

**DIAGNÓSTICO DE LAS EMISIONES DEL PARQUE AUTOMOTOR DEL ÁREA
METROPOLITANA DE SAN JUAN DE PASTO Y SU INCIDENCIA SOBRE
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS**

PAULO ANDRÉS PERUGACHE PATIÑO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA CON ÉNFASIS EN ECOLOGÍA
SAN JUAN DE PASTO
2004**

**DIAGNÓSTICO DE LAS EMISIONES DEL PARQUE AUTOMOTOR DEL ÁREA
METROPOLITANA DE SAN JUAN DE PASTO Y SU INCIDENCIA SOBRE
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS**

PAULO ANDRÉS PERUGACHE PATIÑO

Trabajo de Grado para optar el título de Biólogo con énfasis en Ecología

Director:

**CARLOS OMAR PATIÑO TORRES I. A.
Mg. En Biotecnología**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA CON ÉNFASIS EN ECOLOGÍA
SAN JUAN DE PASTO
2004**

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son responsabilidad exclusiva del autor”.

Artículo 1 del acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1.966, emanada del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

CARLOS OMAR PATIÑO I.A.
I.A. Mg. En Biotecnología
Asesor

BELISARIO CEPEDA
Mg. En Ciencias biológicas
Jurado

EDGAR EFRAÍN ERASO
Biólogo Zootecnista
Jurado

San Juan de Pasto, Septiembre 24 de 2004

NOTA ACLARATORIA

“Los estimativos que aquí se presentan no son un informe oficial de emisiones de la ciudad de San Juan de Pasto, ni corresponden a valores absolutos; las cifras son el producto de métodos indirectos de cálculo, que deben ser interpretadas como indicadores de las cantidades realmente emitidas. Se presentan con el fin de ilustrar el orden de magnitud en que puedan estar las descargas al ambiente y sobre estas mismas cifras establecer si es que existe relación directa con enfermedades respiratorias o si por el contrario son problemas independientes”.

**ESTE TRABAJO FUE FINANCIADO POR EL CENTRO DE DIAGNÓSTICO
AUTOMOTOR DE NARIÑO (CDAN).**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por regalarme el don de vivir,
A mis Padres por todo su apoyo y dedicación,
A l Ingeniero Carlos Omar Patiño T. Director del Proyecto,
A la Dra. Olga Ortega, Gerente del Centro de Diagnóstico Automotor de Nariño,
A la Universidad de Nariño y el cuerpo de docentes del programa de Biología con
énfasis en Ecología por haberme formado profesionalmente,
A mis compañeros y amigos.

***Dedico este trabajo con especial cariño
a mis Padres y hermanos, a mis sobrinas,
a Cristina y a la memoria de nuestro hijo
Luis Fernando y de mi hermana Diana Cristina.
Que Dios nos bendiga siempre.***

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. OBJETIVOS	24
1.1 OBJETIVO GENERAL	24
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	25
3. JUSTIFICACIÓN	26
4. ANTECEDENTES	27
5. MARCO TEÓRICO	28
5.1 EMISIONES EN COLOMBIA	28
5.1.1 Emisiones a la atmósfera	29
5.2 CONTAMINACIÓN DEL AIRE	30
5.2.1 Contaminantes del aire	32
5.2.2 Contaminantes del aire y clasificación	33
5.3 LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE AMBIENTAL	39
5.3.1 Fuentes móviles de contaminación del aire	40
5.4 DESPLAZAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES	41
5.5 EMISIONES DE AUTOMÓVILES	42
5.5.1 Origen de las emisiones automovilísticas	42
5.5.2 El proceso de combustión	42

5.5.3 Componentes de la polución atmosférica producidos por los automóviles	43
5.4.4 Transporte y dispersión de los contaminantes producidos por los automóviles	43
5.5.5 Transformaciones atmosféricas de los contaminantes automovilísticas	44
5.5.6 Efectos de la contaminación del aire por las emisiones automovilísticas	45
5.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES INDUSTRIALES EN COLOMBIA	47
6. DISEÑO METODOLÓGICO	48
6.1 MODELOS DE DESCARGA DE EMISIONES PARA VEHÍCULOS LDGP BAJO CONDICIONES ESPECÍFICAS DE MANEJO, VOLATILIDAD DE LA GASOLINA Y CLIMA	48
6.1.1 Modelo de descarga de emisiones	49
6.2 DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO FÍSICO	61
6.3 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO VEHICULAR	61
6.4 DETERMINACIÓN DE LA EMISIÓN VEHICULAR	62
6.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	62
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
7.1 RESULTADOS	66
7.1.1 Inventario de emisiones	66
7.1.2 Contaminantes y tasas de emisión	90
7.1.3 Contaminantes Vs. Incidencia de enfermedades respiratorias	90
7.1.4 Planteamiento de las posibles alternativas de control de las Emisiones	91
7.2 DISCUSIÓN	94

8. CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS	101

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Estimados de las emisiones de las emisiones de CO, NO _x , VOC's y factor de consumo de combustible del parque auto-motor de San Juan de Pasto para autos modelos ?1970	67
Cuadro 2. Estimados de las emisiones de las emisiones de CO, NO _x , VOC's y factor de consumo de combustible del parque auto-motor de San Juan de Pasto para autos modelos 1970<Año<1979	68
Cuadro 3. Estimados de las emisiones de las emisiones de CO, NO _x , VOC's y factor de consumo de combustible del parque auto-motor de San Juan de Pasto para autos modelos 1979?Año<1986	69
Cuadro 4. Estimados de las emisiones de las emisiones de CO, NO _x , VOC's y factor de consumo de combustible del parque auto-motor de San Juan de Pasto para autos modelos ?198657	70
Cuadro 5. Estimados de las emisiones totales agrupadas por modelo vehicular del parque automotor de San Juan de Pasto	72
Cuadro 6. Estimados de las emisiones totales agrupadas por categoría vehicular del parque automotor de San Juan de Pasto	72
Cuadro 7. Estimados de las emisiones totales del parque automotor de San Juan de Pasto	73

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Nivel de incidencia de las principales sustancias emitidas a la atmósfera	30
Tabla 2. Normas nacionales de calidad del aire de varios países de América y guías de la OMS	36
Tabla 3. Factores de emisión CORINAIR	51
Tabla 4. Tamaño muestral de las encuestas según Categoría Vehicular	60
Tabla 5. Distribución de la flota vehicular en San Juan de Pasto	61
Tabla 6. Patrones de conducción promedios en San Juan de Pasto	64
Tabla 7. Factores de misión, factores multiplicadores y factores de emisión corregidos para el parque automotor de San Juan de Pasto	65

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Factores de consumo de combustible para autos con motores <1400cc (1.41L)	52
Figura 2. Factores de consumo de combustible para autos con motores 1400-2000cc (1.41-2.01L)	53
Figura 3. Factores de consumo de combustible para autos con motores >2000cc (2.01L)	54
Figura 4. Factor multiplicador para emisiones de NO _x , en función de la temperatura media y longitud de viaje	56
Figura 5. Factor multiplicador para emisiones de CO, en función de la temperatura media y longitud de viaje	56
Figura 6. Factor multiplicador para emisiones de VOC, en función de la temperatura media y longitud de viaje	57
Figura 7. Factor multiplicador para consumo de combustible, en función de la temperatura media y longitud de viaje	58
Figura 8. Emisión total diaria de CO, NO _x , VOC y factor de consumo de combustible distribuida según modelo vehicular	74
Figura 9. Emisión total anual de CO, NO _x , VOC y factor de consumo de combustible distribuida según modelo vehicular	75
Figura 10. Emisiones totales (CO+NO _x +VOC) diaria y anual y factor de consumo de combustible distribuidas según el modelo del vehículo	76
Figura 11. Emisiones total diaria y anual de CO, NO _x , VOC y factor de consumo de combustible distribuidas según categoría vehicular	77
Figura 12. Emisiones totales agrupadas (CO+NO _x +VOC) diarias y anuales y factor de consumo de combustible distribuidas según la categoría vehicular	78
Figura 13. Emisiones totales diarias y anuales de CO, NO _x , VOC y factor de consumo de combustible distribuidas sobre la totalidad del parque automotor de San Juan de Pasto	79
Figura 14. Distribución porcentual del aporte de emisiones (CO+NO _x +VOC) del parque automotor de San Juan de Pasto según modelo del vehículo	80
Figura 15. Distribución porcentual del aporte de emisiones (CO+NO _x +VOC) del parque automotor de San Juan de Pasto según categoría vehicular	80
Figura 16. Distribución porcentual de emisiones totales de CO, NO _x , VOC, aportadas por el parque automotor de San Juan de Pasto	81
Figura 17. Tendencia de los valores en cuanto al número total de vehículos según Modelo y Categoría Vehicular	82

Figura 18. Tendencia de los valores en cuanto al aporte de emisiones (CO+NOx+VOC), según Modelos y Categorías Vehiculares	83
Figura 19. Comportamiento entre las variables Consumo de Combustible y Emisiones Año según Modelos y Categorías Vehiculares	84
Figura 20. Comportamiento entre las variables Consumo de Combustible y Total de vehículos según Modelo Vehicular	85
Figura 21. Comportamiento entre las variables Consumo de Combustible y Total de vehículos según Categoría Vehicular	86
Figura 22. Comportamiento entre las variables: Número de vehículos según Modelos Vehiculares y Emisiones Año	88
Figura 23. Comportamiento entre las variables: Número de vehículos según Categoría Vehicular y Emisiones Año	89

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Diseño de la encuesta: estimación de parámetros para el cálculo de misión de contaminantes producidos por el parque automotor de la ciudad de San Juan de Pasto	102
Anexo B. Valores medios de temperatura en San Juan de Pasto	103
Anexo C. Totales de vehículos del parque automotor de San Juan de Pasto distribuidos por clase y modelo	104
Anexo D. Escenario físico de estudio. Red vial de la ciudad de Pasto	105

GLOSARIO

COMBUSTIÓN: es la rápida oxidación de una sustancia producto de la combinación del oxígeno con un material combustible en presencia de calor.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

CONTAMINANTE: sustancia que produce un efecto perjudicial en el ambiente.

CONTAMINANTE PRIMARIO: aquel que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química.

CONTAMINANTE SECUNDARIO: aquel que experimenta un cambio químico cuando llega a la atmósfera.

EFEECTO: se define como un cambio perjudicial mensurable u observable debido a un contaminante del aire.

ESTRATOSFERA: capa protectora de aire que ayuda a absorber y dispersar la energía solar.

FACTOR DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE: es el gasto de combustible por total de emisiones contaminantes.

FACTOR DE EMISIÓN: para vehículos motorizados es la cantidad de contaminante que genera un vehículo por kilómetro de recorrido.

INVENTARIOS DE EMISIONES: son listados detallados de contaminantes emitidos por fuentes específicas en una determinada área.

MOVIMIENTO HORIZONTAL: es lo que comúnmente se llama viento.

TROPOSFERA: capa delgada de aire relativamente denso más cercana a la superficie de la tierra.

VOLÁTIL: significa que los productos químicos pueden evaporarse o pasar de un estado líquido a uno gaseoso.

RESUMEN

Se determinaron las emisiones en caliente de CO, NO_x, VOC's y factor de consumo de combustible para el tráfico en la ciudad de San Juan de Pasto y su incidencia sobre enfermedades respiratorias. El área total de estudio fue toda la red de tráfico del área metropolitana de la ciudad. Para la estimación de las emisiones, se desarrolló el modelo de descarga de emisiones para vehículos LDGP bajo condiciones específicas de manejo, volatilidad de la gasolina y clima de las técnicas de inventarios rápidos desarrollados por la OMS.

Los datos utilizados para el cálculo fueron: número y tipo de vehículos de la ciudad de Pasto durante el año 2002, patrones de conducción, factores multiplicadores y los factores de emisión en caliente (se utilizaron los factores de emisión del estudio CORINAIR).

Como resultado del modelo, fue posible el cálculo de los contaminantes analizados y del factor de consumo de combustible. Gráficas de intensidad de emisión mostraron que, en general, el monóxido de carbono es el contaminante que más produce la flota vehicular de San Juan de Pasto.

Finalmente, fue posible determinar que no existen datos concluyentes que permitan establecer si existe o no relación directa entre contaminación atmosférica producida por el parque automotor de la ciudad de San Juan de Pasto e incidencia sobre enfermedades respiratorias, pero que es muy probable que las altas tasas de contaminantes presentes en el aire estén contribuyendo en alguna medida en el deterioro de la salud de sus habitantes, más específicamente en cuanto se refiere a las enfermedades respiratorias.

ABSTRACT

The hot emissions of CO, NO_x, VOC's and fuel consumption factor were estimated for the traffic in San Juan de Pasto city and their incidence in respiratory disease. The total study area was all traffic net of the metropolitan area of the city. For the estimation of the emissions we developed the model for the exhaust and evaporative emissions from LDGP vehicles under specific driving, climatic and gasoline volatility conditions of the rapid inventory techniques of the OMS.

The data's used for the calculation were: number and type of vehicles of the Pasto city in the year 2002, patterns driving, multiplier factors and emission factor for heat emission (we used a emission factor of CORINAIR study).

As a result of the model, it was possible to determine the emissions of the pollutants analyzed and the fuel consumption factor. A picture of the emission intensity shows that the carbon monoxide is the pollutant more representative.

Finally, it was possible to determine there wasn't any relation between atmospheric contamination due to the vehicles of the Pasto city and the incidence of respiratory disease.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, un gran número de investigadores han divulgado que la emisión de contaminantes de origen vehicular, constituye una de las causas más relevantes en el deterioro de la calidad del aire. De acuerdo con Toll: "el parque automotor en la ciudad de Barcelona (España) aporta aproximadamente el 83,5% del total de compuestos indeseables liberados a la atmósfera, aspecto que evidencia su importancia con relación a los otros tipos de fuentes contaminantes"¹. Para el caso particular de la ciudad de San Juan de Pasto, actualmente, no existe un inventario de emisiones de su parque automotor, por lo tanto el presente estudio puede constituir un valioso punto de partida para determinar la magnitud de la emisión atribuida al tránsito vehicular.

Según informe de la Secretaría de Tránsito y Transporte Municipal de Pasto, citado por Álvarez León: "la ciudad viene registrando un crecimiento anual a partir del año 2000 hasta hoy del parque automotor cercano al 10% en comparación con el 5% promedio mundial"². Esta situación, implica la necesidad de establecer escenarios espacio – temporales críticos que fundamenten y / o justifiquen acciones de control por parte de la autoridad ambiental competente. Este trabajo presenta un primer diagnóstico de las emisiones de CO, NOx, VOC's (Compuestos Orgánicos Volátiles), provenientes del parque automotor de San Juan de Pasto y las posibles medidas de acción que se podrían implementar para reducir estas emisiones así como su incidencia sobre enfermedades respiratorias en la población.

La contaminación del aire tiene un efecto directo sobre la salud humana. La exposición a contaminantes del aire puede causar efectos agudos (corto plazo) y crónicos (largo plazo) en la salud. Usualmente, los efectos agudos son inmediatos y reversibles cuando cesa la exposición al contaminante.

Los efectos agudos más comunes son la irritación de los ojos, dolor de cabeza y náuseas. A veces los efectos crónicos tardan en manifestarse, duran indefinidamente y tienden a ser irreversibles. Los efectos crónicos en la salud incluyen la disminución en la capacidad pulmonar y cáncer a los pulmones debido a un prolongado periodo de exposición a contaminantes tóxicos del aire, tales como el asbesto y berilio.

¹ TOLL, I. Modelización de la Contaminación Atmosférica Fotoquímica en el Área de Barcelona. Cataluña, 1999, 285 p. Tesis Doctoral (Ph.D en Ciencias del ambiente). Universidad Politécnica de Cataluña.

² ALVAREZ, León. El parque automotor en Pasto. Pasto : Secretaría de Tránsito y Transporte Municipal, 2001. 258 p. 38.

Aunque los contaminantes pueden afectar a la piel, ojos y otros sistemas del cuerpo, el principal perjudicado es el sistema respiratorio.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Presentar un primer diagnóstico de las emisiones CO, NOx, VOC's, provenientes del parque automotor del área metropolitana de San Juan de Pasto y su incidencia sobre enfermedades respiratorias en la población para el año 2002.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ? Elaborar un inventario de emisiones CO, NOx, VOC's, que puedan ilustrar el orden de magnitud en que puedan estar las descargas al ambiente.
- ? Determinar cual es el contaminante que mayor tasa de emisión genera el parque automotor de San Juan de Pasto.
- ? Establecer si es que existe un tipo de relación directa entre enfermedades respiratorias y contaminación atmosférica producida por los vehículos o si por el contrario son problemas independientes.
- ? Plantear las posibles medidas de acción que se podrían implementar para reducir estas emisiones.

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema de la contaminación atmosférica lleva consigo otros tipos de problema efectos de la misma; entre estos, uno de los que reviste mayor importancia, es su incidencia sobre la salud pública y dentro de esta sobre enfermedades respiratorias.

Actualmente, en la ciudad de San Juan de Pasto no se registran estudios que correlacionen el problema causa – efecto entre contaminación atmosférica y perfil epidemiológico para sus habitantes, ni existe un inventario de emisiones de su parque automotor. De otra parte, se estima que las concentraciones de HC, CO y VOC´s descargadas al ambiente exceden los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), esto debido a que el control de estas emisiones solo se estableció en el año 1996 mediante Resolución número 005 expedida por la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO), la cual aprobó y autorizó al Centro de Diagnóstico automotor de Nariño (CDAN) para que realice la verificación de las emisiones atmosféricas de fuentes móviles, control éste que se comenzó a realizar solo hasta finales del siguiente año (1997).

Es posible que la calidad del aire en exteriores del área metropolitana de San Juan de Pasto se haya deteriorado en los últimos años y que una de las principales causas de este deterioro haya sido el incremento del parque automotor, su calidad y / o su antigüedad, la relación oferta – demanda del transporte público, el tipo de revisión técnica y el tipo de combustible utilizado.

3. JUSTIFICACIÓN

El problema de la contaminación atmosférica causa trastornos en los seres vivos, entre ellos el hombre, que son muy difíciles de prevenir y controlar, debido a que la respiración es un acto obligatorio e involuntario para la supervivencia de los organismos. Este problema reviste mayor gravedad comparado con otros tipos de contaminación como la del agua, pues en último término la ingestión de aguas contaminadas en muchas ocasiones es voluntaria, por lo menos para los seres humanos, y existen medios como la ebullición y la filtración, que permiten su control aún en condiciones rudimentarias cuando la contaminación es de origen biológico

Los agentes contaminantes del aire son potencialmente responsables de una mayor cantidad de enfermedades que los compuestos contenidos en el agua y los alimentos juntos (envejecimiento, asma, bronquitis, cáncer de las vías respiratorias).

Actualmente, en la ciudad de San Juan de Pasto no existen estudios que correlacionen el problema causa – efecto entre contaminación atmosférica y perfil epidemiológico de sus habitantes. Dada la alta tasa de incidencia de patologías respiratorias en la población infantil de esta ciudad, se estimó conveniente realizar un primer diagnóstico de emisiones CO, HC, VOC´s, descargadas al ambiente que permita cuantificar, al menos como un estimativo si es que existe alguna relación entre estas variables o si por el contrario son problemas independientes. De otra parte para establecer las posibles medidas de acción que se podrían implementar para reducir estas emisiones y sus efectos sobre la calidad del aire.

4. ANTECEDENTES

Al efectuar la revisión bibliográfica sobre el tema de este estudio se estableció que anterior a éste no se habían adelantado investigaciones de ninguna clase en el área de influencia.

Sin embargo, la evaluación de contaminantes convencionales como Dióxido de Azufre (SO₂) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂) a nivel nacional, ha mostrado históricamente en las ciudades donde se ha hecho su seguimiento (Bogotá, Cali, Medellín y Bucaramanga), que no exceden las normas de calidad del aire anuales. Lo anterior queda confirmado, cuando se efectuó en la ciudad de Bogotá, entre 1990 y 1992 el estudio sobre “EL PLAN DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ” y más recientemente en el presente año la jornada “SIN MI CARRO EN BOGOTÁ”³.

³ DAMA. DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE. Informe consolidado del día sin carro en Bogotá. Bogotá : Alcaldía Mayor de Bogotá, 2003. p. 39

5. MARCO TEÓRICO

5.1 EMISIONES EN COLOMBIA

Las emisiones son todos aquellos materiales, sustancias o formas de energía que se descargan al ambiente como resultado de una actividad, bien sea de origen natural o antrópico. En términos generales, toda actividad produce emisiones; algunos ejemplos son las erupciones volcánicas, los incendios forestales, los procesos industriales, la descomposición de la materia orgánica, el transporte y las actividades domésticas.

Cada proceso genera un tipo particular de emisión, y su grado de incidencia sobre el medio ambiente depende de las características físicas, químicas o biológicas de la descarga: algunas afectarán más al agua; otros, a la atmósfera y a la biosfera.

Los materiales descargados pueden ser de tipo sólido, líquido o gaseoso y ser depositados en aire, en los suelos o en los cuerpos de agua. En el ambiente estas sustancias se degradan por acción biológica, se transforman en otras sustancias por reacciones químicas en la atmósfera o son transportadas a otros sitios por acción del viento, por el agua a través del ciclo hidrológico o por los seres vivos a lo largo de las cadenas alimenticias.

En los ecosistemas naturales, los organismos viven en equilibrio con el ambiente y sus descargas son asimiladas por el medio a través de los ciclos naturales de materia y energía. En el proceso evolutivo el ser humano desarrolló la capacidad de tomar grandes cantidades de recursos de la naturaleza, transportarlos a largas distancias y transformarlos en otros productos. Esta habilidad permitió el desarrollo de la humanidad bajo condiciones adversas; sin embargo, también ha generado desequilibrios en el medio ambiente pues, si bien la naturaleza tiene procesos de autopurificación, muchas de las descargas de origen antrópico se producen a un ritmo tan acelerado que no alcanzan a ser procesadas por los ciclos naturales.

La mayor parte de las actividades realizadas por el hombre generan emisiones: en promedio, una persona en sus labores cotidianas produce en Colombia 0,5kg de residuos sólidos por día, que deben ser recolectados y dispuestos adecuadamente para que no se conviertan en focos de contaminación. Si esta misma persona recorre diariamente 50 km en un vehículo de 10 años de uso, que opera con gasolina, le aportará a la atmósfera unos 100 g de óxidos de nitrógeno (NOx), 10 g de metano (CH₄), 300 g de compuestos volátiles (VOC's), 2 kg de monóxido de carbono (CO) y 20 kg de dióxido de carbono (CO₂).

Chaparro afirma que:

Algo similar ocurre con la industria, la agricultura, el comercio, la producción pecuaria, la extracción de minerales y demás actividades productivas del hombre. En cada actividad una serie de insumos se transforman en bienes o servicios que, luego de cumplir con el fin para el que fueron hechos, se disponen en el ambiente o se reutilizan en otros procesos productivos. Normalmente los procesos se realizan por etapas y tienen algún grado de ineficiencia; esto trae como consecuencia que, a lo largo de las diferentes etapas del proceso productivo, también se emitan descargas al ambiente.⁴¹

5.1.1 Emisiones a la atmósfera. Las emisiones a la atmósfera pueden ser de varios tipos: gases, partículas, ruido, olores o corrientes a lata temperatura. Los gases y partículas se pueden consolidar según la actividad debido a que se valoran en unidades de masa; no ocurre lo mismo con los otros tres parámetros, ya que el total del sector no se puede aproximar como la suma de las fuentes puntuales.

Los gases se producen principalmente por combustión de materiales como el carbón, los derivados del petróleo, el gas natural, la leña y los residuos vegetales; por la volatilización de sustancias de bajo punto de ebullición, como las gasolinas y los solventes industriales; por la degradación de material orgánico y por reacciones químicas en procesos de transformación en la industria.

Las partículas se emiten fundamentalmente durante los procesos de combustión y de transformación química y como resultado de la trituración y molienda de materiales sólidos. El ruido y los olores tienen múltiples orígenes, en tanto que las descargas a alta temperatura están ligadas por lo general a procesos de combustión.

Chaparro, afirma que:

Las emisiones a la atmósfera pueden considerarse en dos niveles de importancia, según el efecto que generen sobre el medio ambiente: un nivel local o regional y otro global o mundial. En el local, están las sustancias que afectan la salud de las personas, como el monóxido de carbono y el material particulado, y a nivel mundial, las sustancias que producen alteraciones del ambiente global, tales como el CO₂, que incrementa el efecto invernadero y el calentamiento global, y los

⁴ CHAPARRO, Luis. Emisiones al ambiente en Colombia : El Medio Ambiente en Colombia En: Revista el universo, el sistema solar y el planeta Tierra. Colombia. No. 7 (1999); p. 44.

clorofluorocarbonados, que coadyuvan al deterioro de la capa de ozono.⁵
(Ver tabla 1).

Tabla 1. Nivel de incidencia de las principales sustancias emitidas a la atmósfera.

