



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



MCIAM
Maestría en Ciencias
en Ingeniería Ambiental
UMSNH

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE BIOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Uso del modelo Mobile6-MEXICO para evaluar escenarios de
reducción de emisiones por fuentes móviles en la ciudad de
Morelia, Michoacán**

TESIS

que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

presenta la

Licenciada en Ingeniería Civil Mónica Zavala Villagómez

Director de Tesis:

Doctor Marco Antonio Martínez Cinco

Codirector de Tesis:

Maestro en Ciencias Gabriel Martínez Herrera

Morelia, Michoacán, enero/febrero del 2012

RESUMEN

Desde que el hombre descubrió el fuego, ha perturbado significativamente al medio ambiente, ya que sus actividades económicas han modificado y cambiado las condiciones de los ecosistemas, así como también han tenido un aporte significativo de contaminantes, que son la principal fuente de la contaminación atmosférica junto con el vulcanismo [Seoánez Calvo, 2002].

Los inventarios de Emisiones son cuantificaciones del tipo y cantidad de contaminantes que se producen en una zona determinada. La ciudad de Morelia, como toda metrópoli, necesita llevar un control continuo en la producción de emisiones y así evitar daños irremediables en el ambiente. En los últimos estudios realizados a la zona, se ha establecido que los vehículos son los mayores contribuyentes en la producción de contaminantes en la ciudad por lo cual es sumamente importante realizar un Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles.

Se realizó un Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles para la Ciudad de Morelia junto con un análisis comparativo entre las emisiones estimadas para fuentes móviles para la ciudad de Morelia como se encuentra actualmente, con el uso de combustibles de ultra bajo azufre y con la implementación de un programa de verificación vehicular con el programa MOBILE6-México.

Para la realización del Inventario, se utilizó el modelo MOBILE6-Mexico, el cual es una adaptación hecha al país del modelo estadounidense de la EPA. Fue alimentado con las condiciones geográficas, de gasolina y vehículo de la ciudad. El modelo nos proporcionó factores de emisión, los cuales se transformaron a emisiones totales. Los datos necesarios para alimentar el programa fueron proporcionados por la Subdirección de Cambio Climático de la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Instituto Nacional de Ecología (INE).

La mayor contribución de las emisiones es de dióxido de carbono (89% de emisiones), el cual no es un contaminante aunque sí un gas de efecto invernadero, seguido por el monóxido y compuestos orgánicos volátiles (COV), principalmente por los vehículos ligeros (carros, camionetas y camiones ligeros). Por otro lado, los vehículos pesados individualmente emiten hasta 3 veces más contaminantes que los ligeros, así como los vehículos que utilizan diesel emiten más compuestos inorgánicos que los de gasolina. La cantidad excesiva de vehículos ligeros hace que sean los que más contribuyen, ya que por cada vehículo pesado hay 9 ligeros.

Al implementar un programa de verificación vehicular, se aprecia que se tiene una disminución significativa sólo en COV y CO (7 y 12% respectivamente), mientras que en los demás contaminantes no existe una disminución apreciable, y al utilizar los combustibles de ultra bajo azufre tenemos una disminución significativa en compuestos inorgánicos (partículas suspendidas, SO₂, NO_x) y un aumento en COV y CO, lo cual se considera es una mejor respuesta en la disminución de emisiones.

Finalmente, existen estrategias para reducir las emisiones de contaminantes por fuentes móviles que resultan más eficientes que los programas de verificación vehicular, como es el caso del uso de combustibles verdes o sacar de circulación vehículos de mucha antigüedad, pero para ello es necesario realizar un Inventario de Emisiones de la zona de estudio.

DEDICATORIA

A Dios,

A mi familia

Y a mi bebe...

Agradezco a Dios por darme la vida, quien soy lo que soy y deseo ser... a mi familia por hacer de mi lo que soy y por existir en mi vida... y a mi bebe por darme una gran razón para redescubrir el amor puro...

INDICE

TEMA	PÁGINA
- Portada	--
- Carta aceptación de impreso del trabajo final de tesis	i
- Resumen	ii
- Dedicatoria	iii
- Índice	iv
o Índice de tablas, figuras	
o Índice de nomenclaturas y abreviaturas	
- Reconocimientos/agradecimientos	xv
- Glosario	xvi
Capítulo 1.-Inventario de Emisiones en la Ciudad de Morelia	1
1.1 Introducción	
1.2 Justificación	
1.3 Preguntas de investigación	
1.4 Objetivos	
1.5 Hipótesis	
1.6 Alcances	
Capítulo 2.-Emisiones Atmosféricas de Fuentes Móviles	5
2.1 Proceso de combustión en vehículos	
2.1.1 Proceso mecánico	
2.1.2 Proceso químico	
2.2 Convertidor catalítico	
2.2.1 Operación y funcionamiento de un catalizador	
2.2.2 Daños en el convertidor catalítico	
2.3 Contaminantes debidos a la acción vehicular	
2.4 Contaminantes criterio y efectos en la salud	
2.4.1 Partículas suspendidas totales, PM10 y PM2.5	
2.4.2 Ozono	
2.4.3 Dióxido de azufre	
2.4.4 Monóxido de carbono	
2.4.5 Dióxido de nitrógeno	
2.5 Uso de modelos para predecir la reducción de contaminantes por fuentes móviles	
2.6 Programas de I/M	
2.7 Calidad del combustible	
2.8 Inventario de emisiones de fuentes móviles	
2.8.1 Generalidades	
2.8.2 Antecedentes en México y Morelia	
2.9 Impacto ambiental generado por la operación vehicular y el uso de programas de verificación vehicular	

Capítulo 3.-Marco Metodológico	34
3.1 Mobile6-Mexico	
3.1.1 Introducción de datos	
3.1.2 Sustento matemático	
3.1.3 Archivos de control	
3.1.4 Resultados	
3.2 Situación de la Ciudad de Morelia	
3.2.1 Clima	
3.2.2 Población	
3.3 Método de investigación	
3.4 Flota vehicular de la Ciudad de Morelia	
3.5 Criterios para la caracterización	
3.6 Factores de Emisión	
3.7 Escenarios	
3.8 Consistencia del Inventario de emisiones	
Capítulo 4.-Resultados	52
4.1 Caso base: Inventario de emisiones de fuentes móviles	
4.1.1 Análisis de la distribución de los automóviles en la Ciudad de Morelia	
4.1.2 Factores de Emisión	
4.1.3 Emisiones por tipo de vehículo	
4.1.4 Emisiones por modelo de año del vehículo	
4.1.5 Validación del caso base mediante un balance de combustible	
4.2 Programa de I/M	
4.2.1 Factores de Emisión	
4.2.2 Emisiones por tipo de vehículo	
4.2.3 Emisiones por modelo de año del vehículo	
4.3 Combustible de ultra bajo contenido de azufre	
4.3.1 Factores de Emisión	
4.3.2 Emisiones por tipo de vehículo	
4.3.3 Emisiones por modelo de año del vehículo	
4.4 Escenario 1 : Programa de inspección y mantenimiento	
4.4.1 Efectividad del Programa de I/M para disminuir las emisiones	
4.4.2 Relación combustible-emisiones frente al Programa de I/M	
4.4.3 Relación flota vehicular-emisiones por modelo de año del vehículo considerando las relaciones combustible-Programa de I/M	
4.5 Análisis de factibilidad del programa de verificación vehicular para la Ciudad de Morelia	
4.6 Propuestas para disminuir las emisiones de fuentes móviles en la Ciudad de Morelia	
4.7 Dióxido de carbono: gas de efecto invernadero y su variación en los diferentes escenarios	

Capítulo 5.-Conclusiones	89
5.1 Conclusiones	
5.2 Sugerencias/recomendaciones	
- Referencias bibliográficas	91
- Anexos/apéndices	I
○ Anexo A Cartografía de Morelia	
○ Anexo B Archivos Básicos del MOBILE6-Mexico	
○ Anexo C Resumen del Curriculum Vitae	

INDICE DE TABLAS

TEMA	PÁGINA
Tabla 2.1 Principales contaminantes emitidos por vehículos	13
Tabla 2.2 Clasificación de contaminantes por su tipo de formación	19
Tabla 2.3 Límites normados para los contaminantes del aire en México	20
Tabla 3.1 Características de manejo en la Ciudad de Morelia	42
Tabla 3.2 Características de la Ciudad de Morelia	43
Tabla 3.3 Población histórica de la ciudad de Morelia	43
Tabla 3.4 Tasa de crecimiento poblacional para la ciudad de Morelia	44
Tabla 3.5 Flota vehicular de la Ciudad de Morelia	46
Tabla 3.6 Clasificación vehicular	47
Tabla 3.7 Clasificación de la Flota Vehicular de la Ciudad de Morelia de acuerdo al Mobile6-Mexico	48
Tabla 4.1 Distribución de la Flota Vehicular del IE por tipo de vehículo	52
Tabla 4.2 Distribución de la Flota Vehicular del IE por año modelo de vehículo	53
Tabla 4.3 Distribución de la Flota Vehicular del IE por tipo y año modelo de vehículo	54
Tabla 4.4 Factores de emisión por tipo de vehículo (g/mi)	56
Tabla 4.5 Emisiones de contaminantes totales por tipo de vehículo (ton/año)	57
Tabla 4.6 Emisiones de contaminantes totales por tipo y año modelo de vehículo	59
Tabla 4.7 Factores de emisión por tipo de vehículo con el Prog. I/M	63
Tabla 4.8 Emisiones de contaminantes totales por tipo de vehículo con el Prog. I/M	64
Tabla 4.9 Emisiones totales por tipo y año modelo de vehículo con el Prog. I/M	65
Tabla 4.10 Factores de emisión por tipo de vehículo con combustibles UBA (g/mi)	67
Tabla 4.11 Factores de emisión por tipo de vehículo con diesel UBA (g/mi)	68
Tabla 4.12 Factores de emisión por tipo de vehículo con gasolina UBA (g/mi)	68
Tabla 4.13 Emisiones totales por tipo de vehículo con combustibles UBA (ton/año)	68
Tabla 4.14 Emisiones totales por tipo de vehículo con diesel UBA (ton/año)	69

Tabla 4.15 Emisiones totales por tipo de vehículo con gasolina UBA (ton/año)	69
Tabla 4.16 Emisiones totales por tipo y año modelo de vehículo con combustible UBA (ton/año)	71
Tabla 4.17 Emisiones totales por tipo y año modelo de vehículo con diesel UBA (ton/año)	72
Tabla 4.18 Emisiones totales por tipo y año modelo de vehículo con gasolina UBA (ton/año)	72
Tabla 4.19 Contribución de emisiones generales por tipo de fuente en porcentaje	77
Tabla 4.20 Resumen general de emisión por municipio	84
Tabla C.1 Curriculum Vitae	XIII

INDICE DE FIGURAS

TEMA	PÁGINA
Figura 2.1 Motor de gasolina	5
Figura 2.2 Cámara de combustión	6
Figura 2.3 Ciclos del motor y motor a combustión interna	6
Figura 2.4 Configuración de motor y diagrama de motor de diesel	8
Figura 2.5 Ciclo del motor y detalle del motor de dos tiempos	9
Figura 2.6 Cámara de combustión doble	10
Figura 2.7 Diagrama de funcionamiento del motor de gas natural	11
Figura 2.8 Diagrama de la combustión en motores	11
Figura 2.9 Clasificación de modelos matemáticos	14
Figura 2.10 Ubicación del convertidor catalítico	15
Figura 2.11 Funcionamiento del convertidor catalítico	15
Figura 2.12 Reacciones químicas dentro del convertidor catalítico	16
Figura 2.13 Rendimiento del catalizador	17

Figura 2.14 Proceso de emisión en vehículos	19
Figura 2.15 Distribución por tamaño y origen de partículas ambientales	21
Figura 2.16 Distribución energética por combustible en el año 2000	26
Figura 2.17 Control de emisiones de escape para vehículos ligeros a gasolina	28
Figura 2.18 Control de emisiones de escape para vehículos ligeros a diesel	28
Figura 2.19 Concentración Promedio/Máxima en ppm en Peso de Azufre	29
Figura 3.1 Ejemplo de un archivo de entrada de comandos	37
Figura 3.2 Ejemplo de un tipo de archivo de entrada de datos	39
Figura 3.3 Ejemplo de un informe de salida de base de datos	41
Figura 3.4 Población histórica de la ciudad de Morelia	44
Figura 3.5 Tasa de crecimiento poblacional de la ciudad de Morelia	44
Figura 3.6 Diagrama del Diseño Metodológico que se siguió para la elaboración del trabajo	45
Figura 3.7 Clasificación vehicular alternativa	48
Figura 4.1 Distribución de la Flota Vehicular del IE por tipo de vehículo	52
Figura 4.2 Distribución de la Flota Vehicular del IE por año modelo de vehículo	54
Figura 4.3 Distribución de la Flota Vehicular del IE por tipo y año modelo de vehículo	55
Figura 4.4 Producción de emisiones de contaminantes totales	57
Figura 4.5 Producción de emisiones de contaminantes sin considerar el CO ₂	57
Figura 4.6 Producción de partículas suspendidas	58
Figura 4.7 Distribución de la producción de contaminantes totales por tipo de vehículo	58
Figura 4.8 Emisiones de contaminantes totales por año modelo de vehículo	59
Figura 4.9 Distribución de la flota vehicular y las emisiones de contaminantes por año modelo del vehículo en porcentaje	60
Figura 4.10 Porcentaje acumulativo de las emisiones con respecto al año modelo de vehículo	60

