convierte por lo tanto en un suplemento bastante importante e indispensable dentro de la realización de este informe.*

La metodología del estudio intenta mostrar cuales fueron los pasos que tuvieron que seguirse para poder desarrollar un modelo apropiado, con resultados óptimos, confiables, y precisos de acuerdo también obviamente a la precisión en la que se encuentren los datos suministrados por los diferentes organismos tanto privados como estatales, sobre el comportamiento vehicular en nuestra ciudad.



El modelo realizado para la ciudad de Bogota esta basado principalmente como se menciona en un principio por la precisión de los resultados obtenidos sobre las variables iniciales que son utilizadas en la modelación, y por la flexibilidad que pueda tener el software que es utilizado en la ejecución del modelo, el software se denomina AirEmis (*Emissions Air*), y esta basado principalmente en 3 generalidades importantes a la hora de enumerar los diferentes datos de entrada que solicita el programa. Los 3 grandes grupos son:

- La malla vial georreferenciada.
- El parque automotor existente en la región analizada.
- Las variaciones temporales en cuanto a la circulación y estacionamiento del parque automotor.

La estimación de las emisiones vehiculares se obtiene de una forma bastante simple teniendo los factores que se necesitan para poder generar cada resultado, lo complicado de la modelación radica en el hecho de generar estos factores.

Finalmente las emisiones atmosféricas se obtendrán mediante el producto de una determinada actividad vehicular por un factor de emisión apropiado, este acontecimiento simple lo realiza finalmente el programa, bajo una serie de situaciones mas especificas y centradas en las diversas formas en las que puede llegar a expresarse las emisiones de contaminantes atmosféricos. En secciones posteriores se mostrara de una forma mas detallada lo que realiza internamente el software para generar los resultados finales.

Cabe resaltar también las siguientes definiciones para entendimiento por parte del lector dentro de los 2 conceptos fundamentales para la determinación de los contaminantes generados por Fuentes móviles:

- *ACTIVIDAD VEHICULAR*: Numero de Km. que recorre determinado tipo de vehículo, clasificado ya sea por su modelo o por el tipo de automotor, al año.
- *FACTOR DE EMISIÓN*: Se trata de una unidad masica de emisión de un determinado contaminante por unidad de distancia recorrida, usualmente se da en (*g/Km.*).



Los resultados finales generados por AIREMIS serán mostrados en tablas clasificados según cada contaminante que se genera por las emisiones de los automotores, los contaminantes que el modelo proporciona son los siguientes: **CO**, **PM<sub>10</sub>**, **SO<sub>2</sub>**, **NO<sub>x</sub>**, **CH<sub>4</sub>**, **CO<sub>2</sub>** y **COVNM**. De los cuales se mostraran valores establecidos en *g/año* o *Ton/año* para cada uno de los contaminantes clasificados anteriormente.

A continuación analizare mas a fondo la metodología que utilizo la Universidad de los Andes en su estudio, para generar, tanto la actividad vehicular obtenida a partir de la simulación de un modelo de transporte el cual se denomina EMME2, un modelo y programa diseñado por INROInc (Montreal, Canadá), como también los resultados finales obtenidos del software utilizado, y denominado, como se menciono con anterioridad AIREMIS, desarrollado por la agencia ambiental europea (*European Environment Agency EEA*), la cual para su desarrollo utilizo la metodología COPERT (*Computer programme to calculate emissions from road transport*).

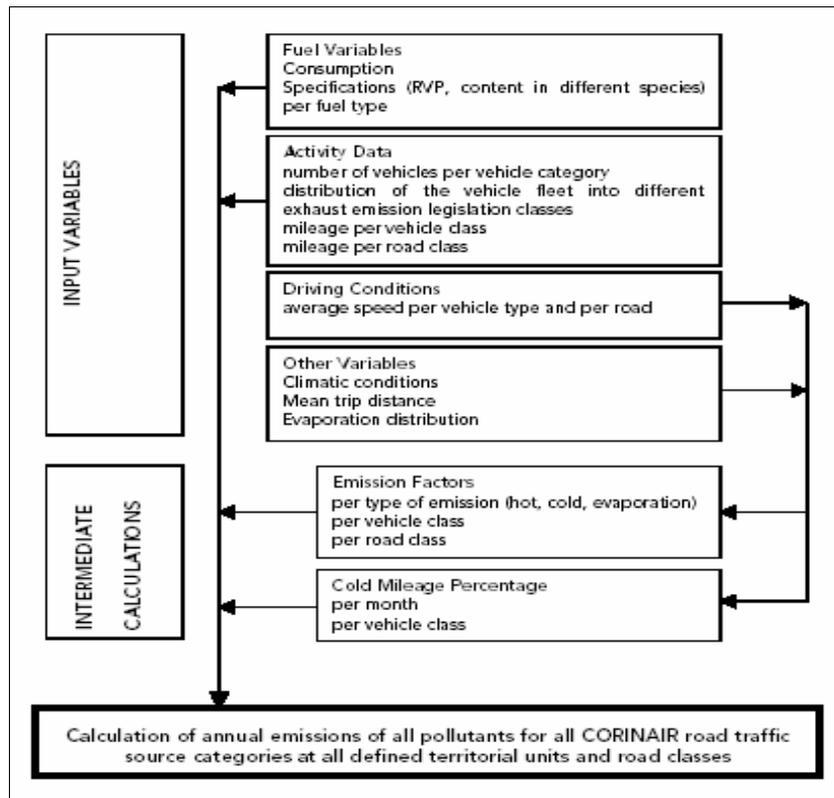
### **6.3.1 Variables de entrada modelo AIREMIS:**

Es importante hacer mención que el modelo utilizado para la determinación de contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles, requiere de una serie de variables de entrada indispensables para realizar los cálculos internos posteriores. Estas variables INPUT denominadas así por la metodología COPERT, se constituyen en el punto fundamental e indispensable para generar datos apropiados y acertados en cuanto a la contaminación producida por los automotores en Bogota, por lo tanto su correcta obtención, y generación a partir de otros modelos incurrirá en resultados óptimos de la modelación inicial.

A continuación se muestra un diagrama de flujo obtenido de manual COPERT que cual explica sobre la operación que posee el Modelo AIREMIS para generar los resultados finales, se divide en 3 partes fundamentales: La primera parte muestra las variables de entrada que exige el modelo, la Segunda nos muestra Los cálculos intermedios que realiza el software, y la tercera los resultados finales.



FIGURA 6.3 Diagrama de flujo de la Operación del modelo AIREMIS.



FUENTE: COPERT III (*Computer programme to calculate emission from road transport*)  
METHODOLOGY AND EMISSIONS FACTORS November 2000 Pg. 15

Como se puede observar en el diagrama que se expuso con anterioridad el modelo que utilizo la Universidad de los Andes consta de una serie de variables de entrada que a continuación serán expuestas y explicadas para una mayor comprensión por parte del lector,

### 6.3.1.1 Inventario Vehicular:

El inventario vehicular corresponde al numero de vehículos matriculados en la ciudad de Bogota, y seleccionados según su: **Modelo**, el cual varia desde al año 1976 hasta el año 2000 y **el tipo de vehículo**, según la clasificación establecida por el mismo ente encargado. El inventario fue realizado por la Secretaria de Transito y Transporte de Bogota la cual suministra los diferentes datos sobre el inventario de



los vehículos presentes en Bogotá. Los resultados son mostrados en la siguiente tabla tomada del estudio base de este análisis.

**TABLA 6.1 Inventario vehicular, Bogotá.**

modelo	Automóvil	Bus	Buseta	Camión	Campero	Camioneta	Microbús	Tractor	Volqueta	Moto	Otros	total
1959-ant	23061	676	228	5480	1130	11431	327	76	763	84	175	43431
1960-69	18537	3239	576	2685	6153	5564	1044	66	316	414	135	38729
1970-74	27042	1736	1445	1826	5350	3343	255	71	181	752	164	42165
1975	6214	559	382	479	933	1345	42	31	41	458	55	10539
1976	6265	689	475	423	1240	1467	35	20	19	1109	125	11867
1977	7388	540	320	448	1420	1072	47	13	18	2727	245	14238
1978	8370	362	362	687	2754	2202	77	22	61	9496	738	25131
1979	6769	561	532	556	2380	2229	84	54	30	7193	516	20904
1980	9209	437	618	469	2468	2313	77	69	70	5660	536	21926
1981	7748	373	711	419	3084	1667	49	18	41	2254	151	16515
1982	7303	457	319	182	3093	2185	81	12	15	805	80	14532
1983	8272	264	474	264	2055	2220	28	10	30	741	91	14449
1984	11468	274	634	300	894	2607	43	14	31	659	46	16970
1985	12597	159	327	203	716	2241	38	7	34	573	7	16902
1986	12037	270	161	339	447	2254	27	16	23	614	24	16212
1987	14947	198	145	616	553	1741	58	26	37	521	20	18862
1988	16841	233	198	371	833	2418	31	17	50	344	31	21367
1989	12191	554	189	353	1510	1777	92	10	21	294	20	17011
1990	9750	562	179	369	1437	2003	95	10	10	540	11	14966
1991	9910	778	198	227	1740	2160	199	1	1	250	4	15468
1992	13172	979	255	368	2045	3064	406	9	6	613	16	20933
1993	34094	1429	778	981	4047	8841	715	24	17	799	9	51734
1994	33589	776	815	962	4563	7609	602	16	41	814	7	49794
1995	25992	561	791	447	3132	5248	619	14	16	474	1	37295
1996	21684	568	974	317	3069	4042	402	1	41	291		31389
1997	23090	710	1028	453	3517	6147	615	5	16	192	1	35774
1998	18215	412	564	524	2959	4121	529	3	12	495	3	27837
1999	7910	205	175	187	1732	1257	182	3	3	270	1	11925
2000	4017	190	191	103	380	198	22			170		5271
Otros										1	291	292
<b>totales</b>	<b>417682</b>	<b>18751</b>	<b>14044</b>	<b>21038</b>	<b>65634</b>	<b>94766</b>	<b>6821</b>	<b>638</b>	<b>1944</b>	<b>39607</b>	<b>3503</b>	<b>684428</b>

Fuente: Segundo Informe Trimestral Modelo de Calidad de Aire para Bogota  
(Universidad de los Andes) pg 9.

### 6.3.1.2 Condiciones de Conducción:

Dentro de la condiciones de conducción se encuentran una serie de variables indispensables, tales como el mapa de la malla vial principal georeferenciado el cual se constituye en una pieza fundamental dentro de la determinación de las emisiones de contaminantes atmosféricos, fue obtenido de la empresa Transmilenio y se le realizaron una serie de ajustes importantes para poderlo suministrar al modelo de



transito vehicular utilizado en este estudio. A continuación se muestra un esquema practico sobre el mapa de la malla vial de la ciudad de Bogota.

**FIGURA 6.4 Mapa malla vial principal, Bogota.**



**Fuente: Segundo Informe Trimestral Modelo de Calidad de Aire para Bogota  
(Universidad de los Andes) pg 11.**

Además de esto se obtuvo también una clasificación de las vías principales de Bogotá, agrupadas según varios factores importantes utilizados por el modelo, dentro de estos factores encontramos: el ancho de la vía, el estado actual de la vía, y la posición de la vía en la red total.

Se clasificaron en un total de 15 tipos de vías es decir se crearon solamente 7 tipos pero con numeración hasta 15, a continuación se muestra esta selección entregada por el modelo EMME2, programa desarrollado por INROInc (Montreal, Canadá), como también el mapa georeferenciado de las principales vías de Bogotá el cual se hizo mención en anteriores enunciados:



**TABLA 6.2 Clasificación de vías principales, Bogota.**

<b>TIPO DE VIA</b>	<b>MODOS</b>	<b>VIAS</b>
1	c.b.p	Autopista Norte, Av. caracas, Av. de las Americas, Carrera 7 hasta Rosales
2	c.b.p	Calle 10, Autopista Sur, Av. Ciudad de Quito, Av. el Dorado, Autopista a Medellín, Av. Boyacá, Calle 80.
4	c.b.p	Carrera 68, Av. Suba, Carrera 7a después de Rosales, Av. 127 al Oeste de la auto norte, Carrera 10, Av. 1 de Mayo
8	c.b.p	Avenida Ciudad de Cali
9	c.b.p	Carretera Chia - Mosquera - Girardot.
13	c.b.p	Conectores
15	c.p.t	Corredores de Transmilenio

**Fuente: Anexo 8, Modelo de Calidad de Aire para Bogotá (Universidad de los Andes) pg 7**

Con anterioridad se enuncia una serie de modos, los cuales están restringidos según la movilidad que presenta la vía, es importante resaltar en que consiste cada uno de estos modos para generar una visión mas amplia en el tipo de automotores que están circulando por los diversos tramos que presenta la malla vial.

- **.c:** Este tipo de modo refleja los vehículos privados y taxis.
- **.b:** Este tipo de modo refleja los vehículos de transporte público.
- **.p:** Este tipo de modo refleja bicicletas, y circulación a pie.
- **.t:** Este tipo de modo refleja buses de Transmilenio.

Después de obtener la malla vial georeferenciada al igual que la clasificación de los diversos tramos de las vías en la ciudad es importante generar la actividad vehicular, para esto deben alimentarse al modelo una serie de datos necesarios para la correcta ejecución de los parámetros internos del software. Uno de estos parámetros corresponde a la velocidad promedio de los vehículos en los segmentos de las vías principales analizadas dentro de AIREMIS, y el otro parámetro es el flujo de vehículos en el mismo segmento analizado; es decir que



para cada segmento a una hora establecida, en un día determinado de un mes específico del año, se deben generar tanto la velocidad promedio de los automotores en cada segmento de la malla vial, como el número de vehículos o flujo de vehículos presentes en esa misma hora, estos dos parámetros principalmente nos proporcionan la **ACTIVIDAD VEHICULAR** de los automotores en las vías principales de Bogotá.

El mes que escogieron las personas encargadas del estudio fue el mes de Marzo, argumentando que es un mes de no vacaciones, y de capacidad laboral máximo, al igual que el Martes el cual es un día en el que las actividades por parte de las personas que laboran y realizan diferentes actividades tanto comerciales como estudiantiles o sociales, no cambia en comparación a otros días de la semana. Finalmente se escogió de 6:00 PM a 7:00 PM la hora pico de máxima circulación y demanda de vías por parte de los automotores en Bogotá, es decir que la escogencia del momento para analizar en el modelo corresponde a una situación crítica en donde las situaciones presentes en cuanto al comportamiento de los vehículos en Bogotá es máxima y crítica.

Si mencionamos ahora, cual es la forma en la que el estudio intentó resolver el problema en cuanto a la determinación de los factores de actividad vehicular se refiere, es importante mencionar que se realizó una modelación alterna realizada como ya se menciona con anterioridad en el modelo EMME2, programa “utilizado en la planificación multimodal de grandes urbes a nivel mundial”<sup>1</sup>.

Este programa toma una serie de factores y características propias de la ciudad necesarios para generar los resultados de la actividad vehicular, estos factores son :

- **ZONIFICACION:** La zonificación muestra en el estudio como se encuentra sectorizada la ciudad de Bogotá, la cual depende tanto de la zonificación socioeconómica como del uso del suelo, y de la accesibilidad a la red vial y de transporte público. *“El presente proyecto no pretende sustentar todos los resultados sino analizarlos y documentar la metodología general para poder*

---

<sup>1</sup> FUENTE: Anexo 8 Modelo de calidad de aire para Bogotá (Universidad e los Andes)



*determinar conclusiones en la comparación de los modelos de las 2 grandes ciudades”*

- **RED VIAL:** Al igual que AIREMIS este modelo necesita de la malla vial georeferenciada para poder estimar los valores finales, cabe resaltar que al igual que AIREMIS se utilizara la malla vial de las vías principales. Razón que sustenta el grupo interdisciplinario debido a que los usuarios utilizamos las vías principales en un porcentaje muy alto para el desplazamiento de nuestro origen a nuestro destino, es decir la mayoría parte de nuestro recorrido esta fundamentada en las vías principales, además el impacto ambiental que se presenta en estas vías es superior en comparación a las vías no analizadas como lo son las vías de intercomunicación entre barrios.
  