Efecto	Nivel	Principales sustancias que lo generan					
Lluvia ácida	Regional – global	NO	SO _x				
Deterioro de la capa de ozono	Global	CFC	HCFC				
Calentamiento global	Global	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	CF ₈	
Alteraciones de la salud	Local	Partículas	CO	HC	HC	NO _x	Pb

Fuente: IDEAM

5.2 CONTAMINACIÓN DEL AIRE

La contaminación del aire ha sido un problema de salud pública desde el descubrimiento del fuego. En la antigüedad, las personas encendían fogatas en sus cuevas y cabañas y frecuentemente contaminaban el aire con humo nocivo. El filósofo romano Séneca escribió sobre el “aire cargado de Roma” en el año 61 A.C. y en el siglo XI se prohibió la quema de carbón en Londres.

El origen de nuestros problemas modernos de contaminación del aire puede remontarse a la Inglaterra del siglo XVIII y al nacimiento de la revolución industrial. La industrialización comenzó a reemplazar las actividades agrícolas y las poblaciones se desplazaron del campo a la ciudad. Las fábricas para producir requerían energía mediante la quema de combustibles fósiles, tales como el carbón y el petróleo.

El principal problema de contaminación del aire a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX fue el humo y ceniza producidos por la quema de combustibles fósiles en las plantas estacionarias de energía. La situación empeoró con el creciente uso del automóvil. Con el tiempo, se presentaron episodios importantes de salud pública a causa de la contaminación del aire en ciudades como Londres, Inglaterra y Los Ángeles, en los Estados Unidos.

Desde 1957, a raíz de una conferencia en Milán sobre los aspectos de salud pública relacionados con la contaminación del aire en Europa, la Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha preocupado por este tema, especialmente por sus efectos sobre la salud.

En 1965, el Consejo Directivo de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomendó a su Director el establecimiento de programas de investigación

⁵ Ibid., p. 45.

de la contaminación del agua y del aire con el objeto de colaborar con los Gobiernos Miembros en el desarrollo de políticas adecuadas de control.

Cuando la OPS creó en 1967 su programa regional de estaciones de muestreo de la contaminación del aire, ningún país conocía la magnitud real de sus problemas de contaminación atmosférica. Con esta iniciativa, a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) que iniciaba sus actividades, la OPS estableció la Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire (REDPENAIRES).

Durante la década de los noventa, la OMS organizó el Sistema de Información sobre la Gestión de la Calidad del Aire (AMIS por sus siglas en inglés) que tiene presencia en el nivel mundial. En 1997, el Sistema Mundial de Monitoreo del Medio Ambiente (GEMS por sus siglas en inglés) se incorporó al AMIS. Actualmente, el AMIS brinda la información global requerida para el manejo racional de la calidad del aire que incluye el monitoreo de la concentración de contaminantes del aire, desarrollo de instrumentos para elaborar inventarios de emisiones y modelos de calidad del aire, estimación de los efectos sobre la salud pública a través de estudios epidemiológicos y la propuesta de planes de acción detallados para mejorar la calidad del aire. La participación en el AMIS vincula automáticamente a los países con una red de apoyo que cuenta con recursos y experiencia.

En años recientes, en respuesta a las recomendaciones de la agenda 21 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en 1992 y los compromisos asumidos en la Cumbre de las Américas de 1994, la OPS junto con los esfuerzos de otros organismos multilaterales y bilaterales, ha promovido, coordinado y apoyado varias actividades relacionadas con la mejora de la calidad del aire, como por ejemplo, la eliminación del plomo en la gasolina.

Como dice Korc⁶: a pesar de los grandes esfuerzos llevados a cabo para controlar la contaminación del aire, ésta sigue siendo un importante motivo de preocupación ambiental en el mundo.

Cuervo, afirma que: "La contaminación del aire, entendida como la variación en la composición química y física de la atmósfera, es el producto de las relaciones entre la fuente de emisión de los contaminantes, el medio de transporte y los receptores de la contaminación"⁷.

⁶ KORC, Marcelo. Curso de Orientación para el Control de la Contaminación del Aire. Washington : Organización Panamericana de la Salud (OPS) – Instituto del Banco Mundial, 1999. p. 66

⁷ CUERVO, Fuentes Hernán. Metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental. Asociación de Ingenieros Sanitarios y Ambientales de Antioquia. 2 ed. Medellín : Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería, 1997. 187 p. 26.

Strobbe presenta la siguiente definición: “Contaminación atmosférica es cualquiera desviación respecto de las concentraciones promedio de los componentes químicos, físicos y / o biológicos del aire”⁸.

El Departamento técnico administrativo del medio ambiente anota lo siguiente respecto a definiciones de Contaminación atmosférica:

- ✍ Contaminación Natural del aire. Aquella originada en una fuente natural, sin mediación de la actividad humana.
- ✍ Contaminación Artificial del aire. Aquella originada o producida en una fuente natural o artificial, con mediación de la actividad humana.
- ✍ Contaminación atmosférica. Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire⁹.

5.2.1 Contaminantes del aire. La atmósfera está constituida por varias capas de aire. Las de mayor importancia para el estudio del control de la contaminación del aire se llaman troposfera y estratosfera. La troposfera es la capa delgada de aire relativamente denso más cercana a la superficie de la tierra.

La troposfera contiene el aire que todos los seres vivos necesitan para respirar. La estratosfera es la capa protectora de aire que ayuda a absorber y dispersar la energía solar.

Se desconoce la composición del aire no contaminado. Los seres humanos han vivido en el planeta durante miles de años y sus numerosas actividades han influido en la composición del aire antes de que fuese posible medir sus elementos constitutivos.

El aire es una mezcla compleja de muchas sustancias. Los principales elementos constitutivos del aire son el nitrógeno, oxígeno y vapor de agua.

Aproximadamente 78 por ciento del aire es nitrógeno y 21 por ciento oxígeno. El uno por ciento restante incluye pequeñas cantidades de sustancias, como el dióxido de carbono, metano, hidrógeno, argón y helio.

En teoría, el aire siempre ha tenido cierto grado de contaminación. Los fenómenos naturales tales como la erupción de volcanes, tormentas de viento,

⁸ STROBBE, Maurice. Evaluación y Control de la Contaminación. México : Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), 1985. p. 47.

⁹ DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, Op.cit., p. 47.

descomposición de plantas y animales e incluso los aerosoles emitidos por los océanos contaminan el aire.

Sin embargo KORC, asegura que “cuando se habla de la contaminación del aire, los contaminantes son aquellos generados por la actividad del hombre (antropogénicos). Se puede considerar como contaminante a la sustancia que produce un efecto perjudicial en el ambiente. Estos efectos pueden alterar tanto la salud como el bienestar de las personas”¹⁰.

A propósito de contaminante el Departamento técnico administrativo del medio ambiente nos presenta las siguientes definiciones:

- ✍ Toda sustancia o partícula extraña que afecte o que altere la composición normal del aire.
- ✍ Desde un punto de vista antropogénico se considera como toda sustancia o partícula que produzca un cambio perjudicial mensurable u observable en la contaminación del aire.
- ✍ Son fenómenos físicos, o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultados de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas¹¹.

5.2.2 Contaminantes del aire y clasificación. Hay cientos de contaminantes en el aire que se presentan en forma de partículas y gases. El material particulado está compuesto por pequeñas partículas líquidas o sólidas de polvo, humo, niebla y ceniza volante. Los gases incluyen sustancias como el monóxido de carbono, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles. También se puede clasificar a los contaminantes como primarios o secundarios. Un contaminante primario es aquel que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química, como por ejemplo, la ceniza de la quema de residuos sólidos. Un contaminante secundario es aquel que experimenta un cambio químico cuando llega a la atmósfera. Un ejemplo es el ozono que surge de los vapores orgánicos y óxidos de nitrógeno que emite una estación de gasolina o el escape de los automóviles.

Los vapores orgánicos reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar y producen el ozono, componente primario del *smog*.

¹⁰ KORC, Op.cit., p. 24-25.

¹¹ DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, Op.cit., p. 47.

Los contaminantes del aire también se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio. Los contaminantes criterio se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objetos de estudios de evaluación publicados en documentos de criterios de calidad del aire. En el nivel internacional los contaminantes criterio son:

- ? Monóxido de Carbono (CO)
- ? Óxidos de azufre (SO_x)
- ? Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- ? Ozono (O₃)
- ? Plomo (Pb)
- ? Material Particulado (PM)

Las enmiendas de la Ley del Aire Limpio de 1990 de los Estados Unidos establecieron una nueva categoría de contaminantes llamados contaminantes peligrosos del aire (CPA). La Ley enumeró 189 compuestos como contaminantes peligrosos del aire.

✍ **Los Contaminantes Criterio.** En los últimos diez años, varios países al definir a las partículas totales en suspensión han especificado a las partículas con 10 micrómetros o menos de diámetro y a las partículas con 2,5 micrómetros o menos de diámetro aerodinámico. Estas partículas son comúnmente referidas como PM₁₀ y PM_{2,5}, respectivamente. La razón fundamental de esta especificación se debe a que las partículas más pequeñas son más peligrosas para la salud de los seres humanos porque son capaces de alcanzar la zona interior de los pulmones.

Inicialmente, en la lista de contaminantes criterio se incluía a los hidrocarburos. Los hidrocarburos, también denominados Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC's), son precursores en la formación de ozono. Aunque generalmente hay reglamentos que controlan los VOC's, no hay control específico para los VOC's en el aire. El control adecuado de los VOC's se refleja en la reducción de la concentración de ozono en el aire.

Cork, afirma que:

Para cada contaminante criterio se han establecido guías y normas. Las guías son recomendadas para los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos a fin de reducir los riesgos o proteger de los efectos nocivos. Las normas establecen las concentraciones máximas permisibles de los contaminantes atmosféricos durante un periodo definido. Son los valores límite diseñados con un margen de protección ante los riesgos. La finalidad de las normas es proteger la salud humana (normas primarias) y proteger el bienestar del ser humano y los ecosistemas (normas secundarias). La OMS ha publicado guías sobre la calidad del aire y varios países de América Latina han establecido o propuesto sus propias normas. En la tabla 2 se muestran las normas nacionales de calidad del aire para ozono, dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), partículas totales en suspensión (PTS), PM₁₀ y plomo que se han fijado o propuesto en varios países de América y las guías de la OMS.¹²

A continuación se detalla cada contaminante criterio:

¹² KORC, Op.cit., p. 25-27.

Tabla 2. Normas nacionales de calidad del aire de varios países de América y guías de la OMS (en mg / m³)

	Periodo de muestreo	Argentina	Bolivia	Brasil	Colombia	Chile	Estados Unidos	México	Perú
Ozono	1 hora	195	235	160 ³			235	216 ⁴	235 ³
	8 horas				170	160 ³	160 ⁵		120
SO₂	24 horas		365	365	400	365	365	341 ³	150 ³
	Mensual	70 ⁷							
	Anual ⁸		80	80	100	80	80	79	80
NO₂	1 hora	846 ⁹	400	320 ³		470		395 ³	200
	24 horas		150						150 ³
	Anual ⁸			100	100	100	100		50
CO	1 hora	57.000	30.000	40.000 ³	50.000	40.000 ³	40.000		30.000 ³
	8 horas	11.000	10.000	10.000	15.000	10.000	10.000	13.000 ³	10.000
PTS	24 horas		260	240 ³	400	260		260 ³	350 ³
	Mensual	150							
	Anual ¹¹		75	80	77	75		75	150
PM₁₀	24 horas			150		150	150 ¹³	150	
	Anual ⁸			50			50 ¹⁴	50	
Plomo	24 horas								
	Mensual								
	3 meses		1.5				1.5	1.5	1.5
	Anual								0.5

1. Normas propuestas
2. Guías globales propuestas
3. No debe ser excedida más de una vez al año
4. No debe ser excedida más de una vez cada tres años
5. El cuarto valor más alto no debe ser excedido más de una vez cada tres años
6. El valor bajo se puede exceder en 50% de las mediciones y el alto en el 0,5%
7. Promedio aritmético mensual
8. Promedio aritmético anual

9. La norma de Argentina corresponde a NO_x
10. El valor bajo se puede exceder en 50% de las mediciones y el alto en 5%
11. No se ha establecido ningún valor de referencia porque no existe un umbral evidente en cuanto a salud
12. Promedio geométrico anual
13. Estados Unidos también tiene una norma g / m³
14. Estados Unidos también tiene una norma g / m³

Fuente: OMS

✍ **Monóxido de carbono (CO).** El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que en concentraciones altas puede ser letal. En la naturaleza se forma mediante la oxidación del metano, que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. La principal fuente antropogénica de monóxido de carbono es la quema incompleta de combustibles como la gasolina.

Para que se complete el proceso de combustión es necesario que haya cantidad adecuada de oxígeno. Cuando éste es insuficiente, se forma el monóxido de carbono y una manera de reducirlo es exigir que los automóviles sean afinados debidamente para asegurar la mezcla del combustible con el oxígeno. Por esta razón, los reglamentos de inspección de automóviles han sido útiles para controlar el monóxido de carbono.

El monóxido de carbono es especialmente problemático en zonas urbanas con gran número de automóviles. El volumen del tránsito y el clima local influyen sobre su concentración en el aire. Los efectos sobre la salud dependen de la concentración y duración de la exposición. El monóxido de carbono en los seres humanos afecta el suministro de oxígeno en el torrente sanguíneo. Normalmente, los glóbulos rojos transportan el oxígeno por todo el cuerpo. Cuando hay monóxido de carbono, éste atrae más a los glóbulos rojos que al oxígeno, lo que da lugar a la escasez de oxígeno en la sangre.

El efecto a corto plazo es similar a la sensación de fatiga que se experimenta en altura o cuando se padece de anemia.

La exposición al monóxido de carbono puede exacerbar las enfermedades del corazón y del pulmón. El peligro es más evidente en nonatos, neonatos, ancianos y en quienes sufren de enfermedades crónicas.

Como dice Graedel¹³: Cerca de las dos terceras partes del total de las emisiones del monóxido de carbono son originadas por el transporte.

Este contaminante está asociado principalmente con los vehículos y su reducción está en relación directa con la disminución de la circulación e los mismos. El monóxido de carbono se produce en mayores cantidades en aquellos motores donde la combustión es incompleta, esta es característica en el parque automotor obsoleto o cuya sincronización es deficiente.

¹³ GRAEDEL, E. Ambient Levels of Anthropogenic Emissions and Their Atmospheric Transformation Products : Emittants with Potential Global Influence. En: Air Pollution, the Automobile, and Public Health 1988 by the Health Effects Institute. Cambridge, Massachusetts. National Academy Press, Washington : AT&T Bell Laboratories, No. 22 (1988); p. 47

Según el DAMA¹⁴: La norma para CO es 40 ppm para promedio horario.

✍ **Óxidos de Nitrógeno (NO_x).** Los óxidos de nitrógeno (comúnmente referidos como NO_x) son un grupo de gases conformado por el nitrógeno y oxígeno. El nitrógeno es el elemento más común del aire y representa el 78% del aire que respiramos.

Los óxidos de nitrógeno incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NO_x se refiere a la combinación de estas dos sustancias.

Los procesos naturales y los realizados por el hombre producen óxidos de nitrógeno. En una escala global, la emisión natural de óxido de nitrógeno es casi 15 veces mayor que la realizada por el hombre. Las fuentes más comunes de óxidos de nitrógeno en la naturaleza son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos, y la actividad volcánica. Las fuentes principales de emisión antropogénica son los escapes de los vehículos y la quema de combustibles fósiles.

El óxido nítrico es relativamente inofensivo, pero el dióxido de nitrógeno puede causar efectos en la salud y bienestar. En el proceso de combustión, el nitrógeno en el combustible y aire se oxida para formar ácido nítrico y algo de dióxido de nitrógeno. Los óxidos nítricos emitidos en el aire convierten en dióxido de nitrógeno mediante reacciones fotoquímicas condicionadas por la luz solar.

El dióxido de nitrógeno daña el sistema respiratorio porque es capaz de penetrar las regiones más profundas de los pulmones. Asimismo, contribuye a la formación de lluvia ácida.

Graedel, manifiesta que: “Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) son aproximadamente iguales entre los motores de vehículos y las actividades de combustión estacionaria”¹⁵.

La producción de este contaminante está directamente asociada a la combustión de los vehículos. Se genera cuando los motores alcanzan altas temperaturas (en trancones o a altas velocidades). Este contaminante se genera de forma más frecuente en los vehículos viejos o que han tenido gran uso.

¹⁴ DAMA. DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, Op.cit., p. 45

¹⁵ GRAEDEL, Op.cit., p. 136.

La OMS recomienda como estándar para promedio horario máximo de NO₂ (107 ppb).¹⁶.

✍ **Contaminantes Peligrosos del Aire (CPA).** Los contaminantes peligrosos son compuestos cancerígenos y no cancerígenos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud. Como se indicó anteriormente, las Enmiendas de la Ley del Aire Limpio de 1990 de los Estados Unidos enumeró 189 compuestos como contaminantes peligrosos del aire (CPA), incluidos el tetracloruro de carbono, cloro, óxido de etileno, cadmio y manganeso. La mayoría de los CPA son compuestos orgánicos volátiles. Las normas para controlar la emisión de estos contaminantes peligrosos están basadas en la salud. En otras palabras, se establecen límites numéricos que protegen la salud del hombre de cualquier efecto adverso.

Sin embargo, el establecimiento de normas de emisión basadas en la salud es un proceso difícil debido a la incertidumbre en la evaluación de los efectos sobre la salud. Como resultado, Estados Unidos ha fijado normas de emisión basadas en la salud solo para ocho contaminantes citadas por Korc, estos son:

- ? Asbesto
- ? Cloruro de vinilo
- ? Benceno
- ? Arsénico
- ? Berilio
- ? Mercurio
- ? Radón
- ? Radionucleidos diferentes del radón.¹⁷

5.3 LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE AMBIENTAL

Cuando se discuten las fuentes de contaminación del aire, comúnmente se usan cuatro términos: móvil, estacionaria, puntual y del área. Las fuentes móviles incluyen diversas formas de transporte tales como automóviles, camiones y aviones. Las fuentes estacionarias son las instalaciones no movibles, tales como

¹⁶ DAMA. DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, Op.cit., p. 48

¹⁷ Cork, Op.cit., p. 31

plantas de energía y establecimientos industriales. Una fuente puntual se refiere a una fuente en un punto fijo, tal como una chimenea o tanque de almacenamiento que emite contaminantes. Una fuente del área refiere a una serie de fuentes pequeñas que en conjunto pueden afectar la calidad del aire en una región. Un ejemplo sería una comunidad que usa madera para la calefacción.

5.3.1 Fuentes móviles de contaminación del aire. Las fuentes móviles de contaminación del aire son conocidas por todos e incluyen a los automóviles, autobuses, locomotoras, camiones y aviones. Estas fuentes emiten contaminantes criterio y otros contaminantes peligrosos.

La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, pues produce grandes cantidades de monóxido de carbono y menores cantidades de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (VOC's). Las emisiones de los automóviles también contienen plomo y cantidades traza de algunos contaminantes peligrosos. Los requisitos para el control de emisiones de automóviles han reducido considerablemente la cantidad de contaminantes del aire.

Además, los reglamentos que controlan la calidad del combustible de los automóviles también han contribuido a una mayor eficiencia y menores emisiones. Por ejemplo, la transición de la gasolina con plomo a la gasolina sin plomo ha reducido extraordinariamente la cantidad de plomo en el aire ambiental. Sin embargo, debido al creciente número de vehículos, los automóviles siguen siendo la principal fuente móvil de contaminación del aire.

Los camiones, autobuses y locomotoras generalmente tienen motores Diesel que usan combustible diferente de la mayoría de automóviles. La quema de combustible para motores Diesel produce mayor cantidad de óxidos de nitrógeno. Por ejemplo, en California se estima que 850.000 camiones y autobuses Diesel producen la misma cantidad de óxidos de nitrógeno que 8 millones de automóviles en un año.

Kennedy y Grumbly, manifiestan que:

Un sistema de transporte moderno es esencial para el crecimiento económico de una región. La contaminación del aire generada por automóviles y otras formas del transporte es una concesión aceptada por la mayoría de personas. Afortunadamente, los adelantos en la tecnología del control de la contaminación, los combustibles alternativos y los cambios en el estilo de vida, tales como el transporte compartido y

el masivo pueden minimizar los efectos perjudiciales de estas necesidades en una sociedad industrializada¹⁸.

5.4 DESPLAZAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES

Samson, manifiesta que:

Los contaminantes se transportan con el viento. La velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área. Mientras mayor sea la velocidad el viento, menor será la concentración de contaminantes.

El viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante y se sabe que esto tiene efecto con velocidades de vientos a más de 10 metros de altura.

Generalmente, cuando el aire más caliente está por encima del aire frío se presentan condiciones atmosféricas estables, de ese modo se inhibe la mezcla vertical. Esta condición se denomina inversión térmica. Cuando hay una ligera mezcla vertical o no hay mezcla, los contaminantes permanecen en la zona baja y tienden a aparecer en concentraciones mayores.

Otros factores meteorológicos básicos que afectan la concentración de contaminantes en el aire ambiental son:

- ? Radiación solar
- ? Precipitación
- ? Humedad

Si bien poco se puede hacer para minimizar los efectos de las fuerzas naturales sobre el transporte y dispersión de contaminantes, la mejor estrategia disponible es prevenir la producción de contaminantes del aire en la fuente¹⁹.

¹⁸ KENNEDY, Donald and GRUMBLY, Thomas. The Social Context of Automotive Emissions Research. The Health Effects Institute, Cambridge, Massachusetts. Washington : National Academy Press, 1988. p. 36.

¹⁹ SAMSON, Perry. Atmospheric Transport and Dispersion of Air Pollutants Associated with Vehicular Emissions. University of Michigan. Transport and Dispersion: Theory and Applications. En: Air Pollution, the Automobile, and Public Health. Washington : National Academy Press. No. 25 (1988); p. 77.

5.5 EMISIONES DE AUTOMÓVILES

Texaco nos presenta la siguiente definición:

Las emisiones que un solo automóvil genera son relativamente bajas y la comparación que mucha gente hace de estos con las “chimeneas” puede resultar exagerada. Pero en numerosos sitios alrededor del mundo, el automóvil particular es el más grande agente contaminador, debido a que millones de vehículos transitan diariamente. Probablemente conducir un vehículo particular es la actividad diaria más contaminante de un ciudadano²⁰.

5.5.1 Origen de las emisiones automovilísticas. Texaco afirma que-: “El poder para mover un vehículo se origina desde la quema del combustible en el motor. La polución de los carros se origina por los productos de su proceso de combustión y de la evaporación del mismo combustible a través de su tubo de escape”²¹.

5.5.2 El Proceso de Combustión. Los combustibles Diesel y gasolina son mezclas de hidrocarburos, los cuales contienen átomos de hidrógeno y carbono. En un motor “perfecto”, el oxígeno del aire puede convertir todo el hidrógeno presente en el combustible en agua y todo el carbono en dióxido de carbono. El nitrógeno en el aire puede permanecer sin afectarse. En realidad, el proceso de combustión no puede ser “perfecto”, y un motor de automóvil emite varios tipos de contaminantes como lo afirma a continuación Texaco:

Combustión “perfecta”:

COMBUSTIBLE (Hidrocarburos) + AIRE (Oxígeno y nitrógeno) \rightleftharpoons DIÓXIDO DE CARBONO + agua + nitrógeno no afectado (reciclable)

Combustión típica de un motor:

COMBUSTIBLE + AIRE \rightleftharpoons HIDROCARBUROS SIN QUEMAR + ÓXIDOS DE NITRÓGENO + MONÓXIDO DE CARBONO + DIÓXIDO DE CARBONO + Agua²².

²⁰ TEXACO. Automobile Emissions. [En línea]. [USA]. Agosto 1994. [citado Agosto 2001]. Disponible en internet : <URL : <http://www.OMS.gov.co/AutomobileEmissions:AnOverview/Polución/atmosférica/EPA400-f-92-007>>. p. 1-2

²¹ Ibid., p. 4-5

²² Ibid., p. 6

5.5.3 Componentes de la polución atmosférica producidos por los automóviles. Un amplio espectro de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos son emitidos a partir del uso del automóvil.

Estas emisiones se originan de la combustión así como de procesos evaporativos. Ellos incluyen los obvios, vapor de agua y dióxido de carbono, así como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos y oxiácidos de azufre, compuestos reducidos de azufre, una amplia variedad de compuestos orgánicos volátiles, entre los que se encuentran componentes del combustible y productos parcialmente oxidados de la combustión y material particulado.

En regiones altamente urbanizadas, las emisiones de los automóviles contribuyen una fracción significativa y frecuentemente mayor de emisiones de NO_x, VOC's, carbono elemental y/o materia orgánica particulada. Algunas de estas emisiones tienen un impacto directo sobre el ecosistema, incluyendo la salud humana. Además, la mayoría de estas emisiones pueden sufrir transformaciones químicas en la atmósfera, llevando a veces a la producción de sustancias más tóxicas.