Figura 4.11 Distribución de emisiones de contaminantes por tipo y año modelo de vehículo	61
Figura 4.12 Producción de emisiones de contaminantes con el Prog. I/M sin considerar el CO ₂	64
Figura 4.13 Distribución de la flota vehicular y las emisiones por año modelo del vehículo con el Prog. I/M en porcentaje	65
Figura 4.14 Distribución de emisiones por tipo y año modelo de vehículo con el Prog. I/M	66
Figura 4.15 Producción de emisiones con combustibles UBA sin considerar el CO ₂	69
Figura 4.16 Producción de emisiones con diesel UBA sin considerar el CO ₂	69
Figura 4.17 Producción de emisiones con gasolina UBA sin considerar el CO ₂	70
Figura 4.18 Producción de partículas suspendidas con combustible UBA	70
Figura 4.19 Producción de partículas suspendidas con diesel UBA	70
Figura 4.20 Producción de partículas suspendidas con gasolina UBA	70
Figura 4.21 Distribución de la flota vehicular y las emisiones por año modelo de vehículo con combustible UBA en porcentaje	73
Figura 4.22 Distribución de la flota vehicular y las emisiones por año modelo de vehículo con diesel UBA en porcentaje	73
Figura 4.23 Distribución de la flota vehicular y las emisiones por año modelo de vehículo con gasolina UBA en porcentaje	73
Figura 4.24 Distribución de emisiones por tipo y año modelo de vehículo con combustible UBA	74
Figura 4.25 Distribución de emisiones por tipo y año modelo de vehículo con diesel UBA	75
Figura 4.26 Distribución de emisiones por tipo y año modelo de vehículo con gasolina UBA	76
Figura 4.27 Contribución de emisiones generales por tipo de fuente	77

Figura 4.28 Comparación de la producción de contaminantes (IE base vs Prog. I/M)	78
Figura 4.29 Comparación de la producción por contaminantes (IE base vs Prog. I/M)	78
Figura 4.30 Comparación de la producción de contaminantes (IE base vs combustibles UBA)	78
Figura 4.31 Comparación de la producción por contaminantes (IE base vs combustibles UBA)	79
Figura 4.32 Comparación de la producción por contaminantes (todos los escenarios propuestos)	79
Figura 4.33 Producción anual de PM _{2.5} por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios	80
Figura 4.34 Producción anual acumulada de PM _{2.5} por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios	80
Figura 4.35 Producción anual de SO ₂ por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios	81
Figura 4.36 Producción anual acumulada de SO ₂ por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios	81
Figura 4.37 Producción anual de CO por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios	82
Figura 4.38 Producción anual acumulada de CO por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios	82
Figura 4.39 Producción anual de NO _x por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios	83
Figura 4.40 Producción anual acumulada de NO _x por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios	83
Figura 4.41 Contribución de emisión general por tipo de contaminante	84
Figura 4.42 Comparación en todos los escenarios de la producción anual de COV	85
Figura 4.43 Comparación en todos los escenarios de la producción anual de NO _x	85

Figura 4.44 Comparación en la producción de CO ₂ de los diferentes escenarios	86
Figura 4.45 Comparación en la producción acumulada de CO ₂ de los diferentes escenarios	86
Figura 4.46 Producción de CO ₂ anual por tipo y año modelo de vehículo	87
Figura 4.47 Distribución de la flota vehicular y las emisiones de CO ₂ por año modelo del vehículo en porcentaje	88
Figura 4.48 Producción acumulativa de CO ₂ anual por año modelo de vehículo	88
Figura A.1 Ubicación del municipio de Morelia en el estado	III
Figura A.2 Zona urbana del municipio de Morelia (Ciudad de Morelia)	IV
Figura A.3 Estructura vial de la Ciudad de Morelia	V
Figura A.4 Áreas de uso de suelo de la Ciudad de Morelia (INDUM)	VI
Figura A.5 Uso de suelo (INEGI)	VII
Figura A.6 Uso de suelo (INDUM)	VIII
Figura B.1 Archivo de control	X
Figura B.2 Archivo de datos externos	X
Figura B.3 Archivo general	XI
Figura B.4 Archivo de partículas suspendidas	XI

INDICE DE NOMENCLATURAS/ABREVIATURAS

- **#°#’#”N/O** coordenadas en grados(°), minutos(‘) y segundos(”), N de Norte, O de oeste/oriente, S de sur y W/E de este/poniente.
- **μ** prefijo que significa micra. e: μm es micrómetros.
- **%** porcentaje.
- **°C** grados centígrados.
- **70’s** se refiere a la etapa comprendida entre 1970 y 1979.
- **Aprox.** aproximadamente.
- **C** carbono.
- **CcCM** Combustible consumido en la Ciudad de Morelia.
- **CcCManual** Combustible consumido en la Ciudad de Morelia en el año.
- **CEAMA** Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente.
- **CEFP** Centro de Estudio de Finanzas Públicas.
- **CH₄** metano.
- **CO** monóxido de carbono.
- **CO₂** di(bi)óxido de carbono/anhídrido carbónico.
- **Comb.** combustible(s).
- **Cont.** contenido.
- **COV/VOC** Compuestos Orgánicos Volátiles.
- **CxHy** n cantidad de moléculas de carbono y m cantidad de moléculas de hidrógeno.
- **DDF** Departamento del Distrito Federal.
- **DF/D.F.** Distrito Federal.
- **diesel** diesel.
- **e** ejemplo.
- **Ed.** Editorial.
- **EPA** Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica.
- **etc.** etcétera.
- **g/gr** gramo.
- **GASoil** gasolina.
- **GLP/gas LP** Gas Licuado del Petróleo.
- **H₂O** molécula/representación del agua.
- **Hab.** Habitantes.
- **HC** hidrocarburos.
- **hr** hora(s).
- **I/M** Inspección y Mantenimiento.
- **IE** Inventario de Emisiones
- **INDUM** INstituto de Desarrollo Urbano de Morelia
- **INE** Instituto Nacional de Ecología.
- **INEGI** Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- **JAL** Gobierno del Estado de Jalisco.
- **Kg** kilogramo.

- km	kilómetro.
- lbs.	Libras.
- LHV	poder calorífico inferior.
- MCI	Motor de Combustión Interna.
- MCI-EC	Motor de Combustión Interna Encendido por Chispa.
- mi	milla.
- MMA	Ministerio del Medio Ambiente.
- MP	Material Particulado.
- msnm	metros sobre el nivel del mar.
- n y m	números cualquiera.
- N	nitrógeno.
- N°	número.
- N₂	molécula/representación del nitrógeno.
- NO₂	di(bi)óxido de nitrógeno.
- NOx	Óxidos de Nitrógeno
- O₂	molécula/representación del oxígeno.
- O₃	Ozono.
- p.ej.	por ejemplo.
- PEMEX	PEtróleos MEXicanos.
- PM₁₀	Partículas suspendidas menores a 10 µm.
- PM_{2.5}	Partículas suspendidas menores a 2.5 µm.
- ppm	partes por millón.
- PPS	portal planeta sedna.
- Prog.	Programa.
- Prom.	Promedio.
- PST	Partículas Suspendidas Totales.
- RAE	Real Academia Española.
- ROG	Gases Orgánicos Reactivos.
- RP	Resto del País.
- RVP	Presión de Vapor Reid.
- s. f.	sin fecha.
- SEGOB	SEcretaría de GOBierno
- SEMARNAT	SEcretaría de Medio Ambiente y Recursos NATurales.
- Smog	esmog.
- SO₂	di(bi)óxido de azufre/anhídrido sulfuroso.
- SUMA	Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente.
- TBEs	Tasas Básicas de Emisión.
- Temp/T	temperatura.
- ton	tonelada.
- UBA	Ultra Bajo Azufre.
- USA	Estados Unidos de Norteamérica.
- USAL	Universidad de Salamanca.
- Vehic.	vehículo(s).
- ZMCM/ZMVM	Zona Metropolitana de la Ciudad/Valle de México.

Quisiera dar un agradecimiento muy especial a mis maestros, ya que constituyeron una parte muy importante para mi formación profesional; pero principalmente a las autoridades de la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA), por las atenciones prestadas y gran ayuda en la recopilación de datos; y a mis asesores, ya que sin ellos esta tesis no se podría haber realizado.

GLOSARIO

- **Ahorrar:** evitar un gasto o consumo mayor. Evitar o excusar algún trabajo, riesgo, dificultad u otra cosa.
- **Ahorro:** cosa que se ahorra. Acción de ahorrar.
- **Ahorro de recursos:** evitar un gasto o consumo mayor de bienes, medios de subsistencia.
- **Automóvil:** vehículos que pueden ser guiados para marchar por una vía ordinaria sin necesidad de carriles y llevan un motor, generalmente de explosión, que los pone en movimiento (coche, vehículo automóvil).
- **Caracterización:** acción y efecto de caracterizar o caracterizarse.
- **Caracterizar:** determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás.
- **Ciudad:** conjunto de edificios y calles, regidos por un ayuntamiento, cuya población densa y numerosa se dedica por lo común a actividades no agrícolas.
- **Combustible:** material que se emplea para producir energía en forma de calor mediante reacciones nucleares.
- **Combustible de Ultra Bajo Azufre (UBA):** combustible que por su composición química presenta una menor o nula concentración de azufre, en comparación con otros (típicamente concentraciones promedio iguales o menores a 30 ppm, **NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005**).
- **Combustión:** reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.
- **Consistencia:** estabilidad, solidez, coherencia entre las partículas de una masa o los elementos de un conjunto.
- **Contaminante:** que contamina.
- **Contaminante primario:** contaminante que se forma y emite directamente de la fuente.
- **Contaminante secundario:** contaminante que no es emitido de una fuente y se forma por las acciones físico-químicas del ambiente, teniendo como precursor un contaminante primario.
- **Diésel:** gasóleo. Fracción destilada del petróleo crudo, que se purifica especialmente para eliminar el azufre. Se usa normalmente en los motores diesel y como combustible en hogares abiertos.
- **Distribución:** acción y efecto de distribuir.
- **Distribuir:** dividir algo de acuerdo a un criterio lógico, asignando lo que a cada clasificación corresponde, según voluntad, conveniencia, regla o derecho.
- **Ecología:** ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí y con su entorno.
- **Efectividad:** capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera. Realidad, validez.
- **Emisión:** acción y efecto de emitir.
- **Emitir:** arrojar, exhalar o echar hacia fuera algo.

- **EPA:** Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental), es la agencia (secretaría en el caso de México) del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y el medio ambiente.
- **Escenario:** conjunto de circunstancias que rodean a una persona o un suceso que se desea analizar.
- **Esmog:** adaptación fonética del acrónimo smog al español. Niebla mezclada con humo y partículas en suspensión, propia de las ciudades industriales.
- **Factibilidad:** cualidad o condición de factible.
- **Factible:** que se puede hacer.
- **Factor de Emisión:** cada una de las cantidades o expresiones que se puede calcular y que se multiplican para determinar una emisión en su totalidad.
- **Flota Vehicular:** conjunto de vehículos que pertenecen a un mismo grupo, lugar o zona, dueño o tienen un destino común.
- **Fuente:** principio fundamento u origen de un contaminante.
- **Fuente Móvil:** objetos o cosas que están en movimiento y que generan un contaminante (vehículos).
- **Gasolina:** mezcla de hidrocarburos líquidos volátiles e inflamables obtenidos del petróleo crudo, que se usa como combustible en diversos tipos de motores.
- **Impacto Ambiental:** conjunto de posibles efectos negativos sobre el medio ambiente de una modificación del entorno natural, como consecuencia de obras u otras actividades.
- **Inventario de Emisiones:** asiento de los contaminantes que emite una persona o comunidad, hecho con orden y precisión.
- **Material particulado:** materia suspendida en el aire en forma de partículas (partículas suspendidas/PMx).
- **Medio ambiente:** conjunto de circunstancias exteriores a un ser vivo.
- **Mobile6-Mexico:** programa de cómputo elaborado por la EPA que por medio de modelaciones matemáticas permite calcular factores de emisión de una zona determinada dentro del país de México.
- **Modelo:** representación matemática de un suceso o evento para su estudio.
- **Naturaleza:** conjunto, orden y disposición de todo lo que compone el universo.
- **Operación Vehicular:** características particulares con las que se manejan los vehículos en una zona o área específica.
- **PMx:** Partículas suspendidas menores a un diámetro "x".
- **Precursor:** que precede (antecede o está antepuesto).
- **Programa de I/M:** proyecto ordenado de actividades para reducir y/o controlar las emisiones de los vehículos mediante la revisión y ajuste periódico de este.
- **Recursos:** conjunto de elementos disponibles para resolver una necesidad o llevar a cabo una empresa. Bienes, medios de subsistencia.
- **Recursos naturales:** Bienes o medios de subsistencia que provienen del medio ambiente (naturaleza).
- **Smog:** acrónimo inglés que se deriva de las palabras inglesas smoke (humo) y fog (niebla). La adaptación fonética del acrónimo smog al español es esmog.
- **Validación:** acción y efecto de validar.