- **FUNCIONES DE VOLUMEN - DEMORA:** Las funciones de volumen-demora en este estudio están dadas, como el tiempo en el que se demora en recorrer un arco determinado por el cual están circulando un volumen específico de automotores. Las funciones volumen – demora fueron tomadas del estudio realizado para Transmilenio en el año 1999, sin embargo el estudio de la *Universidad de los Andes* el cual es objeto de análisis en este proyecto, le efectuó una serie de modificaciones empíricas necesarias para adoptarlo a la situación actual.
  
- **MATRIZ ORIGEN – DESTINO:** Este factor solo se utilizo en el transporte privado, y nos muestra cual es el comportamiento que poseen este tipo de automotores en su regularidad al desplazarse en la ciudad, es decir se tiene una matriz que en las filas representa el destino de los automotores , y en las columnas el origen, de donde salen y para donde se dirigen, y cada casilla de esta matriz representa el numero de viajes que se ejecutan, de una zona de origen a una zona de destino en un tiempo determinado, este es un parámetro muy importante dentro de la modelación de la actividad vehicular. Para el estudio fue necesario realizarle una serie de modificaciones a los datos suministrados por Transmilenio, ya que estos datos estaban suministrados para una hora pico de la mañana, por lo tanto, de los datos de matrices suministrados por el estudio a Transmilenio se les hallo las matrices



transpuestas debido a que el origen – destino en la hora pico de la noche no es de la casa al trabajo como lo tienen los datos, sino del trabajo a la casa.

También los resultados se amplificaron por un factor de 0.69, factor muy tolerable y adecuado debido a la diferencia en el tránsito que presenta la ciudad en la hora pico de la mañana en comparación a la hora pico que se formuló en un principio. Estas dos modificaciones permitieron determinar los valores de matrices necesarios para generar resultados confiables en cuanto a la actividad vehicular presente en Bogotá.

Finalmente después de generar todos estos factores necesarios para poder correr el modelo utilizado, se obtuvieron unos resultados que necesariamente había que comparar con conteos vehiculares realizados por la ETB (*Empresa de Teléfonos de Bogotá*). Sin embargo debido a que los conteos presentes en la ciudad son mínimos el estudio empleó medidas de calibración de los datos, en sitios en que los conteos representen valores acertados y muestras significativas para tenerlas en cuenta. A continuación se enunciarán a manera de información y sustentación los resultados obtenidos en el estudio realizado por la Universidad en cuanto a **VELOCIDADES** y **VOLUMENES** de los automotores en las vías modeladas de la ciudad de Bogotá.

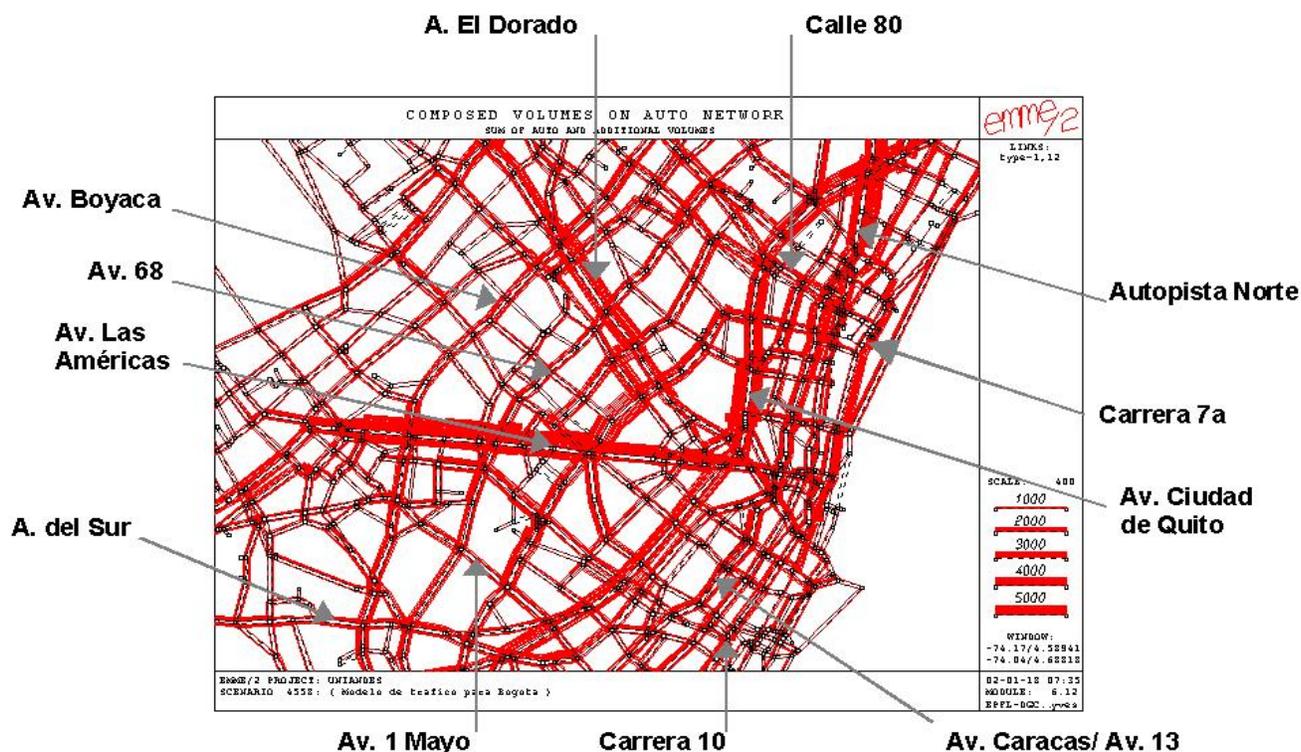
**TABLA 6.3 Velocidades malla vial principal según modelo.**

Nombre de avenida	Velocidad mínima	Velocidad máxima	Velocidad media
Avenida Caracas	32	44	40.5
Avenida 68	15	44	40.7
Avenida Boyacá	10.9	44.4	40
Av. Ciudad de Cali	16.8	12.9	37.4
Av. 1º de Mayo	34.8	42.8	39.34
Autopista Sur	24.3	44.4	39.2
Av. Jiménez	37	44.8	42.3
Av. Americas	37.7	44.4	40.8
Calle 116	16.1	38.7	24.18

FUENTE: Segundo Informe Trimestral Modelo de Calidad de Aire para Bogotá  
(*Universidad de los Andes*) pg 20.



FIGURA 6.5 Volúmenes de tráfico generados por EMME2.



FUENTE: : Anexo 8, Modelo de Calidad de Aire para Bogotá (Universidad de los Andes) pg 13

### 6.3.1.3 Características sobre combustibles utilizados:

El estudio incluye dentro de las especificaciones que se deben mostrar: El tipo de combustible o combustibles que se utilizan en la ciudad, además del consumo de cada combustible con la composición de estos.

El estudio analizó datos proporcionados por ECOPETROL en cuanto a la composición de los diferentes combustibles ofrecidos en la ciudad, la composición de los combustibles esta enmarcada dentro de los parámetros generados por la NTC (Norma Técnica Colombiana) la cual en su artículo 1380 y basada en los parámetros propuestos por el ASTM ( ) determina siguiendo controles de calidad en cuanto a normatividad, la siguiente composición de los combustibles utilizados en Colombia.



Los estándares fueron consultados a manera informativa por parte del autor de este proyecto, ya que en los informes analizados del estudio de Calidad de Aire para Bogota solo se encontró la composición de la Gasolina Corriente.

**TABLA 6.4 Propiedades Gasolina Corriente.**

<b>GASOLINA CORRIENTE</b>				
GRADO: REGULAR - INDICE OCTANO 81, SIN PLOMO (UNLEADED)				
REFERENCIA ASTM 1448/ NTCOO 1380 (NORMA TÉCNICA COLOMBIANA OBLIGATORIA)				
PROPIEDADES METODO UNIDADES ESPECIFICACIÓN				
	<b>ASTM</b>		<b>MIN</b>	<b>MAX</b>
OCTANAJE, como índice antidetonante [1]	D2699 y		81	
	D2700			
PRESION DE VAPOR REID (RVP), a 37.8°C	D323 [2]	KPa		58
INDICE DE CIERRE DE VALOR (ICV)	[3]	KPa		98
AROMATICOS	D5580 [4]	mL/100mL		28
BENCENOS	D5580 [5]	mL/100mL		1
AZUFRE TOTAL	D4294 [6]	g/100g		0.1
CORROSION AL COBRE, 3h a 50°C	D130			1
CONTENIDO DE GOMAS	D381	mL/100mL		5
ESTABILIDAD A LA OXIDACION	D525	Minutos	240	
GRAVEDAD API	D4052 [7]	°API	Reportar	
CONTENIDO DE PLOMO	D3237 [8]	g/L		0.013
ADITIVOS DETERG-DISPERSANTES	[9]			
DESTILACION	D86			
10% volumen evaporado		C°(°F)		70(158)
50% volumen evaporado		C°(°F)	77(170)	121(250)
90% volumen evaporado		C°(°F)		190(374)
punto final de ebullición		C°(°F)		225(437)

FUENTE: Datos Gasolina Corriente. Pliegos de Condiciones s - 05 – 003 pg. 19

**TABLA 6.5 Propiedades Gasolina Diesel (ACPM).**

<b>DIESEL CORRIENTE (ACPM)</b>				
CLASE: COMBUSTIBLE AUTOMOTOR E INDUSTRIAL				
REFERENCIA ASTM D 975 / NTC 1438 (Norma Técnica Colombiana)				
	<b>ASTM</b>		<b>MIN</b>	<b>MAX</b>
AZUFRE TOTAL	D 4294	g/100g		0.45
AROMATICOS	D 5186	mL/100mL		35
INDICE DE CETANO	D 4737 [2]		45	
CORROSION AL COBRE, 3h a 50°C	D 130			2
COLOR ASTM	D 1500			3
MICRO-CARBON RESIDUAL (10% FONDOS)	D 4530 [3]	g/100g		0.2
GRAVEDAD API	D 4052 [4]	°API	Reportar	
VISCOSIDAD A 40°C	D 445	mm2/s	1.9	5
DESTILACIÓN	D86			
Punto inicial de ebullición		°C	Reportar	
Temp. 50% volumen recobrado		°C		300
Temp. 90% volumen recobrado		°C		360
punto final de ebullición		°C		390
AGUA Y SEDIMENTO	D 1795	mL/100mL		0.05
PUNTO DE FLUIDEZ	D 5949 [5]	°C		4
PUNTO DE INFLAMACIÓN	D 93	°C	52	
CENIZAS	D 482	g/100g		

FUENTE: Datos composición ACPM. Pliegos de Condiciones s - 05 – 003 pg 19.



### **6.3.2 Metodología Modelo AIREMIS:**

Después de la explicación pertinente acerca de cuales son las variables de entrada mas importantes que exige el modelo, y cuales son los resultados que el equipo investigador a obtenido en el desarrollo del inventario de contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles, mi siguiente paso será explicar la metodología COPERT. Como ya he mencionada con anterioridad esta metodología es la utilizada por el modelo AIREMIS (Software empleado para la generación del inventario de contaminantes) dentro del procesamiento y creación de los resultados que se persiguen.

La metodología COPERT (*Computer programme to calculate emissions from road transport*) y su desarrollo fueron financiados por la EEA (*European Environment Agency*) generando factores de emisión de relativa importancia, junto con el objetivo principal del modelo; la estimación de emisiones causadas por fuentes móviles.

Después de generar los datos de entrada al software, el modelo genera las emisiones basado en la combinación de dos elementos principalmente: Los factores de emisión y la actividad vehicular.

En principio las emisiones totales son calculadas en función de tres elementos o 3 tipos de emisiones principalmente: Las emisiones basadas en la operación del motor en una estabilidad térmica (*HOT EMISSIONS*), la fase de calentamiento del motor (*COLD-STAR EMISIÓN*), y finalmente la evaporación que puede generar el combustible (*FUEL EVAPORATION*). Por lo tanto las emisiones totales son calculadas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E_{TOTAL} = E_{HOT} + E_{COLD} + E_{EVAP}.^1$$

En donde:

---

<sup>1</sup> FUENTE: COPERT III (*Computer programme to calculate emission from road transport*)  
METHODOLOGY AND EMISSIONS FACTORS November 2000 Pg. 15



- **E<sub>TOTAL</sub>**: Corresponde a las emisiones totales en [g] de cualquier contaminante.
- **E<sub>HOT</sub>**: Emisiones en [g] generadas durante la operación estable del motor.
- **E<sub>COLD</sub>**: Generadas durante la transición termal en la operación del motor, están dadas al igual que las anteriores en [g].
- **E<sub>EVAP</sub>**: Emisiones de la evaporación del combustible, están dadas en (g) y estas son solamente relevantes NMVOC (*especies de gasolina que proporcionan poder a los vehículos.*)

### 6.3.2.1 Emisiones en Caliente:

Se entiende por este tipo de emisiones a las generadas cuando el motor obtiene una estabilidad térmica óptima. Este tipo de emisiones en muchos casos depende principalmente de factores tales como:

- **Distancia** que cada vehículo recorre en los viajes.
- **Velocidad** en los diferentes tipos de vías.
- **Tamaño** de la maquina.
- **Peso** de la maquina.

Es decir requiere de una serie de datos indispensables para obtener resultados sólidos y confiables a la hora de realizar la modelación.

La formula básica en la estimación de las emisiones producidas en caliente, o en la estabilidad térmica usando factores de emisión obtenidos experimentalmente es la siguiente:

$$E_{HOT; i, j, k} = N_j \times M_{j, k} \times e_{HOT; i, j, k} \text{ } ^1$$

En donde:

---

<sup>1</sup> FUENTE: COPERT III (*Computer programme to calculate emission from road transport*)  
METHODOLOGY AND EMISSIONS FACTORS November 2000 Pg. 15



- **E<sub>HOT</sub>; i, j, k:** Corresponde a las emisiones producidas en caliente por un contaminante (i), en [g], producidas en el año al cual se hace referencia en el estudio por vehículos de la clase (j), conducidos en vías de tipo (k).
- **N<sub>j</sub>:** Numero de vehículos de clase (j) que se encuentran circulando en el año de referencia del estudio.
- **M<sub>j,k</sub>:** Kilómetros / Vehículo [Km/Veh] conducidos en vías de tipo (k), por vehículos de clase (j).
- **e<sub>HOT</sub>; i, j, k:** Factor de emisión en [g/Km.] para un contaminante de tipo (i), generado por un vehículo de clase (j), el cual es conducido por una vía de tipo (k), generado a partir de una condición de estabilidad térmica en la maquina.

### 6.3.2.2 **Emisiones Arranque en Frío:**

En comparación a las emisiones generadas en caliente, las emisiones de arranque en frío son consideradas como emisiones adicionales, son calculadas bajo los tres tipo de vías presentes en la clasificación, (*urbanas, Periféricas, o autopistas*), haciendo énfasis que por lo general es utilizado este tipo de resultados con mas frecuencia en la modelación de vías urbanas.

Las emisiones de arranque en frío se producen por lo general, cuando se pone en marcha un vehículo después de dejarlo descansar durante varias horas, se constituye también en emisiones extras cuando gran parte del tiempo el vehículo está operando, o sea recorriendo gran cantidad de kilómetros con un tiempo de detención mínimo, o, si en la mayoría de tiempo el automotor esta circulando bajo la utilización de catalizadores.