De acuerdo con Atkinson:

Las escalas de tiempo de estas transformaciones atmosféricas y procesos de pérdidas que ocurren en la atmósfera durante el transporte de estas emisiones primarias varían ampliamente, con tiempos de vida de la sustancia desde menores o iguales a un minuto para compuestos orgánicos altamente reactivos hasta meses o aún años para muchas otras emisiones²³.

5.5.4 Transporte y dispersión de los contaminantes producidos por los automóviles. La concentración de los contaminantes asociada con vehículos en movimiento es determinada por varios factores: la tasa de emisión de los contaminantes a partir del vehículo, la velocidad y la dirección del viento relativa a los ejes de la carretera, la intensidad de la turbulencia atmosférica del ambiente, las reacciones hacia o desde otras especies químicas y la deposición. Las concentraciones asociadas con vehículos no móviles – como lo que podría encontrarse en las colas y trancones de tráfico y estructuras de parqueo – son determinadas por tasas de emisión, el flujo del viento y la turbulencia producida por la interacción del viento local con estructuras complejas tales como construcciones y barreras en el borde de las carreteras.

²³ ATKINSON, Roger. Atmospheric Transformations of Automotive Emissions. University of California, Riverside. Washington : National Academy Press, 1988. p. 78

Samson, afirma que:

El tiempo climático juega su papel en la mayoría de estos componentes, generalmente causando tasas de emisión superiores a bajas temperaturas, diluyendo los contaminantes a velocidades del viento superiores, mezclando los contaminantes verticalmente durante condiciones térmicas inestables e influenciando los índices de reacciones químicas homogéneas y heterogéneas y la tasa a la cual los contaminantes son limpiados de la atmósfera por humedad por deposición seca²⁴.

Graedel, comenta que:

El nivel de exposición humana a los contaminantes atmosféricos depende del factor de emisión del contaminante, la dirección del transporte, la tasa de dispersión y la localización de la población con respecto al conjunto de las fuentes. La exposición de los humanos a los tubos de escape es considerada en términos de tres escalas de distancia: próxima (0.0 – 0.2 Km.), urbana (0.2 – 20 Km.) y regional (20 – 2000km). La exposición directa de los humanos a las emisiones vehiculares en el ambiente ha sido objeto de las mayores investigaciones²⁵.

5.5.5 Transformaciones atmosféricas de los contaminantes automovilísticos.

Perloff, sostiene que:

Debe tenerse en mente que las emisiones de los automóviles no pueden ser consideradas aisladamente. Entre las emisiones automovilísticas y las originadas por ejemplo, de fuentes estacionarias y la vegetación, existen interacciones físicas y químicas sinérgicas, dando origen a una multitud adicional de productos. Claramente, los cambios en las tasas de emisión o en las características químicas de estas emisiones no automovilísticas pueden llevar a cambios en las reacciones fotoquímicas de las varias mezclas de contaminantes atmosféricos. La elucidación de los efectos de las emisiones vehiculares sobre la salud humana necesita un conocimiento completo de los inventarios de emisión, las transformaciones físicas y químicas, el transporte y las medidas ambientales atmosféricas de los autos, la fuente estacionaria y las

²⁴ SAMSON, Op.cit., p. 86.

²⁵ GRAEDEL, Op.cit., p.88.

emisiones vegetativas, todo combinado dentro de un conjunto de modelos sistematizados locales, urbanos o regionales²⁶.

5.5.6 Efectos de la contaminación del aire por las emisiones automovilísticas. La contaminación del aire tiene un efecto directo sobre la salud humana. En casos extremos, ha causado muertes como resultado de la combinación de características geográficas inusuales con factores climáticos. Por ejemplo, el episodio de contaminación del aire en Donora, Pennsylvania, en los Estados Unidos en 1948 ocasionó 20 muertes y más de 5000 enfermos. Esto es un ejemplo de los graves efectos adversos que resultan del exceso de población y de industrias, junto con ciertos factores geográficos y meteorológicos en un área concentrada.

La exposición a contaminantes del aire puede causar efectos agudos (corto plazo) y crónicos (largo plazo) en la salud.

La contaminación del aire ocurre tanto en exteriores (ambiental) como en interiores. Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud varían enormemente de persona en persona. Los más afectados por la contaminación del aire son los niños por estar mucho más expuestos que los adultos, porque en relación con su tamaño corporal inspiran y espiran con mucha mayor frecuencia. Además, los órganos de los niños no están completamente desarrollados y por tanto son más sensibles. Otro hecho añadido que tiene un grave efecto en los niños es que las partículas cancerígenas se concentran en su mayoría a la altura donde inspiran los niños, también son afectados los ancianos, lactantes, mujeres embarazadas y enfermos crónicos del pulmón corazón. Las personas que hacen ejercicios al aire libre también están propensas pues respiran más rápida y profundamente, lo que permite el ingreso de más contaminantes a los pulmones. Los corredores y ciclistas que se ejercitan en áreas de gran tránsito se pueden estar causando más daño que beneficio.

✍ **El sistema respiratorio y la contaminación del aire.** Korc, manifiesta que:

Aunque los contaminantes pueden afectar a la piel, ojos y otros sistemas del cuerpo, el principal perjudicado es el sistema respiratorio.

El aire se inhala por la nariz que actúa como el sistema filtrante primario del cuerpo. Los pelos pequeños y las condiciones calientes y húmedas de la nariz eliminan eficazmente las partículas contaminantes de mayor tamaño. Luego el aire pasa por la faringe, esófago y laringe antes de llegar a la parte superior de la tráquea. La tráquea se divide en dos partes, los bronquios izquierdo y derecho. Cada bronquio se subdivide

²⁶ PERLOFF, Harvey. The Quality of the Urban Environment. Washington : Oikos-tau, 1973. p. 58. .

en compartimentos cada vez más pequeños llamados bronquiólos que contienen millones de bolsas de aire llamados alvéolos. Los bronquiólos y alvéolos, constituyen los pulmones.

Los contaminantes del aire, tanto gaseosos como particulados, pueden tener efectos negativos sobre los pulmones. Las partículas sólidas se pueden impregnar en las paredes de la tráquea, bronquios y bronquiólos. La mayoría de estas partículas se eliminan de los pulmones mediante la acción de limpieza (barrido) de los cilios, pequeños filamentos de las paredes de los pulmones. Esto es lo que ocurre cuando se tose o estornuda.

Una tos o estornudo transporta las partículas a la boca. Las partículas se eliminan cuando son ingeridas o expulsadas del cuerpo. Sin embargo, las partículas sumamente pequeñas pueden alcanzar los alvéolos, donde a menudo toma semanas, meses o incluso años para que el cuerpo las elimine. Los contaminantes gaseosos del aire también pueden afectar la función de los pulmones mediante la reducción de la acción de los cilios. La respiración continua de aire contaminado disminuye la función de limpieza normal de los pulmones, lo que puede ocasionar que gran número de partículas lleguen a las partes inferiores del pulmón.

Los pulmones son los órganos responsables de absorber el oxígeno del aire y remover el dióxido de carbono del torrente sanguíneo. El daño causado a los pulmones por la contaminación del aire puede imposibilitar este proceso y contribuir a la aparición de enfermedades respiratorias como la bronquitis, enfisema y cáncer. También puede afectar el corazón y el sistema circulatorio²⁷.

 **Deposición de las partículas inhaladas en el tracto respiratorio.** Según Schlesinger:

La concentración de partículas en el aire no puede por sí misma definir la dosis llevada al tracto respiratorio. Para suministrar tal cuantificación, es primariamente necesario determinar los sitios de deposición – esto es, las regiones donde las partículas inhaladas inicialmente hacen contacto con las superficies del tracto superior respiratorio. Los sitios de deposición determinan las subsecuentes rutas para la remoción o traslocación y así se constituyen en un contribuyente principal a la respuesta toxicológica última.

²⁷ KORC, Op.cit., p. 6-7.

El tamaño de las partículas inhaladas es un factor crítico que afecta su deposición; de ese modo, los efectos biológicos resultantes son, en alguna medida, dependientes del tamaño de la partícula²⁸.

5.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES INDUSTRIALES EN COLOMBIA.

Amaya, afirma que:

El ECOPETROL redujo inicialmente solo para Bogotá a partir del 3 de Marzo de 2000 un 75% al pasar del 0.4% de peso al 0.1% de peso. La meta para el 2005 es 0.05% de contenido de azufre del Diesel. En la gasolina la meta para el 2005 es 0.03% de contenido de azufre.

En cuanto al plomo, gasolina sin plomo (1991) el tetraetilo de plomo se eliminó y se reemplazó por unidades de proceso craking catalítico.

A partir del 1 de Enero de 2001 se limita el uso de combustible con un porcentaje de azufre mayor a 1.7²⁹.

²⁸ SCHLESINGER, Richard. Biological Disposition of Airborne Particles: Basic Principles and Application to Vehicular emissions. Deposition of Inhaled Particles in the Respiratory Tract. New York University Medical Center. En: Air Pollution, the Automobile, and Public Health 1988 by the Health Effects Institute. Washington : National Academy Press. No. 45, (1988); p. 47.

²⁹ AMAYA, Manuel. Calidad del aire en Bogotá. Bogotá : Alcaldía Mayor de Bogotá, Oficina de Planeación, 2000. p. 62

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Para la determinación de las emisiones vehiculares en la ciudad de San Juan de Pasto, fueron considerados los aspectos pertinentes al procedimiento de cálculo, escenario físico y tránsito vehicular.

6.1 MODELO DE DESCARGA DE EMISIONES PARA VEHÍCULOS LDGP BAJO CONDICIONES ESPECÍFICAS DE MANEJO, VOLATILIDAD DE LA GASOLINA Y CLIMA.

Los vehículos impulsados por el encendido de la gasolina (LDGP por sus siglas en inglés) son la fuente dominante de las emisiones de NO_x, CO y COV's en la mayoría de las grandes áreas urbanas. Estos tres contaminantes son precursores del smog fotoquímico, el cual aparece incrementándose con frecuencia e intensidad en muchas regiones y afectando a grandes poblaciones.

El smog fotoquímico (ozono, dióxido de nitrógeno, peroxi acetil nitrato y muchas otras sustancias en pequeñas cantidades) es formado por reacciones atmosféricas, bajo la influencia de la luz del sol y el calor, por los contaminantes primarios NO_x, CO y VOC's. La velocidad de las reacciones conducen a la formación del smog incrementándose significativamente durante el verano, cuando ambos, la intensidad de la luz del sol y la temperatura son elevadas.

El NO_x, CO y VOC's son factores de emisión considerablemente dependientes de la temperatura media diaria y los patrones de conducción (velocidad promedio del vehículo, porcentaje del encendido del motor en frío, y por supuesto la longitud de cada viaje). Durante los meses pico de ozono todos los parámetros anteriores pueden desviarse considerablemente de sus promedios anuales (la temperatura es obviamente la más alta, mientras los patrones de conducción son a menudo afectados por las vacaciones de verano y/o el turismo) e incluso pueden desviarse más allá de los factores de emisión dados por este modelo.

Debido a la particular importancia de las emisiones de los vehículos de LDGP en la polución urbana, su significativa variabilidad regional y estacional, y su especial importancia durante la estación de picos de ozono, se presenta un modelo en la sección 6.1.1 que permite ajustar los factores de emisión con base en las condiciones del ambiente local y estacional y a los patrones de conducción. Este modelo se enfoca en las emisiones de descarga, y es el que se implementó para realizar este estudio.

6.1.1 Modelo de Descarga de Emisiones

✍ **Descripción del modelo.** La entrada básica para este modelo de emisiones de descarga para los vehículos LDGP se toma del reporte original de la ECE CORINAIR (1980), así como de las medidas de descarga proporcionadas por la TNO (1989-1990). Del primero se tomó información acerca de la descarga de emisiones para vehículos convencionales no catalíticos, mientras del último, fueron usadas las medidas de laboratorio relevantes a los automóviles catalizadores.

Con base en las medidas de la TNO, el modelo de las emisiones de descarga y consumo de combustible para carros catalizadores se desarrolló (Economopoulos, 1992), el cual complementó la información acerca de las descargas de emisión para los carros convencionales proporcionado por el reporte de la ECE CORINAIR.

El modelo anterior que es capaz de predecir las emisiones para todos los tipos de vehículos de LDGP, se usó en el análisis de la dependencia funcional de la descarga de las emisiones en todos los parámetros que se sepa puedan ejercer un efecto significativo (temperatura media diaria o estacional, velocidad media del vehículo, la fracción del encendido en frío del motor, fcs, y la longitud media de cada viaje, L, la edad de un vehículo convencional o el tipo de sistema catalizador usado, y el desplazamiento del cilindro del motor). El producto final de este análisis es descrito por la siguiente relación según Economopoulos:

? **Ecuación 1:**

$$e = e_{hot} \left(1 + fcs \frac{m^{0.75} - 1}{0.75} \right),$$

Donde:

? **Ecuación 2.**

e_{hot} = f (Velocidad media, desplazamiento del cilindro, año de fabricación del automóvil convencional o tipo de sistema catalizador usado)

y

? **Ecuación 3.**

m0.75 = f (Temperatura media, longitud media del viaje, Tecnología usada, catalítica o convencional)³⁰

En el encendido en caliente, el NOx, CO y VOC's pueden obtenerse convenientemente como una función de la velocidad media, desplazamiento del cilindro, y año de fabricación del vehículo de la tabla 3 y el factor de consumo de combustible ehot, puede obtenerse de los gráficos en las figuras 1 a 3. Estos factores representan las emisiones y el consumo de combustible para las distancias viajadas mientras el motor del vehículo está caliente (temperatura del agua de refrigeración del vehículo por encima de los 70°C).

³⁰ ECONOMOPOULOS, Alexander P. Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution. A guide to rapid source inventory techniques and their use in formulation environmental control strategies. Part One. Geneva : World Health Organization, 1993. p. 38

Tabla 3. Factores de emisión CORINAIR

Factores de emisión CORINAIR												
TIPO DE VÍA	MODELO VEHÍCULO	CATEGORÍA VEHÍCULO	FACTOR DE EMISION VEHICULAR EN CALIENTE (g/km recorrido)									
			CO	NOx	VOC's	TSP	SO2	MET	NMET	ALQ	ARO	ALD
1. (30 km/h)	Año ≤ 1970	Autos < 1,4 L	32.97	1.72	2.87	0.06	0.015	0.276	0.952	0.460	1.125	0.061
		1,4 L <Autos< 2,0 L	32.97	1.98	2.87	0.08	0.018	0.276	0.952	0.460	1.125	0.061
		Autos > 2,0 L	32.97	2.49	2.87	0.10	0.022	0.276	0.952	0.460	1.125	0.061
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.239	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
	1970 < Año < 1979	Autos < 1,4 L	23.60	1.72	2.28	0.06	0.013	0.219	0.755	0.365	0.892	0.048
		1,4 L <Autos< 2,0 L	23.60	1.98	2.28	0.08	0.016	0.219	0.755	0.365	0.892	0.048
		Autos > 2,0 L	23.60	2.49	2.28	0.10	0.017	0.219	0.755	0.365	0.892	0.048
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.239	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
	1979 < Año < 1986	Autos < 1,4 L	20.91	1.59	2.27	0.06	0.012	0.218	0.752	0.363	0.889	0.048
		1,4 L <Autos< 2,0 L	20.91	1.74	2.27	0.08	0.014	0.218	0.752	0.363	0.889	0.048
		Autos > 2,0 L	20.91	2.21	2.27	0.10	0.018	0.218	0.752	0.363	0.889	0.048
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.239	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
	Año ≥ 1986	Autos < 1,4 L	11.81	1.61	1.81	0.06	0.010	0.174	0.598	0.289	0.707	0.038
		1,4 L <Autos< 2,0 L	11.81	1.94	1.81	0.08	0.013	0.174	0.598	0.289	0.707	0.038
		Autos > 2,0 L	11.81	2.25	1.81	0.10	0.015	0.174	0.598	0.289	0.707	0.038
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.239	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
2. (45 km/h)	Año ≤ 1970	Autos < 1,4 L	25.54	1.90	2.17	0.04	0.011	0.209	0.719	0.347	0.849	0.046
		1,4 L <Autos< 2,0 L	25.54	2.26	2.17	0.06	0.013	0.209	0.719	0.347	0.849	0.046
		Autos > 2,0 L	25.54	3.05	2.17	0.08	0.016	0.209	0.719	0.347	0.849	0.046
		Buses	3.47	12.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
	1970 < Año < 1979	Autos < 1,4 L	17.34	1.90	1.71	0.04	0.009	0.165	0.568	0.274	0.671	0.036
		1,4 L <Autos< 2,0 L	17.34	2.26	1.71	0.06	0.010	0.165	0.568	0.274	0.671	0.036
		Autos > 2,0 L	17.34	3.05	1.71	0.08	0.014	0.165	0.568	0.274	0.671	0.036
		Buses	3.47	12.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
	1979 < Año < 1986	Autos < 1,4 L	14.95	1.74	1.70	0.04	0.009	0.164	0.563	0.272	0.665	0.036
		1,4 L <Autos< 2,0 L	14.95	2.01	1.70	0.06	0.010	0.164	0.563	0.272	0.665	0.036
		Autos > 2,0 L	14.95	2.88	1.70	0.08	0.013	0.164	0.563	0.272	0.665	0.036
		Buses	3.47	12.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
	Año ≥ 1986	Autos < 1,4 L	8.16	1.76	1.36	0.04	0.008	0.131	0.452	0.218	0.534	0.029
		1,4 L <Autos< 2,0 L	8.16	2.22	1.36	0.06	0.010	0.131	0.452	0.218	0.534	0.029
		Autos > 2,0 L	8.16	2.34	1.36	0.08	0.007	0.131	0.452	0.218	0.534	0.029
		Buses	3.47	2.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
3. (60 km/h)	Año ≤ 1970	Autos < 1,4 L	21.30	2.02	1.78	0.04	0.013	0.171	0.589	0.284	0.696	0.038
		1,4 L <Autos< 2,0 L	21.30	2.52	1.78	0.06	0.016	0.171	0.589	0.284	0.696	0.038
		Autos > 2,0 L	21.30	3.66	1.78	0.08	0.018	0.171	0.589	0.284	0.696	0.038
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181
	1970 < Año < 1979	Autos < 1,4 L	14.38	2.02	1.32	0.04	0.009	0.127	0.437	0.211	0.516	0.028
		1,4 L <Autos< 2,0 L	14.38	2.52	1.32	0.06	0.010	0.127	0.437	0.211	0.516	0.028
		Autos > 2,0 L	14.38	3.66	1.32	0.08	0.014	0.127	0.437	0.211	0.516	0.028
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181
	1979 < Año < 1986	Autos < 1,4 L	10.69	2.01	1.13	0.04	0.009	0.109	0.376	0.181	0.444	0.024
		1,4 L <Autos< 2,0 L	10.69	2.34	1.13	0.06	0.010	0.109	0.376	0.181	0.444	0.024
		Autos > 2,0 L	10.69	3.17	1.13	0.08	0.013	0.109	0.376	0.181	0.444	0.024
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181
	Año ≥ 1986	Autos < 1,4 L	5.64	1.96	1.03	0.04	0.008	0.099	0.342	0.165	0.404	0.022
		1,4 L <Autos< 2,0 L	5.64	2.53	1.03	0.06	0.010	0.099	0.342	0.165	0.404	0.022
		Autos > 2,0 L	5.64	2.54	1.03	0.08	0.007	0.099	0.342	0.165	0.404	0.022
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181

Figura 1. Factores de consumo de combustible para autos

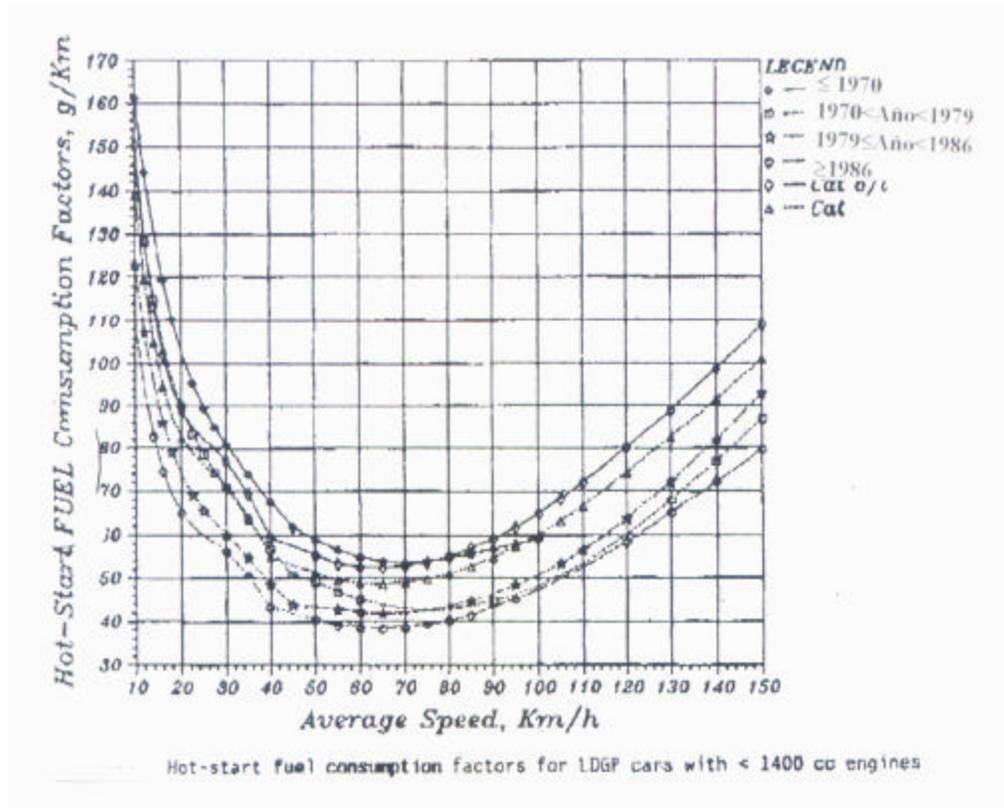


Figura2. Factores de consumo de combustible para autos con motores 1400-2000cc (1.4l-2.0L)

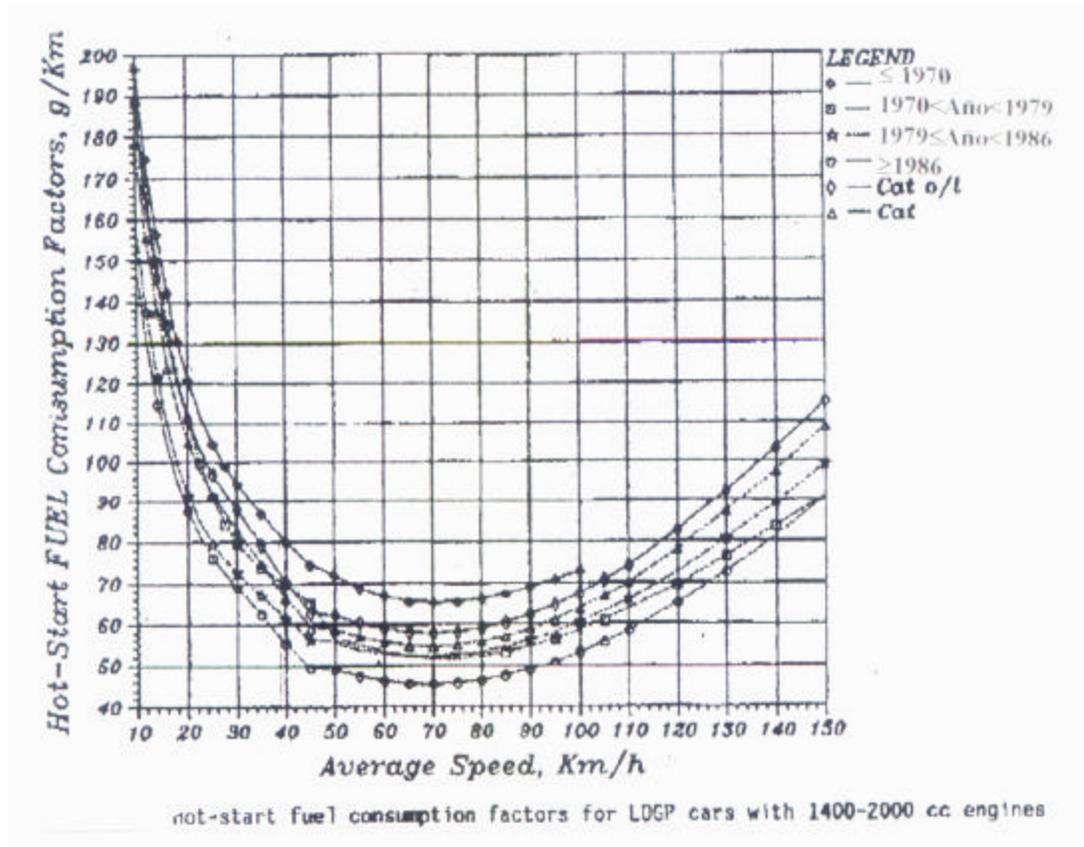
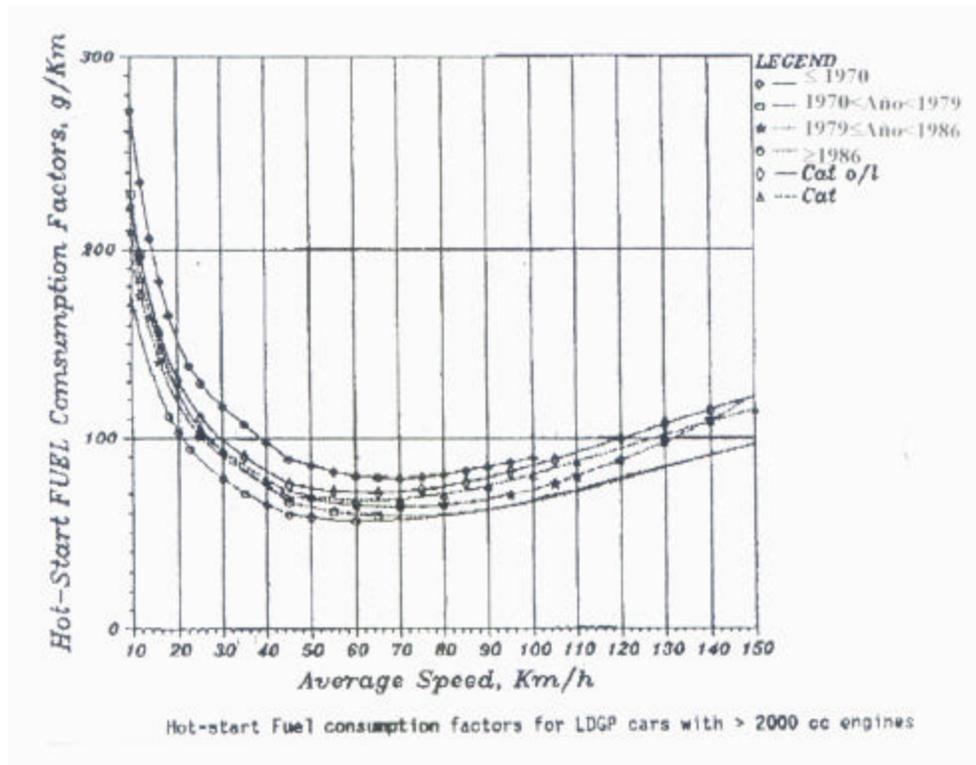


Figura 3. Factores de consumo de combustible para autos con motores >2000cc (2.01L)



Mientras el automóvil corre con el motor frío estas emisiones y el consumo de combustible son diferentes del encendido en caliente. Esta diferencia es especialmente pronunciada en el caso de los vehículos equipados con convertidores catalíticos. Como la mayoría de las veces los vehículos son encendidos con el motor frío, y transcurre una fracción de su viaje antes de que el motor se ponga caliente, la emisión de la salida en caliente y el factor de consumo de combustible e_{hot} necesitan ser corregidos para compensar los efectos del encendido en frío. Esta corrección es lograda a través de la ecuación Ecuación 1. a través del uso del factor multiplicador de la emisión o consumo de combustible $m_{0.75}$.