- **Validar:** dar fuerza o firmeza a algo, hacerlo válido (aceptable, firme)
- **Vehículo:** medio de transporte de personas o cosas (automóviles).
- **Verificación Vehicular:** efectuar estudios y/o pruebas adicionales para comprobar que lo que se dijo o pronosticó sea cierto y verdadero sobre las emisiones debidas a fuentes vehiculares.

* Todas las definiciones anteriormente enumeradas fueron tomadas de la Real Academia Española [RAE, 2001].

CAPITULO 1.- Inventario de Emisiones en la Ciudad de Morelia

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre descubrió el fuego, ha perturbado significativamente al medio ambiente, ya que sus actividades económicas han modificado y cambiado las condiciones de los ecosistemas, así como también han tenido un aporte significativo de contaminantes, que son la principal fuente de la contaminación atmosférica junto con el vulcanismo [Seoáñez Calvo, 2002].

La contaminación del aire es una de las preocupaciones más importantes que existen en las zonas urbanas, la cual es producto de la alteración de los componentes y las propiedades físicas y químicas en la atmósfera, lo que a su vez produce nuevos contaminantes que se suman a los ya generados por el hombre [Calderón, *et. al.*, 2000].

Desde la década de los ochenta, se ha venido dando un cambio radical en la forma de percibir la problemática de la contaminación, ya que a nivel global se ha visto un interés cada vez mayor por tratar de prevenir y en gran medida subsanar los problemas de contaminación que existen actualmente en la atmósfera [Seoáñez Calvo, 2002].

Lamentablemente, estos esfuerzos resultan todavía insuficientes, ya que existen poblaciones con graves problemas de contaminación como la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que es a nivel mundial la más contaminada del mundo [Seoáñez Calvo, 2002]. Esto hace sumamente importante considerar y hacer un balance de los niveles de contaminación que se emiten, considerando todos los tipos de fuentes.

En la ciudad de Morelia, Michoacán recientemente se realizó un estudio para tratar de determinar las condiciones actuales de los contaminantes dentro de la zona metropolitana, determinándose que los vehículos tenían una fuerte aportación de contaminantes predecesores del ozono, el cual se presume es el principal problema de contaminación que tiene la ciudad [SUMA, 2008].

El ozono es un contaminante atmosférico secundario, es decir se forma al reaccionar los contaminantes, que se emiten directamente de las fuentes a la atmósfera, cuando se establecen las condiciones óptimas, dando origen a un nuevo contaminante con otras características. Se forma en la atmósfera a partir de reacciones fotoquímicas complejas, en las que participan principalmente el oxígeno con los dos principales precursores del ozono; los óxidos de nitrógeno (NOx) y los hidrocarburos (HC) [Calderón, *et. al.*, 2000].

El ozono es un contaminante sumamente peligroso, ya que es un compuesto gaseoso incoloro sumamente oxidante, nocivo para la salud ya que irrita los ojos y el tracto respiratorio, agravando las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, y en algunos casos resulta mortal; altera los materiales, en las plantas limita su crecimiento y provoca lesiones a las hojas y disminuye la visibilidad ambiental [Calderón, *et. al.*, 2000].

Una de las medidas que se plantea por parte de las autoridades para tratar de mitigar la producción de contaminantes precursores del ozono es implementar un programa de verificación vehicular [SUMA, 2008]. Lamentablemente no se cuenta con un inventario de emisiones en el que se analicen las propuestas más pertinentes a realizar y que proporcione la información necesaria para establecer las estrategias pertinentes para disminuir las emisiones contaminantes [Pacyna y Graedel, 1995]. Ya que los inventarios de emisiones aportan las herramientas básicas para determinar los papeles relativos de las fuentes de contaminantes atmosféricos y las tendencias que tienen dichas emisiones [Environmental Economics, 2001].

El objetivo del presente trabajo es la evaluación de escenarios de reducción de emisiones por fuentes móviles considerando la situación que existe actualmente en la Ciudad de Morelia, con respecto a las emisiones por fuentes móviles y una comparación con las emisiones que se tendrían al implementar diversas estrategias en la ciudad. Para tal fin se determinarán los inventarios de emisiones de la flota vehicular, considerando la situación actual, con la implementación de un programa de verificación vehicular y cambiando la calidad de los combustibles, utilizando el modelo MOBILE6 para México.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La contaminación atmosférica en la actualidad es un problema importante al cual es necesario darle algún tipo de solución, una de las mejores formas de controlar la emisión de contaminantes es teniendo una idea real de la cantidad de contaminantes que se liberan al medio ambiente, de esta forma se pueden crear programas para controlar estas emisiones.

No todos los países cuentan con los avances tecnológicos necesarios para realizar modelos particulares para su región por lo que se ven en la necesidad de acondicionar modelos creados en otras zonas para implementarlas en esa región. Uno de esos casos es el modelo mobile6, el cual resulta fácil de utilizar y tiene la capacidad de ajustarse en gran medida a lo que pasa en la realidad por lo que resulta muy apropiado para este tipo de estudios.

En la ciudad de Morelia, los últimos estudios realizados por las autoridades afirman que existe un serio problema de generación de contaminantes, por lo cual se quiere implementar un programa de verificación vehicular para tratar de reducir las emisiones [SUMA, 2008]. Lamentablemente actualmente no se cuenta con un Inventario de Emisiones de Contaminantes de Vehículos completo que nos permita corroborar que efectivamente sea necesario el programa de verificación vehicular para mitigar este problema.

El inventario de emisiones que se realizó, como parte del proyecto de tesis, para la Zona Metropolitana de la Ciudad de Morelia, proveerá de las herramientas necesarias para desarrollar un plan de acción conveniente para reducir las emisiones de contaminantes debidas a los vehículos automotrices que circulan dentro de la ciudad, ya que se evaluaron varios escenarios para determinar cuáles son los más efectivos en la reducción de emisiones.

1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Realizar Inventarios de Emisiones de Contaminantes de Fuentes Móviles en la ciudad de Morelia provee de información importante para tomar medidas ambientales?
- ¿La emisión de contaminantes que producen los vehículos en la ciudad de Morelia disminuye considerablemente conforme el año del modelo de éste es más reciente?
- ¿Al implementar un programa de verificación vehicular se reducirían significativamente las emisiones de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Morelia? Y ¿Qué contaminantes se reducirán significativamente?
- ¿La solución a los problemas de contaminación atmosférica que existe en la ciudad de Morelia es la ejecución de un programa de verificación vehicular o existen otras soluciones más factibles?
- ¿Por qué a últimas fechas se le ha dado tanta relevancia e impulso a los combustibles de ultra bajo azufre?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo entre varias estrategias para reducir las emisiones debidas a fuentes móviles en la ciudad de Morelia, Michoacán mediante el uso del Modelo MOBILE6-México.

1.4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Obtención de los factores de emisión para los contaminantes criterio de la flota vehicular de la ciudad de Morelia.
- Obtención de los factores de emisión para los contaminantes criterio de la flota vehicular de la ciudad de Morelia considerando el uso de combustibles UBA.
- Obtención de los factores de emisión para los contaminantes criterio de la flota vehicular de la ciudad de Morelia considerando un programa de inspección y mantenimiento.
- Identificar el impacto del programa de inspección y mantenimiento por modelo/año del vehículo y tipos de vehículos en comparación con el uso de combustibles UBA.

1.5 HIPÓTESIS

La implementación de un programa de verificación vehicular en la ciudad de Morelia no proporciona las condiciones necesarias para reducir las emisiones de los contaminantes criterio generados por fuentes móviles en la ciudad de Morelia.

1.6 ALCANCES

En el presente proyecto se pretende aplicar el modelo MOBILE6-Mexico para determinar un Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles para la Ciudad de Morelia y hacer una evaluación sobre la implementación de un Programa de Verificación Vehicular dentro de la Ciudad, así como el impacto en las emisiones de los combustibles UBA.

Adicionalmente dentro del inventario, se determinará la emisión de contaminantes que tiene la flota vehicular urbana, de acuerdo al modelo de año del carro y se determinarán varios inventarios de emisiones considerando diferentes escenarios como el que existiera un programa de verificación vehicular en la ciudad y combustibles UBA.

Se pretende que el proyecto sirva de base para el desarrollo de nuevas estrategias que minimicen la emisión de contaminantes que producen los vehículos dentro de la ciudad de Morelia, así como también establezca el precedente para la realización de futuros inventarios en los que se analicen los impactos de diferentes escenarios para la reducción de emisiones, no sólo en lo que se refiere a fuentes móviles, para que los proyectos propuestos para la reducción de contaminantes sean más efectivos.

CAPITULO 2.- Emisiones Atmosféricas de Fuentes Móviles

2.1 PROCESO DE COMBUSTIÓN EN VEHÍCULOS

Antes de iniciar nuestro estudio, es necesario conocer el proceso por medio del cual se generan los contaminantes en las fuentes móviles, es decir, la combustión que se efectúa dentro de los motores de los vehículos. Con el objetivo de dar un panorama general de lo que es la combustión, haremos un análisis de los dos principales tipos de procesos que influyen en ésta, que son:

- a) Proceso mecánico
- b) Proceso químico

Aunque existen gran variedad de combustibles y motores para el funcionamiento de los diversos tipos de vehículos, para los fines de la tesis sólo se describirán los procesos de combustión más comunes. Por otro lado, también es importante hacer énfasis en el hecho de que aunque existe una gran variedad de mecanismos de combustión, en general el proceso sigue siendo el mismo.

2.1.1 PROCESO MECANICO

Existen en el mercado varios tipos de motor de combustión, los cuales dependen del tipo de vehículo, uso y modelo del mismo, por lo cual explicaremos brevemente los principales, que son [Anónimo, s. f.]:

- Motor de gasolina (convencional tipo Otto)
- Motor de diésel
- Motor de dos tiempos
- Motor de carga estratificada
- Motor de gas natural

a) Motor de gasolina (convencional tipo Otto)

El motor de explosión es un tipo de motor de combustión interna que utiliza la explosión de un combustible, provocada mediante una chispa, para expandir un gas empujando así un pistón. Hay de dos y de cuatro tiempos.

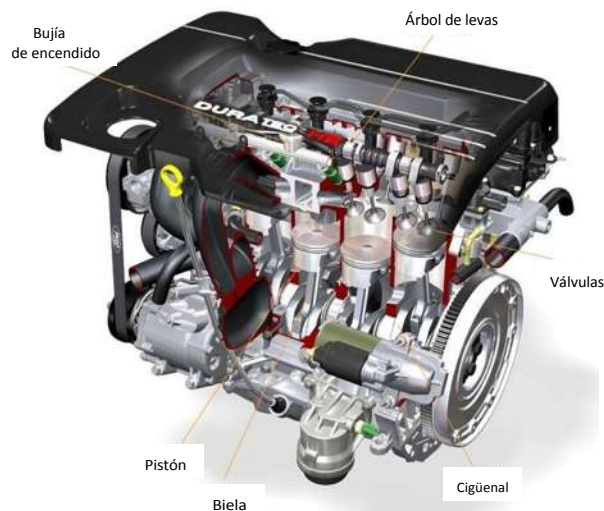


Figura 2.1 Motor de gasolina [Mayz Acosta, s.f.]

El ciclo termodinámico utilizado es conocido como Ciclo Otto. Se caracteriza por aspirar una mezcla aire-combustible (típicamente gasolina dispersa en aire). Este motor, también llamado motor de gasolina o motor Otto, es un motor alternativo, es decir que se trata de un sistema pistón-cilindro con válvulas de admisión y válvulas de escape. Junto al motor diésel, es el más utilizado hoy en día en automoción.

- *El funcionamiento del motor Otto de cuatro tiempos:*

Cada cilindro tiene dos válvulas, la válvula de admisión A y la de escape E. Un mecanismo que se llama árbol de levas las abre y las cierra en los momentos adecuados. El movimiento de vaivén del émbolo se transforma en otro de rotación por una biela y una manivela. El funcionamiento se explica con cuatro fases que se llaman tiempos:

Tiempo 1 (aspiración): El pistón baja y hace entrar la mezcla de aire y gasolina pulverizada preparada por el carburador en la cámara de combustión.