Como ya se menciona las emisiones arranque en frío son determinadas como emisiones adicionales, y se determinan usando la siguiente formula:

$$E_{COLD; i, j} = \beta_{i, j} \times N_j \times M_{j, k} \times e_{HOT; i, j} \times (e_{COLD} / e_{HOT} |_{i, j} - 1). ^1$$

<sup>1</sup> FUENTE: COPERT III (*Computer programme to calculate emission from road transport*)



En donde:

- **E<sub>COLD</sub>**; i, j: Corresponde a las emisiones de un contaminante de tipo (i), para el año de referencia del estudio, y generadas por automotores de clase (j).
- **N<sub>j</sub>**: Numero de vehículos de clase (j) en circulación de vehículos de clase (j). Esta dado en unidades [veh].
- **M<sub>j</sub>**: Total en kilómetros por vehículo [Km. /veh] por tipo de vehículo (j).
- $\beta_{i, j}$ : Fracción de Kilómetros conducidos con maquinas frías, o utilizando catalizadores, recorridos en una vía tipo (i), por un vehículo automotor de clase (j). Este factor depende entre otras variables de la temperatura del medio ambiente, y de las legislaciones que los países tengan sobre la operación o circulación de vehículos con el uso de catalizadores. Para estas legislaciones el desarrollo de COPER genero una serie de tablas con la fracción del parámetro (b) para los vehículos que usan catalizadores y utilizada en los principales contaminantes.
- **e<sub>COLD</sub> / e<sub>HOT</sub>** |<sub>i,j</sub> : Es denominado una relación de emisiones (*frío/caliente*) entre contaminantes de tipo (i), en relación a vehículos de clase (j).

Es importante hacer mención, que tanto el parámetro  $\beta$ , como la relación de emisiones (*frío/caliente*), depende de una serie de valores iniciales proporcionados por el usuario, estos valores corresponden a: La temperatura del medio ambiente, en donde por lo general se utiliza el promedio de la temperatura del mes en el que se hizo el estudio sobre las emisiones; además de esto también se utiliza el promedio en la longitud del viaje, un valor el cual para muchos países no es proporcionado pero que la metodología a decidido optar para el caso de Europa y para el caso de diversos modelos como de 12.4 Km<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> FUENTE: COPERT III (*Computer programme to calculate emission from road transport*)  
METHODOLOGY AND EMISSIONS FACTORS November 2000 Pg. 15



### 6.3.2.3 **Emisiones de evaporación del combustible:**

Existen principalmente 3 tipos de fuentes de emisiones de evaporación de combustible, los cuales para este modelo son estimados por separados. Los 3 tipos correspondientes son:

- **EMISIONES DIURNAS:** Este de tipo de emisiones esta relacionada íntimamente con la variación diaria en la temperatura del medio ambiente, como resultado, generan una expansión de los gases en el tanque de la gasolina durante las horas de máxima temperatura en el medio ambiente.
- **EMISIONES (HOT SOAK):** Las emisiones (HOT SOAK), se producen principalmente cuando un motor caliente es apagado, el calor que produce el motor, al igual que el sistema de escape incrementan la temperatura del combustible en el sistema, cuyo flujo se ha detenido como consecuencia del apagado del motor.
- **EMISIONES (RUNNING LOSSES):** Son el resultado de la generación de los diferentes vapores en el tanque de gasolina de los automotores, durante la operación general del vehículo. Estos vapores son significativos cuando la temperatura del medio ambiente es alta. Si se produce el efecto combinado de la temperatura del medio ambiente, con el calor del sistema de escape, además si se devuelve al tanque una cantidad significativa de combustible caliente que no tuvo combustión, se genera una gran cantidad de vapor en el tanque de gasolina.

Es importante resaltar finalmente que las 3 clases de emisiones mencionadas con anterioridad dependen fundamentalmente de la volatilidad del combustible, los cambios de temperatura presentados durante el día, y las características en el diseño del vehículo.

La ecuación principal para la determinación de las emisiones de evaporación de combustibles esta dada a continuación:

$$E_{EVA, VOC; j} = 365 \times N_j \times (e^d + S^c + S^{fi}) + R. \quad ^1$$

---

<sup>1</sup> FUENTE: COPERT III (*Computer programme to calculate emission from road transport*)  
METHODOLOGY AND EMISSIONS FACTORS November 2000 Pg. 15



En donde:

- **EEVA, voc; j**: Corresponde a las generadas por evaporación de combustibles, generadas por vehículos de clase (j).
- **N<sub>j</sub>**: Numero de vehículos a gasolina de categoría (j).
- **e<sup>d</sup>**: Principal factor de emisión para perdidas diurnas, de vehículos operados con gasolina y que poseen tanques de metal.
- **S<sup>c</sup>**: Factor de emisión que corresponde principalmente a un promedio (*Hot and warm*) para vehículos que poseen carburador y que son operados con gasolina.
- **S<sup>fi</sup>**: Factor de emisión que corresponde a un promedio (*Hot and warm*) para vehículos que poseen inyección y que son operados con gasolina.
- **R**: Perdidas corrientes (*Hot and warm*).

De esta forma he desglosado de una manera practica para el lector, la forma en que opera el software utilizado para la determinación de los diferentes contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles, para esto realice un análisis concienzudo acerca de la metodología COPER y extraí las partes mas importantes y principales que a consideración mía debía ser expuestas en este proyecto para un entendimiento mucho mas profundo sobre la operación de AIREMIS.

#### **6.3.2.4 Resultados modelo AIREMIS:**

Es importante hacer mención que AIREMIS es un software que emite resultados en una forma muchos mas practica y efectiva, a la hora de realizar diversos análisis y consideraciones de importancia sobre la generación de contaminantes por fuentes móviles dentro del perímetro urbano en la ciudad de Bogota. AIREMIS genera lo que se denomina en el estudio una "Agregación Espacial" la cual consiste en mostrar en la malla vial digitalizada los diferentes contaminantes en sus cantidades determinadas a lo largo de los tramos analizados en el estudio. Es decir que para

---



cada tramo se especifica el total de un contaminante dado generado por los diferentes vehículos en una hora determinada en la ciudad.

A continuación mostrare unos ejemplos obtenidos de un informe preliminar del estudio realizado por lo Universidad de los Andes denominado “Modelo de calidad de Aire para Bogota”, sobre emisiones generadas por fuentes móviles, para así mostrarle al lector los dos formatos que arroja AIREMIS en cuanto a resultados se refiere. La primera de ellas es una forma total clasificada para cada tipo de contaminante en una hora específica, y la segunda de ellas corresponde a una forma parcial para cada tramo y para cada contaminante también en una hora específica.

**TABLA 6.6 Resultado total de contaminantes para una hora y un día  
Específicos del año.**

Agregación Espacial, Febrero 7						
Contaminante	Emisión total en el dominio, kg/h		Emisión en el perímetro urbano, kg/h		%de contribución de la emisión del PU sobre la ET del dominio	
	7:00 - 8:00	17:00 - 18:00	7:00 - 8:00	17:00 - 18:00	7:00 - 8:00	17:00 - 18:00
CO	18.014	13.154	13.663	9.691	75.8	73.7
PM	170	92	122	64	71.7	69.6
SO <sub>2</sub>	927	571	636	385	68.6	67.4
NO <sub>x</sub>	5.394	3.656	3.514	2.324	65.1	63.6
CH <sub>4</sub>	150	107	116	82	77.7	77.2
COVNM	5.608	4.406	4.780	3.935	85.2	89.3
CO <sub>2</sub>	644.054	446.926	448.364	305.325	69.6	68.3

**FUENTE:** Tercer informe semestral, Modelo de Calidad de Aire para Bogotá  
(Universidad de los Andes) pg 11.

La anterior tabla refleja el total de emisiones producidas por los diferentes automotores en el perímetro urbano de la ciudad, para cada tipo de contaminante, en una hora específica.

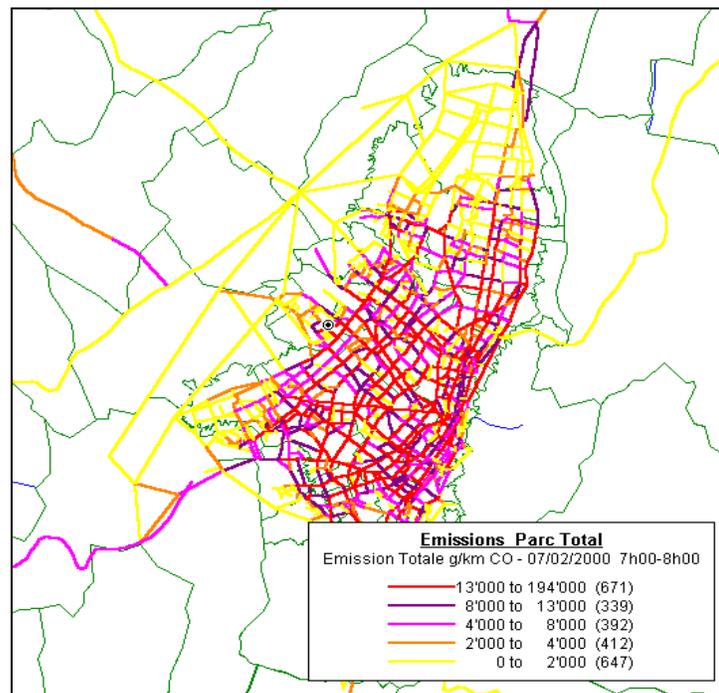
Sin embargo uno de los aportes significativos que genera este modelo frente a otras aplicaciones analizadas, es que presenta los mismos datos que se muestran en la anterior tabla, claro que en (Ton / año) de los diferentes contaminantes producidos



en la ciudad, pero ubicados ya en los tramos o segmentos de la red vial digitalizada que se utilizaron para la modelación final.

A continuación se muestran unos resultados, amenera de ejemplo ilustrativo sobre como se presentan los resultados de emisiones para cada contaminante, en una hora definida de un día del año escogido, para las diferentes áreas de un dominio establecido, con sus diferentes segmentos viales.

**FIGURA 6.6 Resultado de emisiones de Monóxido de Carbono en la malla vial  
Entre las 7:00 y 8:00 AM del día 7 de Febrero.**



**FUENTE: Tercer informe semestral Modelo de calidad de aire para Bogota pg 3**

El anterior resultado tiene una relevancia muy significativa a la hora de interpretar los diferentes datos que arroja el modelo. El hecho de que se puede tener una distribución espacial de las diferentes concentraciones de emisiones para cada contaminante, modelados en horas picos de la ciudad, permite generar y poder distinguir zonas críticas de contaminación producida por fuentes móviles en Bogotá, y crear por ejemplo para el bien de la ciudad, diferentes mecanismos de contención

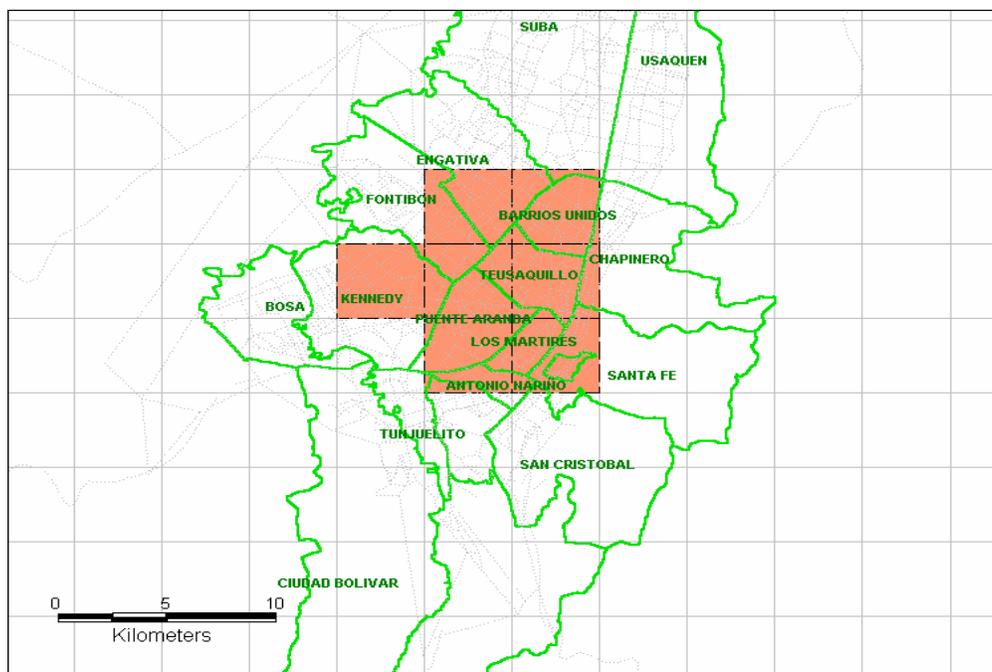


y disminución de contaminantes atmosféricos en las zonas de mas relevancia que arroje el modelo.

A continuación muestro también un grafico muy importante y que a mi juicio es necesario mostrar al lector para generar en el una documentación sobre las zonas mas criticas o aquellas en donde se produce la mayor concentración de contaminantes en la ciudad como consecuencia de la actividad vehicular.

Este grafico pudo ser obtenido debido a la distribución espacial que genera el modelo de acuerdo a los contaminantes producidos en los diversos tramos analizados en la ciudad.

**FIGURA 6.7 Localidades en donde se encuentra mas concentración de Contaminantes en Bogota.**



**FUENTE:** Tercer informe semestral, Modelo de Calidad de Aire para Bogotá  
(Universidad de los Andes) pg 8.

El anterior análisis del estudio se hizo con la colaboración de la información prestada por parte del ingeniero Luis Carlos Belalcázar, persona encargada en la dirección del modelo sobre la determinación de contaminantes atmosféricos para



Bogotá “*Modelo de calidad de aire para Bogotá*”, y tuvo como finalidad principal, mostrarle al lector que tipo de modelación en todas sus fases se efectuó en Bogotá para poder determinar las emisiones de contaminantes, y también generar una importante comparación con otros modelos realizados en importantes ciudades de América Latina sobre las diferencias entre las modelaciones efectuadas, que se constituye en una de las finalidades principales de mi Proyecto de Grado.



## **7. ANALISIS DEL ESTUDIO, DETERMINACION DE EMISIONES CAUSADAS POR FUENTES MOVILES PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CHILE<sup>1</sup>.**

### **7.1 Introducción:**

Como ya es de conocimiento general, las áreas urbanas con densidades de población altas, y con volúmenes de automotores significativos presentan grandes inconvenientes en la calidad de aire expuesta a los seres humanos. Por lo tanto es importante que los distintos estamentos administrativos y estatales generen diversas medidas de control que permitan vigilar y regular las emisiones producidas por las fuentes móviles. No obstante para poder crear este tipo de disposiciones es necesario generar un inventario detallado que cubra el área afectada de los diversos contaminantes con sus cantidades estimadas que se encuentran presentes y perjudican constantemente a las poblaciones de influencia.

La forma que por lo general las distintas grandes metrópolis utilizan para poder generar estos inventarios, es la de la modelación de contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes móviles, esta modelación requiere de diferente tipo de información detallada sobre la actividad vehicular en el área afectada. Esta información puede provenir de diferentes tipos de fuentes: Mediciones directas, encuestas realizadas de tráfico, y finalmente modelaciones del tráfico vial en diferentes segmentos de una red vial preestablecida. Un adecuado procesamiento de esta información en diferentes software y modelos ejecutables actualmente, permiten obtener adecuados resultados sobre los diferentes contaminantes generados por este tipo de fuentes en el medio ambiente

El siguiente estudio tiene como objetivo principal mostrar al lector la metodología que se empleo para la determinación de emisiones atmosféricas generadas por fuentes móviles para la ciudad de Santiago de Chile, en esta exposición se incluyen:

---

<sup>1</sup> FUENTE: *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales* pg 3.



18 categorías diferentes de vehículos dependiendo de su modelo y su actividad normal durante su desplazamiento (*Privado, transporte público*), además se clasifican las emisiones en 2 grandes grupos de contaminantes: Compuestos regulados ( $PM_{10}$ ,  $CO$ ,  $HC$  Y  $NO_x$ ), compuestos no regulados ( $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $CO_2$ ,  $N_2O$ <sup>1</sup>). Las diferentes emisiones que se toman como base para el estudio, se dividen dos grupos generales, las emisiones en caliente y las emisiones evaporativas, en donde los realizadores del estudio tuvieron en consideración diferentes aspectos tales como el arranque en frío, y la dependencia de las emisiones con la velocidad y con la aceleración media positiva.