Si $fcs = 0.75$ (significando esto que en un 75% de los casos los vehículos son encendidos con los motores fríos y un 25% de los casos con el motor caliente) luego, de la ecuación Ecuación 1. obtenemos:

? **Ecuación 4:**

$$e = (e_{hot}) (m_{0.75})$$

El valor de $fcs = 0.75$ es considerado razonable y, en ausencia de datos locales, puede aceptarse. En ese caso, $m_{0.75}$ es multiplicador directo de e_{hot} según la ecuación 6.1.1.1.4 y esto justifica su nombre (factor multiplicador de la emisión o consumo de combustible).

Para el cálculo de la emisión real (encendido en frío compensado) y el factor de consumo de combustible, e , los valores de $m_{0.75}$ son necesarios. Estos se pueden obtener convenientemente a través de las gráficas en las figuras 4 a 7 para NO_x , CO , $VOC's$ y consumo de combustible, como una función de la temperatura anual diaria o estacional, la longitud media de cada viaje del vehículo, L , y la tecnología usada (convencional o catalítica).

En resumen, para el cálculo del NO_x , CO , $VOC's$ y factores de consumo de combustible necesitamos información acerca de lo siguiente:

Figura 4. Factor multiplicador para emisiones de NOx, en función de la temperatura media y longitud de viaje.

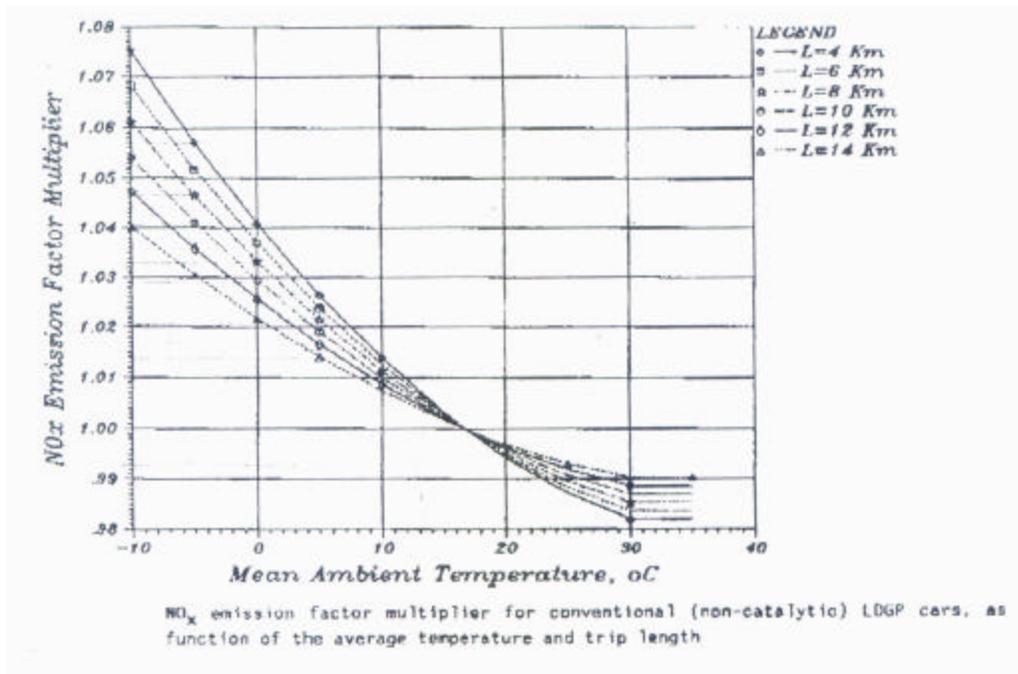


Figura 5. Factor multiplicador para emisiones de CO, en función de la temperatura media y longitud de viaje

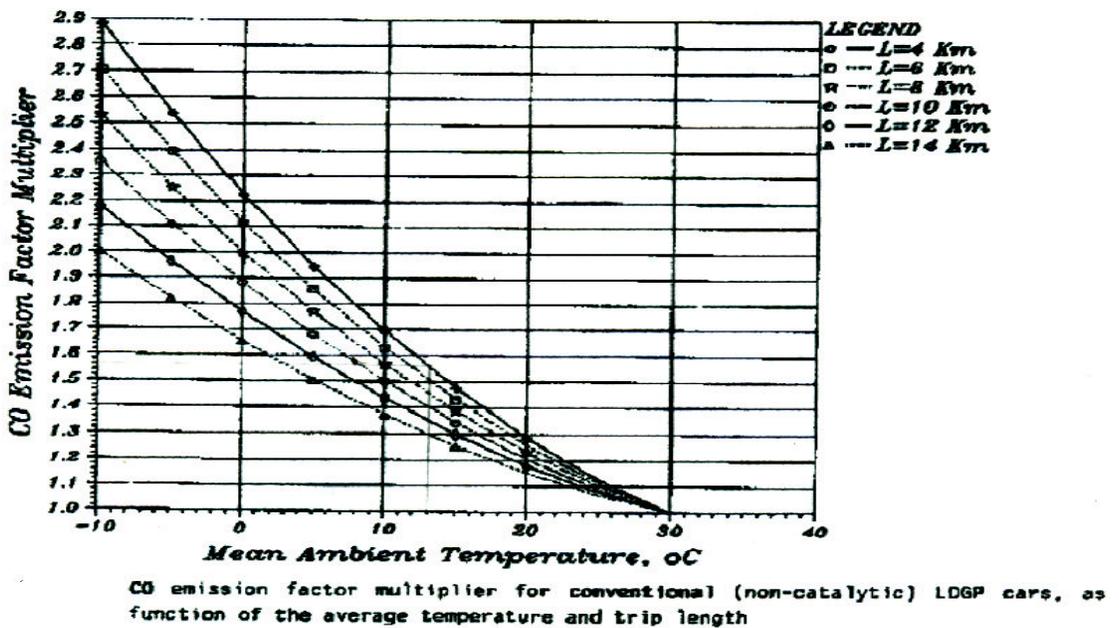
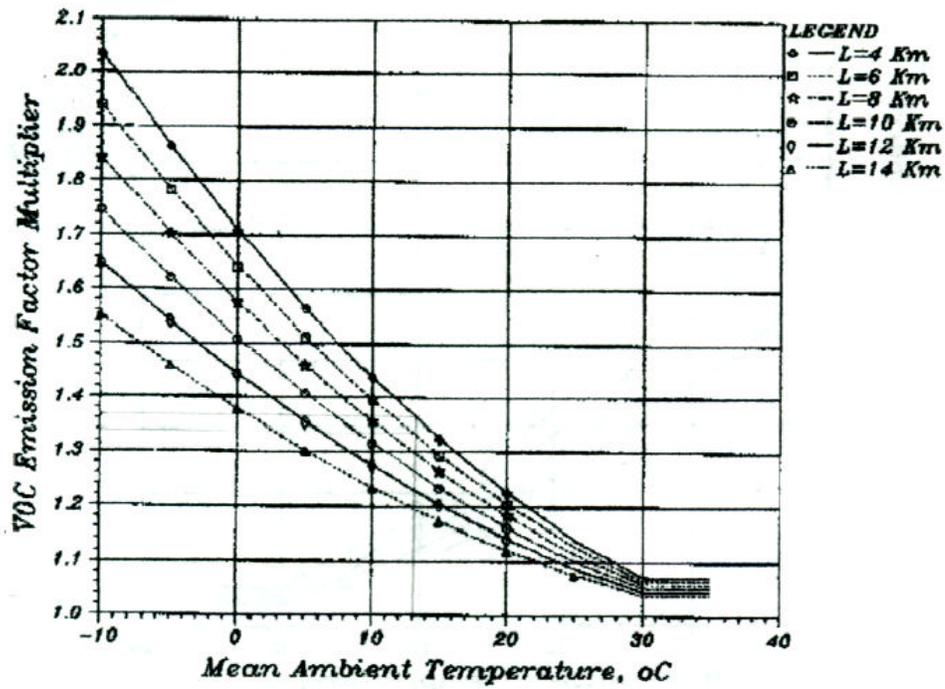
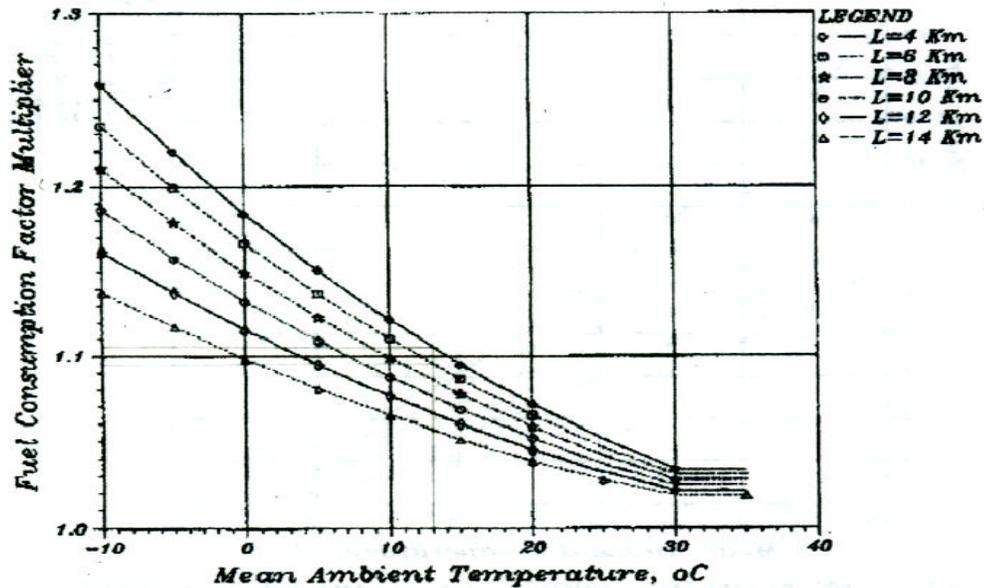


Figura 6. Factor multiplicador para emisiones de VOC, en función de la temperatura media y longitud de viaje



VOC emission factor multiplier for conventional (non-catalytic) LDGP cars, as function of the average daily, seasonal, or annual temperature and trip length

Figura 7. Factor multiplicador para consumo de combustible en función de la temperatura media y longitud de viaje



Fuel consumption factor multiplier for LDGP cars, as function of the average temperature and trip length

- ? Velocidad media
- ? Desplazamiento del cilindro
- ? Año de fabricación para los vehículos convencionales o tipo de sistema catalítico usado
- ? Temperatura anual media diaria o estacional
- ? Longitud media de viaje
- ? Tipo de tecnología (convencional o catalítica)

Basados en lo anterior obtenemos los valores de e_{hot} y $m_{0.75}$ para NO_x , CO, VOC y consumo de combustible usando la tabla 3 y los diagramas de las figuras 1 a 3 y 4 a 7 respectivamente. Los anteriores valores de e_{hot} y $m_{0.75}$ son introducidos en la ecuación Ecuación 1. para obtenerlos se buscaron factores de emisión para NO_x , CO, VOC's y consumo de combustible.

Las ventajas de este método de evaluación incluyen: la posibilidad de elaborar inventarios de emisiones en poco tiempo y con recursos modestos y la posibilidad

de estimar la efectividad de las alternativas de control. La principal desventaja es la falta de factores de emisión específicos para la ciudad de San Juan de Pasto. Por lo tanto, las medidas sugeridas como resultado de esta evaluación rápida deben ser consideradas como preliminares y sujetas a un análisis más detallado antes de ser implementadas.

En este estudio, la información para determinar el cálculo de los factores de emisión NOx, CO, VOC's y consumo de combustible se recolectó a través del diseño de una encuesta (*Anexo A*) que permitió obtener los datos que el diseño metodológico requería para hacer las correspondientes estimaciones. Esta encuesta se aplicó para cada categoría vehicular tomando de cada una de ellas un tamaño muestral estadísticamente representativo y utilizando la estimación por intervalos SPIEGEL (1975), según la fórmula:

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{d^2} \quad \text{donde:}$$

n = tamaño de la muestra.

z = Coeficiente de confiabilidad. Para 95% de confianza, z = 1,96.

σ^2 = varianza estimada de la población.

d² = margen de error.

La estimación por intervalos implica un procedimiento en el cual se debe considerar primeramente el grado de confianza. Para el caso del 95%. Luego se determina el grado de amplitud alrededor de la media que se está dispuesto a admitir. Para el caso en estudio de 5 Km /hora. (Esto significa que si la velocidad media de un vehículo cualquiera es de 50 Km. /hora, por decir algo, aceptaríamos un error al hacer la estimación de la media en 5 Km. /hora por arriba o por debajo de este promedio). Por último es necesario considerar cual es la varianza de la variable "velocidad" de la población, para lo cual fue necesario tomar una muestra pequeña (20 Encuestas por categoría vehicular) al comienzo del trabajo con objeto de obtener una idea de la varianza.

Con este procedimiento se está seguro que la muestra es representativa y el nivel de confianza es el adecuado siempre y cuando la muestra tomada sea igual o mayor. De esta manera, la metodología anterior permitió determinar el número de encuestas que se debían realizar por cada categoría vehicular. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4. Número de Encuestas por Categoría Vehicular

Categoría Vehículo	Tamaño de la muestra (n)
Auto Público ? 1.41	246
Auto Particular? 1.41	234
1.41?Auto ?2.01	222
Autos?2.01	130
Buses	199
Camiones	176
Motos	258

Los datos de temperatura anual media fueron suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales IDEAM, Regional 07, de la estación Obonuco para el año 2002 (*Anexo B*) y los datos sobre características del parque automotor para el mismo año, se tomaron de la Secretaría de Tránsito y Transporte Municipal de San Juan de Pasto (*Anexo C*), en tanto que los datos sobre incidencia de enfermedades respiratorias fueron suministrados por la Secretaría de Salud Municipal (Dirección Municipal de Seguridad Social en Salud).

El parque automotor de San Juan de Pasto cuenta con aproximadamente 39054 vehículos, los cuales se clasificaron con base en los procedimientos de la metodología europea CORINAIR, (Eggleston et al., 1989), así:

- ? 3995 como autos públicos (taxis) } Autos <1.41L
- ? 7677 autos particulares }
- ? 6271 autos con motores entre los 1.41 y 2.01L (ambulancias, camionetas, camperos, motocarros)
- ? 289 autos con motores >2.01L (microbús, minibús, van)
- ? 1011 son buses
- ? 1786 se clasifican como camiones (camión, dobletrque, maquinaria agrícola e industrial, tractocamión, tractomula, tractor y volquetas)
- ? 18025 son motocicletas.

Cabe anotar que del total de población del parque automotor el 89% (incluidas las motocicletas) son modelos > 1986 lo que hace suponer que la mayoría de la población son vehículos relativamente nuevos.

6.2 DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO FÍSICO

Se seleccionó como escenario objeto de estudio, toda el área metropolitana de la ciudad de San Juan de Pasto, buscando la mayor representatividad en el flujo vehicular.

6.3 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO VEHICULAR

En el anexo D, se ilustra el escenario físico de estudio y la red vial correspondiente.

A partir de la información suministrada por las oficinas de tránsito municipal de la región y, con base en los procedimientos de la metodología europea CORINAIR, (Eggleston et al., 1989), se determinó la distribución por categoría y modelo del parque automotor de la ciudad de Pasto. Los porcentajes obtenidos, presentados en la tabla 5, corresponden al análisis realizado sobre los 39054 vehículos (incluyendo motocicletas) matriculados para el año 2002.

Tabla 5. Distribución de la flota vehicular en San Juan de Pasto

Categoría Vehículo	Porcentaje
Autos Cilindrada < 1.41	29,9
Autos Cilindrada 1.41 - 2.01	16,1
Autos Cilindrada > 2.01	0,7
Buses	2,6
Camiones	4,6
Motos	46,2
Modelo Vehículo	Porcentaje
x ? 1970	0,9
1970 < x < 1979	3,3
1979 ? x < 1986	6,8
x ? 1986	89,0

6.4 DETERMINACIÓN DE LA EMISIÓN VEHICULAR

Korc, afirma que:

La tasa a la cual un conjunto de vehículos N, libera por el exhosto un contaminante x, en el espacio durante un tiempo t, fue calculada mediante la combinación de los parámetros referenciados en la ecuación anterior.

$$e_x = (R_{\text{Anual}})(e)(N^{\circ} \text{ de Vehículos})$$

El factor de emisión para vehículos motorizados es la cantidad de contaminante que genera un vehículo por kilómetro de recorrido. Los factores de emisión se definen de acuerdo con la antigüedad del vehículo, tamaño del motor, el sistema de control de emisiones y el tipo de combustible consumido³¹

El factor de consumo de combustible es la cantidad de combustible que se gasta por total de emisiones.

6.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Spiegel, Sostiene que:

La metodología anterior permitió establecer el tipo de información necesaria para el cálculo de emisiones CO, NOx, VOC's y el factor de consumo de combustible, de esta manera los datos arrojados por la encuesta deben ser interpretados como parciales toda vez que fueron tomados de un tamaño muestral aleatorio representativo, pero confiable estadísticamente utilizando la estimación por intervalos³². (Véase Tabla 4.)

Eggleston et al., determinan que:

Dentro de las categorías vehiculares establecidas de acuerdo con la metodología europea, en la categoría: Autos < 1.41 a la que pertenecen los autos públicos (taxis) y autos particulares se encuentran automóviles con características diferentes en cuanto a la cilindrada del motor, esto es, vehículos con motores de 1.6L correspondientes a modelos superiores o iguales al año 2000; que sin embargo, para efectos de este estudio y a razón de adaptar la metodología a las características

³¹ KORC, Op.cit., p. 36

³² SPIEGEL, Murray R. Probabilidad y Estadística. 2 ed. Bogotá : ,Mc. Graw Hill, 1975. p. 176

particulares del parque automotor de esta ciudad fue necesario categorizarlos como autos < 1.41, además, por las siguientes razones:

-No fue posible obtener información total referente a autos públicos (taxis) y particulares y cilindrada del motor.

-La encuesta demostró (al menos parcialmente) que el número de vehículos con motores de 1.6 es relativamente bajo en relación al total de vehículos de esta categoría.

-Las distancias recorridas por viaje, día o año así como la velocidad media de los autos públicos y particulares categorizados como autos < 1.41, indiferentemente del cilindraje del motor 1.41 o 1.6 es la misma, por lo tanto los factores de emisión correspondientes no varían.

-No se puede categorizar a los vehículos públicos y particulares con motores 1.6 dentro de la categoría: $1.41 < \text{Autos} < 2.01$ por la razón antes expuesta y porque basados en la metodología, se determinó incluir para efectos de este estudio, según las clases de vehículos existentes en la ciudad de Pasto así como de las características particulares de su parque automotor, a otra clase de vehículos, a saber: ambulancias, camperos, camionetas y motocarros, las cuales si cumplen estrictamente con la norma de categorización de la CORINAIR de ser autos con motores >1.41 y <2.01 ³³.

En cuanto a los datos de velocidad media debe tenerse en cuenta que el resultado es el producto de obtener el promedio para el total de la muestra analizada para cada categoría vehicular.

La tabla 3, involucra tres tipos de vías, clasificadas de acuerdo con la velocidad de tránsito. Según análisis de datos arrojados por la encuesta, el tipo de vía 1 (30km/h) es el que más se aproxima a las características del parque automotor de Pasto y por tanto se asumieron los valores de este tipo de vía para determinar los cálculos de las emisiones.

Las longitudes de recorrido por cada viaje, L , son el resultado promedio del total de la muestra analizada para cada categoría vehicular. Estos mismos datos se utilizaron para obtener el recorrido diario (R_{Diario}) y el recorrido anual (R_{Anual}), los que se obtuvieron respectivamente mediante multiplicación directa de la longitud de recorrido por cada viaje, L , y el número de veces o carreras que se utiliza el vehículo en el día y, multiplicando el R_{Diario} por 365 días anuales. (Tabla 6)

³³ EGGLESTON, H. *et al.* Methodology and Emission Factors. Luxemburgo : CORINAIR, 1989. v. 1, p. 97.

Tabla 6. Patrones de conducción promedios en San Juan de Pasto

CATEGORIA VEHICULO	VELOCIDAD PROMEDIO MEDIA (Km/hr/día)	LONGITUD PROMEDIO RECORRIDA POR VIAJE (Km.)	NUMERO PROMEDIO DE CARRERAS POR DÍA	RECORRIDO PROMEDIO DIARIO (R _{Diario}) (Km.)	RECORRIDO PROMEDIO ANUAL (R _{Anual}) (Km.)
Auto Público ? 1.41	41.3	4.2	13	54.6	19929
Auto Particular? 1.41	39.2	3.4	5	17.0	6205
1.41?Auto ?2.01	38.8	3.4	6	20.4	7446
Autos ?2.01	39.6	5.5	8	44.0	16060
Buses	37.2	5.6	8	44.8	16352
Camiones	33.0	3.0	3	9.0	3285
Motos	42.3	3.8	7	26.6	9709

Los factores de emisión vehicular en caliente –ehot- son determinados en relación directa con la velocidad media y modelo del vehículo y se obtuvieron de la Tabla 3. El factor de consumo de combustible se obtiene convenientemente de las gráfica 1 a 3.

El factor multiplicador para cada emisión CO, NO_x, VOC's y consumo de combustible se obtienen de las gráficas 4 a 7 como una función de la temperatura media anual y la longitud recorrida por viaje.

Por último, los valores para el factor de emisión corregido – e – son el resultado de la ecuación:

$$e = (ehot) (m0.75)$$

La tabla 7 muestra los valores de los factores de emisión vehicular en caliente (ehot), el factor multiplicador y el factor de emisión corregido (e) para cada modelo y categoría de vehículo.

Tabla 7. Factores de emisión, factores multiplicadores y factores de emisión corregidos para el parque automotor de la ciudad de Pasto.