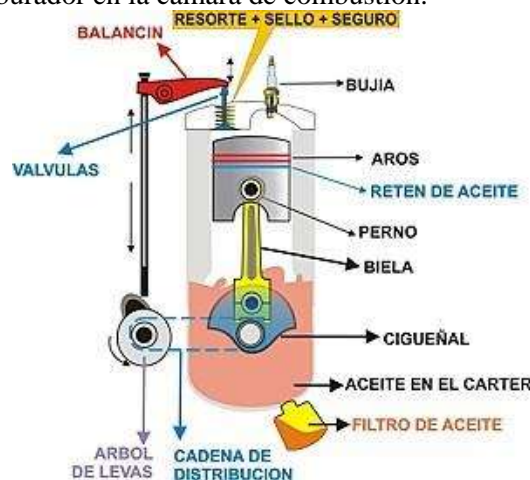
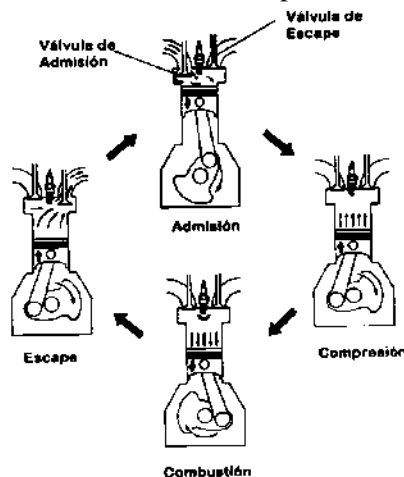


Figura 2.2 Cámara de combustión [Williams, s. f.]

Tiempo 2 (compresión): El émbolo comprime la mezcla inflamable hasta llegar al punto de máxima compresión (punto muerto superior o P.M.S.). Aumenta la temperatura.

Tiempo 3 (carrera de trabajo): Una chispa de la bujía inicia la explosión del gas, el gas encerrado se expande, la presión aumenta y empuja un pistón hacia abajo que se desliza dentro de la cámara de combustión (expansión teóricamente adiabática de los gases). Así el gas caliente realiza un trabajo. La energía liberada se transforma en movimiento lineal del pistón, el cual, a través de una biela y el cigüeñal, es convertido en movimiento giratorio.

Tiempo 4 (carrera de escape): La inercia de este movimiento giratorio hace que el motor no se detenga y que el pistón vuelva a empujar los gases de combustión, expulsándolos por la válvula correspondiente, ahora abierta, hacia el tubo de escape. Por último el pistón retrocede de nuevo permitiendo la entrada de una nueva mezcla combustible.



Motor a combustión interna simple efecto, 4 tiempos, 4 cilindros (Otto & Forest)

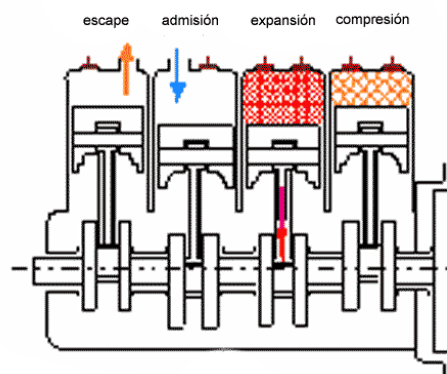


Figura 2.3 Ciclos del motor [Mayz Acosta, s.f.] y motor a combustión interna [Williams, s. f.]

El árbol de manivela convierte el movimiento de vaivén del pistón en otro de rotación. Durante dos revoluciones sólo hay un acto de trabajo, lo que provoca vibraciones fuertes. Para reducir éstas, un motor normalmente tiene varios cilindros, con las carreras de trabajo bien repartidas. En coches corrientes hay motores de 4 cilindros, en los de lujo 6, 8, 12 o aún más.

La eficiencia de los motores Otto modernos se ve limitada por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la fricción y la refrigeración. En general, la eficiencia de un motor de este tipo depende del grado de compresión. Esta proporción suele ser de 8 a 1 o 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octano. La eficiencia media de un buen motor Otto es de un 20 a un 25%: sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica [Anónimo, s. f.].

b) Motor de diésel

El motor diésel es un motor térmico de combustión interna en el cual el encendido se logra por la temperatura elevada producto de la compresión del aire en el interior del cilindro. En teoría, el ciclo diésel difiere del ciclo Otto en que la combustión tiene lugar en este último a volumen constante en lugar de producirse a una presión constante. La mayoría de los motores diésel tienen también cuatro tiempos, si bien las fases son diferentes de las de los motores de gasolina.

Un motor diésel funciona mediante la ignición de la mezcla aire-gas sin chispa. La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo motor, compresión. El combustible diésel se inyecta en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión. Como resultado, la mezcla se quema muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación.

Hay motores diésel de dos y de cuatro tiempos. Uno de cuatro tiempos se explica así: En la primera fase se absorbe aire hacia la cámara de combustión. En la segunda fase, la fase de compresión, el aire se comprime a una fracción de su volumen original, lo cual hace que se caliente hasta unos 440 °C. Al final de la fase de compresión se inyecta el combustible vaporizado dentro de la cámara de combustión, produciéndose el encendido a causa de la alta temperatura del aire. En la tercera fase, la fase de potencia, la combustión empuja el pistón hacia atrás, transmitiendo la energía al cigüeñal. La cuarta fase es, al igual que en los motores Otto, la fase de expulsión. Algunos motores diésel utilizan un sistema auxiliar de ignición para encender el combustible para arrancar el motor y mientras alcanza la temperatura adecuada.

La eficiencia de los motores diésel depende, en general, de los mismos factores que los motores Otto, y es mayor que en los motores de gasolina, llegando a superar el 40%. Este valor se logra con un grado de compresión de 14 a 1, siendo necesaria una mayor robustez, y los motores diésel son, por lo general, más pesados que los motores Otto. Esta desventaja se compensa con una mayor eficiencia y el hecho de utilizar combustibles más baratos.

Los motores diésel suelen ser motores lentos con velocidades de cigüeñal de 100 a 750 revoluciones por minuto (rpm o r/min), mientras que los motores Otto trabajan de 2.500 a 5.000 rpm. No obstante, algunos tipos de motores diésel trabajan a velocidades similares que los motores de gasolina [Anónimo, s. f.].

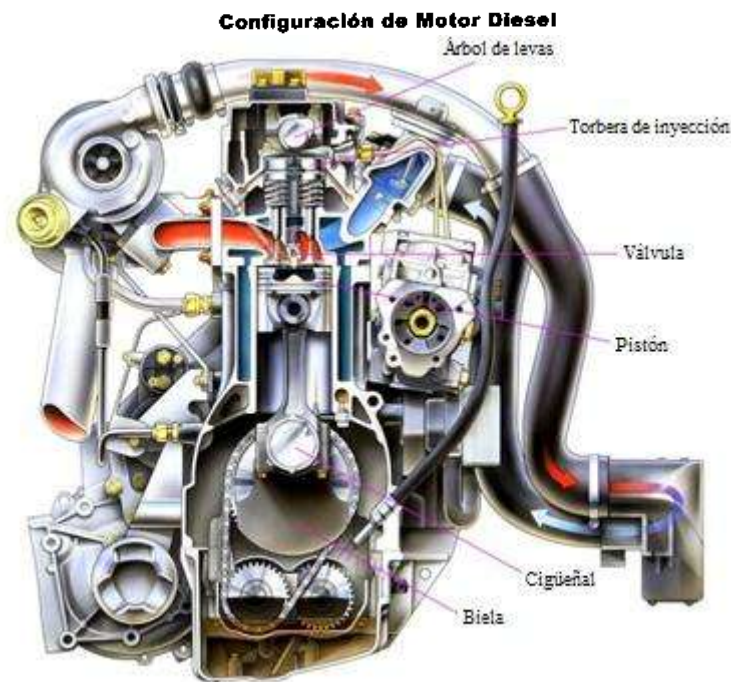
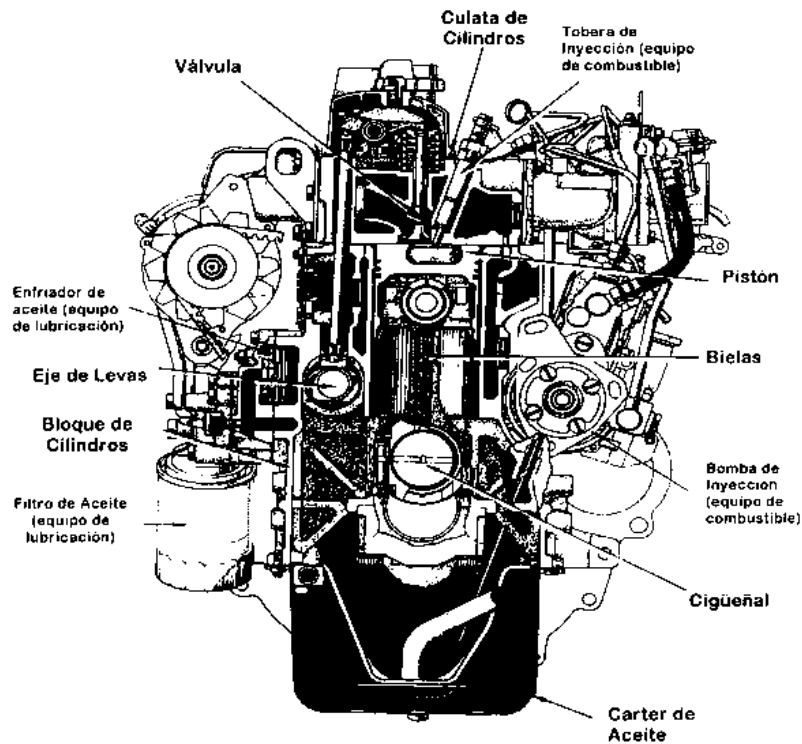


Figura 2.4 Configuración de motor y diagrama de motor de diésel [Mayz Acosta, s.f.]

c) Motor de dos tiempos

En el denominado motor de dos tiempos, cada ciclo de motor consta de sólo dos tiempos, combinándose en uno la admisión y la compresión y en el otro la expulsión y el escape [PPS, s. f.]. Estos motores se emplean generalmente con gasoil. Con un diseño adecuado puede conseguirse que un motor Otto o diésel funcione a dos tiempos, con un tiempo de potencia cada dos fases en lugar de cada cuatro fases. La eficiencia de este tipo de motores es menor que la de los motores de cuatro tiempos, lo que implica que la potencia que producen es menor que la mitad de la que produce un motor de cuatro tiempos de tamaño similar.

El principio general del motor de dos tiempos es la reducción de la duración de los periodos de absorción de combustible y de expulsión de gases a una parte mínima de uno de los tiempos, en lugar de que cada operación requiera un tiempo completo. El diseño más simple de motor de dos tiempos utiliza, en lugar de válvulas de cabezal, las válvulas deslizantes u orificios (que quedan expuestos al desplazarse el pistón hacia atrás). En los motores de dos tiempos la mezcla de combustible y aire entra en el cilindro a través del orificio de aspiración cuando el pistón está en la posición más alejada del cabezal del cilindro. La primera fase es la compresión, en la que se enciende la carga de mezcla cuando el pistón llega al final de la fase. A continuación, el pistón se desplaza hacia atrás en la fase de explosión, abriendo el orificio de expulsión y permitiendo que los gases salgan de la cámara.

La mezcla de combustible y aire es absorbida a través de un orificio de aspiración y queda atrapada entre una de las caras del rotor y la pared de la cámara. La rotación del rotor comprime la mezcla, que se enciende con una bujía. Los gases se expulsan a través de un orificio de expulsión con el movimiento del rotor. El ciclo tiene lugar una vez en cada una de las caras del rotor, produciendo tres fases de potencia en cada giro [Anónimo, s. f.].