## **7.2 Metodología:**

Existen varias metodologías para la estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles. Entre ellos se ha generado la metodología COPERT, la cual fue utilizada para el estudio de la ciudad de Bogotá y la cual fue desarrollada por agencias ambientales europeas. Existen otros modelos Norteamericanos utilizados para generar estos inventarios dentro de los que se destacan el MOBILE, y el EMFAC.

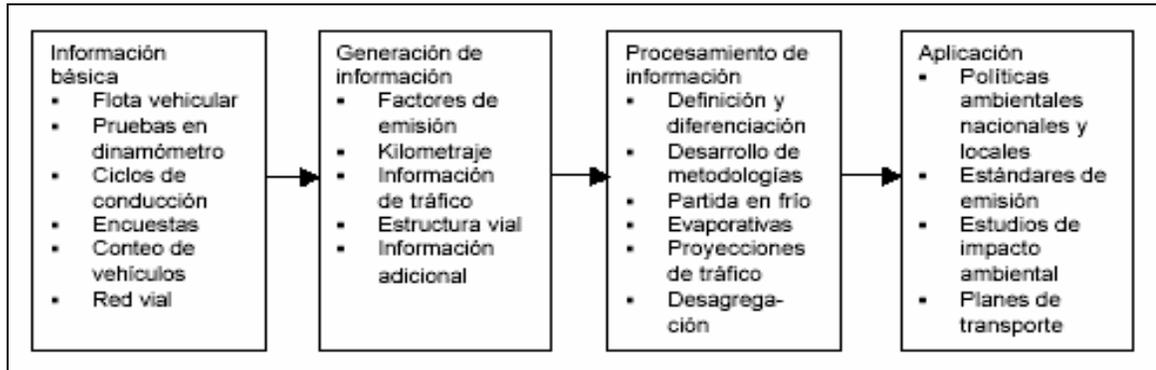
A continuación se muestra el sistema de operación y procesamiento de la información que tiene el modelo que fue utilizado en esta ciudad el cual según los datos consultados en la web, corresponde al COPERT II, estos resultados al igual que la descripción general del modelo se obtuvieron de: "*Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales*".

---

<sup>1</sup> FUENTE: *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales* pg 3.



**FIGURA 7.1 Procesamiento general, base de datos de emisiones:**



**FUENTE:** *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales pg 3.*

El anterior diagrama de flujo nos muestra cuales son los pasos generales que se siguen en la búsqueda y determinación de un inventario de emisiones apropiado para poder generar una reglamentación adecuada para controlar los procesos de contaminación atmosférica presentes en la ciudad.

El modelo al igual que todos los modelos generales parte de una ecuación básica para la determinación de los inventarios. Para esto utiliza dos conceptos o dos variables lo bastante fuertes e importantes que el objetivo principal de este estudio gira entorno a ellas. Estas son la **ACTIVIDAD VEHICULAR**, y **LOS FACTORES DE EMISIÓN**.

### **7.2.1 Actividad vehicular**

En el caso específico de Santiago de Chile el modelo que utilizaron en la determinación de la actividad vehicular fue el de ESTRAUS.

ESTRAUS es un sistema computacional desarrollado en la década de los 80 en Chile, cuyo propósito es contribuir al análisis de sistemas de transporte urbano de ciudades de gran tamaño, al igual que muchos modelos utilizados y desarrollados ESTRAUS considera etapas generales dentro de la modelación específica de la actividad vehicular. Para esto utiliza fases como: la generación de viajes, atracción



de viajes, distribución, partición modal y asignación de viajes. Además de todo esto ESTRAUS permite predecir las decisiones de viajes de las personas, como por ejemplo: Hacia donde viajar, en que modo de transporte viajar, que ruta tomar, es decir una serie de medidas que por lo general la gente toma a medida que se va involucrando en el sistema vial de transporte de la ciudad.

Finalmente ESTRAUS utiliza 4 tipos de información básica necesaria para la modelación de la actividad vehicular del entorno analizable, estas 4 son:

- **Encuestas origen - destino:** Contiene información acerca de los viajes de las personas con sus respectivas matrices de origen – destino.
- **Uso del Suelo:** Se basa principalmente en el sistema de censos, para así poder averiguar las diversas actividades que desarrollan las personas en las diferentes zonas de la ciudad.
- **Redes de transporte:** Generalmente se entrega la estructura de la red vial existente en la ciudad, tanto la red para el metro, transporte privado y transporte publico.
- **Conteos de Trafico:** Contiene datos sobre el flujo de trafico, y la ocupación vehicular que pueda presentarse en las arterias viales modeladas.

He explicado con anterioridad de una manera breve y concisa con una definición acertada y muy explicativa acerca de lo que es el software ESTRAUS señalando igualmente la forma en que opera a la hora de realizar la modelación.

Continuando en la búsqueda explicativa de la actividad vehicular para Santiago de Chile, se puede reseñar también que en la utilización de ESTRAUS para la determinación de dicha actividad, se modelaron “7567 arcos divididos en 264 zonas”<sup>1</sup> a lo largo del área de influencia de las emisiones atmosféricas, el modelo cubre dos periodos de horas específicos, por lo general utiliza el mismo periodo de tiempo que los otros modelos manejan es decir una hora pico de (7:30 a 8:30 AM), y

---

<sup>1</sup> FUENTE: *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales* pg 3.

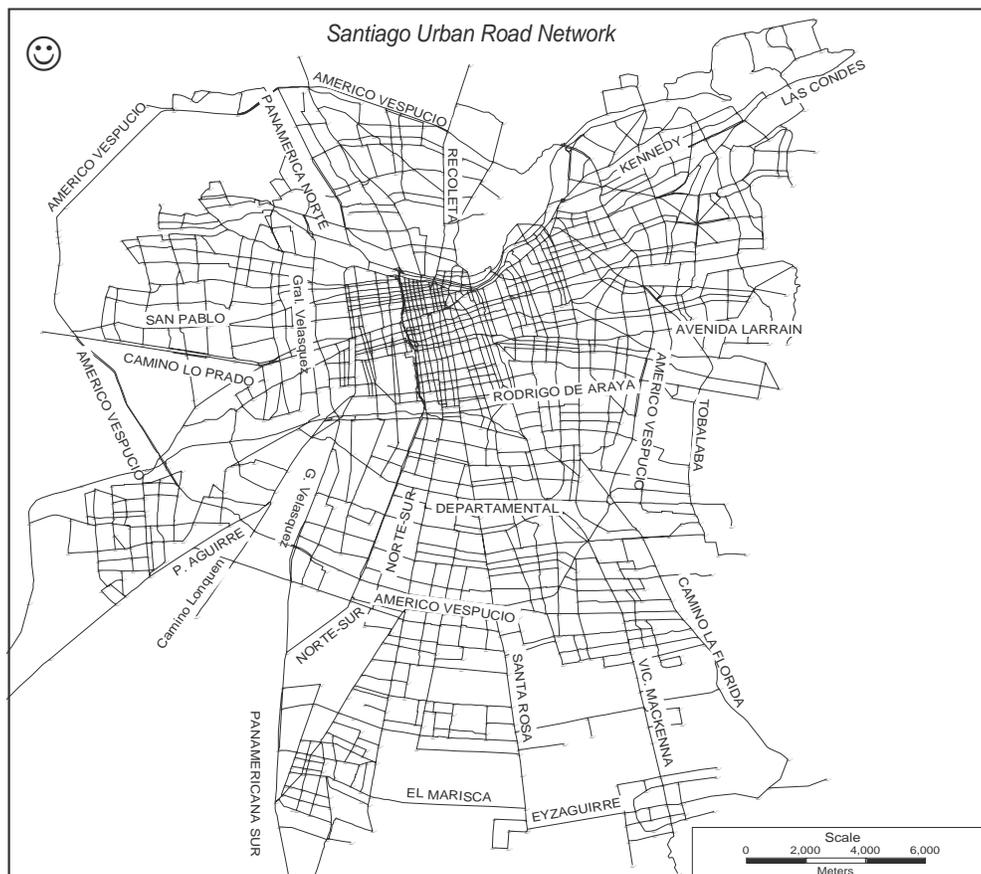


a diferencia de los demás modelos genera resultado para una hora no pico, pero es decir de (10:30 a 11:30 AM) los dos periodos de horas se ejecutan en días hábiles.

ESTRAUS modela principalmente dos parámetros para poder determinar la actividad vehicular, estos 2 parámetros son: el flujo vehicular por cada arco de la red, el cual a su vez se divide en flujo fijo (*transporte privado*) y flujo variable (*transporte público*), y el tiempo en que demora cada categoría de vehículo en recorrer dicho arco.

Seguidamente expongo el mapa de la red vial de Santiago utilizado en la modelación de ESTRAUS, para así generar en el lector una aproximación mas tangible sobre la proporción de área afectada e involucrada en la modelación.

**FIGURA 7.2 Mapa, Red Vial, Santiago De Chile:**





**FUENTE:** *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales pg 4.*

El resultado final que genera el modelo ESTRAUS corresponde a una serie de indicadores globales asociados a los diferentes modos de transporte (*Tiempos medios de viaje, de espera, de caminata, las velocidades medias, y las distancias medias de viaje*) estos indicadores generan la caracterización final necesaria para poder determinar y generar una actividad vehicular de acuerdo a cada clasificación de vehículos presentes en la ciudad. El indicador global más importante y que se constituye en el resultado final de la modelación corresponde al **FLUJO** vehicular para una determinada hora analizada, y para un automotor específico, este indicador posee unidades de (*veh/h*).

Después de obtener estos indicadores en la modelación se hizo necesario expandir los datos logrados en periodos de tiempo, diarios, e incluso mensuales. Para esto se realizó una desagregación estándar de las actividades vehiculares en diferentes zonas clasificadas de acuerdo a su actividad comunal, es decir, el modelo generó una categorización de 3 tipos de vehículo (*Vehículos de transporte privado, Vehículos de transporte público, vehículos de carga*). Esta categorización se distribuye para diferentes zonas en las que se ha dividido el área modelada de Santiago, la cual para el caso específico de esta ciudad es de 9 sectores que agrupan las 34 localidades presentes en dicha urbe. Finalmente se generan perfiles de flujo, o sea variaciones en la cantidad de vehículo por hora (*veh/h*) para cada clasificación estándar mencionada con anterioridad y para cada sector o zona en la que se dividió Santiago de Chile.

El siguiente gráfico obtenido del estudio de Santiago<sup>1</sup> muestra a manera de ejemplo como son las diferentes curvas para cada tipo de sector de la ciudad. Como ya se mencionó con anterioridad, en estos gráficos de presentación final, se agrupan periodos diarios de flujo vehicular. Es decir en cada gráfico se tienen varias curvas,

---

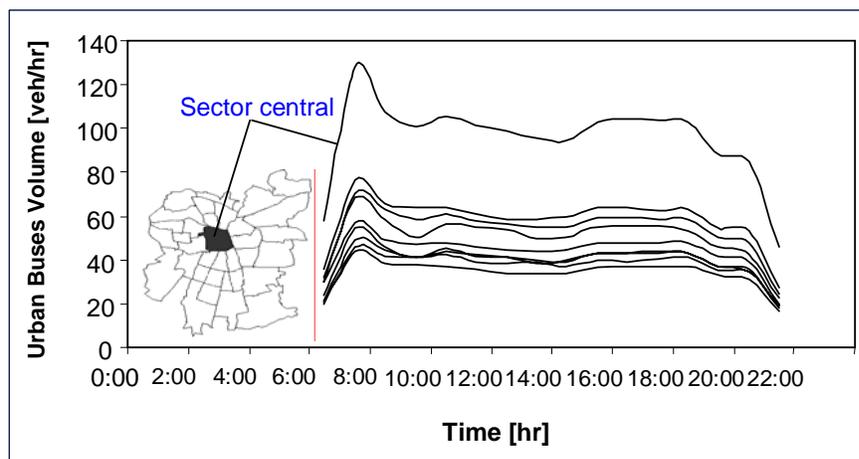
<sup>1</sup> FUENTE: *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales.*



cada una de ellas representa la variación del flujo a lo largo del día de un sector específico de la ciudad y cada gráfico corresponde a una determinada clasificación estándar de automotores circulantes en el área urbana.

Para el caso específico del ejemplo se tiene un flujo diario de vehículos de transporte público (*Buses*), con todas las curvas de los diferentes zonas en que fue dividida la ciudad, en este gráfico se hace especial énfasis en la curva de la zona céntrica de Santiago, en donde se pueden observar las variaciones en las concentraciones vehiculares tanto en las horas pico, como en las demás horas. Corroborando la predicción inicial de que la hora pico se encuentra de 7:30 a 8:30, en donde se presenta la mayor concentración de buses en el día, y que las demás horas son horas en donde el flujo no presenta variaciones abruptas.

**GRAFICO 7.3 Flujo diario de Vehículos de Transporte público en una zona Céntrica de Santiago de Chile.**



**FUENTE:** *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales pg 5.*

Si bien el modelo genera una serie de clasificaciones estándar de vehículos dependiendo de sus actividades cotidianas, las características propias de los factores de emisión, hacen necesario generar una separación mas extensa en cuanto a la categorización de los vehículos presentes en el área urbana. Estas



categorizaciones se hacen dependientes de tanto la tecnología vehicular presente en cada tipo de automotor, como de el combustible utilizado por cada uno de ellos.

En el caso específico del modelo que analice de Santiago de Chile; se utilizaron 18 categorías diferentes de vehículos, separadas de acuerdo a los otros tipos de factores de emisión, y de acuerdo también a la utilización del vehículo. Es importante mencionar que el estudio señala que para futuras modelaciones presentes en la ciudad se generaran incluso hasta 30 categorías de vehículos, ya que a medida en que avance la tecnología, se generarán nuevos tipos de combustibles con características distintas a las que se tienen actualmente.

La tabla de la clasificación empleada en Santiago de Chile es la que se muestra a continuación, depende principalmente del tipo de uso, y de los factores de emisión, también se genera una probable clasificación futura por el uso de los nuevos combustibles.

**TABLA 7.1 Clasificación vehicular utilizada en el modelo de Santiago.**

<b>CATEGORIAS POR EMISION</b>	<b>CATEGORIAS POR USO</b>	<b>CATEGORIAS FUTURAS</b>
Buses urbanos tipo 1 Buses urbanos tipo 2 Buses urbanos tipo 3 Buses interurbanos Camiones livianos Camiones medianos y pesados	Buses urbanos privados	Buses urbanos tipo 4 Buses a GNC Livianos, medianos y pesados con y sin norma de emisión
Vehículos pasajeros sin Catalizador Vehículos pasajeros con Catalizador	Taxis básicos con o sin catalizadores Taxis colectivos con o sin catalizadores	Vehículos a GNC y GLP Vehículos TIER1/EURO3
Vehículos comerciales con catalizador Vehículos comerciales sin catalizador Vehículos comerciales diesel		Vehículos a GNC y GLP Vehículos TIER1/EURO3 Vehículos diesel "ecológicos"
Motocicletas 2 tiempos Motocicletas 4 tiempos		

**DATOS FUENTE:** *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales pg 5.*

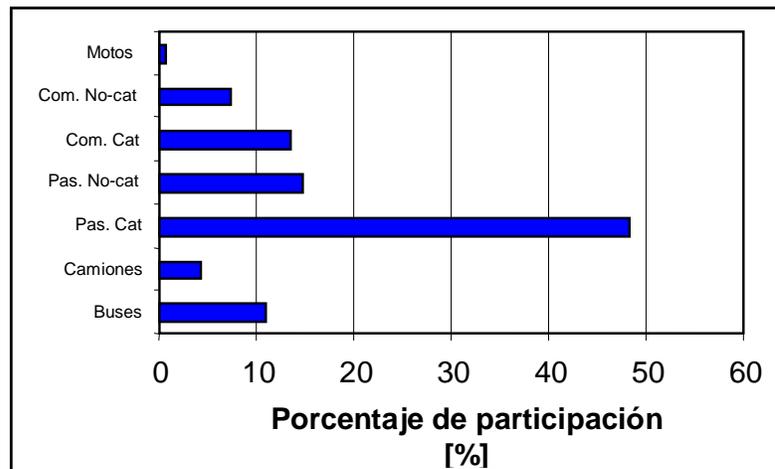
Finalmente después de realizar la distribución de los diferentes tipos de clasificación de los automotores, se realiza una partición modal de la densidad de vehículos presentes en una zona específica de la ciudad en una hora determinada.