MODELO VEHÍCULO	CATEGORIA VEHÍCULO	FACTOR DE EMISIÓN VEHICULAR EN CALIENTE (ehot) (g/km recorrido)				FACTOR MULTIPLICADOR (m0.75)				FACTOR DE EMISIÓN CORREGIDO (E) e = (ehot)(m0.75) (g/km recorrido)			
		CO	NOx	VOC's	Fuel cons.	CO	NOx	VOC's	Fuel Cons.	CO	NOx	VOC's	Fuel Cons.
Año ≤ 1970	Auto Público - 1.4l	32.97	1.72	2.87	66	1.56	1.08	1.37	1.15	51.43	1.85	3.93	75.9
	Auto Particular - 1.4l	32.97	1.72	2.87	68	1.56	1.08	1.37	1.15	51.43	1.85	3.93	78.2
	1.4l - Auto - 2.0l	32.97	1.98	2.87	82	1.56	1.08	1.37	1.15	51.43	2.13	3.93	94.3
	Autos - 2.0l	32.97	2.49	2.87	98	1.51	1.07	1.34	1.095	49.78	2.66	3.84	107.31
	Buses	4.69	15.29	1.31	105	1.51	1.07	1.34	1.095	7.08	16.36	1.75	114.97
	Camiones	3.51	11.21	2.03	112	1.56	1.08	1.37	1.15	5.47	12.10	2.78	128.8
	Motos	22.36	0.03	10.98	65	1.56	1.08	1.37	1.15	34.88	0.03	15.04	74.75
1970 < Año < 1979	Auto Público - 1.4l	23.60	1.72	2.28	54	1.56	1.08	1.37	1.15	36.81	1.85	3.12	62.1
	Auto Particular - 1.4l	23.60	1.72	2.28	58	1.56	1.08	1.37	1.15	36.81	1.85	3.12	66.7
	1.4l - Auto - 2.0l	23.60	1.98	2.28	71	1.56	1.08	1.37	1.15	36.81	2.13	3.12	81.65
	Autos - 2.0l	23.60	2.49	2.28	75	1.51	1.07	1.34	1.095	35.63	2.66	3.05	82.12
	Buses	4.69	15.29	1.31	80	1.51	1.07	1.34	1.095	7.08	16.36	1.75	87.6
	Camiones	3.51	11.21	2.03	85	1.56	1.08	1.37	1.15	5.47	12.10	2.78	97.75
	Motos	22.36	0.03	10.98	54	1.56	1.08	1.37	1.15	34.88	0.03	15.04	78.3
1979 ≤ Año < 1986	Auto Público - 1.4l	20.91	1.59	2.27	44	1.56	1.08	1.37	1.15	32.61	1.71	3.10	50.6
	Auto Particular - 1.4l	20.91	1.59	2.27	50	1.56	1.08	1.37	1.15	32.61	1.71	3.10	57.5
	1.4l - Auto - 2.0l	20.91	1.74	2.27	61	1.56	1.08	1.37	1.15	32.61	1.87	3.10	70.15
	Autos - 2.0l	20.91	2.71	2.27	78	1.51	1.07	1.34	1.095	31.57	2.89	3.04	85.41
	Buses	4.69	15.29	1.31	80	1.51	1.07	1.34	1.095	7.08	16.36	1.75	87.6
	Camiones	3.51	11.21	2.03	85	1.56	1.08	1.37	1.15	5.47	12.10	2.78	97.75
	Motos	22.36	0.03	10.98	46	1.56	1.08	1.37	1.15	34.88	0.03	15.04	66.7
Año ≥ 1986	Auto Público - 1.4l	11.81	1.61	1.81	44	1.56	1.08	1.37	1.15	18.42	1.73	2.47	50.6
	Auto Particular - 1.4l	11.81	1.61	1.81	45	1.56	1.08	1.37	1.15	18.42	1.73	2.47	51.75
	1.4l - Auto - 2.0l	11.81	1.94	1.81	56	1.56	1.08	1.37	1.15	18.42	2.09	2.47	64.4
	Autos - 2.0l	11.81	2.25	1.81	65	1.51	1.07	1.34	1.095	17.83	2.40	2.42	71.17
	Buses	4.69	15.29	1.31	70	1.51	1.07	1.34	1.095	7.08	16.36	1.75	76.65
	Camiones	3.51	11.21	2.03	75	1.56	1.08	1.37	1.15	5.47	12.10	2.78	86.25
	Motos	22.36	0.03	10.98	43	1.56	1.08	1.37	1.15	34.88	0.03	15.04	62.35

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 RESULTADOS

7.1.1 Inventario de emisiones. El cuadro 1 muestra los estimativos de las emisiones de CO, NOx, VOC's y los factores de consumo de combustible del parque automotor de San Juan de Pasto. En este cuadro se indican las emisiones totales diarias y anuales por contaminante y los aportes de las diferentes categorías vehiculares de los vehículos modelo: Año ? 1970.

El cuadro 2 muestra los estimativos de las emisiones de CO, NOx, VOC's y los factores de consumo de combustible del parque automotor de San Juan de Pasto. En este cuadro se indican las emisiones totales diarias y anual por contaminante y los aportes de las diferentes categorías vehiculares de los vehículos modelo: 1970 < Año <1979.

El cuadro 3 muestra los estimativos de las emisiones de CO, NOx, VOC's y los factores de consumo de combustible del parque automotor de San Juan de Pasto. En este cuadro se indican las emisiones totales diarias y anual por contaminante y los aportes de las diferentes categorías vehiculares de los vehículos modelo: 1979 ? Año <1986.

El cuadro 4 muestra los estimativos de las emisiones de CO, NOx, VOC's y los factores de consumo de combustible del parque automotor de San Juan de Pasto. En este cuadro se indican las emisiones totales diarias y anuales por contaminante y los aportes de las diferentes categorías vehiculares de los vehículos modelo: ? 1986.

Cuadro 1. Estimados de las emisiones de CO, NOx, VOC's y factor de consumo de combustible del parque automotor de San Juan de Pasto para autos modelos ? 1970.

MODELO VEHICULO	CATEGORIA VEHICULO	TOTALES VEHICULOS	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (Ton/Día)	TOTALES EMISIONES DIARIAS $e_x = (R_{Diario})(e)(n^{\circ}.vehículos)$ (Ton/Día)			? TOTAL EMISIONES DIA (Ton/Día)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (Ton/Año)	TOTALES EMISIONES AÑO $e_x = (R_{Anual})(e)(n^{\circ}.vehículos)$ (Ton/Año)			? TOTAL EMISIONES AÑO (Ton/Año)
				CO	NOx	VOC's			CO	NOx	VOC's	
AÑO ? 1970	Auto Público ? 1.41	37	0,153	0,103	0,003	0,007	0,113	55,845	37,595	1,095	2,555	41,245
	Auto Particular? 1.41	70	0,093	0,061	0,002	0,004	0,067	33,945	22,265	0,730	1,460	24,455
	1.41? Auto ? 2.01	107	0,205	0,112	0,004	0,008	0,124	74,825	40,880	1,460	2,920	45,260
	Autos? 2.01	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Buses	53	0,272	0,016	0,038	0,004	0,058	99,280	5,840	13,87	1,460	21,170
	Camiones	104	0,120	0,005	0,011	0,002	0,018	43,800	1,825	0	0,730	6,570
Motos	0	-	-	-	-	-	-	-	-	4,015	-	-
TOTALES		371	0,843	0,297	0,058	0,025	0,380	307,695	108,405	21,170	9,125	138,700

Cuadro 2. Estimados de las emisiones de CO, NOx, VOC's y factor de consumo de combustible del parque automotor de San Juan de Pasto para autos modelos: 1970 ? Año < 1979.

MODELO VEHICULO	CATEGORIA VEHICULO	TOTALES VEHICULOS	Consumo de Combustible (Ton/Día)	TOTALES EMISIONES DIARIAS e = (D _{diario})(e)(N°.Vehículos) (Ton/Día)			? TOTAL EMISIONES DIA (Ton/Día)	Consumo de Combustible (Ton/Año)	TOTALES EMISIONES AÑO e = (R _{Annual})(e)(N°.Vehículos) (Ton/Año)			? TOTAL EMISIONES AÑO (Ton/Año)
				CO	NOx	VOC's			CO	NOx	VOC's	
1970 ? Año ? 1979	Auto Público ? 1.41	218	0,739	0,438	0,022	0,037	0,497	269,735	159,87	8,030	13,50	181,405
	Auto Particular? 1.41	416	0,471	0,260	0,013	0,022	0,295	171,915	0	4,745	5	107,675
	1.41?Auto ?2.01	387	0,644	0,290	0,016	0,024	0,330	235,060	94,900	5,840	8,030	120,450
	Autos ?2.01	2	0,007	0,003	0,0002	0,0002	0,003	2,555	105,85	0,073	8,760	1,095
	Buses	101	0,396	0,032	0,074	0,007	0,113	144,540	0	2	0,073	41,245
	Camiones	138	0,121	0,006	0,015	0,003	0,024	44,165	1,095	27,01	2,555	8,760
	Motos	30	0,062	0,027	0,00002	0,012	0,039	22,630	11,680	0	1,095	14,235
								2,190	5,475	4,380		
								9,855	0,007			
TOTALES		1292	2,440	1,056	0,14022	0,1052	1,301	890,600	385,440	51,180	38,398	474,865

Cuadro 3. Estimados de las emisiones de CO, NOx, VOC's y factor de consumo de combustible del parque automotor de San Juan de Pasto para autos modelos: 1979 ? Año < 1986.

MODELO VEHICULO	CATEGORIA VEHICULO	TOTALES VEHICULOS	Consumo de Combustible (Ton/Día)	TOTALES EMISIONES DIARIAS e = (R _{Diario})(e)(Nº.Vehículos) (Ton/Día)			? TOTAL EMISIONES DIA (Ton/Día)	Consumo de Combustible (Ton/Año)	TOTALES EMISIONES AÑO e = (R _{Anual})(e)(Nº.Vehículos) (Ton/Año)			? TOTAL EMISIONES AÑO (Ton/Año)
				CO	NOx	VOC's			CO	NOx	VOC's	
1979 ? Año ? 1986	Auto Público ? 1.41	364	1,005	0,648	0,033	0,027	0,708	366,825	236,52	12,04	9,855	258,420
	Auto Particular? 1.41	696	0,680	0,385	0,020	0,036	0,441	248,200	0	5	13,14	160,965
	1.41?Auto ?2.01	915	1,309	0,608	0,034	0,057	0,699	477,785	140,52	7,300	0	255,135
	Autos ?2.01	1	0,003	0,001	0,0001	0,0001	0,001	1,095	5	12,41	20,80	0,365
	Buses	227	0,890	0,072	0,166	0,017	0,255	324,850	221,92	0	5	93,075
	Camiones	173	0,152	0,008	0,018	0,004	0,030	55,480	0	0,036	0,036	10,950
	Motos	269	0,477	0,249	0,0002	0,107	0,356	174,105	0,365	60,59	6,205	129,940
								26,280	0	1,460		
								2,920	6,570	39,05		
								90,885	0,073	5		
TOTALES		2645	4,516	1,971	0,2713	0,2481	2,490	1648,340	719,415	99,024	90,556	908,850

Cuadro 4. Estimados de las emisiones de CO, NOx, VOC's y factor de consumo de combustible del parque automotor de San Juan de Pasto para autos modelos: ? 1986

MODELO VEHICULO	CATEGORIA VEHICULO	TOTALES VEHICULOS	Consumo de Combustible (Ton/Día)	TOTALES EMISIONES DIARIAS $e = (R_{\text{Diario}})(e)(N^{\circ} \text{ Vehículos})$ (Ton/Día)			? TOTAL EMISIONES DIA (Ton/Día)	Consumo de Combustible (Ton/Año)	TOTALES EMISIONES AÑO $e = (R_{\text{Anual}})(e)(N^{\circ} \text{ Vehículos})$ (Ton/Año)			? TOTAL EMISIONES AÑO (Ton/Año)
				CO	NOx	VOC's			CO	NOx	VOC's	
Año ? 1986	Auto Público ? 1.41	3376	9,327	3,395	0,318	0,455	4,168	3404,355	1239,175	116,070	166,075	1521,320
	Auto Particular? 1.41	6495	5,713	2,033	0,191	0,272	2,496	2085,245	742,045	69,715	99,280	911,040
	1.41?Auto ?2.01	4862	6,387	1,826	0,207	0,244	2,277	2331,255	666,490	75,555	89,060	831,105
	Autos ?2.01	286	0,895	0,224	0,030	0,030	0,284	326,675	81,760	10,950	10,950	103,660
	Buses	630	2,163	0,199	0,461	0,049	0,709	789,495	72,635	168,265	17,885	258,785
	Camiones	1371	1,064	0,067	0,149	0,034	0,250	388,360	24,455	54,385	12,410	91,250
	Motos	17726	29,398	16,446	0,014	7,091	23,551	10730,270	6002,790	5,110	2588,215	8596,115
TOTALES		34746	54,947	24,190	1,370	8,175	33,735	20055,655	8829,350	500,050	2983,875	12313,275

El cuadro 5 muestra los estimativos de las emisiones de CO, NOx, VOC's agrupados y los factores de consumo de combustible del parque automotor de San Juan de Pasto. En este cuadro se indican las emisiones totales diarias y anuales sumadas y los aportes de los diferentes modelos vehiculares, así como el porcentaje de aporte de emisiones para cada modelo.

El cuadro 6 muestra los estimativos de las emisiones de CO, NOx, VOC's agrupados y los factores de consumo de combustible del parque automotor de San Juan de Pasto. En este cuadro se indican las emisiones totales diarias y anuales sumadas y los aportes de las diferentes categorías vehiculares, así como el porcentaje de aporte de emisiones para cada categoría.

El cuadro 7 muestra los estimativos de las emisiones de CO, NOx, VOC's y el factor de consumo de combustible del total del parque automotor de San Juan de Pasto. En este cuadro se indican las emisiones totales diarias y anuales por contaminante, y los aportes con su correspondiente valor porcentual.

En la figura 8 y 9 se presenta respectivamente la emisión total diaria y anual de los contaminantes estudiados y el correspondiente factor de consumo de combustible distribuido según modelo vehicular. Para esta situación, se observa que el monóxido de carbono es el contaminante que más emite la flota vehicular en la ciudad de Pasto, representando más del doble de las cantidades obtenidas para los otros poluentes. Los resultados mostraron, adicionalmente, la relativa baja emisión de NOx y VOC's.

La figura 10, presenta el total de emisiones agrupadas (CO+NOx+VOC's) diarias y anual y factor de consumo de combustible distribuida según el modelo del vehículo. Para esta situación, se observa que los vehículos de modelos mayores al año 1986 de la flota vehicular de San Juan de Pasto son los que mayor cantidad de emisiones contaminantes aportan al medio, representando el 89% del total de emisiones.

Cuadro 5. Estimados de las emisiones totales agrupadas por modelo vehicular del parque automotor de San Juan de Pasto.

MODELO VEHICULO	TOTAL MODELOS	Consumo de Combustible (Ton/Día)	EMISIONES DIA (CO+NOx+VOC´s) (Ton)	Consumo de Combustible (Ton/Año)	EMISIONES AÑO (CO+NOx+VOC´s) (Ton)	APORTE DE EMISIONES %
Año ? 1970	371	0,843	0,380	307,695	138,700	1,00
1970? Año? 1979	1292	2,440	1,301	890,600	474,865	3,43
1979? Año? 1986	2645	4,516	2,490	1648,340	908,850	6,57
Año ? 1986	34746	54,947	33,735	20055,655	12313,275	89,00
TOTALES	39054	62,746	37,906	22902,290	13835,690	100,00

Cuadro 6. Estimados de las emisiones totales agrupadas por categoría vehicular del parque automotor de San Juan de Pasto.

CATEGORIA VEHICULO	TOTAL VEHICULOS	Consumo de Combustible (Ton/Día)	EMISIONES DIA (CO+NOx+VOC´s) (Ton)	Consumo de Combustible (Ton/Año)	EMISIONES AÑO (CO+NOx+VOC´s) (Ton)	APORTE DE EMISIONES %
Auto Público ? 1.41 (Taxi)	3995	11,224	5,486	4096,760	2002,390	14,5
Auto Particular? 1.41	7677	6,957	3,299	2539,305	1204,135	8,7
1.41? Auto? 2.01	6271	8,545	3,430	3118,925	1251,950	9,0
Autos? 2.01	289	0,905	0,288	330,325	105,120	0,8
Buses	1011	3,721	1,135	1358,165	414,275	3,0
Camiones	1786	1,457	0,322	531,805	117,530	0,8
Motos	18025	29,937	23,946	10927,005	8740,290	63,2
TOTALES	39054	62,746	37,906	22902,290	13835,690	100,0

Cuadro 7. Estimados de las emisiones totales del parque automotor de San Juan de Pasto.

TOTAL PARQUE AUTOMOTOR	3 9 0 5 4	Consumo de Combustible (Ton/Día)	TOTAL EMISIONES DIARIAS e = (R_{Día})(e)(Nº.Vehículos) (Ton)			Consumo de Combustible (Ton/Año)	TOTAL EMISIONES AÑO e = (R_{Annual})(e)(Nº.Vehículos) (Ton)		
			CO	NOx	VOC's		CO	NOx	VOC'S
		62,746	27,514	1,839	8,553	22902,290	10042,610	671,235	3121,845
	72%	5%	23%		72%	5%	23%		
	3 7, 9 0 6				1 3 8 3 5, 6 9 0				

Figura 8. Emisión total diaria de CO, NOx, VOC y factor de consumo de combustible distribuida según modelo vehicular

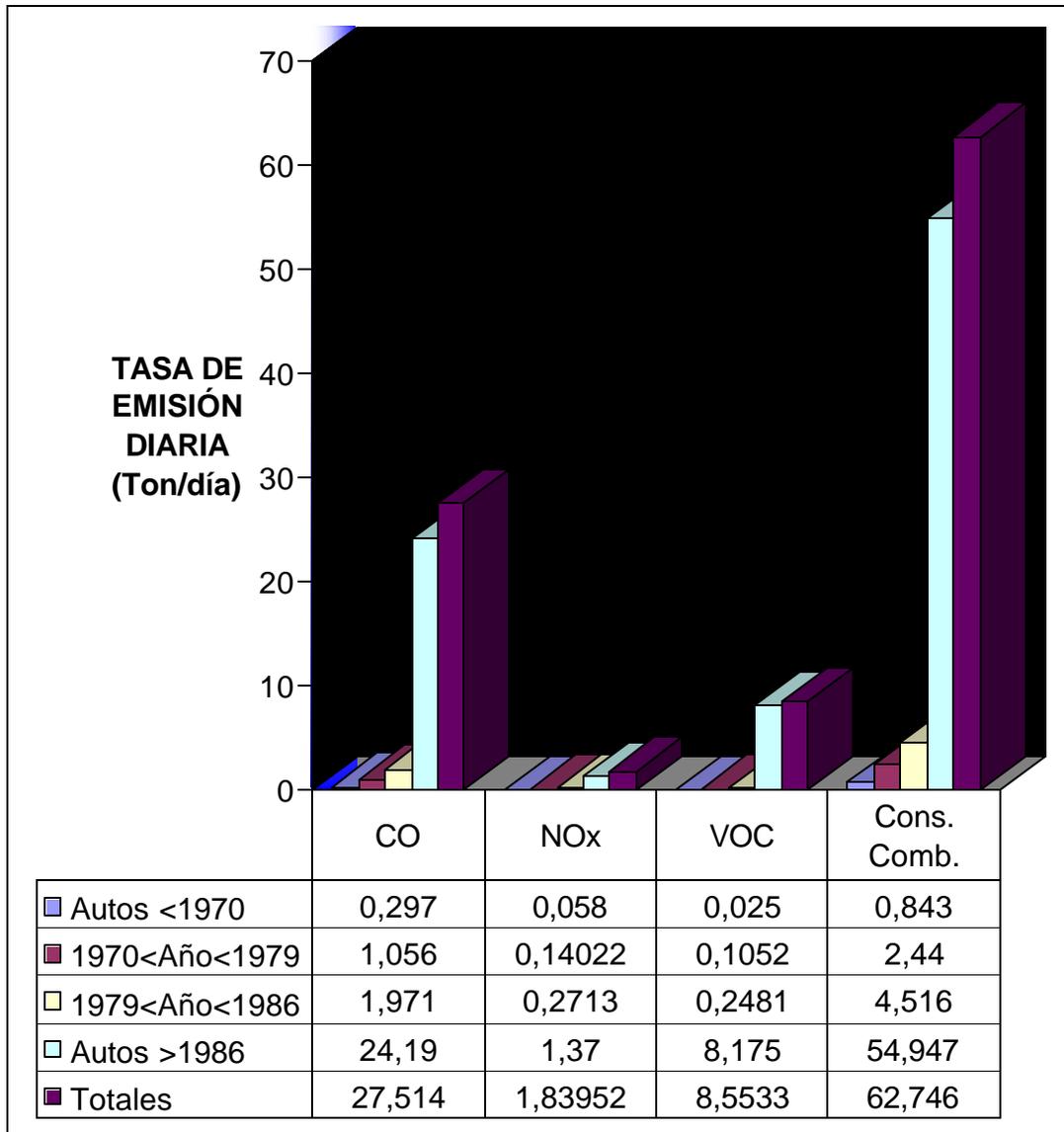


Figura 9. Emisión total anual de CO, NOx, VOC y factor de consumo de combustible distribuida según modelo vehicular.