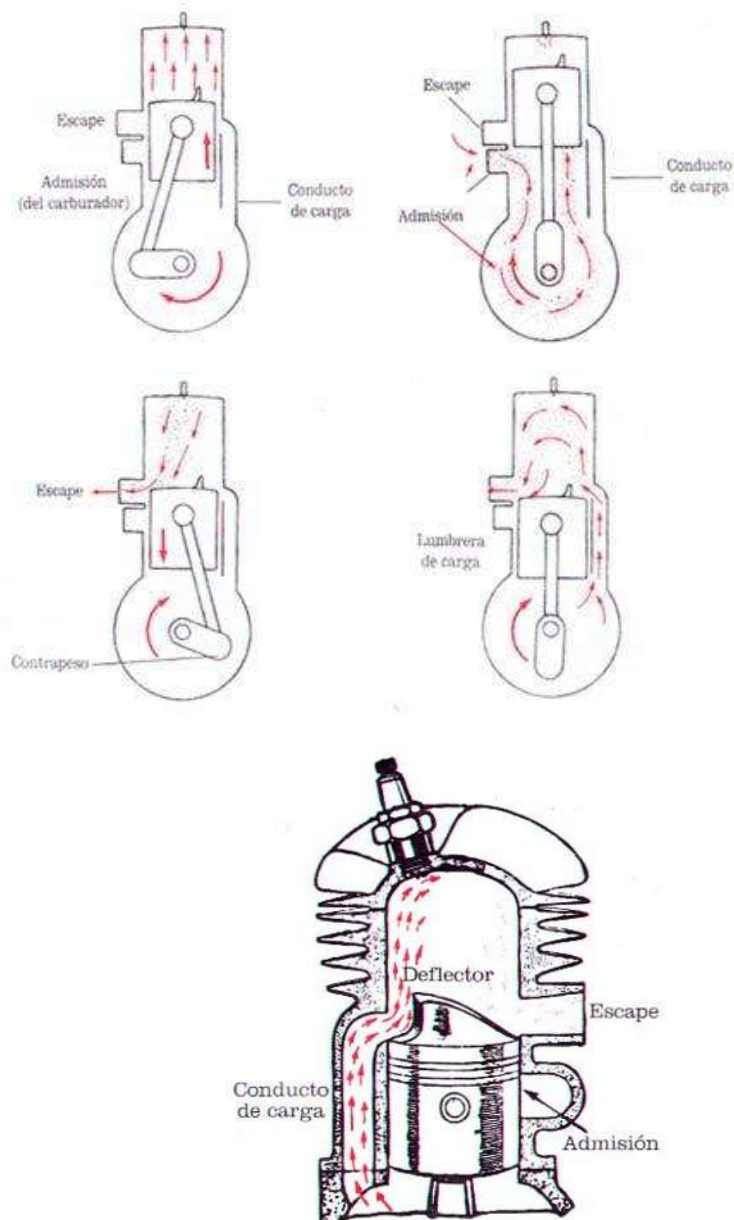


Figura 2.5 Ciclo del motor y detalle del motor de dos tiempos [Arias-Paz, s. f.]

d) Motor de carga estratificada

Una variante del motor de encendido con bujías es el motor de carga estratificada, diseñado para reducir las emisiones sin necesidad de un sistema de recirculación de los gases resultantes de la combustión y sin utilizar un catalizador. La clave de este diseño es una cámara de combustión doble dentro de cada cilindro, con una antecámara que contiene una mezcla rica de combustible y aire mientras la cámara principal contiene una mezcla pobre. La bujía enciende la mezcla rica, que a su vez enciende la de la cámara principal. La temperatura máxima que se alcanza es suficiente como para impedir la formación de óxidos de nitrógeno, mientras que la temperatura media es la suficiente para limitar las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos [Anónimo, s. f.].

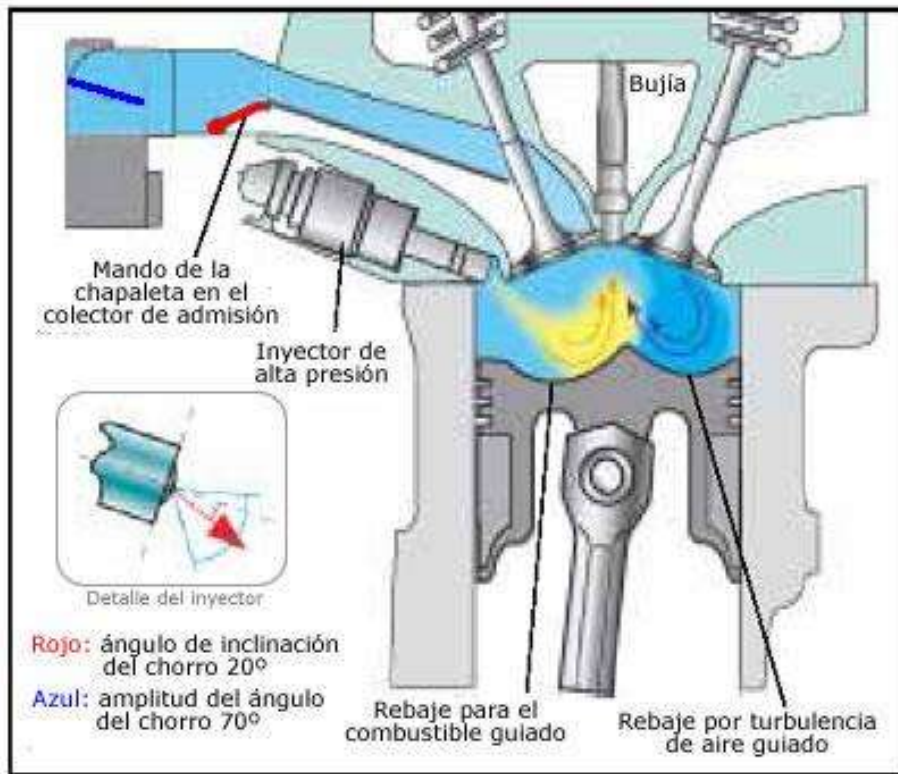


Figura 2.6 Cámara de combustión doble [Mecánica Virtual, s. f.]

e) Motor de gas natural

El gas natural como carburante, se usa en los motores de combustión interna al igual como se utilizan los carburantes líquidos. Por ahora, ésta es la principal alternativa al petróleo, principal compuesto tanto de la gasolina como el diésel.

Hay que tomar en cuenta que el gas natural y el gas licuado del petróleo (GLP) son diferentes, ya que el segundo es una destilación del petróleo mezclado con propano y butano. De los dos, el GLP es menos contaminante que el natural, por lo que su uso es más difundido. Opera con ciclo Otto dadas sus características propias.

Una de sus principales dificultades está en el almacenaje, ya que estamos hablando de un líquido altamente inflamable; pero con el paso de los años, la seguridad de este sistema ha alcanzado tal nivel, que es tan seguro como un motor de gasolina. Es por ello, que se utiliza al GLP como una opción de apoyo al motor de gasolina, con lo que muchos motores tienen ambos sistemas. Con esto, los fabricantes recomiendan usar la versión GLP para encender el motor y a bajas revoluciones para luego cambiar automáticamente a la opción gasolina. A la larga representa un menor consumo y una mejor conservación del medio ambiente sin mayor pérdida de performance.

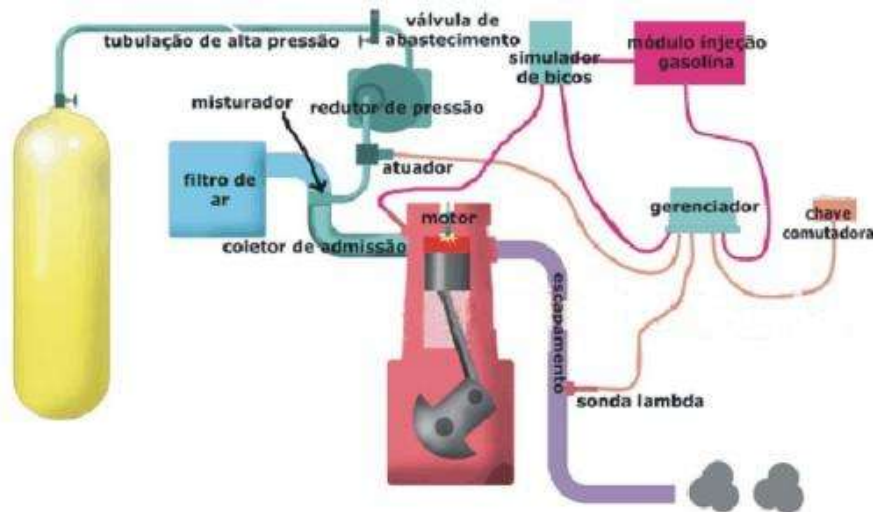


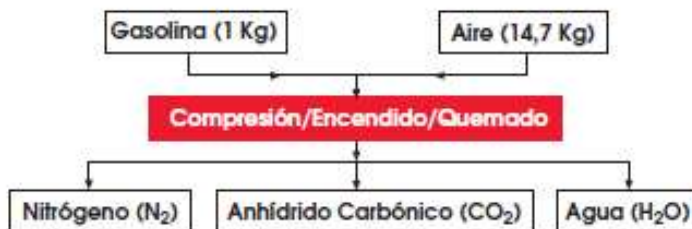
Figura 2.7 Diagrama de funcionamiento del motor de gas natural [Tecnigas, s. f.]

2.1.2 PROCESO QUIMICO

Combustión en motores de explosión

Combustible = Gasolina formada por Hidrocarburos (HC)
 Comburente = Oxígeno (O₂)
 El O₂ procede del aire atmosférico (en volumen 21% de O₂ y 79 % de N₂)

* Combustión ideal con mezcla estequiométrica



* Combustión real



Figura 2.8 Diagrama de la combustión en motores [AS-SL, s. f.]

La combustión de la gasolina de los vehículos se produce dentro de los cilindros del motor según diferentes sistemas de encendido. Los más habituales son la combustión instantánea (por chispa) o la combustión gradual (por compresión). En uno y otro caso el resultado es la quema del combustible [Fernández Fernández, 2009]. La fórmula general de los combustibles la podemos considerar como C_xH_y donde los subíndices pueden tener cualquier valor, incluso puede ser cero (incluyendo las moléculas de carbono e hidrógeno). Cuando el combustible se quema se une con el oxígeno, del aire o de otro oxidante [Martín Sánchez, 1999].

En la combustión teórica se produce la conversión completa de los hidrocarburos a CO_2 y agua (existe oxígeno en abundancia). En la realidad también el nitrógeno atmosférico y los demás componentes del combustible, como el azufre, son oxidados. El carbono quemado de forma incompleta se transforma en CO o C (oxígeno insuficiente), ya que la tendencia del oxígeno es unirse con el hidrógeno [Martín Sánchez, 1999]. Por otra parte, existe una cierta cantidad de los hidrocarburos que no es quemada por falta de temperatura adecuada, principalmente en las paredes de la cámara de combustión [Fernández Fernández, 2009].

Tendremos por tanto una emisión de gases cuya cantidad y proporción varían dependiendo de factores diversos: del tipo de combustible y sus propiedades, de la proporción de mezcla de éste, de la temperatura del motor, las variables termodinámicas del ambiente, etc. [Fernández Fernández, 2009]. Además de ciertos parámetros en la salida del motor, como la potencia, el consumo de combustible y las emisiones gaseosas.

Dentro de las propiedades del combustible tenemos: el número de octano, calor de vaporización, presión de vapor Reid (RVP), temperatura de autoencendido, densidad, poder Calorífico Inferior (LHV), temperaturas de destilación T50 y T90, solubilidad en agua, las cuales se describen posteriormente [Mantilla Gonzalez, 2010].

Cuando un vehículo ha estado detenido durante varias horas, la temperatura ambiente condiciona la rapidez con la que su motor alcanza una temperatura estable. Esto se traduce en que el automóvil recorrerá unos cientos de metros hasta alcanzarla. Esa longitud puede expresarse como una fracción de la longitud total recorrida, a igual temperatura exterior, por lo que a menudo se habla de porcentaje o fracción de recorrido en frío. La circulación en frío, para un vehículo de gasolina, es la que tiene lugar en los 2,5 minutos siguientes al arranque, después de haber dejado el vehículo al menos 2 horas con el motor parado. Si la temperatura varía sensiblemente, también lo hace el periodo de arranque en frío.

Cuando el motor está frío el combustible no se vaporiza bien y la influencia de la temperatura de las paredes del cilindro es grande. De esta manera son especialmente el CO y los hidrocarburos no quemados los que son expulsados por el tubo de escape. Estas emisiones tienen lugar en todos los modos o situaciones de conducción, y en todo tipo de vehículos, independientemente de su edad; en los que disponen de sistemas catalizadores este fenómeno es el responsable de prácticamente la totalidad de la contaminación generada, ya que el catalizador no es operativo hasta que se alcanza una cierta temperatura.

Las investigaciones que se encaminan a la reducción de emisiones en vehículos con catalizador centran la atención en este periodo de circulación en frío. El cálculo de las emisiones en frío es una tarea en la que existe bastante imprecisión, debido a la gran cantidad de datos que

se desconocen. Existen dos tipos de circulación en frío, aunque en la práctica no se suelen distinguir [Fernández Fernández, 2009]:

- 1- El arranque en frío en el que el motor y el catalizador están parados y fríos, a la temperatura ambiente; esto suele suceder 8 h después de detener el vehículo.
- 2- Un arranque medio-frío en el que el motor y el catalizador están a unos 20°C. El tiempo medio que se considera para este caso es de 2 h.