“No se asume variabilidad en cuanto a la composición del resultado total de los vehículos presentes puesto que el modelo no permite generar esta variación temporal”. “Esta hipótesis es necesario cambiarla, por lo tanto se espera que para un futuro inmediato se generen modelaciones en las que se asuma esta variabilidad temporal en cuanto a la composición vehicular se refiere”<sup>1</sup>.

El siguiente grafico obtenido del modelo analizado, muestra la composición de vehículos en porcentaje en una zona determinada de la ciudad. Existen tablas para cada área específica de Santiago de Chile, en donde en cada una de ellas se muestra el porcentaje de participación de cada una de las clasificaciones establecidas para los diversos vehículos que se encuentran en un momento dado en la zona tratada e investigada.

**GRAFICO 7.4 Participación de los diferentes vehículos en la zona céntrica.**



**FUENTE:** *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales.*

### **7.2.2 Factores de emisión:**

<sup>1</sup> FUENTE: *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales.*



El otro factor de relevancia a la hora de estimar las emisiones producidas por fuentes móviles, corresponde a los factores de emisión. Ya he comentado bastante sobre el significado que posee los factores de emisión desde un punto de vista cuantitativo por lo que no me centrare en este estudio también a definirlo, sino que analizare la forma en que fueron manejados y generados en el estudio de Santiago de Chile.

Tradicionalmente el generador más importante a la hora de estimar estos factores es el de la velocidad media de los vehículos para un tramo determinado, o para un arco determinado en este caso. Debido a la incapacidad o a los inconvenientes que se presentaron en el estudio de Santiago para poder determinar los factores de emisión para vehículos medianos, vehículos pesados y motocicletas, se tuvo que recurrir a la fuente de información de una modelación muy conocida (*COPERT*) para obtener las diferentes ecuaciones que describen la función de los factores de emisión para este tipo de automotores.

Sin embargo para automóviles livianos el estudio pudo obtener localmente los factores necesarios dentro de la clasificación vehicular interna de este tipo de automotores. Para esto se tomaron muestras de 135 vehículos livianos, ensayos en diferentes ciclos de conducción, y cubriendo rangos de velocidades entre los 3 km/h y los 80 km/h. También se hizo la consideración de cubrir los diferentes modos que se presentan en los ciclos de conducción, estos modos son: “El ralentí (Vehículo *detenido con motor encendido*), la aceleración, la desaceleración, y la velocidad constante”<sup>1</sup>.

Este análisis realizado por la Universidad de Chile permitió comprobar la dependencia de los factores de emisión frente a la velocidad media, y frente a la aceleración media positiva, dando como resultado general y específico, que los contaminantes que se afectaron mas por la velocidad media fueron: CO Y HC, y los

---

<sup>1</sup> FUENTE: *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales.*



contaminantes que obtuvieron mayor dependencia de la aceleración media positiva fueron:  $\text{NO}_x$ .

Este fenómeno fue observado al graficar los diferentes puntos que se presentaban generando variación es de velocidades entre los rangos establecidos. Si se analiza la correlación que presenta una grafica de: Factor de emisión en ( $g/Km.$ ) para un contaminante de  $\text{NO}_x$  contra velocidad media, se observa que esta correlación es mucho menor a la que se presenta en una grafica de: Factor de emisión ( $g/Km.$ ) para el mismo contaminante contra aceleración media positiva. Este hecho significativo marca una tendencia frente a la intima relación del Factor de emisión y la VM O AMP, para determinar cual es el valor óptimo generado frente a diferentes variaciones de velocidad o de aceleración.

A continuación se muestra un ejemplo sobre resultados obtenidos de Factores de emisión:

**TABLA 7.2 Factores de emisión Locales y obtenidos del modelo COPER II**

TIPO DE VEHICULO	FACTOR DE EMISION LOCAL			FACTOR DE EMISION COPER II			PM
	CO	THC	$\text{NO}_x$	CO	THC	$\text{NO}_x$	
PRIVADO CON CATALIZADOR	2.1	0.11	0.32	2.5	0.17	0.42	-
COMERCIAL CON CATALIZADOR	0.55	0.35	0.6	1.51	0.13	0.4	-
PRIVADO NO CATALIZADOR	35.47	2.1	2.4	32.12	3.03	1.76	-
COMERCIAL NO CATALIZADOR	39.92	3.05	3.64	31.94	3.4	1.82	-
COMERCIAL DIESEL	N.D	N.D	N.D	1.4	0.4	1.23	0.28
BUSES A Y D	N.D	N.D	N.D	6.34	1.99	18.86	1.33
BUS B	N.D	N.D	N.D	3.17	1.5	13.21	0.56
BUS C	N.D	N.D	N.D	2.54	1.4	9.43	0.35
CAMION A	N.D	N.D	N.D	1.28	2.17	4.86	0.49
CAMION B	N.D	N.D	N.D	2.05	2.32	7.75	1.04
MOTOCICLETA 2 TIEMPOS	N.D	N.D	N.D	21.14	13.32	0.076	-
MOTOCICLETA 4 TIEMPOS	N.D	N.D	N.D	23.92	5.02	0.104	-

ND: NO DISPONIBLE EN LA MODELACIÓN LOCAL.

FUENTE: *Hot emission model for mobile sources: application to the metropolitan region of the city of Santiago, Chile pg 16.*



### 7.3 Resultados Modelación:

En conclusión, después de haber realizado los diferentes análisis del estudio de la modelación de Santiago, en cuanto a la determinación de la Actividad vehicular y los Factores de emisión, se llega a la parte final del procedimiento, la cual corresponde a la determinación de las emisiones de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes móviles.

Es significativo mencionar que los realizadores de este estudio han puesto en consideración un aspecto que a mi juicio es bastante relevante e importante. La estimación de emisiones en muchos estudios se realiza muchas veces multiplicando la actividad vehicular representada en el número de Kilómetros que recorre determinado automotor en un año, por ejemplo, por el factor de emisión determinado. El estudio de Santiago genera datos de actividad vehicular representados en cuanto a densidades de flujo y composición vehicular, datos que generan una mayor aproximación que la modelación inicialmente mencionada.

Este estudio también generó resultados para los 3 tipos de emisiones que se mencionaron en el estudio de Bogota: *Emisiones en Caliente*, *emisiones arranque en Frío*, y *Emisiones evaporativas de combustible*. Sin embargo me centrare en el análisis de las emisiones en Caliente debido a que los otros dos tipos de emisiones son emisiones adicionales y fueron generados a partir de la metodología (COPER) la cual ya explique con antelación en el modelo para determinación de emisiones de la ciudad de Bogota.

La metodología general para determinar las emisiones en caliente, en una hora específica, sobre un arco o tramo de la red vial modela para Santiago, es al siguiente:

$$E_{h,i,j,k} = F_j \cdot L_j \cdot EF_{i,k}(v) \cdot FP_j \cdot C_{j,k}^1$$

En donde:

---

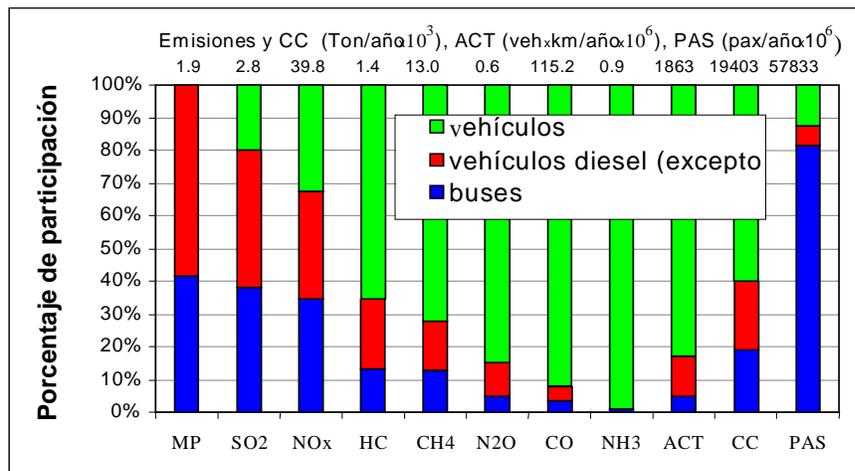
<sup>1</sup> FUENTE: *Hot emission model for mobile sources: application to the metropolitan region of the city of Santiago, Chile* pg 4.



- $E_{h,i,j,k}$  : Corresponde a las emisiones de un contaminante de tipo (i), durante la hora de modelación del día (h), sobre el arco o red de trafico (j), y esta expresado en g/h.
- $F_j$  : Corresponde al volumen total de trafico, para una hora pico de trafico escogida, que corresponde a la de la modelación, expresado en veh/h.
- $L_j$  : Longitud total del arco (j) en km.
- $EF_{i,k}(v)$  : Factor de emisión de un contaminante de tipo (i), para una categoría de vehículo (k), y modelado bajo un promedio de velocidad (v), se encuentra dado en términos de g / Km-veh.
- $FP_j$  : Perfil del flujo de trafico a la misma hora de la modelación para diferentes tipos de días, sobre el arco de modelación (j).
- $C_{j,k}$  : Fracción del volumen total del trafico correspondiente a vehículos de categoría (k), que operan sobre un arco de tipo (j).

Los resultados generales son expresados como: Las toneladas por año de emisiones en caliente, para el año 2000, para cada categoría de vehículos según clasificación general, comparados estos resultados con parámetros de actividad tales como CC (*Consumo de combustible*), ACT (*Numero de viajes y kilómetros recorridos*), PAS (*Nivel de pasajeros transportados*).

### GRAFICO 7.5 Emisión de Contaminantes, y actividad vehicular.



FUENTE: *Hot emission model for mobile sources: application to the metropolitan region of the city of Santiago, Chile pg 10.*



## **8. CONCLUSIONES GENERALES ACERCA DE LA METODOLOGIA Y LOS RESULTADOS OBSERVADOS EN LOS DIFERENTES ESTUDIOS ANALIZADOS.**

Después de realizar un análisis exhaustivo de los diversos procesos que tuvieron que seguir los diferentes realizadores de los estudios de importantes ciudades Latinoamericanas como lo son: México DF, Bogota, y Santiago de Chile, para poder elaborar un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricas producidas por fuentes móviles; he llegado a una de las etapas mas importantes dentro de la elaboración de este proyecto de grado, la cual consiste en generar diversas conclusiones acerca de la variabilidad en los procesos, tanto en su parte modelativa como en su parte final de resultados.

Es importante mencionar que muchos dirigentes de capitales latinoamericanas, en compañía de instituciones internacionales como el Banco Mundial, y en compañía de entidades estatales pertenecientes a cada país, han tomado conciencia sobre la importancia que tiene tanto para la salud publica como para la productividad local, el poder crear un inventario de contaminantes producidos por fuentes móviles en la ciudad, para así poder generar diferentes tipos de políticas necesarias para enmarcar dentro de limites preestablecidos de calidad de aire las emisiones producidas en el perímetro urbano del área afectada.

Es así como urbes tan importantes como México DF, Santiago de Chile y Bogota (*Ciudades analizadas en este proyecto*), han generado diferentes tipos de inventarios sobre producción de contaminantes anuales generados por automotores, basados en diferentes metodologías sobre la modelación de procesos de actividad vehicular y determinación de Factores de emisión.

Se llega finalmente a uno de los objetivos generales y principales de la elaboración del presente proyecto, el cual consiste en investigar y analizar estas metodologías empleadas por los organismos estatales o privados para realizar dichos inventarios de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes móviles, y compararlas con el estudio realizado por la Universidad de las Andes para la ciudad de Bogota, en la búsqueda de similitudes y diferencias significativas entre los



procesos utilizados para crear los inventarios, que permitan generar en el lector una actitud tanto crítica como evaluativa, con base a sus conocimientos ambientales y generales, sobre que tan eficientes pueden llegar a ser los resultados finales de los diferentes modelos ejecutados en dichas Ciudades.

Obviamente dentro de mis conclusiones finales, sustentare a manera personal, el porque es importante crear este tipo de comparaciones que permitan extraer y utilizar ideas de otros estudios que puedan llegar a ser aplicables a futuras modelaciones y obtenciones de inventarios de contaminantes. Al igual que generar también, mi propia actitud crítica sobre los posibles resultados de los 3 modelos analizados.

### **8.1 Conclusiones Variables Iniciales.**

Las variables iniciales que necesitan los software para realizar las modelaciones, se constituyen en muchas ocasiones como gran fuente de incertidumbre a la hora de generar resultados, ya que en principio de una acertada obtención y utilización de estas variables, se pueden generar resultados óptimos de inventarios de contaminantes.

Dentro de las notables diferencias en la introducción y utilización de estas variables, por parte de los diferentes modelos encontré las siguientes:

- Desafortunadamente para el estudio de Bogota, las variables iniciales o de entrada, (*Variables Input*), fueron estimadas con base a suposiciones que generan una incertidumbre bastante significativa a la hora de realizar los procesos intermedios. Para Bogota existen muy pocos datos sobre conteos vehiculares que nos permitan crear variables de actividad vehicular aceptables. Mucha de la información no existe, o si existe se encuentra muy desorganizada y dispersada en diferentes entidades estatales o distritales de la ciudad. Es el caso de la STT la cual proporciona la base de datos sobre los diferentes vehículos matriculados en la ciudad, gran parte de esta información se encuentra incompleta, sobre todo a la hora de generar una clasificación minuciosa sobre los diversos vehículos, clasificación de motor,



cilindraje, potencia, modelo; variables indispensables que exigió el software para su operación.

Si mencionamos ahora las matrices origen – destino utilizadas para la modelación de la actividad vehicular, el modelo de Bogota utilizo varios supuestos validos según el conocimiento de las personas que participaron en la elaboración del inventario; supuestos debido a que se contaban con datos no apropiados para el modelo, por ejemplo, se contaba con matrices generadas por un estudio para Transmilenio en donde estaban expresadas en una hora pico en la mañana, y el modelo necesitaba hora pico en la noche, se hizo el supuesto de utilizar la matriz transpuesta ya que el origen – destino cambia de la mañana a la noche, y se multiplico por un factor de 0.69 para ajustar diferencias horarias.

Por esta razón, creo que existe una gran diferenciación por parte de la ciudad de Bogota en la obtención y manipulación de los datos de entrada, a diferencia de los modelos de México DF, y Santiago en donde las entidades encargadas de realizar la modelación contaron con datos mucho mas próximos, completos , reales y actualizados sobre las diferentes actividades vehiculares de los automotores presentes en el área urbana de las ciudades.

- El modelo de México DF se basa en su gran mayoría en la obtención de los Kilómetros recorridos por los vehículos (*Actividad Vehicular* ), en la lectura del odómetro. Situación bastante contraria a lo que se presenta en los modelos de Bogota y Santiago, sobre todo en Bogota, ciudad en la que por falta de información vehicular se tuvo que generar un modelo, e intentar corregirlo con base en los pocos datos con los cuenta el Distrito sobre mediciones y conteos vehiculares.

El parque automotor presente en el área metropolitana se obtuvo con base a entidades gubernamentales y del distrito tales como SETRAVI (*Secretaria de Transito Vial de México*), además de la base de datos del programa de verificación vehicular para México DF; pero al igual que los modelos de las otras ciudades tuvo que ampliarse esta clasificación como consecuencia de



la amplitud de datos que exigía el modelo de determinación de emisiones de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles.