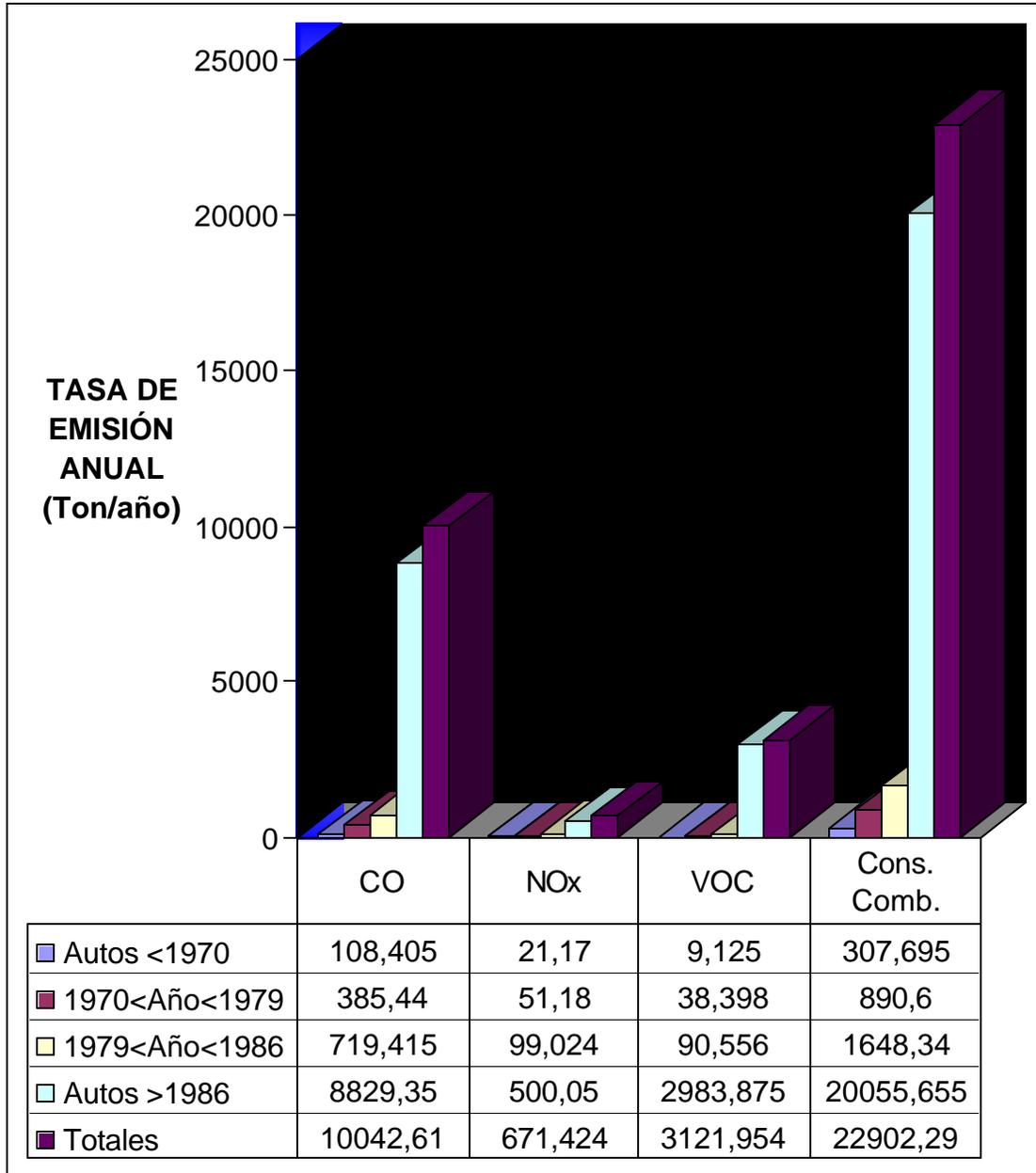
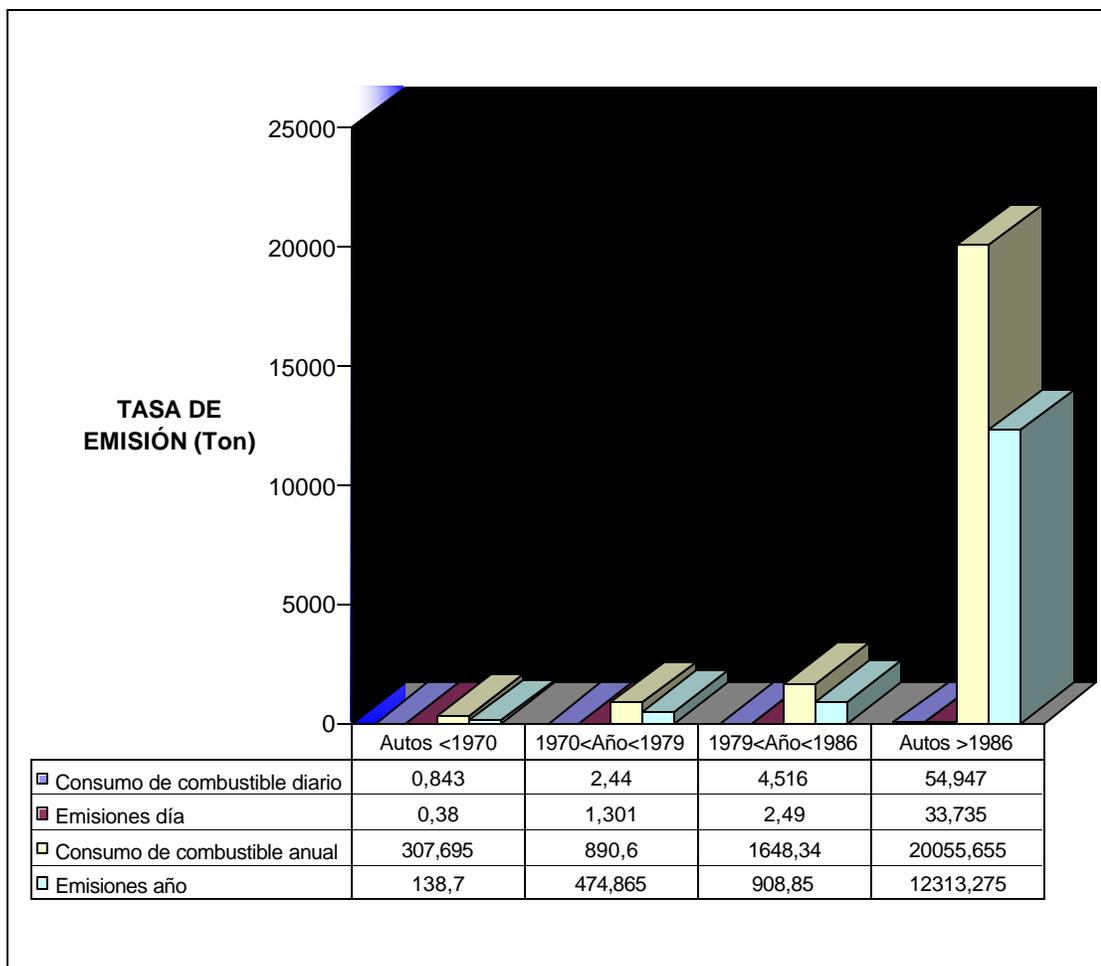
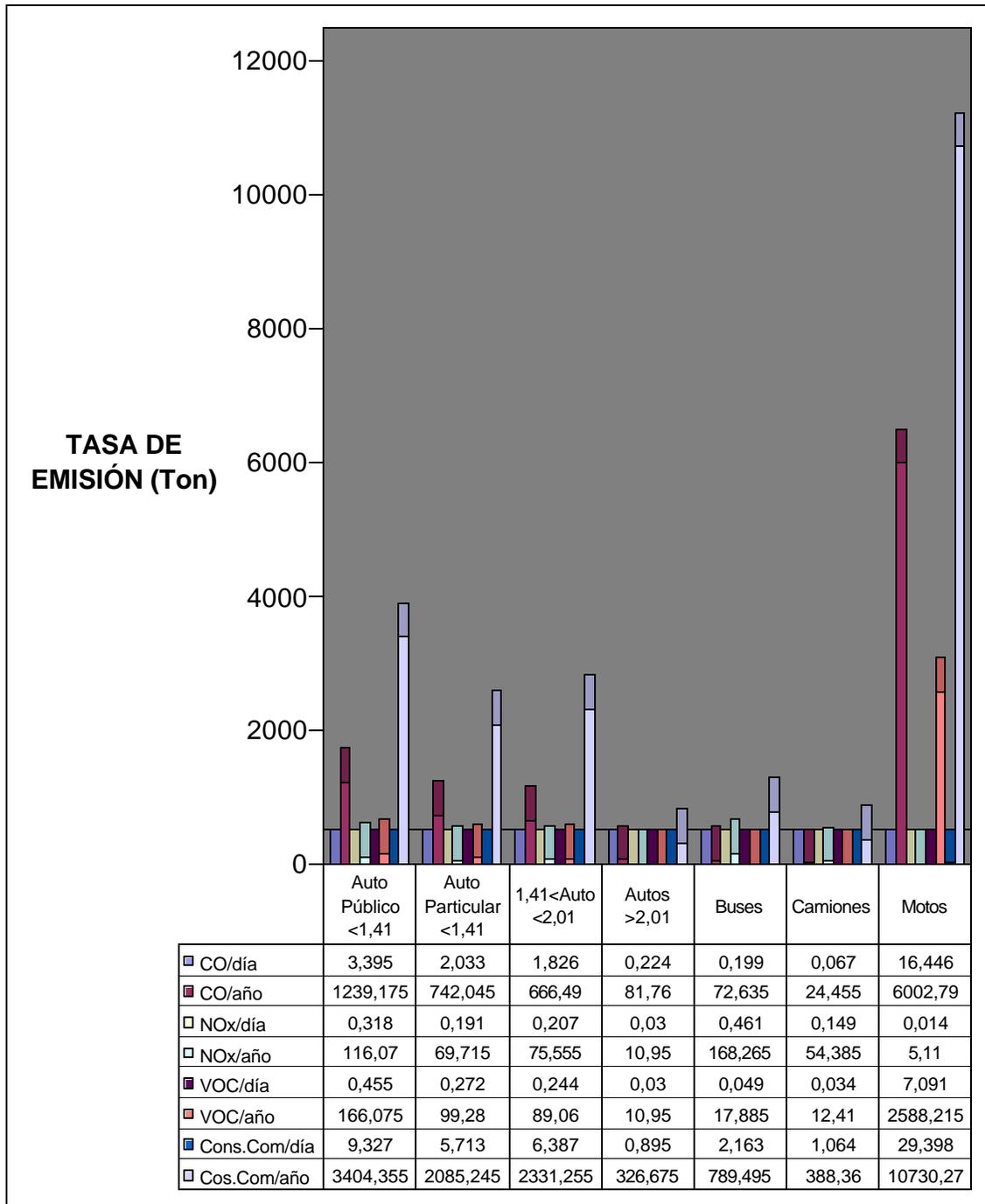


Figura 10. Emisiones totales (CO+NOx+VOC) diaria y anual y factor de consumo de combustible distribuida según el modelo del vehículo.



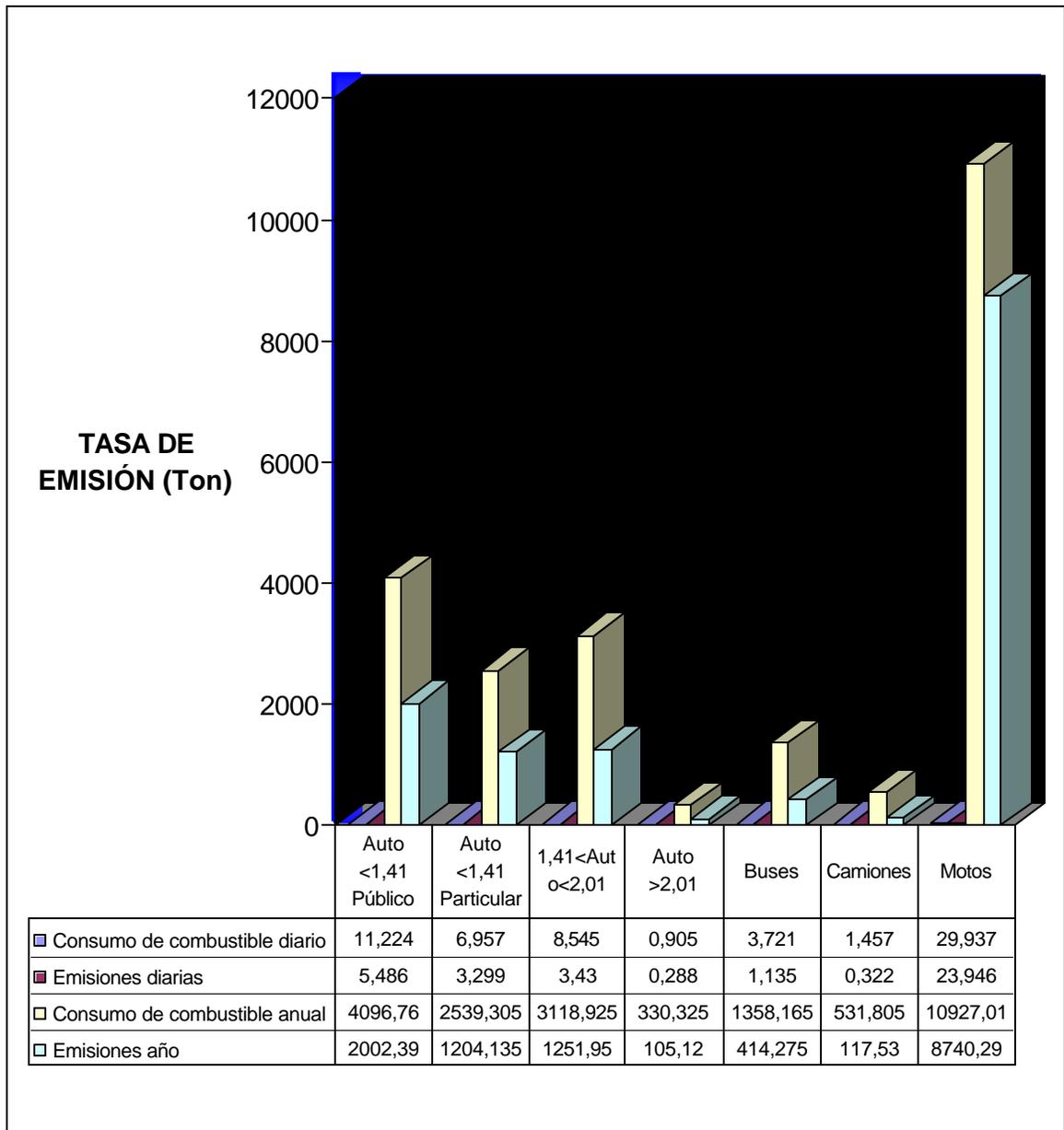
La figura 11 presenta la emisión total diaria y anual de CO, NOx, VOC y factor de consumo de combustible distribuidas según categoría vehicular. Para esta situación, se observa que el monóxido de carbono es el contaminante que más emite la flota vehicular en la ciudad de Pasto, para todas las categorías representando más del doble de las cantidades obtenidas para los otros poluentes. Los resultados mostraron, adicionalmente, la relativa baja emisión de NOx y VOC's.

Figura 11. Emisión total diaria y anual de CO, NOx, VOC y factor de consumo de combustible distribuidas según categoría vehicular.



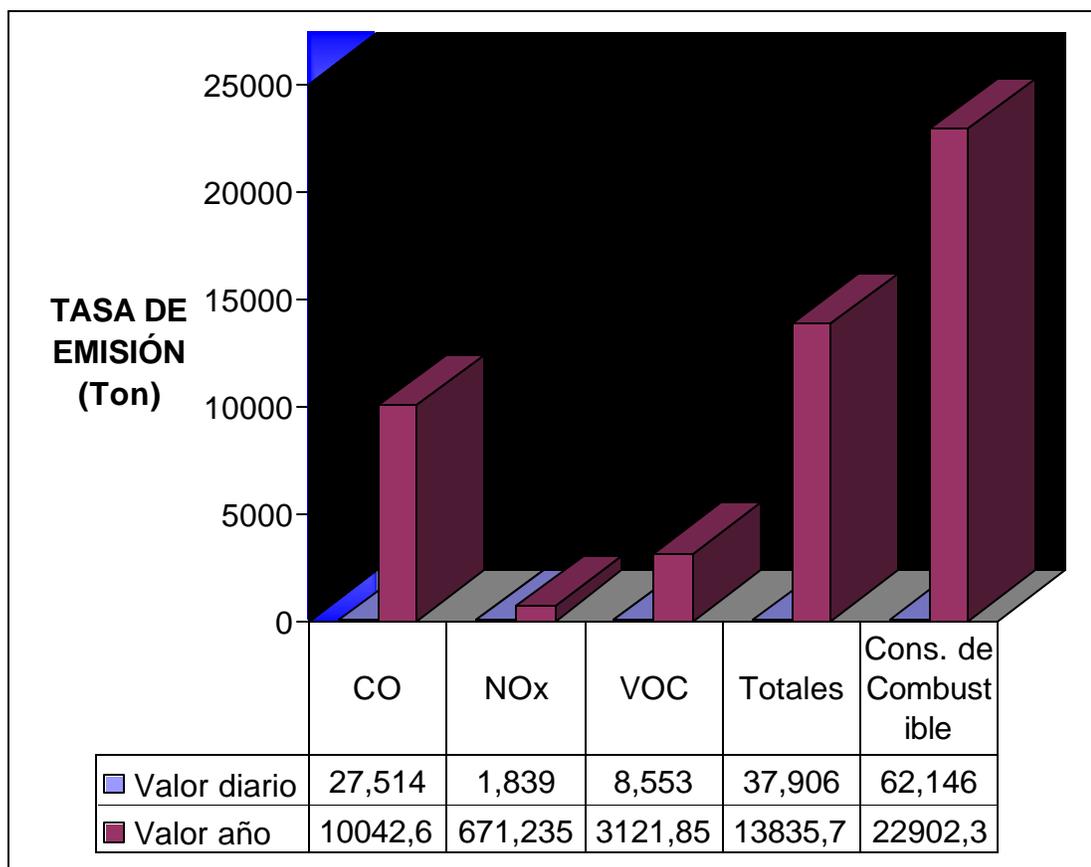
En la figura 12 se presentan las emisiones totales (CO+NOx+VOC) diaria y anual y factor de consumo de combustible distribuida según la categoría vehicular. Para esta situación, se observa que son las motocicletas las que mayor cantidad de emisiones contaminantes aportan al medio, representando el 63,2% del total de emisiones.

Figura 12. Emisiones totales (CO+NOx+VOC) diaria y anual y factor de consumo de combustible distribuida según la categoría vehicular.



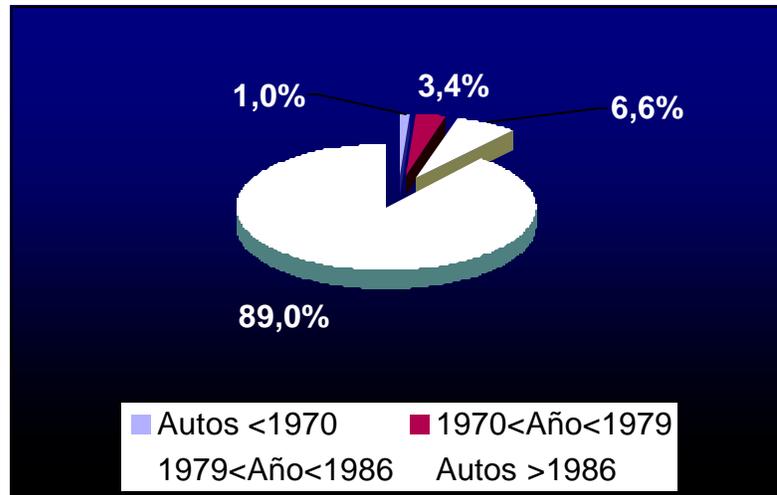
La figura 13 presenta las emisiones totales diarias y anuales de CO, NOx, VOC y factor de consumo de combustible distribuidas sobre la totalidad del parque automotor de San Juan de Pasto. Para esta situación, se observa que el monóxido de carbono es el contaminante que más emite la flota vehicular en la ciudad de Pasto, representando más del doble de las cantidades obtenidas para los otros poluentes. Los resultados mostraron, adicionalmente, la relativa baja emisión de NOx y VOC's.

Figura 13. Emisiones totales diarias y anuales de CO, NOx, VOC y factor de consumo de combustible distribuidas sobre la totalidad del parque automotor de San Juan de Pasto.



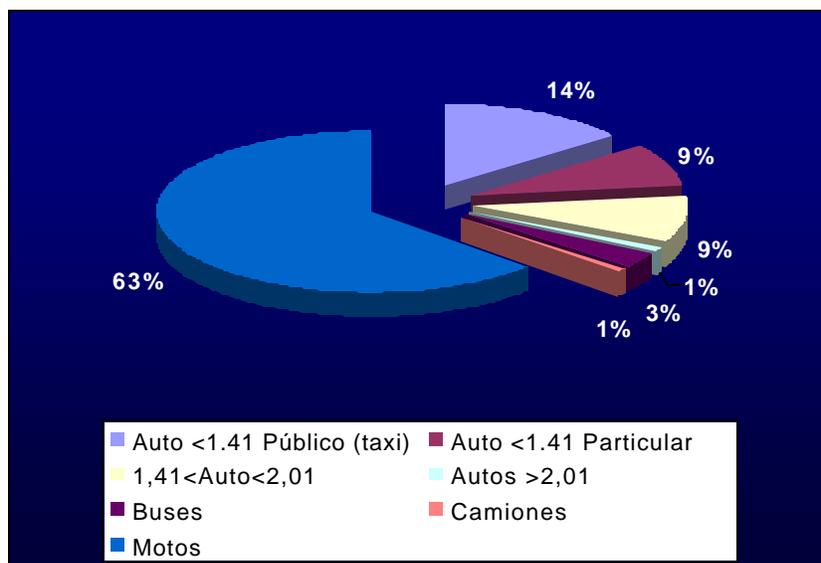
En la figura 14 se presenta la distribución porcentual del aporte de emisiones (CO+NOx+VOC) del parque automotor de San Juan de Pasto según modelo del vehículo. Para esta situación, se observa que los vehículos de modelos mayores al año 1986 de la flota vehicular de San Juan de Pasto son los que mayor cantidad de emisiones contaminantes aportan al medio, representando el 89% del total de emisiones.

Figura 14. Distribución porcentual del aporte de emisiones (CO+NOx+VOC) del parque automotor de San Juan de Pasto según modelo del vehículo.



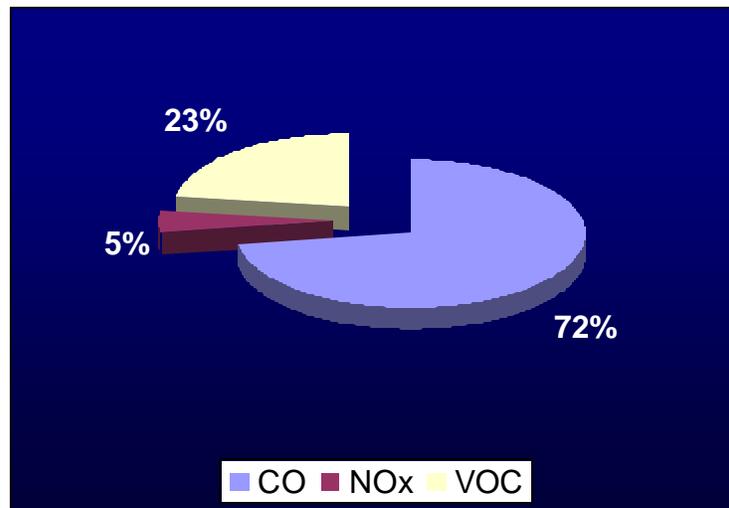
La figura 15 presenta la distribución porcentual de emisiones (CO+NOx+VOC) aportadas por el parque automotor de San Juan de Pasto según categoría vehicular. Para esta situación, se observa que son las motocicletas las que mayor cantidad de emisiones contaminantes aportan al medio, representando el 63,2% del total de emisiones.

Figura 15. Distribución porcentual de emisiones (CO+NOx+VOC) aportadas por el parque automotor de San Juan de Pasto según categoría vehicular.



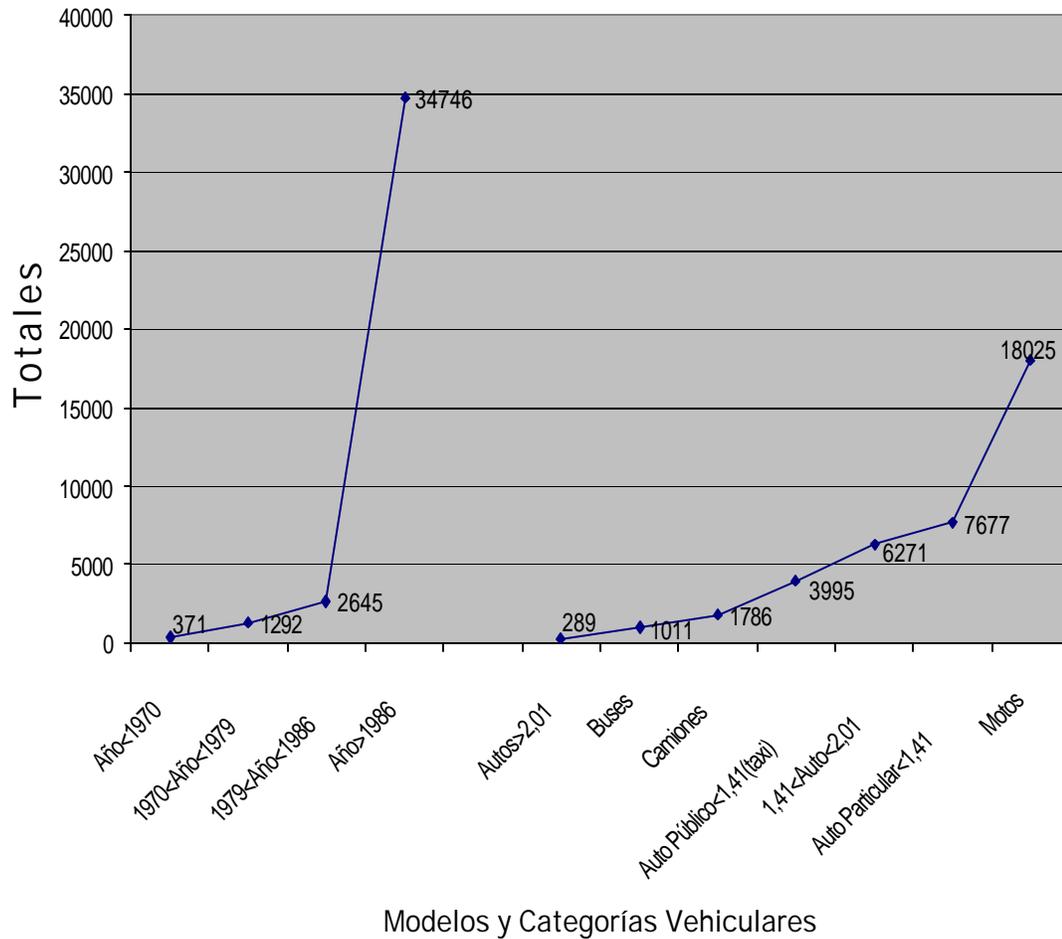
En la figura 16 se presenta la distribución porcentual de emisiones totales de CO, NOx, VOC, aportadas por el parque automotor de San Juan de Pasto. Para esta situación, se observa que el monóxido de carbono es el contaminante que más emite la flota vehicular en la ciudad de Pasto, representando el 72%. Los resultados mostraron, adicionalmente, la relativa baja emisión de NOx y VOC's.

Figura 16. Distribución porcentual de emisiones totales de CO, NOx, VOC, aportadas por el parque automotor de San Juan de Pasto.