Aunque no pertenece a la combustión propiamente dicha, existen emisiones contaminantes a la atmósfera por la evaporación de los componentes volátiles del combustible (hidrocarburos) se producen desde los componentes por los que pasa aquél, fundamentalmente desde el cárter, el carburador y el depósito del combustible. La evaporación se produce principalmente cuando el vehículo no está en funcionamiento, pero el motor aún está caliente, por lo que las emisiones dependen tanto del periodo de circulación en frío propiamente dicho, como del periodo de enfriamiento del vehículo estacionado (cool-down). Éste es mucho más difícil de conocer, aunque puede estimarse de forma aproximada: toda la noche, si se coge para ir al trabajo; 7-8 horas de día si se toma para volver del trabajo; etc.

Algunas de estas emisiones presentan efectos globales como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, que permanecen en la atmósfera por mucho tiempo, y otros contaminantes presentan efectos locales y que permanecen por horas o meses como máximo en la atmósfera. Entre estos últimos, es posible mencionar monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, etc. Por tanto en el análisis de la emisión de contaminantes deben considerarse dos posibles regímenes de funcionamiento del motor: en frío y en caliente; y también deben considerarse las emisiones por evaporación del combustible que dependen fundamentalmente de las características técnicas del motor, de las gasolinas y la temperatura ambiente.

En concreto, de entre todos los contaminantes emitidos por los vehículos, destacan los siguientes [Fernández Fernández, 2009]:

Tabla 2.1 Principales contaminantes emitidos por vehículos [Fernández Fernández, 2009]

Contaminante	Descripción
NO _x (NO y NO ₂)	Óxidos de nitrógeno expresados en masa de NO ₂
N ₂ O	Óxido nitroso
SO _x (SO y SO ₂)	Óxidos de azufre expresados en masa de SO ₂
CH ₄	Metano
COVNM	Compuestos orgánicos volátiles, excepto el metano (COV-CH ₄)
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
NH ₃	Amoniaco
PM	Partículas

De todos estos contaminantes emitidos, el metano y dióxido de carbono no están considerados como peligrosos, ya que su efecto más importante es como gas de efecto invernadero [Vernier J., 1992].

Cabe mencionar que para simular el proceso de combustión cuando este ocurre en un MCI existen numerosas técnicas y procedimientos. Las más importantes son aquellas que plantean modelos como los de fracción de masa quemada o calor liberado, modelos

unidimensionales de una y dos zonas, modelos unidimensionales de velocidad de propagación de llama, y procedimientos más complejos de modelado multidimensional, los cuales requieren programas de computador especialmente diseñados para ello [Mantilla Gonzalez, 2010]. Los modelos desarrollados para los Motores de Combustión Interna Encendidos por Chispa (MCI-EC) se pueden clasificar en:

1. Modelos Termodinámicos
2. Modelos de Dinámica de Fluidos
3. Modelos de Inteligencia Artificial
4. Modelos Caóticos.

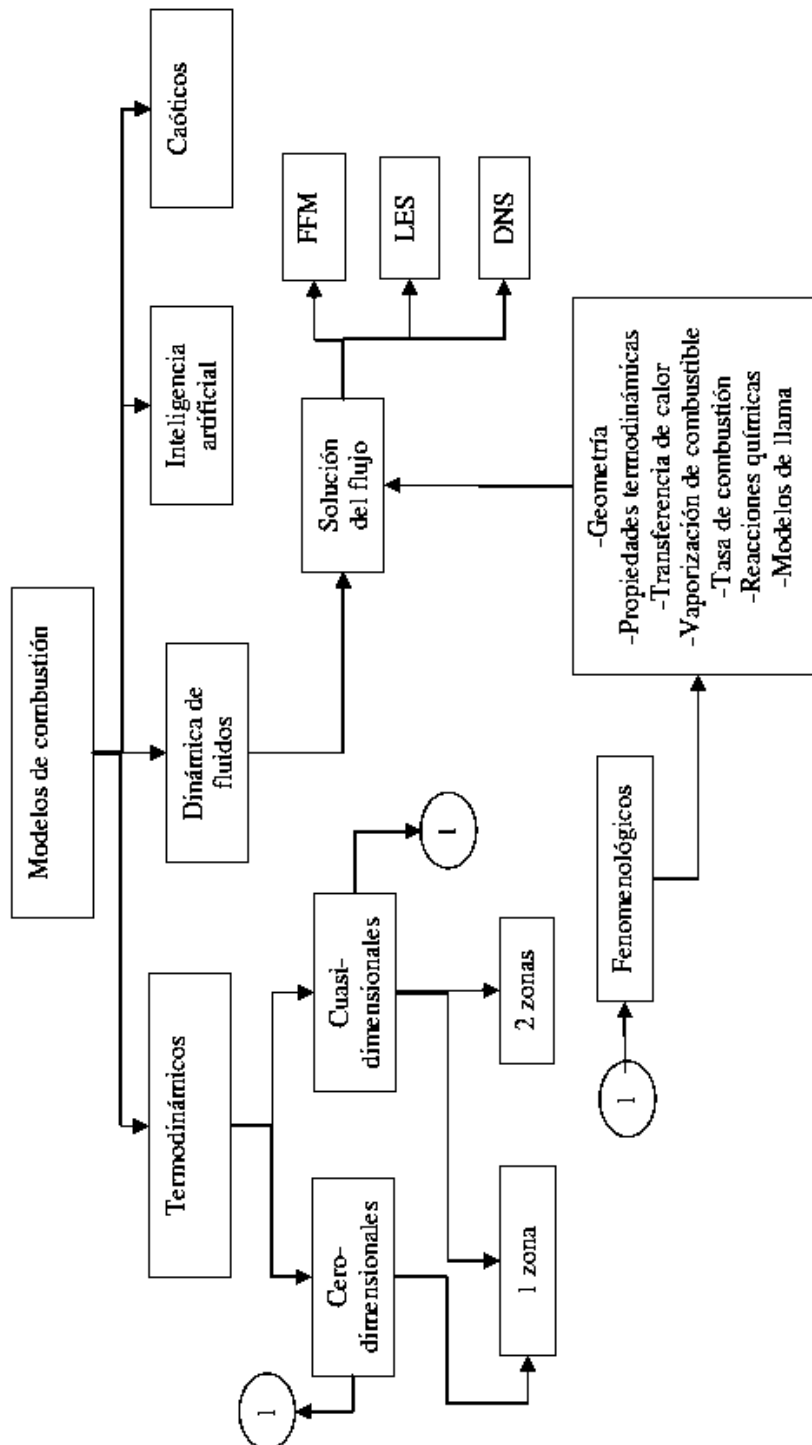


Figura 2.9 Clasificación de modelos matemáticos [Mantilla Gonzalez, 2010]

2.2 CONVERTIDOR CATALÍTICO

Desde 1975 se utilizan los convertidores catalíticos, que actualmente es lo único que logra reducir los tres contaminantes principales que emiten los vehículos automotores (CO, HC y NOx) hasta valores aceptables. Los convertidores catalíticos se instalan en la tubería de escape, entre el múltiple de escape y el silenciador. Inicialmente fueron diseñados para que pasara a través de él solo la mitad de los gases de escape. La otra mitad pasaba directamente a la atmósfera. Este sistema se discontinuó en 1979, debido a los avances en el desarrollo de sistemas de control de emisiones por parte de los fabricantes de vehículos.

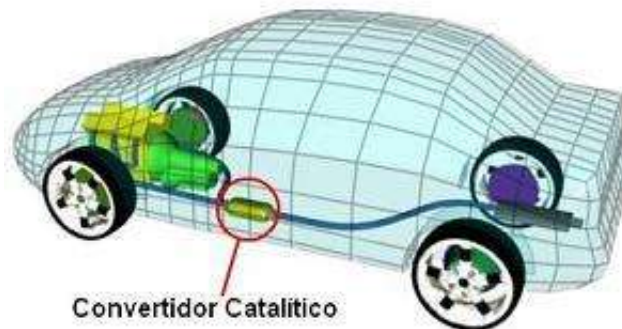


Figura 2.10 Ubicación del convertidor catalítico [Jurado Ibarra, s. f.]

El catalizador tiene como función el transformar los gases contaminantes del motor (CO, HC y NOx) en N₂, CO₂ y H₂O. Esta conversión se realiza por oxireducción (reacción química de las moléculas) [Alegoría Barrios, s. f.]. Los catalizadores de tres vías (convertidor catalítico) está compuesto por uno o más paneles de cerámica (monolito) recubierto con una película microscópica de los siguientes metales nobles: rodio, platino y paladio, que aceleran el proceso de oxireducción. Estos paneles de cerámica están localizados en un contenedor sellado y aislado [UMO, s.f.].

2.2.1 OPERACION Y FUNCIONAMIENTO DE UN CATALIZADOR

El catalizador funciona entre 300 y 900 °C. A temperaturas inferiores no funciona, mientras que a temperaturas mayores el catalizador se destruye progresivamente. En la actualidad ya existen catalizadores con sistemas de precalentamiento para lograr su temperatura de funcionamiento en un tiempo más corto [Alegoría Barrios, s. f.]. Para cumplir su función efectivamente, los convertidores catalíticos están hechos para dos tipos de procesos catalizadores: Catálisis por reducción y catálisis por oxidación [Fontanelle A., s. f.].

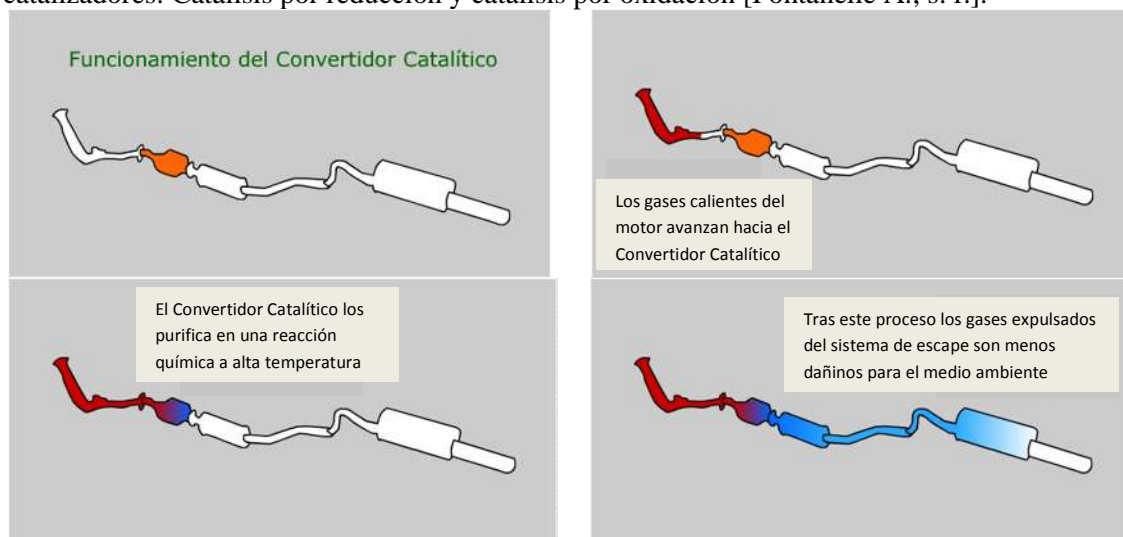
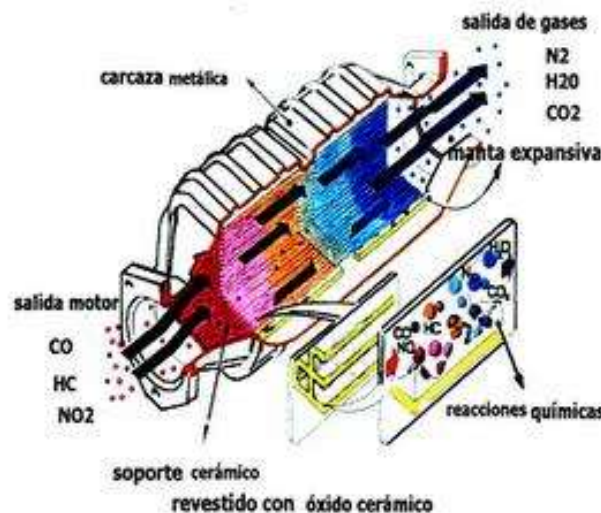
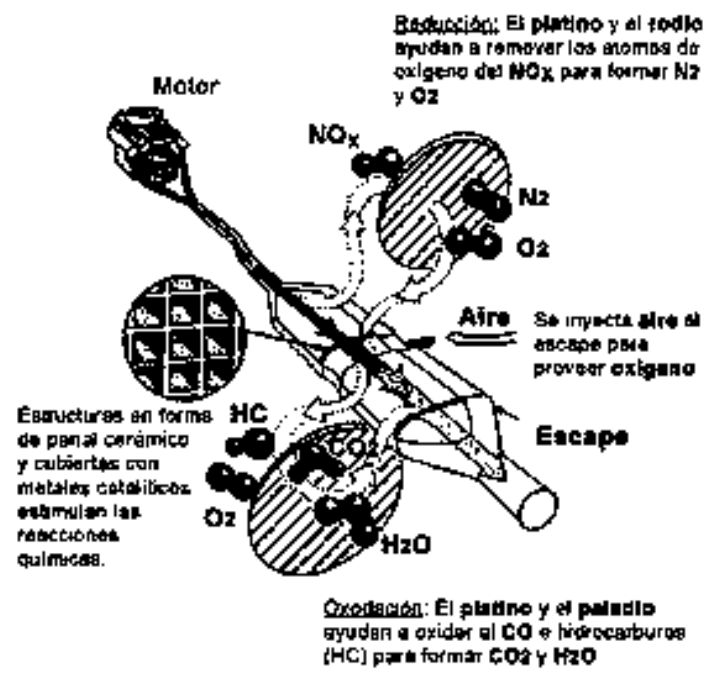


Figura 2.11 Funcionamiento del convertidor catalítico [UMO, s.f.]