Finalmente es necesario hacer la consideración de que aunque en México DF. se basaron en la totalidad de los datos *Input* en las mediciones del Odómetro, ellos realizaron una consideración o recomendaciones finales en las que plantean la generación de un modelo para determinar la actividad vehicular, modelo que permita comparar y equiparar los datos proporcionados por el modelo con los datos generados por el Odómetro, así es posible contar con otra fuente de resultados que admita obtener menos incertidumbre.

- Para el caso de Santiago de Chile, los procesos en la obtención de este tipo de variables, fueron muy similares a los que se utilizaron en Bogotá, sin embargo Santiago contaba con una información mucho más completa y representativa de lo que se encontraba en nuestra capital, razón por la cual la modelación de la actividad vehicular utilizada en Santiago no propició crear calibraciones tan profundas y sustanciales debido a la proximidad que reflejaron los resultados del modelo con los datos de conteos con los que contaba esta Capital.

El modelo que utilizó Santiago para la generación de la actividad vehicular, fue un modelo y software realizado por la Universidad de Chile con ayuda de consultores internacionales; su nombre ESPECTRUS, es basado en el mismo principio que EMM2 software utilizado en la modelación de la actividad vehicular de Bogotá, el principio del **EQUILIBRIO** es decir que considera el costo de la utilización de un arco o segmento vial y el volumen de tráfico sobre este mismo, además de esto ambos modelos utilizan las mismas variables iniciales para poder generar resultados adecuados de actividades estas variables son:

- **Matrices origen – destino.**
- **Redes de transporte vial del área urbana.**
- **Usos del suelo.**



También procesan la información basados en las mismas fases generales de la actividad vehicular:

- **Generación de viajes.**
- **Atracción de viajes.**
- **Distribución y asignación de viajes.**
- **Partición Modal.**

Sin embargo los resultados de ambos modelos difieren significativamente. ESPECTRUS plantea que para poder generar errores menos significativos se debe expresar la actividad vehicular en términos de Flujo vehicular, en unidades de *Veh/h*, para un tipo de vehículo específico en una hora determinada. EMME2 arroja resultados de actividad vehicular en términos de Velocidades promedio par un tramo específico, y volúmenes de automotores en cada sector de la malla vial también.

## **8.2 Conclusiones Ejecución del modelo, determinación de emisiones:**

Después de analizar las diferencias y similitudes entre las variables de entrada necesarias para poder correr los modelos ejecutados para cada Ciudad, planteo ahora diferentes conclusiones obtenidas a partir de la comparación de la forma en que dichos modelos operan para generar inventarios y resultados de emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles.

Ciudad de México utilizo el modelo MOBILE 5-México, para generar los inventarios, mientras que Bogota y Santiago de Chile utilizaron AIREMIS, y MODEM respectivamente.

A continuación enuncio sendas conclusiones sobre similitudes y diferencia acerca de los procesos de generación de inventarios par parte de los modelos utilizados en las 3 urbes latinoamericanas.

- MOBILE 5 – México, es un modelo que a diferencia de los otros dos no realiza una separación entre los diversos tipos de emisiones que pueden



llegar a presentarse por la utilización del parque vehicular en el entorno de la ciudad. Es decir solamente genera inventario de emisiones en caliente, como consecuencia de una operación normal por parte de los automotores que transitan en la zona metropolitana. En consecuencia no genera inventario de emisiones adicionales sino enfatiza que la proporción importante de esta modelación se encuentra en este tipo de emisiones.

Contrario a Ciudad de México, los modelos MODEM y AIREMIS si generan emisiones adicionales, basadas en una metodología generada por la EPA y denominada metodología COPERT. Esta metodología enuncia que además de generarse emisiones en caliente producto de una circulación normal de automotores, se generan una serie de emisiones adicionales en proporciones mínimas en comparación a la anterior debido a diversos fenómenos ocurrente durante la operación de los automóviles. Estas emisiones son denominadas:

- ***Emisiones de arranque en Frío.***
- ***Emisiones por evaporación de combustible.***

Este tipo de emisiones son consideradas por los inventarios proporcionados en Bogota y Santiago de Chile, lo que genera una gran diferenciación entre los resultados y la calidad de ellos a la hora de desglosar concienzudamente las metodologías empleadas por los modelos. Es decir con base a lo que he dicho anteriormente considero que proporcionan resultados mas óptimos y aproximados las modelaciones empleadas en las ciudades de Santiago y Bogota.

- Si comparamos ahora las metodologías de los modelos MODEM y AIREMIS, encontramos también una gran diferenciación en la forma de la obtención de los resultados. Si bien ambos modelos generan las emisiones adicionales generadas con anticipación con la misma metodología (*COPERT*). La metodología en cuanto a la obtención de las emisiones generadas por la actividad normal de los automotores, es totalmente distinta. Mientras que AIREMIS utiliza el mismo procedimiento que utiliza MOBILE 5-México, el cual



se basa en utilizar una actividad vehicular representada en el número de Km. que recorre los diferentes tipos de automotores de una clasificación específica en un determinado año. Es decir el valor definitivo de las emisiones está representado en la siguiente fórmula:

$$E_{HOT; i, j, k} = N_j \times M_{j,k} \times e_{HOT; i, j, k} \quad ^1$$

Como se puede observar los valores de **N** y **M**, representan: **N** el número de vehículos de determinada clase que se encuentran en circulación en el año de referencia del estudio. Este número de vehículos se obtienen del inventario de automotores que se encuentran presentes en la ciudad, según cada tipo de clasificación adicional que tuvo que realizarse para poder ingresar estos datos al modelo. **M** y el número de Km que cada categoría de vehículo recorre en un determinado tiempo analizado, este último factor es denominado por el estudio de México DF. Como KRV (*Kilómetros recorridos por los vehículos*) que ha diferencia de Bogotá fueron obtenidos con ayuda del Odómetro.

Mientras tanto en Santiago los datos de actividad de tráfico están dados en Flujo Vehicular. Las emisiones son calculadas de la siguiente forma:

$$E_{h,i,j,k} = F_j \cdot L_j \cdot EF_{i,k}(v) \cdot FP_j \cdot C_{j,k} \quad ^2$$

En donde como se observa las variables **F** y **L** corresponden a: **F** el número de Vehículos por hora (Veh / h), es decir el flujo de determinada clasificación de vehículos, multiplicado por **L** la longitud total del arco o tramo analizado de la red vial, y multiplicado por un factor de emisión que se encuentra dado en (g/Km\*Veh).

---

<sup>1</sup> FUENTE: COPERT III (*Computer programme to calculate emission from road transport*)  
METHODOLOGY AND EMISSIONS FACTORS November 2000 Pg. 15

<sup>2</sup> FUENTE: Hot emission model for mobile sources: application to the metropolitan region of the city of Santiago, Chile pg 4.

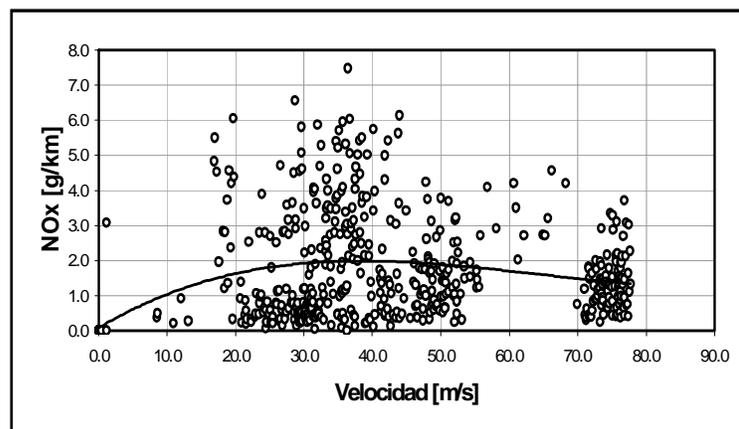


Las diferencias son sustanciales en la forma de calcular las emisiones en caliente, generando un posible cuestionamiento entre cual de las dos modelaciones podría generar menor incertidumbre, si la utilizada tanto en México DF como en Bogota, o si la utilizada en Santiago de Chile, en donde se argumenta que el hecho de generar una modelación basada en el flujo vehicular reduce significativamente la incertidumbre en los resultados. Podría ser una buena iniciativa adoptar en modelaciones futuras una actividad vehicular como la empleada en Santiago.

- Si analizamos finalmente la forma en que las diferentes metodologías produjeron los factores de emisión, se hace un gran paréntesis en lo que pudo generar Santiago de Chile. Si bien todas las metodologías emplearon en forma sustancial algunos datos producidos por el modelo COPERT para producir diferentes factores de emisión dependiendo de los tipos de vehículos, diferentes combustibles utilizados por los automotores en el perímetro urbano, y distintas velocidades medias, Santiago de Chile logro producir sus propios factores de emisión para vehículos livianos, encontrando una correlación muy importante.

Encontró que muchos de los factores que antes que utilizan como parámetro fundamental dentro de su determinación, la velocidad media de los automotores generaban una mejor correlación con la utilización de la AMP (*Aceleración Media Positiva*) como parámetro relevante.

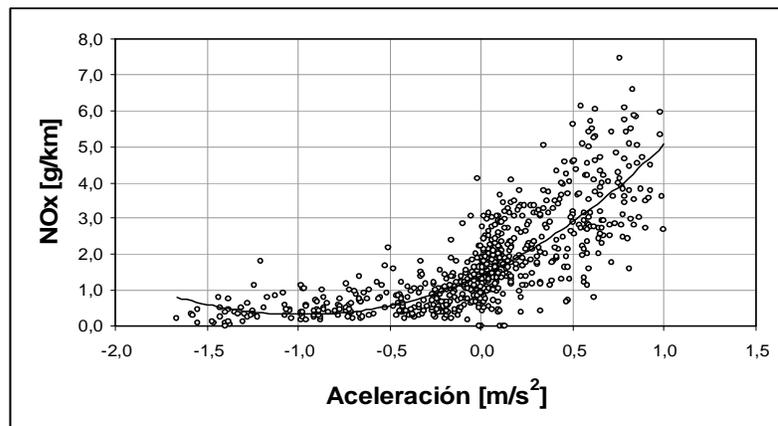
**GRAFICO 8.1 Emisiones de NO<sub>x</sub> como función de la velocidad media.**





**FUENTE:** *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales pg 8.*

### **GRAFICO 8.2 Emisiones de NO<sub>x</sub> como función de AMP.**



**FUENTE:** *Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el transporte urbano en Santiago de Chile, realizado por Mauricio Osses, Frank Dursbeck y Roberto Corvalan, consultores internacionales pg 8.*

Como se puede observar, la dependencia de este contaminante por parte de la velocidad media genera datos con un gran alto grado de dispersión, mientras que la dependencia con la aceleración media positiva produce una mejor correlación.

### **8.3 Conclusiones Resultados de los Modelos:**

Los resultados finales tiene como objetivo particular, tanto generar políticas internas de mitigación y control, como realizar un diagnostico detallado sobre las diferentes influencias que tiene cada tipo de clasificación de vehículos en cuanto a producción de contaminantes se refiere.

- Bogota fue la única ciudad que genero un esquema representativo y muy singular a la hora de mostrar los resultados finales. Produjo una serie de gráficos estimados sobre la red vial analizada, de los diferentes



contaminantes producidos en cada sector o en cada arco de la malla vial digitalizada.

Este tipo de resultados generan una ventaja increíble a la hora de concluir en que sectores de la ciudad se encuentra el mayor grado de producción de emisiones (*Sectores críticos*), y en donde se deben implementar mayores políticas de control para mitigar en forma importante las emisiones de contaminantes.

Los demás modelos establecieron una serie de tablas, sobre todo el modelo de México DF en el cual, su mayoría de resultados fueron presentados solamente como inventarios para cada tipo de contaminante y para cada tipo de vehículo generado en la clasificación inicial.

- Los resultados propuestos por Bogotá se expresaron en unidades de (Kg / h) mientras que los otros dos estudios generaron resultados de (Ton / año). Sin embargo si analizamos los modelos, los resultados arrojan, que la ciudad que mas contaminación ejerce a causa de las fuentes móviles, es México DF en proporciones relativamente gigantescas en comparación a las otras 2 ciudades analizadas. Además si observamos las producciones se percibe una proporción similar en cuanto a las cifras de los resultados para cada contaminante, es decir para los 3 modelos tenemos gigantescas producciones en CO, y pequeñas proporciones para CH<sub>4</sub> por ejemplo. Igual para los otros contaminantes clasificados en los modelos.

Finalmente, quiero terminar este análisis refiriéndome a la importancia que genera poder crear una documentación de este tipo para poder evaluar y comparar diferentes procesos utilizados en otras ciudades distintas a las de nuestro país, y así adoptar experiencias y metodologías nuevas que nos permitan aproximarnos cada día mas a resultados mas ciertos y con incertidumbres menores en modelaciones futuras.



## **9. POLITICAS AMBIENTALES FRENTE AL CONTROL DE EMISIONES CAUSADAS POR FUENTES MOVILES.**

### **9.1 Introducción:**

El presente capítulo final de este proyecto de grado, pretende informar al lector sobre las diferentes políticas ambientales referentes al control de emisiones de contaminantes atmosféricos causados por fuentes móviles, que ejercen los organismos encargados del control ambiental del distrito, en este caso en particular el DAMA (*Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente*).

Además de la documentación de las políticas internas se pretende comparar estas pautas empleadas en nuestra ciudad con normatividad similar utilizada en países Latinoamericanos, para así determinar en forma comparativa que tan necesarias, importantes, y eficientes han resultado la aplicabilidad de estas políticas para ejercer un control ambiental que permita mantener la calidad del aire bajo estándares internacionales de control ambiental.

### **9.2 Generalidades:**

Las políticas ambientales son un conjunto de normas, objetivos, y orientaciones generales para la protección del medio ambiente de una región o sociedad en particular. Con base en estos lineamientos llegan a impulsar nuevos procesos y diferentes tipos de tecnologías más beneficiosas mirándolas desde un punto de vista ambiental e intentando desarrollar mejores formas de relación con la naturaleza y el medio ambiente en particular.

En la mayoría de países Latinoamericanos se definen políticas ambientales con diversas denominaciones, siendo las más comunes las de política, estrategia y plan. El propósito fundamental de estas políticas es el de reflejar un conjunto de iniciativas, metas y propósitos ambientales, que se pretenden desarrollar en un periodo de tiempo en el cual dichas normas operan eficientemente.



Últimamente se ha optado por declarar este tipo de normas a consagrarlas como principio orientadores en las constituciones políticas de las diversas naciones, para ejercer así una presión mayor y generar una conciencia ciudadana que permita crear una protección ambiental conforme a los estamentos y parámetros fundamentales sobre conservación ambiental. Sin embargo otros países no optan por la consagración constitucional sino que generan normas o leyes generales que introducen los mismos lineamientos referentes a la protección y conservación de los recursos naturales.

Los elementos de las políticas ambientales que presentan una mayor jerarquía e importancia tangible se redactan y se consagran en la constitución o en las leyes generales ambientales, y son por su naturaleza de cumplimiento obligatorio, las mas permanentes, y las que orientan las actuaciones de una sociedad determinada a largo plazo.

Desde la década de los 90 las sociedades de América Latina impulsaron la creación y consagración de políticas ambientales en compañía y participación de la sociedad civil y el sector privado.

En Colombia desde 1974 se ha expedido cada cuatro años una política de conservación ambiental. La política ambiental contenida en el plan de desarrollo de 1990-1994, ordeno entre muchas otras actuaciones la creación de un Ministerio del Medio Ambiente, y la contratación con entidades bancarias de orden multilateral para recibir ingresos adicionales a los proporcionados por el estado, para el fortalecimiento de las nuevas entidades creadas y mejorar la gestión ambiental.

El plan de desarrollo mencionado con anterioridad de 1990-1994, fue aprobado por el congreso de la republica y tenia como objetivo fundamental el Desarrollo humano sostenible. Desde el punto de vista ambiental contenía 7 programas para el mejoramiento ambiental: “Protección de ecosistemas estratégicos, mejor agua, mares y costas limpias, mas bosques, mejores ciudades y poblaciones, política poblacional y producción mas limpia.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> FUENTE : Banco interamericano de Desarrollo, Documento Políticas ambientales Capitulo 7 pg 4.