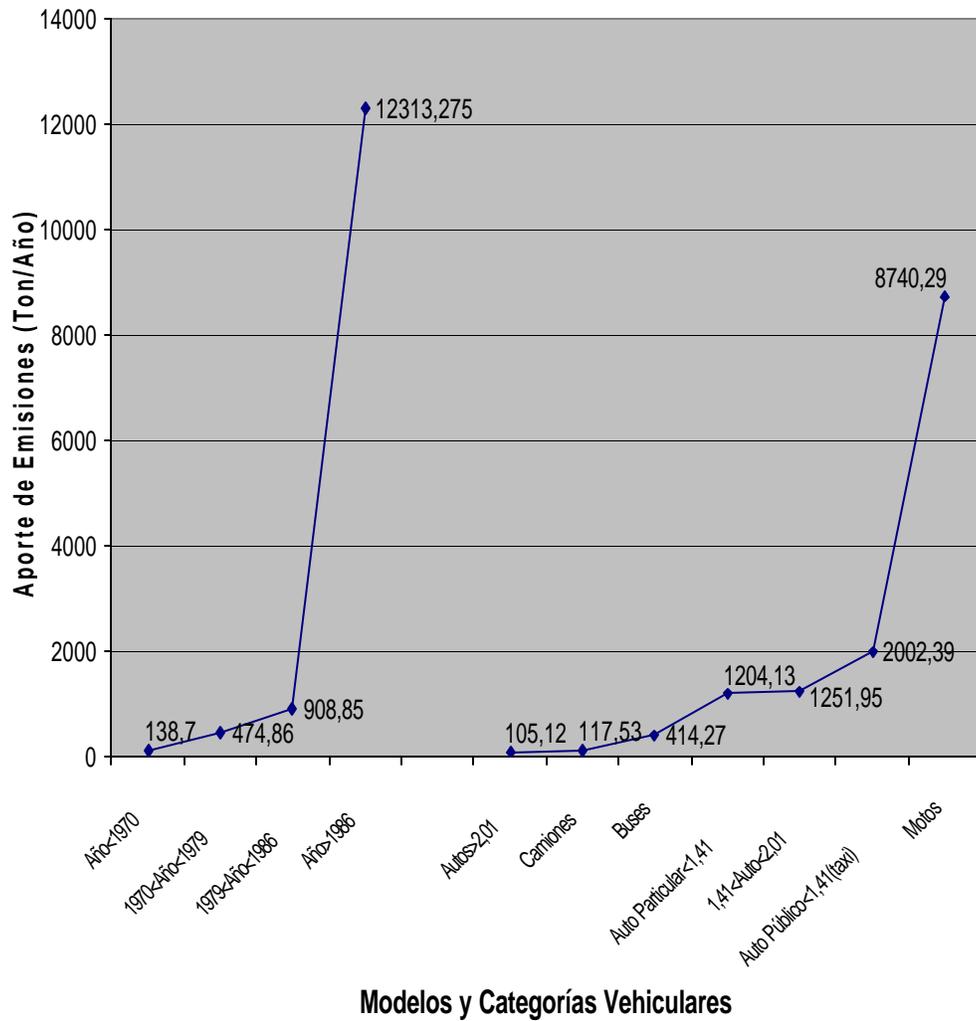
El análisis de resultados permite observar que para todos los casos tanto de categoría como de modelos vehiculares es posible determinar que los valores de los parámetros medidos (CO,NOx,VOC), presentan una tendencia a aumentar, esto es explicable por cuanto la tendencia en cuanto al número de vehículos del parque automotor de la ciudad también tiende al aumento. Figuras 17 y 18.

Figura 17. Tendencia de los valores en cuanto al número total de vehículos según Modelo y Categoría Vehicular.



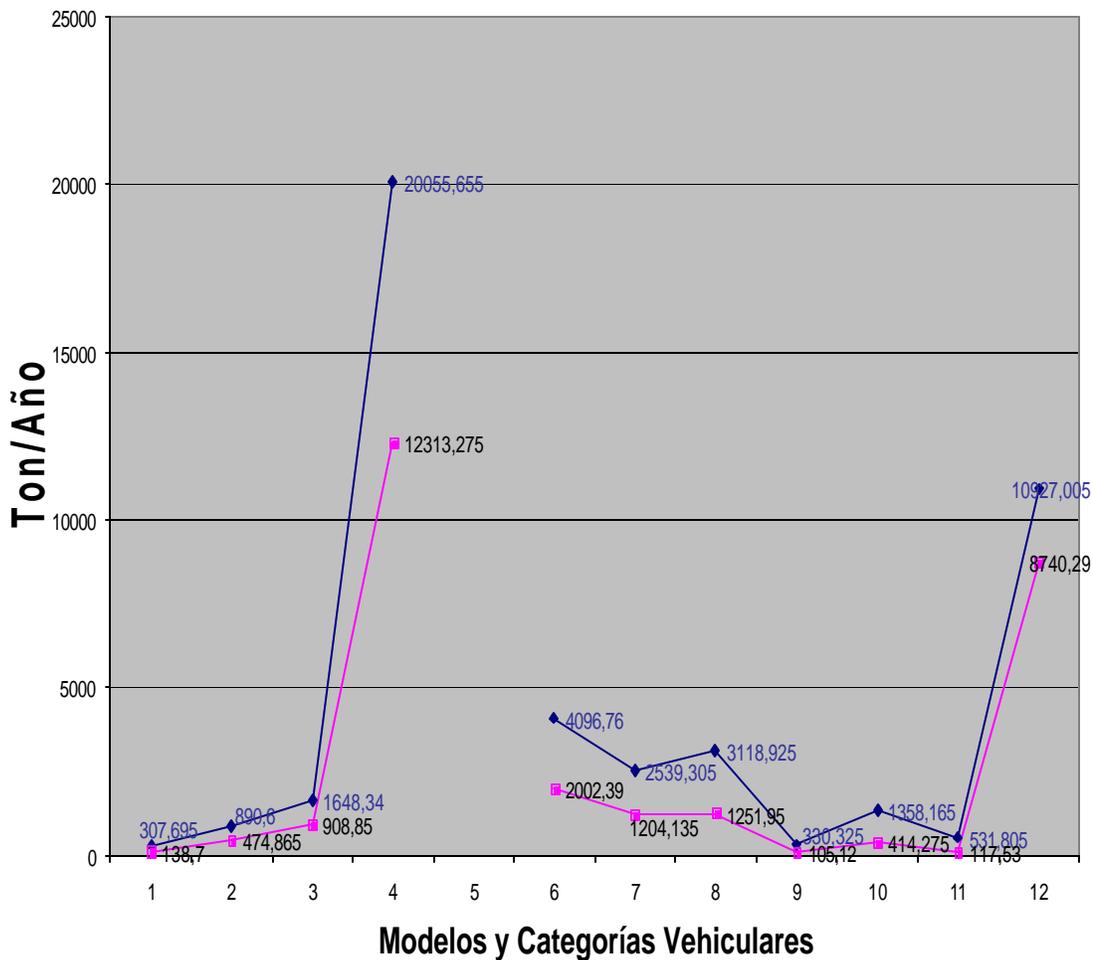
En la figura 18, además se puede observar el orden en cuanto al aporte de emisiones que se da según modelo y categoría vehicular, siendo los autos modelo > 1986 y las motos en cuanto a categoría las que más aporte de emisiones presentan.

Figura 18. Tendencia de los valores en cuanto al aporte de emisiones (CO+NOx+VOC), según Modelos y Categorías Vehiculares.



Existe una relación directa entre consumo de combustible y emisiones producidas, de tal manera que a mayor consumo de combustible mayor tasa de emisiones, esto se aplica tanto para modelo como para categorías vehiculares. -Figura 19-.

Figura 19. Comportamiento entre las variables Consumo de Combustible y Emisiones Año según Modelos y Categorías Vehiculares.



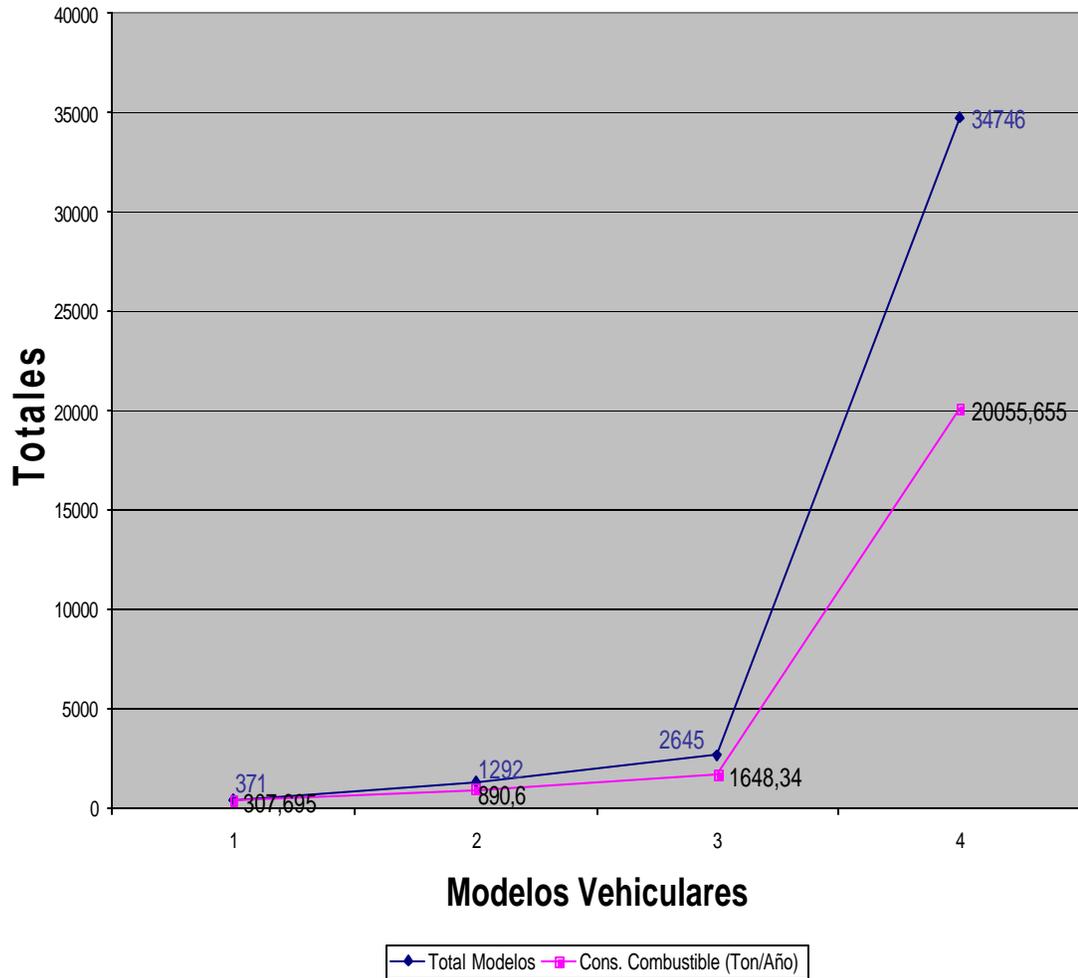
◆ Cons. Combustible (Ton/Año) ■ Emisiones Año (CO+NOx+VOC) Ton

- | | | |
|--------------------|------------------------------|-------------|
| 1. Año? 1970 | 6. Auto Público? 1.41 (Taxi) | 11 Camiones |
| 2. 1970? Año? 1979 | 7. Auto Particular ? 1.41 | 12. Motos |
| 3. 1979? Año? 1986 | 8. 1.41? Auto? 2.01 | |
| 4. ? 1986 | 9. Autos? 2.01 | |
| 5. ----- | 10. Buses | |

En cuanto al número total de vehículos y consumo de combustible se presenta una relación directa solamente para el caso de los vehículos categorizados por modelo; esto se debe principalmente a que el número de vehículos tiende a aumentar de acuerdo con el modelo, esto es, existe mayor número de vehículos entre más nuevo sea el modelo. -Figura 20-. No ocurre lo mismo en cuanto a los

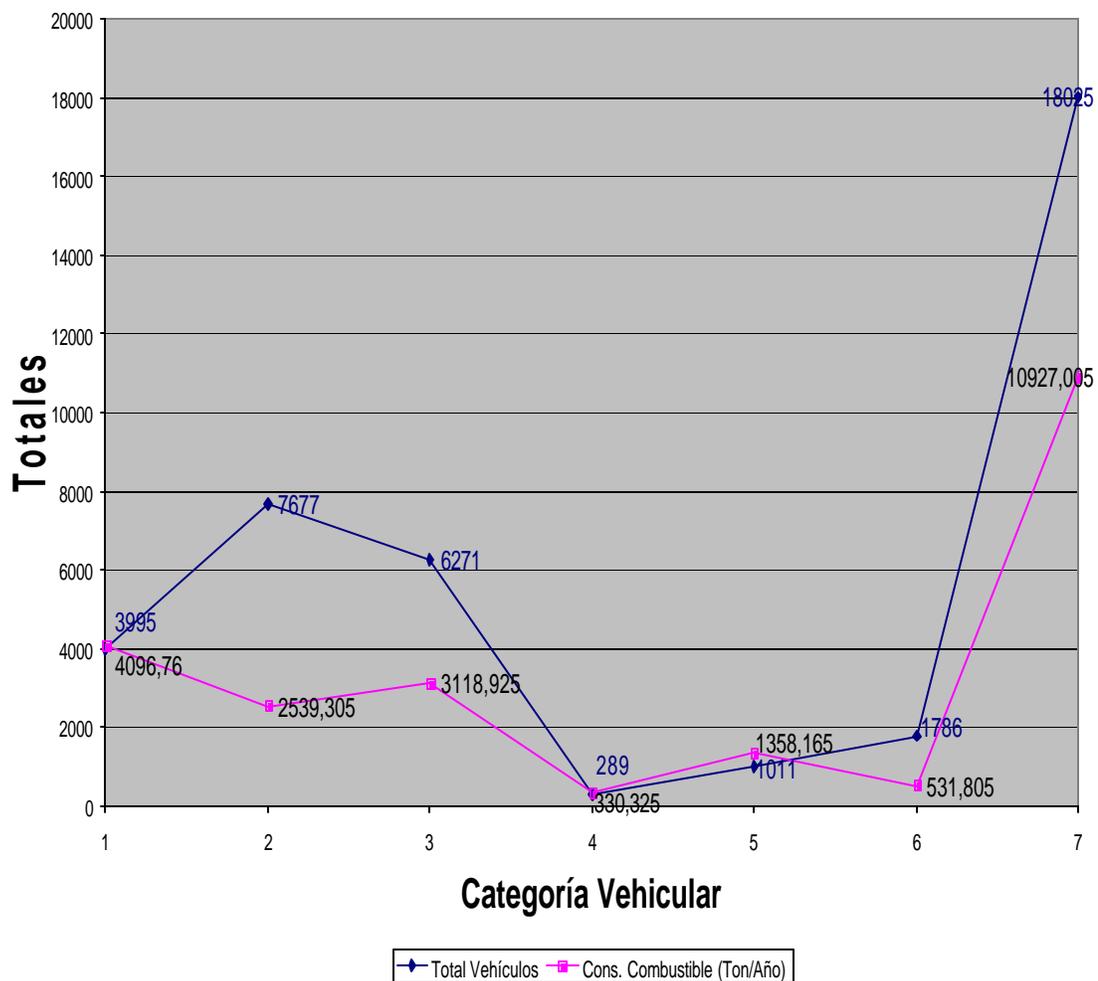
vehículos distribuidos según la categoría vehicular, esto debido a las necesidades de acuerdo con el gasto de combustible que se da según el uso. Así por ejemplo un vehículo particular requerirá menos combustible que un taxi que recorre más kilometraje. -Figura 21-.

Figura 20. Comportamiento entre las variables Consumo de Combustible y Total de vehículos según Modelo Vehicular.



1. Año? 1970
2. 1970? Año? 1979
3. 1979? Año? 1986
4. ? 1986

Figura 21. Comportamiento entre las variables Consumo de Combustible y Total de vehículos según Categoría Vehicular.

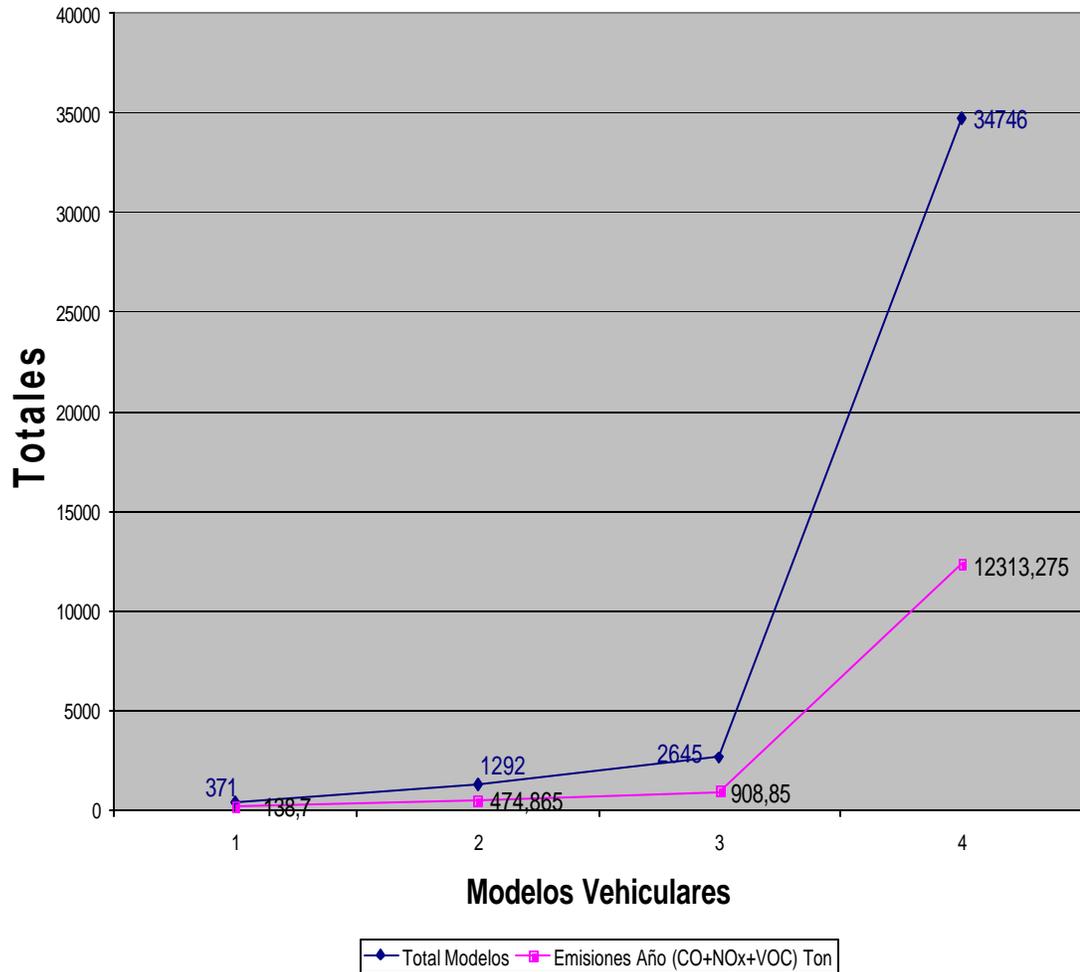


1. Auto Público? 1.41 (Taxi)
2. Auto Particular ? 1.41
3. 1.41? Auto? 2.01
4. Autos? 2.01
5. Buses
6. Camiones
7. Motos

Finalmente, haciendo relación entre número de vehículos y aporte de emisiones, - para modelo vehicular- se aplica que: “a mayor número de vehículos mayor aporte de emisiones”. -Figura 22-. Este hecho se explica porque el número de vehículos aumenta entre más nuevo sea el modelo y se presenta un incremento consecutivo de vehículos en este sentido. Para el caso de los resultados en

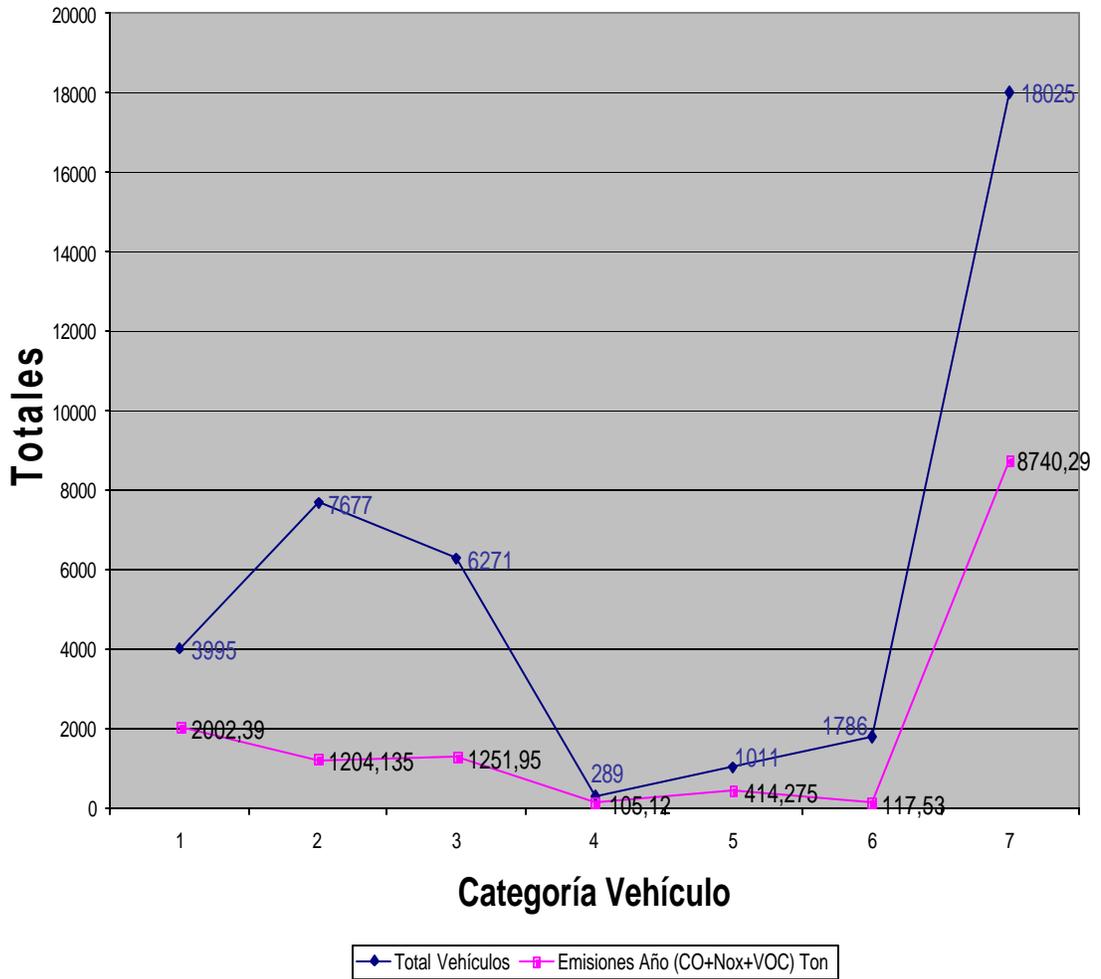
cuanto a categoría vehicular se pudo observar que la relación número de vehículos y aporte de emisiones no es directa, es decir, no se cumple que a mayor número de vehículos mayor aporte de emisiones; un ejemplo se presenta entre vehículos públicos (taxis) y vehículos particulares donde se esperaría que sean los autos particulares con un total de 7677 vehículos los que mayor aporte de emisiones hagan al ambiente, sin embargo son los autos públicos con un total de 3995 vehículos quienes presentan mayor aporte de emisiones presentándose una diferencia del 5,8% del total de aportes. Ejemplos similares ocurren entre autos particulares ?1.41 y 1.41?Auto?2.01 y entre buses y camiones. -Figura 24-. Este hecho permite concluir que el número de vehículos no constituye por sí solo un factor determinante a la hora de cuantificar o medir el aporte de emisiones por cuanto el CO, NOx y VOC son factores de emisión considerablemente dependientes de la Temperatura media diaria y los patrones de conducción (Velocidad media del vehículo, fracción del encendido en frío del motor -fcs- y la longitud media de cada viaje.

Figura 22. Comportamiento entre las variables: Número de vehículos según Modelos Vehiculares y Emisiones Año.



1. Año? 1970
2. 1970? Año? 1979
3. 1979? Año? 1986
4. ? 1986

Figura 23. Comportamiento entre las variables: Número de vehículos según Categoría Vehicular y Emisiones Año.



1. Auto Público? 1.41 (Taxi)
2. Auto Particular ? 1.41
3. 1.41? Auto? 2.01
4. Autos? 2.01
5. Buses
6. Camiones
7. Motos

7.1.2 Contaminantes y tasas de emisión. Los resultados obtenidos de este estudio, mostraron que el monóxido de carbono fue el contaminante con mayor tasa de emisión, aportando el 72% del total de emisiones que genera el parque automotor de San Juan de pasto y representando más del doble de las cantidades calculadas para el resto de los poluentes estudiados. Como referente véanse las figuras 13 y 16.

En cuanto a la exagerada producción de monóxido de carbono (CO), este hecho se explica porque este contaminante está asociado principalmente con los vehículos y está en relación directa con la circulación de los mismos. El monóxido de carbono se produce en mayores cantidades en aquellos motores donde la combustión es incompleta y ocurre cuando el carbono presente en la gasolina es parcial y no totalmente oxidado a Dióxido de Carbono (CO₂) como ocurriría en una combustión perfecta; esto es característico en el parque automotor obsoleto o cuya sincronización es deficiente.