La "catálisis por reducción" es considerada como el primer paso en el proceso de trabajo del convertidor catalítico, está pensada para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno empleando platino y rodio. Cuando una molécula de monóxido o dióxido de nitrógeno entra en contacto con el catalizador, éste atrapa el átomo de nitrógeno y libera el oxígeno en moléculas, posteriormente el átomo de nitrógeno se une con otro átomo de nitrógeno y se libera. Es decir, descompone los óxidos de nitrógeno en oxígeno y nitrógeno que son los componentes del aire y por lo tanto no son contaminantes [Jurado Ibarra, s. f.].

El segundo paso del proceso en el convertidor catalítico es la "catálisis por oxidación" que sirve para reducir efectivamente el monóxido de carbono no quemado y los hidrocarburos. El platino y paladio del catalizador toma los hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO) que salen del motor y los hace reaccionar (en un proceso de ignición) con el oxígeno que también viene del motor generando dióxido de carbono (CO₂) [Jurado Ibarra, s. f.]. Este proceso se lleva a cabo ya que los HC, CO y oxígeno se encuentran a elevadas temperaturas.



1 corte de un convertidor catalítico

Figura 2.12 Reacciones químicas dentro del convertidor catalítico [Jurado Ibarra, s. f.]

Hay un tercer estado en la función del convertidor catalítico, conocido como el "Control del sistema" que supervisa el flujo de las emisiones de gases de escape para manejar efectivamente la operación del sistema de inyección de combustible del motor. Se tiene un sensor de oxígeno en los gases de escape del motor antes de llegar al convertidor catalítico. Este sensor informa a la computadora sobre la cantidad de oxígeno existente en el escape, con esta información la computadora puede aumentar o disminuir la cantidad de oxígeno en el escape ajustando la relación de aire-gasolina.

El sistema de control permite a la computadora asegurarse que el motor está funcionando con relación muy cercana a la estequiométrica y además le permite mantener suficiente oxígeno en el escape para oxidar los hidrocarburos y el monóxido de carbono. Junto con la función principal del convertidor catalítico, también se logra mayor economía del consumo de combustible y un mejor desempeño del motor.

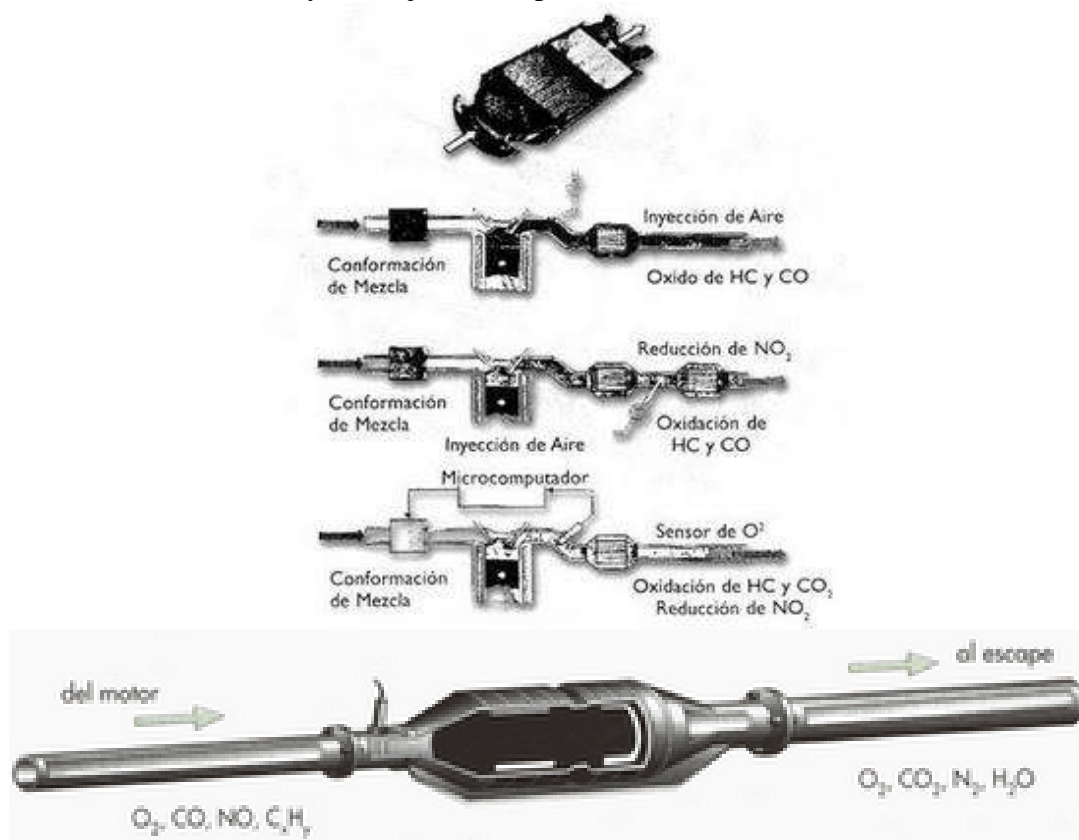


Figura 2.13 Rendimiento del catalizador [Jurado Ibarra, s. f.]

Si se instala un catalizador en un vehículo sin sensor de O_2 , su rendimiento es del 40 al 60%, mientras que si el vehículo posee sensor de O_2 , su rendimiento será del 90 al 95%. Es importante mencionar que el catalizador pierde su capacidad al utilizar gasolina con plomo. El convertidor catalítico de tres vías (TWC), es similar a los catalizadores convencionales, con la diferencia del monolítico utilizado para la oxireducción. Un catalizador convencional utiliza platino y paladio como monolítico (catalizador) y reduce solamente los HC y CO [Alegría Barrios, s. f.].

2.2.2 DAÑOS EN EL CONVERTIDOR CATALÍTICO

Para diagnosticar el funcionamiento del catalizador hay que medir los gases antes y después del mismo. Una forma práctica, es observar cuidadosamente si hay fallas en los tests de emisiones de los gases del sistema de escape, si el motor se sobrecaliente con frecuencia, si hay

pobre aprovechamiento del combustible o si la performance del motor está afectada. Si cualquiera de estos signos se encuentra presentes, es tiempo de revisar el convertidor catalítico con un mecánico especializado. Cuando el daño se confirma lo mejor es reemplazar el convertidor catalítico tan pronto como sea posible, de tal modo se previenen complicaciones para el motor [Fontanelle A., s. f.].

Algunas de las razones por las que se daña el convertidor catalítico son:

1. Motor mal ajustado. Un alto porcentaje de convertidores catalíticos presenta fallas por la falta de ajuste del motor. Otros problemas comunes son: la mezcla incorrecta de combustible y aire, bujías sucias, cables desgastados o un sistema de válvulas mal sincronizado. Todo esto puede impedir que el combustible se queme totalmente en el (los) cilindro(s); en tal caso, el combustible no utilizado puede filtrarse en el sistema de escape y quemarse al contacto con el convertidor catalítico. Como resultado la pieza se puede recalentar, haciendo fundir la cerámica.
2. Combustible en el sistema de escape. Otros problemas pueden surgir debido a la presencia de gasolina en la línea de escape, causada por inyectores de combustible defectuoso o debido a una válvula de control que no funciona correctamente. Una falla en el sensor de oxígeno puede afectar también la mezcla de aire-combustible, que puede ser muy rica o muy pobre. Si es muy rica el convertidor catalítico puede fundirse. Sin embargo si la mezcla es muy pobre, el convertidor catalítico no podrá convertir los hidrocarburos en compuestos inofensivos.
3. Aceite o anticongelante en el sistema de escape. La presencia de aceite o anticongelante en el sistema de escape es también muy dañina para el convertidor catalítico. Cuando estos productos se queman, crean un hollín pesado que cubre la cerámica del convertidor catalítico y bloquea el paso del aire. Esto no permite que el convertidor Catalítico funcione normalmente, corta el flujo de escape e incrementa la presión. De esta manera el calor de los gases de escape pueden permanecer en el motor, irrumpiendo la eficiencia de los próximos ciclos de combustión. El resultado es pérdida de potencia y sobrecalentamiento de los componentes del motor. Las posibles causas de esta clase de problemas incluyen los anillos de pistón gastados y los asientos de válvulas quebrados, así como averías en algún componente del motor.
4. Impactos en la carretera o montaje indebido. El interior del convertidor catalítico esta hecho de material liviano, delgado y frágil. Una capa de aislamiento provee una protección moderada contra daños. Sin embargo, el impacto de piedras o escombros contra el convertidor, o el golpe debido a hoyos (baches) en la carretera, o una mala instalación pueden causar un daño irreparable del convertidor Catalítico. Una vez que la cerámica del convertidor catalítico sufre algún daño, las piezas averiadas se frotan unas contra otras y se rompen. El flujo de escape es interrumpido, y esto causa un incremento de la presión, haciendo perder potencia y recalentando el motor del vehículo.

2.3 CONTAMINANTES DEBIDOS A LA ACCIÓN VEHICULAR

Ya anteriormente dentro de este capítulo se ha dado una breve descripción de los contaminantes que se emiten a la atmósfera debidos a la acción vehicular, pero es importante mencionar que existen dos categorías de contaminantes que se han asociado a la actividad vehicular [Lara Gómez, 2009]:

- Contaminantes primarios: Compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂), dióxido y monóxido de carbono (CO₂ y CO), partículas suspendidas, etc.

- Contaminantes secundarios: ozono, dióxido de nitrógeno (NO₂), familias de COV y algunas partículas, principalmente.

Por otro lado, de acuerdo al proceso asociado a la formación del contaminante, éstos pueden tener los siguientes orígenes [Lara Gómez, 2009]:

Tabla 2.2 Clasificación de contaminantes por su tipo de formación [Lara Gómez, 2009]

Tipo de Emisión	Causa
Emisiones evaporativas del motor caliente	Se deben a la volatilización del combustible en el sistema de alimentación después de que el motor se ha apagado
Emisiones evaporativas de operación	Se ocasionan por las fugas de combustible, como líquido o vapor, que se presentan mientras el motor está en funcionamiento
Emisiones evaporativas durante la recarga de combustible	Son debidas a la evaporación desplazada del tanque de combustible del vehículo durante la recarga. Estas pueden ocurrir mientras el vehículo está en reposo y en puntos conocidos, como las gasolineras
Emisiones diurnas	Se forman en el tanque de combustible del vehículo por una elevación de la temperatura del combustible normal por la acción del sol.
Emisiones evaporativas en reposo	Se presentan cuando el motor no está en funcionamiento y se deben principalmente a fugas de combustible y de la permeabilidad o fugas de los conductos de combustible

Es importante recordar que las emisiones de contaminantes siempre dependen de la composición del combustible y de las características de la combustión [Lara Gómez, 2009].

Evaporativas

- Estabilización en caliente
- Pérdidas en operación
- Pérdidas en reposo
- Pérdidas en motor

Evaporativas

- Recarga
- Diurnas

Escape

- Inicio en frío
- Inicio en caliente
- Caliente estable
- Reposo



Figura 2.14 Proceso de emisión en vehículos [Lara Gómez, 2009]

2.4 CONTAMINANTES CRITERIO Y EFECTOS EN LA SALUD

Aunque en la combustión de los vehículos se generan muchos tipos de contaminantes, en México actualmente sólo se encuentran normados seis contaminantes criterio, por

considerarse los más agresivos a la salud, los cuales se encuentran establecidos en las siguientes normas:

- NOM-020-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono (O₃)
- NOM-021-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO)
- NOM-022-SSA1-2010. Salud Ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de azufre(SO₂)
- NOM-023-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno
- NOM-025-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales (PST), partículas menores de 10 micrómetros (PM₁₀) y partículas menores de 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población [SIMA, s. f.].
- NOM-026-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. Como los combustibles actualmente no contienen éste contaminante, se descarta como contaminante criterio para el análisis.