A partir de este plan de desarrollo los últimos creados en dicha década han continuado con la mayoría de políticas y lineamientos establecidos en la base de 1994, adaptándole normas como: Producciones mas limpias, y a calidad de la vida urbana en donde se encuentran lineamientos básicos e importantes sobre las políticas creadas para el control de las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por fuentes móviles.

Finalmente nos hemos introducido al tema fundamental de este capitulo el cual consiste en señalar los lineamientos fundamentales que han generado diferentes estamentos tanto gubernamentales como privados, acerca del control ambiental por parte de las autoridades aplicado sobre los automotores en nuestra capital.

### ***9.3 Políticas Ambientales aplicadas en Bogota y relacionadas con Fuentes Móviles.***

Bogota es un centro urbano con características de crecimiento urbano bastante elevadas, es una ciudad que genera muchas alternativas propicias para la participación ciudadana y para la búsqueda de beneficios colectivos referentes al medio ambiente Bogotano. Los últimos gobiernos distritales se han preocupado mucho en dirigir a Bogota a una ciudad mucho mas propicia a la convivencia humana, un desarrollo sostenible humano e integro, necesario para mejorar la productividad tanto económica como social. Por lo tanto no es raro que se hallan creado una serie de políticas necesarias para el control de la contaminación producida por los automotores en nuestra capital, mas aun, era importantísimo establecer parámetros fundamentales necesarios para controlar el creciente aumento de polución y contaminación propiciados por los vehículos en nuestra ciudad.

#### ***9.3.1 Problemas del sector transporte en Bogota***

A continuación enumerare diferentes problemas que tiene Bogota acerca del transporte vehicular tanto publico como privado, y las implicaciones que estos generan a nivel ambiental.



- Una falta de planeación en el control del tamaño del parque automotor de la ciudad. De 1997 a nuestros días el parque vehicular se ha incrementado dramáticamente pasando aproximadamente de 750.000 vehículos, a 995.778 en el presente año (*según datos consultados en la STT de Bogota*), generando una tendencia significativa sobre la cantidad de vehículos que van a estar presentes en el perímetro urbano de la capital. Este punto se constituye en un problema muy importante a resolver, ya que este tipo de tendencias son cada vez más imponentes debido a las necesidades sociales y de estatus que cada día se consolidan más en nuestras sociedades Tercer mundistas. No obstante, en la actualidad con la creación y funcionamiento de un sistema de transporte masivo al igual que la implementación y creación de ciclo rutas, han estabilizado un poco la creciente alza en el incremento del parque vehicular distrital.
  
- La deficiencia en el cubrimiento de la demanda de transporte público en Bogotá es otro gravísimo problema, el 19 % de los pasajeros presentes en Bogotá se mueven por el 80 % de los vehículos presentes en nuestra capital, que corresponden a los vehículos privados mientras que 81 % de pasajeros se mueven por medio de el transporte público, incluidos: buses, busetas, colectivos y Transmilenio, que corresponde al 17% de los automotores presentes en el perímetro urbano, (*Según datos consultados en la STT De Bogota*). La cantidad de automotores que cada día, se acumulan genera incrementos de contaminantes significativos, debido a que las personas utilizan en su mayoría como medio de transporte, el vehículo privado aumentando considerablemente la producción de emisiones de contaminantes.
  
- Existe una total deficiencia en la creación y en el mantenimiento de la malla vial de nuestra ciudad. Por lo tanto el incremento vehicular que mencionábamos con anterioridad no ha podido ser acompañado con una ampliación adecuada de la red vial presente en el perímetro urbano de Bogotá. El hecho de contar con un sistema vial tan indeficiente e incompleto genera disminuciones velocidad sustanciales, además de crear un establecimiento de los automotores en una mayor proporción de tiempo,



como consecuencia de la disminución de las velocidades promedio. El tener velocidades tan bajas, e incrementar el tiempo de permanencia de los vehículos en circulación afectan sustancialmente la calidad del aire presente en nuestra ciudad, debido a que como se mostró en los informes de análisis de estudios, el hecho de disminuir las velocidades de circulación en emisiones en caliente, genera un incremento en el valor de los factores de emisión, en otras palabras se incrementa la tasa neta masica de producción de contaminante por Kilómetro recorrido.

- Bogotá posee un parque automotor en vehículos de transporte público totalmente viejo y obsoleto, como ya se menciona en otras partes de este proyecto de grado. Este problema se constituye en una característica que aumenta la producción de emisión de contaminantes por parte de los automotores. A continuación se ratifica este hecho anexando una tabla de fuente, de la Secretaria de Transito y Transporte de Bogotá y el DAMA, sobre este parque automotor.

**TABLA 9.1 Edad Promedio parque automotor público.**

<b>NIVEL DE SERVICIO</b>	<b>EDAD PROMEDIO</b>	<b>MODELO PROMEDIO</b>
<i>Bus corriente</i>	18	1979
<i>Bus intermedio</i>	4	1993
<i>Bus Ejecutivo</i>	8	1989
<i>Buseta corriente</i>	25	1972
<i>Buseta ejecutiva</i>	16	1981
<i>Buseta súper-ejecutiva</i>	2	1995
<i>Colectivo</i>	14	1984

**FUENTE: DATOS, DAMA Plan Maestro de Gestión Ambiental pg 158.**

- Contar con un parque automotor viejo, y no tener políticas sobre mecanismos que faciliten el mantenimiento obligatorio de los vehículos, genera emisiones adicionales que aumentan considerablemente los contaminantes producidos por los automotores en Bogotá. Según datos consultados en el DAMA el 59 % de los vehículos muestreados incumplen las normas generales en cuanto a normatividad de control de emisiones por certificados de gases.



Anexo dos tablas significativas referentes a este hecho. Una de ellas demuestra el porque los vehículos antiguos generan mayor contaminantes, basados en los factores de emisión, y la otra ratifica la tesis sobre el incumpliendo normativo por parte de los vehículos en el certificado de gases de obligatorio cumplimiento.

**TABLA 9.2 Emisiones por tipo de vehículos según su edad promedio.**

TIPO DE VEHICULOS	MODELO	TIPO DE CONTAMINANTE	EMISIONES PROMEDIO
<i>Vehiculo particular</i>	<1974	HC (ppm)	1470
	>1998	HC (ppm)	172
	<1974	CO (Vol %)	4.78
	>1998	CO (Vol %)	2.66
<i>Camperos</i>	<1974	HC (ppm)	1681
	>1998	HC (ppm)	42
	<1974	CO (Vol %)	
	>1998	CO (Vol %)	
<i>Camionetas</i>	<1974	HC (ppm)	1681
	>1998	HC (ppm)	287
	<1974	CO (Vol %)	5.35
	>1998	CO (Vol %)	2.59
<i>Microbuses</i>	<1974	HC (ppm)	1918
	>1998	HC (ppm)	119
	<1974	CO (Vol %)	5.22
	>1998	CO (Vol %)	0.67
<i>Busetas</i>	<1974	HC (ppm)	
	>1998	HC (ppm)	
	<1974	CO (Vol %)	4.57
	>1998	CO (Vol %)	0.46
<i>Buses</i>	<1974	HC (ppm)	1939
	>1998	HC (ppm)	234
	<1974	CO (Vol %)	4.67
	>1998	CO (Vol %)	1.26

**FUENTE: DATOS, DAMA Plan Maestro de Gestión Ambiental pg 158.**

La anterior tabla refleja el comportamiento de los diferentes automotores, en cuanto a su producción de contaminantes se refiere. Se observa que entre mas viejo sea el vehículo, mayor es el numero ppm que produce para el caso de hidrocarburos, y para el caso de CO en porcentaje de Volumen, se genera un aumento considerable en este porcentaje debido a la disminución sustancial en el modelo de los automotores. Los anteriores datos fueron



recopilados y obtenidos de un informe ambiental generado por el DAMA en coordinación con la STT (*Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá*).

**TABLA 9.3 Porcentaje de Incumplimiento en la certificación de gases.**

<b>TIPO DE VEHICULO</b>	<b>TOTAL REVISADOS</b>	<b>% DE INCUMPLIMIENTO</b>
<i>Automóviles</i>	2700	63
<i>Camperos</i>	550	55
<i>Taxis</i>	530	47
<i>Microbuses y busetas</i>	500	46
<i>Bus y Bus ejecutivo</i>	550	55
<i>Camión o Tractomula</i>	900	67
<b>TOTAL</b>	<b>5730</b>	<b>56</b>

**FUENTE: DATOS, DAMA Plan Maestro de Gestión Ambiental pg 159.**

La anterior tabla hace mención sobre la falta de conscientización de los ciudadanos capitalinos sobre el problema ambiental de nuestra ciudad. Aunque existe normatividad ambiental, aplicada en gran proporción en la exigencia de un certificado de gases solicitado por la Secretaría de Tránsito y Transporte, gran parte de la sociedad no cumple con los parámetros mínimos establecidos para las emisiones vehiculares, debido a la falta de mantenimiento de los automotores. Se convierte por lo tanto en una situación que afecta considerablemente el desarrollo sostenible y mantenimiento de los niveles de emisión en parámetros adecuados y acordes a normativas internacionales sobre la calidad del aire.

- Otro de las grandes necesidades que requieren en gran proporción las ciudades Latinoamericanas, y obviamente a Bogotá, es el de la sustitución o mejoramiento de combustibles por nuevos componentes que permitan disminuir significativamente los gramos de emisiones generados por la combustión de estas fuentes de energía.

Esto se debe como consecuencia inmediata de mencionar que este mejoramiento de tecnologías implica complejos procesos de coordinación



interinstitucional que involucra corporaciones de régimen tanto estatal como privado. Así mismo requiere la implantación de políticas y mecanismos que incentiven a la sustitución de los combustibles actuales. Es decir el precio debe ser muy parecido, acciones que incentiven la creación de este combustible deben ser coordinadas por los estamento gubernamentales y dirigidas hacia el sector privado quien se encarga de la creación y distribución de gran parte del combustible de nuestro territorio. Finalmente se debe hacer un seguimiento al proceso de reconversión y sustitución para obtener un resultado eficiente y acorde a las expectativas ambientales presentes en Bogota.

El encadenamiento de algunos de os pasos mencionados anteriormente generan una complejidad singular e importante a la hora de adoptar un mecanismo de mejoramiento y sustitución de combustibles, y se constituyen en la principal razón para que todavía no se trabaje en coordinación del sector publico y privado para cumplir y llevar a cabo la propuesta inicial.

- Finalmente uno de los problemas mas comunes presentes en muchas ciudades tercer mundistas, corresponde a la falta de mecanismos de divulgación e información dirigidos hacia el conocimiento de la calidad de aire, y las implicaciones severas que tienen las fuentes móviles en la producción de emisiones de contaminantes atmosféricos que afectan sustancialmente esta calidad de aire mencionada.

### **9.3.2 Descripción de Políticas.**

La creación de una normatividad ambiental ha podido contener y mitigar en gran forma diferentes problemas que se presentan como consecuencia de la producción de contaminantes atmosféricos por Fuentes Móviles. Como mencione anteriormente la falta de conocimiento sobre los efectos adversos que se generan tanto en el medio ambiente como en los individuos que convivimos en esta sociedad, se constituye en un problema muy importante a la hora de crear y manejar políticas de consientización ciudadana sobre la forma en que debemos colaborar y participar en la minimización de estos contaminantes.



Por lo tanto he decidido incluir en este Proyecto de Grado los diferentes efectos nocivos que generan tanto en los seres humanos, como en la naturaleza, la producción de los diferentes contaminantes emitidos por los automotores, para así ,generar una información importante en el lector de los diversos problemas que se generan para la salud publica y para el entorno ambiental al no ejercer una activa cooperación en la búsqueda de reducir sustancialmente las emisiones generadas por fuentes Móviles.

### **9.3.2.1 Efectos nocivos de los contaminantes generados por fuentes Móviles.**

Los datos fueron obtenidos de : (*PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA EN TRANSPORTE URBANO. Manual de impacto ambiental en estudios de transporte urbano. SEDESOL Secretaria de desarrollo social México.*)

- **MATERIAL PARTICULADO < 10 um (PM<sub>10</sub>)** : Este tipo de partículas son producidas principalmente por vehículos DIESEL, por el desgaste de las pastillas de frenos y de los neumáticos de los automotores.

*EFECTOS:* Si se menciona la salud publica, este tipo de partículas son las causantes de grandes enfermedades respiratorias, al momento de ingresar al cuerpo humano pueden llegar a la región alveolar, generándose un tiempo de deposito grande debido a la falta de mucus que posee esta área forjando la dificultad de excretar este tipo de material. Generalmente causan Bronquitis, enfisemas, y enfermedades cardiovasculares.

Si se analiza ahora un problema social y colectivo, el material particulado reduce sustancialmente la visibilidad causando numerosos accidentes con mucha frecuencia, además reduce los valores estéticos causando una depreciación mayor en los precios de la finca raíz.

- **OXIDOS DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)** : Los óxidos de azufre son contaminantes producidos en su gran mayoría por la combustión de los automotores, debido



a que el petróleo posee gran cantidad de azufres en forma de sulfitos y otros compuestos orgánicos.

*EFFECTOS:* Produce aumentos significativos en los seres humanos de enfermedades respiratorias, tales como la bronquitis, los enfisemas pulmonares. Pueden llegar a producir cánceres pulmonares al combinarse con óxidos de nitrógeno. Genera a nivel colectivo y social corrosión de los metales, y enfermedades de las plantas.

- **HIDROCARBUROS (HC)** : Son compuestos generados también por la combustión del petróleo, “La mitad de las emisiones generadas de hidrocarburos son emitidas por fuentes móviles”<sup>1</sup>.

*EFFECTOS:* Los efectos directos en la producción de hidrocarburos se ven reflejados en la producción tanto de oxidantes fotoquímicos como de Smog. Su incidencia directa se ve manifestada en las disminuciones del porcentaje de oxígeno presente en la atmósfera, produciendo a los seres humanos: dolores de cabeza, estornudos, laringitis y bronquitis.

- **OXIDOS DE NITRÓGENO (NO)** : Los óxidos de nitrógeno resultan también como los anteriores contaminantes, de la combustión de los derivados del petróleo a altas temperaturas, lo que junto a reaccionar con el oxígeno e hidrocarburos producen el Smog.

*EFFECTOS:* El dióxido de nitrógeno a altas concentraciones puede llegar a ser fatal, a concentraciones menores causa bronquitis y neumonías, es más tóxico que el monóxido de nitrógeno, y a nivel industrial causa cambios en los colores de fibras sintéticas.

---

<sup>1</sup> FUENTE: PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA EN TRANSPORTE URBANO.  
Manual de impacto ambiental en estudios de transporte urbano pg 10.  
SEDESOL (Secretaría de desarrollo social) México.



- **MONÓXIDOS DE CARBONO (CO)** : Es el contaminante más común y de mayor producción en el aire. Se produce por la combustión incompleta de los productos derivados del petróleo.

*EFFECTOS:* En áreas cerradas, con mala circulación puede producir asfixia, debido a la sustitución de oxígeno por monóxido en las células de la sangre. A concentraciones altas puede llegar a producir afecciones en el sistema nervioso, y también el sistema cardiovascular.

- **PLOMO** : El plomo es la sustancia tóxica de mayor importancia en los diferentes estudios que se realizan sobre la calidad del aire, y la influencia que tienen las fuentes móviles en la contaminación del medio ambiente. El plomo se emite como combustión de gasolina con plomo tetraetilico.

*EFFECTOS:* El plomo tetraetilico posee efectos tóxicos y nocivos a nivel del sistema nervioso. Las microscópicas partículas de plomo son respiradas, y transportadas a varias partes del cuerpo a través de la sangre, la cual a su vez llega al cerebro. Es allí en donde se producen los efectos más nocivos debido a que en niños disminuye el aprendizaje normal, y aumenta la pérdida de la memoria poco usual en humanos de tan poca edad. El plomo causa también problemas en el hígado, riñones, y en la formación de la sangre produciendo anemia, es un agente tóxico muy nocivo para la salud pública.