7.1.3 Contaminantes Vs. Incidencia de enfermedades respiratorias. Se logró determinar según la Dirección Municipal de Seguridad Social en salud de Pasto, que de la totalidad de las muertes ocurridas en el municipio el 11% corresponden a enfermedades del sistema respiratorio y que dentro de las diez principales causas de morbilidad se encuentran las infecciones agudas del sistema respiratorio por causas especificadas dentro de las cuales no se registra a la contaminación atmosférica como efecto de las mismas.

Sin embargo, se resalta el hecho que: dentro del porcentaje de muertes a causa de enfermedades respiratorias solo el 1% se registran como enfermedades respiratorias por causa no especificadas y que probablemente sean consecuencia de la alta afluencia de automotores que se constituyen en fuente de contaminación ambiental.

Estudios realizados en la ciudad de México por el Instituto Nacional de Salud Pública, indican que cada año mueren por males asociados a la mala calidad del aire, más de 4000 personas y que a pesar de que aún no haya un mecanismo para establecer si una persona falleció a causa de la contaminación, se sabe por correlaciones estadísticas que cuando esta se incrementa se produce esa cantidad de decesos prematuros.

Wolfgang de Greenpeace Alemania, en su informe. *“DIESEL: UNA AMENAZA DE CÁNCER DESDE EL AIRE”*:

Indica que se ha demostrado que algunas de las partículas y gases procedentes del hollín del diesel provocan cáncer y otras son probablemente cancerígenas; además que las partículas de hollín más pequeñas de los gases de escape de diesel provocan también un aumento de las enfermedades respiratorias como la bronquitis, el

enfisema y el asma y en algunos casos se ha vinculado incluso a muertes prematuras por insuficiencia cardíaca. Se considera que el agente que produce el efecto cancerígeno es el hollín o el átomo de carbono. Cita además que: “dos tercios del riesgo de cáncer que se produce por los contaminantes en la atmósfera se atribuyen al tráfico rodado, siendo las emisiones de diesel las que suponen el mayor peligro en potencia”³⁴

Recientes estudios apuntan a la conexión existente entre las partículas de hollín de diesel y las enfermedades respiratorias alérgicas. Estudios realizados en Japón indican que los gases de escape de diesel en combinación con las alergias pueden aumentar la sensibilidad de las vías respiratorias. Además aportan pruebas de que las partículas de escape de diesel pueden agravar el asma alérgica. Investigadores médicos australianos han demostrado que las finas partículas de hollín de diesel capaces de introducirse en los canales respiratorios se pueden combinar con las alergias al polen y las plantas, se concentran en el aire contaminado y desencadenan ataques asmáticos.

Varios estudios realizados en Estados Unidos y en Europa demuestran que la mortalidad aumenta con una mayor concentración de partículas.

En base a lo anterior se estimó conveniente señalar que aunque no se correlacione directamente la contaminación ambiental con enfermedades respiratorias, es muy probable señalar que la alta presencia de contaminantes en el aire esté contribuyendo en alguna medida en el deterioro de la salud de los habitantes de la ciudad de Pasto hecho esté que se puede ver reflejado en el alto porcentaje de morbilidad por enfermedades de este tipo.

7.1.4 Planteamiento de las posibles alternativas de control de las emisiones.

Para reducir las emisiones es necesario elaborar un plan de acción con medidas de corto, mediano y largo plazo. Entre las posibles medidas se debería incluir aquellas relativas a los combustibles, vehículos e infraestructura del transporte y del medio local. Por ejemplo:

- ? Fortalecer el programa de inspección y certificación vehicular de emisiones.
- ? La conversión de vehículos de gasolina a gas natural.
- ? El retiro de unidades antiguas de transporte público.
- ? La disminución del transporte público.(En especial Taxis)

³⁴ WOLFGANG, Lohbeck. Diesel: Hechos más Destacados sobre las Emisiones. Alemania : Greenpeace, 1999. p. 61.

? La implementación del programa Pico y Placa (Reducción de los picos de concentración en las horas de mayor tráfico).

? La construcción de corredores viales (mejoramiento de la movilidad vehicular).

? La implementación de un medio de transporte alternativo (ciclorutas y/o ciclovías).

? La implementación de un medio masivo de transporte (Buses Articulados).

? El uso del transporte público masivo (buses).

? La arborización urbana.

Adicionalmente, el control de la contaminación atmosférica permite fijarse una meta importante como lo es el de alcanzar las recomendaciones de la OMS para calidad del aire en un futuro y un reto a escala regional como lo sería el de lograr un modelo de ciudad a escala humana para el peatón y no para el automóvil particular.

✍ **Mecánica de Implementación.** Las posibles alternativas que se plantean en el numeral anterior para reducir las emisiones, requieren además, un Programa de Implementación que debe incluir entre otros los siguientes aspectos:

? Capacitación con apoyo internacional y/o nacional en las metodologías de medición, uso de equipos y análisis en laboratorio.

? La obligatoriedad para que todos los vehículos incorporaran convertidor catalítico y sistemas de control de emisiones adicionales.

? La verificación obligatoria de emisiones, al menos dos veces por año, para todos los vehículos en circulación.

? El establecimiento de una edad límite para vehículos de transporte público y sus substitución progresiva por unidades que incorporen convertidor catalítico.

? Establecimiento del programa “Pico y Placa”, así como del “Día sin Carro”.

? Pico y Placa

? Dos días a la semana

? 7:00 a.m. – 9:00 a.m.

? 5:30 p.m. a 7:30 p.m.

Lunes	1234
Martes	5678
Miércoles	9012
Jueves	3456
Viernes	7890

? Día Sin Carro aplica para vehículos particulares solamente. El porcentaje de reducción de las emisiones si esta medida fuera implementada es del 8,7% en un día.

? Construcción y consolidación de una Red de Información para pruebas en fuentes móviles que permita un seguimiento y monitoreo acerca de las emisiones. Esta permite visualizar de primera mano algunas ventajas que se pueden presentar, como por ejemplo:

- Análisis de tendencias
- Índice de calidad del aire para la ciudad
- Evaluar la efectividad de estrategias y medidas de control
- Activar programas y planes de contingencia
- Valorar riesgos para la salud humana
- Evaluar el impacto sobre el ambiente
- Iniciar estudios

? Fortalecimiento del programa de recuperación, mejoramiento y ampliación de parques, infraestructura recreativa, deportivas y ecosistemas estratégicos.

? Incremento de los metros cuadrados de áreas verdes por número de habitantes.

? El establecimiento de un programa de Educación y Concientización acerca de los beneficios del uso del transporte público masivo.

7.2 DISCUSIÓN

Los resultados permitieron determinar en cuanto al total de emisiones producidas por el parque automotor tanto diarias como anual, distribuidas según el modelo, que son los vehículos modelos >1986 los que mayor tasa de emisión aportan representando un 89% del total de las emisiones y que el mayor de los contaminantes emitido es el monóxido de carbono (CO) representando más del doble de las cantidades obtenidas para los otros poluentes. Los resultados mostraron, adicionalmente, la relativa baja emisión de NOx y VOC's, lo cual se explica por los mínimos contenidos de azufre y cenizas del combustible.

El que sean los vehículos modelos >1986 los que mayor aporte de emisiones descarguen al ambiente se explica porque la mayor parte del total de la flota vehicular del parque automotor de San Juan de Pasto, el 89% está constituida por este tipo de vehículos. Véase Tabla 5.

En cuanto al aporte de emisiones según categoría vehicular son las motocicletas las que mayor aporte de emisiones descargan al ambiente con un 63,2% del total de emisiones, seguidas de los autos públicos (taxis) con un 14.5%, autos entre los 1.41 y 2.01L con el 9,0% y autos particulares representando el 8,7% . De igual manera se determinó que el mayor de los contaminantes emitidos es el CO representando más del doble de las cantidades obtenidas para los otros poluentes. Esta situación se explica porque el total de la población de motocicletas representa el 46,2% del total del parque automotor. Tabla 5. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que para las motocicletas los valores de emisión permitidos son más altos toda vez que el tamaño del motor es menor que el de un carro convencional y que los aportes de emisiones se constituyen en un factor significativo cada 1000 kilómetros de recorrido, esta estimación se hace en base a la eficiencia del motor de una motocicleta, la cual produce trazas de emisión permisibles solamente después de ese periodo de uso, EGLESTON (1989); que además se asumen los valores del factor multiplicador de los autos <1.41 como factores para motos, esta situación da como resultado que los valores de emisión estimados para los contaminantes estudiados así como el del total de las emisiones para motos sean más altos que para el resto de categorías vehiculares y que se asuma que las motos son las que más cantidad de emisiones generen en el ambiente. Se hacen necesarios entonces, factores multiplicadores específicos para motos que puedan permitir un cálculo aproximado real del total de emisiones.

Aunque resultaría obvio suponer que a mayor número de vehículos mayor aporte de emisiones, debe tenerse en cuenta que los factores de emisión son dependientes de los patrones de conducción (velocidad media, longitud de cada viaje, L, y recorrido diario y anual), de esta manera se explica también el que los autos entre los 1.41 y 2.01 produzcan más emisiones que los autos particulares y el que los taxis generen más emisiones que los autos particulares a pesar de sus

diferencias en cuanto a cantidades de vehículos. Lo mismo se aplica para las demás categorías.

En conclusión, es posible asumir el que sean los taxis, y autos <1.41 y particulares los tres principales focos de emisión de contaminantes en la ciudad.

Resulta evidente también, como una de las posibles alternativas de control de las emisiones sería el uso del transporte público masivo (Buses) por cuanto los resultados que estos arrojan los ubican en el quinto lugar en cuanto al aporte de emisiones con un 3% del total de aportes.

En cuanto a la exagerada producción de monóxido de carbono (CO), este hecho se explica porque este contaminante está asociado principalmente con los vehículos y está en relación directa con la circulación de los mismos. El monóxido de carbono se produce en mayores cantidades en aquellos motores donde la combustión es incompleta y ocurre cuando el carbono presente en la gasolina es parcial y no totalmente oxidado a Dióxido de Carbono (CO₂) como ocurriría en una combustión perfecta; esto es característico en el parque automotor obsoleto o cuya sincronización es deficiente.

Estos resultados coinciden con otros estudios realizados en otras ciudades de Colombia por ejemplo en Bogotá durante la jornada “SIN MI CARRO EN BOGOTÁ” (2001) y en Medellín en el estudio: “Cálculo de la Emisión Vehicular de Contaminantes Atmosféricos en la Ciudad de Medellín mediante Factores de Emisión CORINAIR”³⁵ realizado por el Grupo de Investigadores Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana, donde los resultados mostraron una apreciable diferencia con relación a la situación anteriormente descrita.

Igualmente a nivel internacional en el estudio Diagnóstico de las Emisiones del Parque Automotor del Área Metropolitana de Lima y Callao, Korc, afirma que: “los resultados muestran que el Monóxido de Carbono (CO), es el contaminante que más emisiones realiza con un 45,7% del total de aporte de emisiones”³⁶.

La producción de óxidos de nitrógeno (NO_x) es explicable ya que la producción de este contaminante está directamente asociada a la combustión de los vehículos. Se genera cuando los motores alcanzan altas temperaturas (en trancones o a altas velocidades). Este contaminante se genera de forma más frecuente en los vehículos viejos o que han tenido gran uso.

³⁵ TORO, Victoria. Cálculo de la Emisión Vehicular de Contaminantes Atmosféricos en la Ciudad de Medellín mediante Factores de Emisión CORINAIR. En : Revista ACODAL. Bogotá. No. 19. (2001); p. 42-49.

³⁶ KORC. Diagnóstico de las Emisiones del Parque Automotor del Área metropolitana de Lima y Callao. En : CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA E AMBIENTAL. (2º : 1999 : Lima). Ponencias del II Congreso interamericano de ingeniería sanitaria e ambiental. Lima : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1999. p. 25.

Los compuestos orgánicos volátiles (COV), son producto de la combustión incompleta que se emiten por los escapes de los vehículos.

Otros resultados indican como las motocicletas se constituyen en el medio de transporte particular más usado representando el 46,2% del total de la población del parque automotor de la ciudad de Pasto. Véase Tabla 5.

8. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en el diagnóstico de emisiones de contaminantes atmosféricos de San Juan de Pasto, mostraron que el monóxido de carbono fue el contaminante con mayor tasa de emisión, representando más del doble de las cantidades calculadas para el resto de los poluentes estudiados.
- Según modelo vehicular, se estableció que los autos modelos mayores al año 1986 son la principal fuente de emisión de contaminantes CO, NO_x, VOC.
- De acuerdo a categoría del vehículo se estima que las motocicletas son la principal fuente de emisión de contaminantes.
- Se estableció que aunque no existan datos que corroboren la relación directa causa- efecto entre contaminación atmosférica y enfermedades respiratorias, es muy probable que las altas tasas de contaminantes presentes en el aire de San Juan de Pasto estén contribuyendo en alguna medida en el deterioro de la salud pública, más específicamente en cuanto se refiere a las enfermedades respiratorias
- El presente trabajo constituye un punto de partida en el campo de la investigación ambiental atmosférica en la ciudad de San Juan de Pasto y, por lo tanto, sirve como herramienta a las autoridades ambientales, de tránsito y de planeación urbana, para la construcción de mecanismos de prevención y control de las emisiones producidas por el parque automotor.
- Las tasas de liberación de contaminantes pueden calcularse con mayor aproximación utilizando factores de emisión representativos para la región de interés. El cálculo de estos constituye un nuevo campo de investigación a futuro.

BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ, León. El parque automotor en Pasto. Pasto : Secretaría de Tránsito y Transporte Municipal, 2001. 258 p.

AMAYA, Manuel. Calidad del aire en Bogotá. Bogotá : Alcaldía Mayor de Bogotá, Oficina de Planeación, 2000. 367 p.

ATKINSON, Roger. Atmospheric Transformations of Automotive Emissions. University of California, Riverside. Washington : National Academy Press, 1988. 228 p.

CISNEROS, Elizabeth. Pasto en cifras. Dirección Municipal de Seguridad Social en Salud de Pasto : Alcaldía Municipal de Pasto, 1998. 216 p.

CUERVO, Fuentes Hernán. Metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental. Asociación de Ingenieros Sanitarios y Ambientales de Antioquia. 2 ed. Medellín : Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería, 1997. 187 p.

CHAPARRO, Luis. Emisiones al ambiente en Colombia : El Medio Ambiente en Colombia En: Revista el universo, el sistema solar y el planeta Tierra. Colombia. No. 7 (1999); 112 p.

DAMA. DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE. Informe consolidado del día sin carro en Bogotá. Bogotá : Alcaldía Mayor de Bogotá, 2003. 316 p.

ECONOMOPOULOS, Alexander P. Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution. A guide to rapid source inventory techniques and their use in formulation environmental control strategies. Part One. Geneva : World Health Organization, 1993. 315 p.

EGGLESTON, H. *et al.* Methodology and Emission Factors. Luxemburgo : CORINAIR, 1989. v. 1, 203 p.

GRAEDEL, E. Ambient Levels of Anthropogenic Emissions and Their Atmospheric Transformation Products : Emittants with Potential Global Influence. En: Air Pollution, the Automobile, and Public Health 1988 by the Health Effects Institute. Cambridge, Massachusetts. National Academy Press, Washington : AT&T Bell Laboratories, No. 22 (1988); 135 p.

KENNEDY, Donald and GRUMBLY, Thomas. The Social Context of Automotive Emissions Research. The Health Effects Institute, Cambridge, Massachusetts. Washington : National Academy Press, 1988.

KORC, Marcelo. Curso de Orientación para el Control de la Contaminación del Aire. Washington : Organización Panamericana de la Salud (OPS) – Instituto del Banco Mundial, 1999. 285 p.

_____. Diagnóstico de las Emisiones del Parque Automotor del Área metropolitana de Lima y Callao. En : CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA E AMBIENTAL. (2º : 1999 : Lima). Ponencias del II Congreso interamericano de ingeniería sanitaria e ambiental Lima : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1999. 173 p.

MONTEZUMA, Ricardo. Propuesta vial movilidad urbana. Pasto : Secretaría de planeación municipal, 2000 268 p.

PERLOFF, Harvey. The Quality of the Urban Environment. Washington : Oikustau, 1973. 342 p.

SAMSON, Perry. Atmospheric Transport and Dispersion of Air Pollutants Associated with Vehicular Emissions. University of Michigan. Transport and Dispersion: Theory and Applications. En: Air Pollution, the Automobile, and Public Health. Washington : National Academy Press. No. 25 (1988); p. 77.

SCHLESINGER, Richard. Biological Disposition of Airborne Particles: Basic Principles and Application to Vehicular emissions. Deposition of Inhaled Particles in the Respiratory Tract. New York University Medical Center. En: Air Pollution, the Automobile, and Public Health 1988 by the Health Effects Institute. Washington : National Academy Press. No. 45, (1988); p. 123

SPIEGEL, Murray R. Probabilidad y Estadística. 2 ed. Bogotá : ,Mc. Graw Hill, 1975. 556 p.

STROBBE, Maurice. Evaluación y Control de la Contaminación. México : Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), 1985. 346 p.

TEXACO. Automobile Emissions. [En línea]. [USA]. Agosto 1994. [citado Agosto 2001]. Disponible en internet : <URL : <http://www.OMS.gov.co/AutomobileEmissions:AnOverview/Polución/atmosférica/EPA400-f-92-007>>.

TOLL, I. Modelización de la Contaminación Atmosférica Fotoquímica en el Área de Barcelona. Cataluña, 1999, 385 p. Tesis Doctoral (Ph.D Ciencias del ambiente). Universidad Politécnica de Cataluña.

TORO, Victoria. Cálculo de la Emisión Vehicular de Contaminantes Atmosféricos en la Ciudad de Medellín mediante Factores de Emisión CORINAIR. En : Revista ACODAL. Bogotá. No. 19. (2001); p. 42-49.

WOLFGANG, Lohbeck. Diesel: Hechos más Destacados sobre las Emisiones. Alemania : Greenpeace, 1999. 116 p.

ANEXOS

Anexo A. Diseño de la Encuesta.

ENCUESTA DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO

FECHA:



DATOS PERSONALES:

Nombre: _____

Documento de Identidad: _____

Licencia de conducción: _____

Dirección: _____

DATOS DEL VEHÍCULO:

Tipo: Público: _____ Particular: _____ Bus: _____ Camión: _____

Motocicleta: _____ Otro: _____

Marca y Modelo del vehículo: _____

Placas: _____

Tipo de combustible utilizado: _____

Catalizador de emisiones: Si: _____ No: _____

Tipo de catalizador si lo tiene: _____

Cilindraje del motor: _____

DATOS DINÁMICOS DE CONDUCCIÓN:

Recorrido Promedio por cada viaje (Km.): _____

Número de viajes / Día: _____

Recorrido Promedio / Día (Km.): _____

Velocidad Promedio Urbana (Km./h): _____

Anexo B. Valores medios de temperatura en San Juan de Pasto

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACIÓN
NACIONAL AMBIENTAL

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)

FECHA DE PROCESO: 2003/03/03

ESTACIÓN: 5204501 OBONUCO

LATITUD: 011 N
LONGITUD: 7710 W
ELEVACION: 2710 m.s.n.m

TIPO EST: AM
ENTIDAD: 01 IDEAM
REGIONAL: 07 NARIÑO- CAUCA

DEPTO: NARIÑO
MUNICIPIO: PASTO
CORRIENTE: PASTO

FECHA- INSTALACION : 1953- MAY
FECHA SUSPENSIÓN

AÑO	EST	ENT	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR.ANUAL
1990	2	01	13,2	12,8	13,3	13,2	13,1	12,9	12,1	12,4	13,1	13,1	13,0	12,7	12,9
1991	2	01	12,8	13,3	13,5	12,8	13,6	13,7	12,8	11,7	13,3	12,9	12,8	13,3	13,0
1992	2	01	13,2	13,3	13,8	13,8	13,6	13,1	11,9	12,6	12,8	12,8	12,9	13,0	13,1
1993	2	01	12,8	12,6	12,5	13,4	13,3	13,1	12,3	12,6	12,9	13,1	12,6	13,3	12,9
1994	2	01	12,8	13,1	12,8	13,1	13,5	12,7	12,3		12,9	13,1	12,8	13,3	12,9
1995	1	01	13,3	13,4	13,1	13,6	13,3	13,3	12,8	13,0	13,1	13,1	13,0	12,7	13,1
1996	1	01	12,2	12,5	12,9	13,0	13,2	12,9	12,4	12,4	13	12,9	12,6	12,6	12,7
1997	1	01	12,0	13,0	13,0	13,3	13,6	13	12,2	12,5	13,3	13,7	13,5	13,9	13,1
1998	1	01	14,3	14,8	14,4	15,1	14,0	13,3	12,7	12,9	13,6	13,4	13,0	12,9	13,7
1999	1	01	12,6	12,3	12,8	13,0	12,6	12,7	12,1	12,2	12,3	12,4	12,7	12,3	12,5
2000	1	01	12,0	12,0	12,7	12,9	13,1	13,1	12,2	12,3	12,4	12,8		12,7	12,6
2001	1	01	12,2	12,7	12,9	13,2	13,5	12,7	12,8	12,3	12,9	13,8	13,2	15,7	13,0
2002	1	01	13,1	13,4	13,6	13,1	13,5	12,5	13,1	12,7	13,2	13,1	12,8	14,0	13,2
2003	1	01	13,7	13,9											
MEDIOS			12,9	13,1	13,2	13,3	13,4	13	12,4	12,5	13	13,1	12,9	13,1	13,0
MAXIMOS			14,3	14,8	14,4	15,1	14,0	13,7	13,1	13,0	13,6	13,9	13,5	14,0	15,1
MINIMOS			12,0	12,0	12,5	12,8	12,6	12,5	11,9	11,7	12,3	12,4	12,6	12,3	11,7

Anexo C. Totales de vehículos del parque automotor de San Juan de Pasto distribuidos por clase y modelo.

CLASE DE VEHICULO MODELO	AMBU LANCIA	AUTOMOVIL	BUS	BUSETA	CAMION	CAMIONET A	CAMPER O	DOBLETROQUE	MAQ.AGRICO LA	MAQ.INDUSTRI AL	MICROBUS	MINIBUS O	MOTOCARR S	MOTO O	MOTOTRICICL ON	TRACTOCAMI A	TRACTOMUL R	TRACTO VAN A	VOLQUET M	TOTAL	
<1950	2	18			20	12	11									1		1	17	82	
1960					2	1	4												5	12	
1961		36	1			1	4												4	46	
1962		1	5		1		3											2	3	15	
1963		2			2	3	3								1				11	11	
1964		1	1		2		3	1											8	8	
1965		1	7		2		3											1	1	15	
1966		8	13		2	3	4												1	31	
1967		23	4		3	5	3												2	40	
1968		4	4		6	2	4												3	23	
1969			4	2	5	1	11						1						2	27	
1970	1	13	11	1	6	6	16								1		1	3	2	61	
1971		19	10	5	9	9	18				1				2			1	7	81	
1972		49	5		6	5	22													87	
1973		71	5	1	10	9	17							2				1	2	118	
1974	1	100	9	1	11	17	31							1				1	4	176	
1975		137	3		9	15	23							1				3	6	197	
1976		72	22		9	13	24											3	2	145	
1977		66	17		10	21	36							9					2	161	
1978		120	23		34	32	94	1			1			17		2	1		2	327	
1979		110	18		41	26	113		1					16		4	1		6	336	
1980		206	44		26	39	93							36		5		1	11	461	
1981		136	37	1	13	28	131						3	36		3			5	393	
1982		134	40	3	12	25	182	1						39		3		1	2	442	
1983		137	24		7	12	101						3	42		2			11	339	
1984		154	17	15	4	18	50							48					2	308	
1985	1	183	27	1	7	22	68	1			1			52					3	366	
1986		195	70	1	7	26	72	1				1		31			1	1		406	
1987		295	27		9	24	46							18		1	1			421	
1988		351	44		9	31	44							30		4	3			516	
1989		330	38	1	5	36	75		1					30			1		4	521	
1990	1	253	18	1	7	50	69							79		1			1	480	
1991		238	15	1	6	47	76				1	1		78			1			464	
1992	1	445	9	3	35	116	151				1			646		4	9		2	1422	
1993		533	30	15	78	242	225	8			12	1	3	1393	1	66	13		1	2635	
1994		1056	44	27	130	328	230	2			93	4	29	2206		26	8		1	4217	
1995	3	1211	49	5	220	341	224	3			61	2	24	2743		16	8	3	76	4989	
1996	16	839	18	7	80	264	231				27		4	2337		4	6	1	50	3884	
1997	3	776	13	17	85	298	227			1	9	3	5	1990		4	10		7	3448	
1998		1179	10	23	142	454	242	2			15			3135		10	16		9	5274	
1999		412	19	9	38	206	117				8	1		1378		2			6	2199	
2000		451	12	40	17	94	54					2		600	1			1	8	1280	
2001	2	497	2	43	11	40	16				4			555					5	1175	
2002	1	715	2	17	21	36	12				10			457						1271	
2003		95			5	22	4							18						144	
TOTALES	32	11672	771	240	1164	2980	3187	20	2	1	243	16	72	18023	2	163	80	24	30	332	39054

Anexo D. Escenario físico del estudio