### **9.3.2.2 Políticas Generales.**

A continuación enunciare las políticas ambientales de control de emisión de fuentes móviles que tiene el DAMA (*Departamento técnico administrativo del medio ambiente*) en la búsqueda de generar una disminución significativa frente a este fenómeno que aqueja a las mayorías de urbes en el mundo, la producción de emisiones atmosféricas como causa de las fuentes móviles.

Por lo tanto redactare en forma práctica cuáles son los mecanismos puntuales y los puntos específicos que esta entidad gubernamental en coordinación con otros



estamentos de orden publico, ha creado para intentar cumplir con estándares internacionales de calidad del aire.

*Políticas generales:*

- **Mantener , mejorar y aumentar los programas de verificación y control de emisiones de fuentes móviles.** Es uno de los programas fuertes de todas las capitales del mundo, sin embargo el problema que existe es que el crecimiento vehicular es desmesurado en los automotores del centro urbano, además de la falta de mantenimiento de muchos de los vehículos presentes en las ciudades impiden la correcta aplicabilidad de esta norma. Por lo tanto surge otra política fuerte respecto a este tema, la cual es la siguiente.
- **Mantener un crecimiento estable del parque automotor.** Se constituye en otra política fundamental. El poder controlar el crecimiento de los vehículos mediante estándares rigurosos genera posibles controles de emisiones vehiculares debido a la no existencia de tendencias crecientes en el parque automotor que impidan ejercer un control y una aplicabilidad de políticas, realizadas con base a modelos en los que utilizan como variables de entrada inventario de parques automotores mas o menos estables.
- **Desarrollo del transito peatonal y de bicicletas.** Es uno de los puntos fuertes de las ultimas administraciones distritales. En los últimos años los alcaldes se han preocupado en buena forma a la consientización ciudadana del no uso del automóvil privado, para esto la ciudad ha realizado enormes esfuerzos en la construcción y habilitación de ciclorutas que permitan lograr una disminución en el numero de viajes por vehículo. Además de esto con la creación del sistema de transporte masivo (*Transmilenio*) los índices en el numero de viajes por vehículos privados, deben disminuirse generando beneficios cuantiosos para el distrito, tanto a nivel individual como colectivamente.
- **Educación ambiental.** Es Uno de los problemas mas importantes que tiene el distrito. Desafortunadamente la conciencia ciudadana no h alcanzado



niveles significativos, que permita generar una tranquilidad en las autoridades distritales sobre el problema que a todos nos compromete: La contaminación ambiental. Por lo tanto se deben seguir generando campañas educativas, que pretendan genera en los ciudadanos una conciencia y voluntad social acorde a las expectativas de mantener dentro de estándares la calidad del aire.

- **Proporcionar combustibles de alternativa.** Se constituyo en uno de los 10 objetivos fundamentales para el control de la contaminación global. Según la ultima convención en Río sobre políticas ambientales. “La erradicación del plomo en los combustibles”. Es importante lograr mejorar mediante nuevas tecnologías la calidad de los combustibles presentes y que utilizamos en la actualidad. El distrito tiene dentro de sus propuestas, la erradicación tanto del plomo como del azufre en los combustibles como medida de control ambiental.

*Políticas específicas:*

- La prohibición de entrada de vehículos a una zona delicada y sensible si se mira desde el punto de vista ambiental, esta restricción puede ser :
  - Por tipo de Vehículos (Camiones, automóviles, etc.)
  - Por hora del día.
  - Tipo de acceso ( Puede pasar sin estacionar)
  - Restricciones de velocidad.
  - Acceso solamente a residentes y comerciantes locales.
- Crear mejoras significativas en las señales de cruces, y en la sincronización de semáforos. Como consecuencia principal de esta medida, se tiene la erradicación de emisiones adicionales producidas por el arranque y aceleración de los vehículos, además de los tiempos de detención que generan incrementos sustanciales en los contaminantes.



- La limitación de velocidades, la cual ha sido aplicada en muchas ciudades del mundo con excelentes resultados. El consumo de combustible aumenta sustancialmente a velocidades de 60 km/h, pero su incremento es abrumador cuando se llegan a velocidades de 80 km/h. Esta reducción de velocidades también puede llegar a disminuir los accidentes generando un impacto positivo a nivel urbano.
  
- La reorganización del transporte público. Actualmente se empezó la aplicabilidad de esta norma generando un malestar generalizado por parte de los conductores de buses en la ciudad. Se constituye en una medida importantísima y fundamental no solo para el control de emisiones, sino para la movilidad urbana de Bogotá.
  
- Generar una normatividad más estricta para combustibles comerciales de servicio a los automotores. Dentro de esta podemos incluir un reordenamiento de precios para favorecer a aquellos de mejores estándares de calidad.

### **9.3.2.3 Impactos significativos de la aplicabilidad de las políticas en Bogotá.**

La aplicabilidad de estas políticas ambientales en Bogotá ha generado importantes controles y disminución de contaminantes, a nivel de Fuentes móviles. A continuación realizaré una descripción de cómo el DAMA está llevando a cabo estas políticas, con cuenta para poder realizarlas, y que han generado estas políticas en la ciudad más importante de Colombia.

#### **➤ PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD:**

El programa de mejoramiento de la movilidad es un esquema que se basa en 3 procesos básicos en cuanto a aplicabilidad. El primero de ellos es la medida de pico y placa la cual actualmente es aplicada tanto para el transporte público como para el transporte privado. El segundo de ellos es la alternativa creada en los últimos años que se constituye en un beneficio gigantesco para la movilidad urbana y el mejoramiento de la calidad de vida en Bogotá. La tercera es la

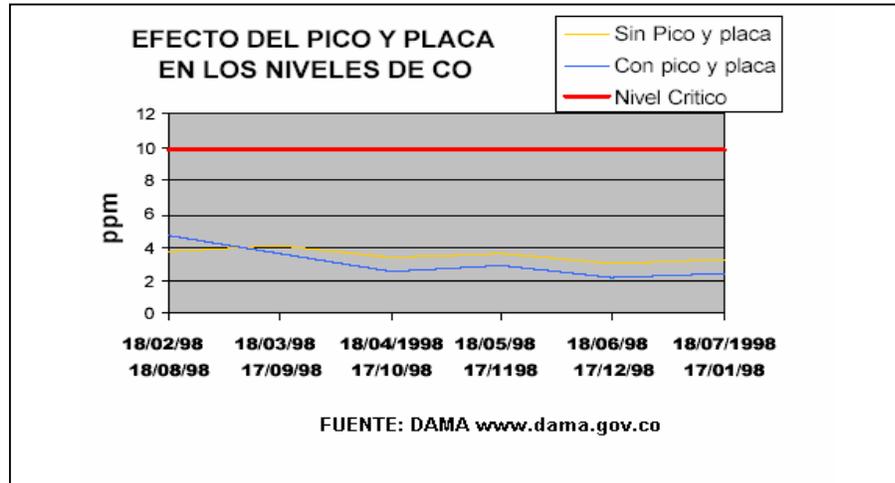


creación de ciclorutas y ciclovias como vías alternas para la movilidad en Bogota.

La medida de pico y placa a comprobado tener efectos inmediatos y significativos en cuanto a reducción de automotores presente en las vías y en cuanto a reducción de contaminantes emitidos por fuentes móviles. Según datos consultados en el DAMA el pico y placa a reducido aproximadamente en un 13% los picos que presentan las horas de máximo trafico en la ciudad, además de esto las reducciones de contaminantes se han disminuido con su aplicabilidad.

A continuación se muestra una grafica que sustenta la tesis acerca de la disminución que genera el aplicar la medida en el entorno del perímetro urbano de la capital Colombiana.

**GRAFICO 9.1 Disminución en los niveles de CO como consecuencia de la Aplicabilidad de la medida de pico y placa.**



Los resultados mostrados con anterioridad nos demuestran la efectividad de la medida aplicada en el perímetro de la ciudad, generando una reducción significativa en los niveles de MONÓXIDO DE CARBONO.

Si mencionamos ahora las alternativas de movilidad, cabe anotar que Bogota e una ciudad que aproximadamente "cuenta con unos 300 km. de este tipo de



vias”<sup>1</sup>, constituyéndose en un aporte fundamental para la variabilidad en los sistemas de movilidad presentes en nuestra ciudad.

Con esta alternativa el distrito espera reducir “4300 Toneladas de Contaminantes”<sup>1</sup>, al año. Cifras bastante significativas a la hora de mirarlas en un aspecto ambiental y de productividad local. Si nos referimos ahora a las ciclovías, un plan bastante innovador e importante para el mejoramiento de la calidad de vida. El punto central que el distrito genero al intensificar estas jornadas, fue el de mostrarle a los ciudadanos que las bicicletas pueden llegar a convertirse en medios de transporte eficientes, prácticos, saludables, buscando por lo tanto una desmotivación al uso del automóvil privado para movilizarse dentro de la ciudad.

➤ **EL DIA SIN CARRO:**

Aunque se convirtió en una medida muy controversial, sus resultados son muy importantes a la hora de buscar alternativas para el mejoramiento de la calidad del aire en Bogotá.

Los siguientes dato fueron obtenidos de un informe realizado por Plantación distrital, el cual busca exponer en forma cualitativa resultados acertados y significativos en cuanto a reducción de contaminantes. El día analizado fue el 24 de Febrero del año 2000 y se generaron los siguientes datos:

- *PM<sub>10</sub> DURANTE LA JORNADA SE REDUJO EN UN 23%*
- *CO DURANTE LA JORNADA SE DISMINUYO EN UN 28%*
- *NO<sub>2</sub> DURANTE LA JORNADA SE REDUJO EN UN 3%<sup>1</sup>*

Si miramos ahora los datos que se obtuvieron y se expusieron también en este informe acerca de las 4 troncales monitoreadas en el día sin carro, los resultados fueron los siguientes:

---

<sup>1</sup> FUENTE: Planeación distrital. Programa “El control de la contaminación atmosférica en Bogotá. Documento PDF. Pag 6



- *CO SE DISMINUY EN UN 47%*
- *SO<sub>2</sub> SE REDUJO EN UN 86%*
- *PM<sub>10</sub> SE DISMINUYO EN UN 3%*
- *NIVLES DE PRESION SONORA DISMINUYERON EN 3%<sup>1</sup>*

Mi objetivo particular y principal a la hora de exponer estos resultados obtenidos de los monitoreos sobre la variabilidad de la calidad del aire en comparación a días normales y el día sin carro, es el de demostrar cuantitativamente que tan eficaz e indispensable pueden llegar a ser la aplicabilidad de la política distrital de la consientización del no uso del carro particular para movilizarse dentro de la ciudad, utilizando las alternativas mencionadas con anterioridad, si queremos tener y generar niveles de emisión acordes con los limites de permisibilidad ambiental.

#### ➤ **PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE COMBUSTIBLES**

El programa de mejoramiento de combustibles, es una iniciativa que principalmente se tiene para Bogota. Su objetivo fundamental es el de adoptar nuevas tecnologías sobre la producción de combustible que permitan generar nuevas fuentes de energía menos contaminantes y mas eficientes desde el punto de vista mecánico.

Muchas entidades de ámbito internacional se han consientizado de la necesidad de eliminar el plomo en los derivados del petróleo, razón sustentada en el alto grado de toxicidad que presenta este compuesto químico y la gran amenaza en que se constituye sino se pone fin a su emisión dentro del medio ambiente.

Sin embargo esta medida puede considerarse como aplicable a largo plazo, debido al incremento en los costos que puede llegar a producirse por la adopción y utilización de las nuevas tecnologías para producir este tipo de

---

<sup>1</sup> FUENTE: Planeación distrital. Programa "El control de la contaminación atmosférica en Bogota. Documento PDF. Pág. 6



combustibles. Sobrecostos que no estarán dispuestos a pagar los transportadores capitalinos, quienes serán los principales afectados con la imposición de la medida. Por lo tanto se espera generar campañas que permitan culturizar y forjar en este gremio una conciencia ciudadana que permita poner fin a una de las amenazas principales y mas perjudiciales de la contaminación producida por fuentes móviles.

Aplicando esta medida a largo plazo como se menciono con anterioridad, se espera reducir por parte del distrito y según los datos presentados por planeación distrital en su informe, en 3000 toneladas la producción de SO óxidos de azufre, y la eliminación total del plomo en los derivados del petróleo.

Finalmente quiero hacer mención, que la presentación anterior referente a la explicación de las políticas ambientales, sus implicaciones directas en nuestra ciudad, lo nocivo que pueden llegar a ser los contaminantes para la salud publica, y lo importante que ha sido la aplicabilidad de estas políticas ambientales demostradas con algunas cifras proporcionadas por informes distritales consultados en la web, tienen como objetivo fundamental generar en los diferentes lectores que utilicen este proyecto de grado a manera de información, una conciencia ciudadana sobre el problema que a todos los capitalinos nos compete, y la importancia que tiene el que nosotros participemos activamente tanto en el cumplimiento de las normas impuestas en la actualidad, como en la creación de nuevas estrategias que permitan llevar a Bogota a niveles de control ambiental envidiados por muchas naciones a nivel mundial.

GRACIAS.



## BIBLIOGRAFÍA

- METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE EMISIONES ATMOSFERICAS MÉXICO DF Documento PDF.
- PREINFORMES, METODOLOGÍAS EN LA DETERMINACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES MOVILES (Universidad de los Andes).
- ANEXO 8. MODELACIÓN ACTIVIDAD VEHICULAR. (Universidad de los Andes).
- DAMA. (Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente). Plan Maestro de Gestión Ambiental.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Historia Ambiental de Colombia.
- INVENTARIO EMISIONES DEL AÑO 2000 PARA EL DISTRITO FEDERAL Y EL ESTADO DE MÉXICO.
- ANEXO A. Inventario de emisiones del año 2000 para el distrito federal y el estado de México.
- GACETA OFICIAL DEL DISTRITO OFICIAL DE MÉXICO.
- IDU. (Instituto de Desarrollo Urbano).
- METODOLOGÍA COPERT III. Methodology and emissions Factors.
- SEGUNDO INFORME TRIMESTRAL MODELO DE CALIDAD DE AIRE PARA BOGOTA. Universidad de los Andes.
- ANEXO 8. Modelo de Calidad de Aire para Bogota. Universidad de los Andes.
- PLIEGOS DE CONDICIONES s – 05 – 003. Aporte Tablas sobre parámetros específicos sobre combustibles.
- MODELO DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PRODUCIDOS POR EL TRANSPORTE URBANO EN SANTIAGGO DE CHILE. Mauricio Osses y Roberto Corvalan, consultores internacionales.
- HOT EMISSIONS MODEL FOR MOBILE SORCES: Application to the metropolitan region of the city of Santiago de Chile.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Documento Políticas Ambientales.



- PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA EN TRANSPORTE URBANO. Manual de impacto ambiental en estudios de transporte urbano. SEDESOL (Secretaria de desarrollo social de México).
- PLANEACION DISTRITAL. Programa: El control de la contaminación atmosférica en Bogota.

PAGINAS WEB:

[www.dama.gov](http://www.dama.gov)  
[www.transitobogota.gov.co](http://www.transitobogota.gov.co)  
[www.cepis.ops-oms.org/E/fulltext/planreg/situa.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/E/fulltext/planreg/situa.pdf)  
[www.concamin.org.mx](http://www.concamin.org.mx)  
[www.asa.com.mx](http://www.asa.com.mx)  
[www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)  
[www.sma.df.gob.mx](http://www.sma.df.gob.mx)  
[www.consejeria.df.gob.mx/gaceta/pdf/junio03\\_26\\_51.pdf](http://www.consejeria.df.gob.mx/gaceta/pdf/junio03_26_51.pdf)  
[www.minambiente.gov.co](http://www.minambiente.gov.co)  
[www.dapd.gov.co](http://www.dapd.gov.co)  
[www.alcaldiabogota.gov.co](http://www.alcaldiabogota.gov.co)