Estas normas nos marcan los límites máximos permisibles de los contaminantes, los cuales de manera resumida son [INE, 2007]:

Tabla 2.3 Límites normados para los contaminantes del aire en México [INE, 2011]

Contaminante	Límites			Normas Oficiales Mexicanas
	Exposición aguda		Exposición crónica	
	Concentración y tiempo para el promedio	Frecuencia máxima aceptable	Concentración y tiempo para el promedio	
PST	210 µg/m ³ (24 hr)	-	-	Modificación a la NOM-025-SSA1-1993
PM ₁₀	120 µg/m ³ (24 hr) ^b	2% de datos diarios en un año	50 µg/m ³ (prom. anual)	
PM _{2.5}	65 µg/m ³ (24 hr)	2% de datos diarios en un año	15 µg/m ³ (prom. anual)	
O ₃	0.11 ppm (1 hr) (216 µg/m ³)	No se permite	-	Modificación a la NOM-020-SSA1-1993
	0.08 ppm (8 hr)	4 veces en un año	-	
SO ₂	0.11 ppm (24 hr) (288 µg/m ³)	1 vez al año	0.025 ppm (66 µg/m ³) (promedio anual)	NOM-022-SSA1-2010
	0.200 ppm (1 hr) (524 µg/m ³)	2 veces al año		
CO	11 ppm (8 hr) (12595 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1-1993
NO ₂	0.21 ppm (1 hr) (395 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-1993

A continuación se hará una breve descripción de la afectación de estos contaminantes criterio en la salud humana.

2.4.1 PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES, PM10 Y PM2.5

Las partículas pueden tener un origen natural o bien formarse por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Estas últimas pueden estar constituidas por sulfatos y nitratos (y sus ácidos correspondientes) o por carbono orgánico. Por ejemplo, estudios realizados en la Ciudad de México (Ciudad Universitaria) en 1992, indicaron que durante el día muestras de aerosoles de diámetro menor a 2.5 micrómetros, tenían una composición química de 15% de sulfatos, 16% de nitratos, 20% de carbono orgánico y 49% de otros compuestos. También existen partículas y aerosoles en estado líquido que contienen compuestos orgánicos.

El origen de los aerosoles y de las partículas puede atribuirse a la emisión de polvos, gases y vapores provenientes de los vehículos automotores y de las fábricas; así mismo, se pueden formar en la atmósfera a partir de gases y vapores producidos por algunos de los siguientes procesos: reacciones químicas entre contaminantes gaseosos; reacciones químicas entre contaminantes gaseosos sobre la superficie de partículas ya existentes; aglomeración de aerosoles; o reacciones fotoquímicas en las que intervienen compuestos orgánicos (Figura 2.15) [JAL, 1997].

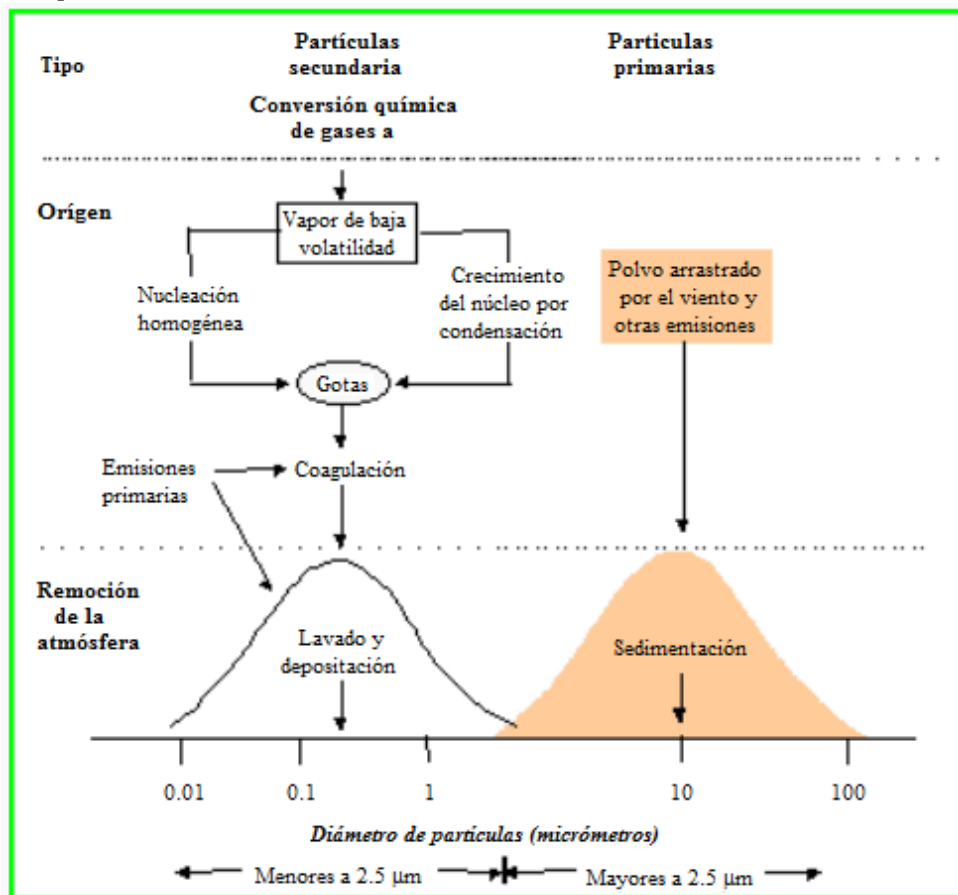


Figura 2.15 Distribución por tamaño y origen de partículas ambientales [JAL, 1997]

La exposición a las partículas suspendidas puede causar reducción en las funciones pulmonares, lo cual contribuye a aumentar la frecuencia de las enfermedades respiratorias. En concentraciones muy elevadas, ciertas partículas (como el asbesto) pueden provocar cáncer de pulmón y muerte prematura. En específico, las partículas pueden tener cualquiera de los siguientes efectos:

- Provocar secuelas tóxicas debido a sus inherentes características físicas, químicas o ambas.
- Interferir con uno o más mecanismos del aparato respiratorio.
- Actuar como vehículo de una sustancia tóxica absorbida o adherida a su superficie.

Las partículas en conjunción con el bióxido de azufre provocan respiración agitada, disminución del volumen de las vías respiratorias, dificultad para respirar e irritación en las vías respiratorias de leve a severa. Adicionalmente las partículas muestran impactos sobre la visibilidad, sobre todo las menores a 2.5 micrómetros dado que interfieren con la luz visible. La disminución de la visibilidad se debe a la dispersión y absorción de la luz por los aerosoles o partículas.

Las partículas suspendidas menores a 10 micrómetros de diámetro aerodinámico pueden ser inhaladas y llegar a los pulmones, causando daños a la salud. Se considera que este tipo de partículas es un mejor indicador de la calidad del aire que las partículas suspendidas totales que anteriormente se utilizaban como contaminante criterio. Actualmente, la norma de calidad del aire para PM10 en México y en E.U.A. es de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio de 24 horas de muestreo.

La exposición a PM10 ha generado una creciente preocupación en años recientes, pues día a día aparecen estudios que demuestran una asociación significativa entre la concentración ambiental de partículas de fracción respirable y la mortalidad y morbilidad de las poblaciones. En forma sorprendentemente consistente, a través de muchos estudios se ha encontrado un 2-8% de incremento en la mortalidad normal diaria por cada 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de incremento de PM10 a partir del valor de la norma, siendo la asociación más significativa con cánceres cardiovasculares y de pulmón. Es de especial preocupación el hecho de que no parece existir una concentración mínima en la cual ya no se detecten impactos en la salud.

Tomando en cuenta las concentraciones de PM10 que se presentan cotidianamente en la ZMG se puede concluir que una significativa porción de la población de la ciudad estaría expuesta a concentraciones superiores a los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma actual) y que un número considerable de individuos pudiera estar expuesto a concentraciones mayores. A pesar de que no existen estudios completos realizados en México, los datos arriba mencionados nos indican que la contaminación por partículas suspendidas debe contribuir de manera significativa a la incidencia de enfermedades respiratorias, así como a un incremento en el largo plazo en la mortalidad por encima de los niveles atribuibles a otros factores [JAL, 1997].

2.4.2 OZONO

Resultados de numerosos estudios indican que la exposición a ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar, y efectos sistémicos en órganos blancos distantes al pulmón, como por ejemplo el hígado.

Los efectos pulmonares observados en seres humanos saludables expuestos a concentraciones urbanas típicas de ozono consisten en un decremento de la capacidad inspiratoria, una bronco-constricción moderada y síntomas subjetivos de tos y dolor al inspirar prolongadamente. La reducción de la capacidad inspiratoria da como resultado una reducción en la capacidad vital forzada (CVF) y en la capacidad pulmonar total (CPT), y en combinación con la bronco-constricción contribuye a una reducción en el volumen expiratorio forzado en un segundo (VEF1).

En los últimos ocho años se ha publicado un considerable número de artículos informando sobre los efectos en la salud causados por ozono y otros oxidantes fotoquímicos a niveles muy cercanos a la norma actual de calidad del aire (0.11 ppm en 1 hora de exposición cada tres años). Algunos de los estudios recientes en los que se expone a individuos por períodos de 1 a 2 horas indican que pueden presentarse decrementos en la función pulmonar de niños y adultos jóvenes cuando se exponen a concentraciones de 0.12 a 0.16 ppm, mientras llevan a cabo diferentes niveles de ejercicio.

Otros estudios sobre exposición prolongada (de hasta 7 horas) a concentraciones bajas de ozono en el intervalo de 0.08 a 0.12 ppm, indican que existe un decremento progresivo de la función pulmonar, así como un incremento en los síntomas respiratorios en situaciones de ejercicio moderado [DDF, 1997].

2.4.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

El SO_2 pertenece a la familia de los óxidos de azufre (SO_x) que son gases incoloros que se forman al quemar azufre y tienden a disolverse fácilmente en agua. La fuente primaria de SO_x es la quema de combustibles fósiles, que contienen azufre en su composición, como el combustóleo y en particular, el carbón. Sin embargo, dentro de los SO_x , se incluyen a otros compuestos de azufre de origen natural, como el ácido sulfhídrico (H_2S) y el di-metilsulfuro (CH_3SCH_3) proveniente de erupciones volcánicas y de la brisa marina.

La exposición a SO_2 produce irritación e inflamación aguda o crónica de las mucosas conjuntival y respiratoria. El SO_2 puede transformarse en otros productos, tales como partículas finas de sulfato (SO_4) y niebla de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Se ha visto que bajo la combinación de partículas y SO_4 , suele aumentar el riesgo en la salud al incrementar la morbilidad y mortalidad de enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias. En individuos asmáticos puede producir bronco-constricción [INE, 2009].

2.4.4 MONÓXIDO DE CARBONO

Es un contaminante gaseoso, incoloro e inodoro [INE, 2009], que se produce por la combustión incompleta de los compuestos carbonados (leña, carbón, parafina, petróleo). Se genera especialmente por las emisiones vehiculares. Pero también se produce al interior del hogar por la combustión de estufas, cocinas, humo de cigarrillo y calefontes [MMA, s. f.].

El monóxido de carbono, una vez en los pulmones, reacciona con la hemoglobina en lugar del oxígeno, para formar carboxihemoglobina. Afecta a la salud interfiriendo en el transporte oxígeno al corazón, a otros músculos y también al cerebro [MMA, s. f.]. En concentraciones altas puede ser letal ya que ocasiona una reducción significativa en la dotación de oxígeno al corazón [INE, 2009]. Por eso, las personas con enfermedades coronarias sufren un riesgo mayor frente a las exposiciones a este contaminante. Otros efectos: aumento de angina, disminución de las funciones neuroconductuales, menor peso en niños recién nacidos y retardo en el desarrollo postnatal [MMA, s. f.].

2.4.5 DIÓXIDO DE NITRÓGENO

El dióxido de nitrógeno (NO_2), junto con las partículas suspendidas son los responsables de la capa café-rojiza que se puede ver con frecuencia sobre muchas áreas urbanas. Este gas pertenece a los NO_x , término genérico comúnmente empleado para referirse a un grupo de gases altamente reactivos, que contienen diferentes cantidades de oxígeno y nitrógeno como el óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno.

Los óxidos de nitrógeno se forman cuando un combustible es quemado a altas temperaturas y/o cuando éste contiene compuestos nitrogenados. Las principales fuentes antropogénicas de NO_x , son los vehículos automotores, plantas de generación de electricidad, y otras fuentes industriales, comerciales y residenciales que queman combustibles. Los NO_x pueden formarse también naturalmente, por la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos y en menor grado en tormentas eléctricas.

El aumento progresivo en la exposición al NO_2 puede producir irritación pulmonar, problemas de percepción olfativa, molestias respiratorias, dolores respiratorios agudos y edema pulmonar [INE, 2009]; además, la exposición prolongada a este gas se asocia con daños a la

percepción sensorial, agravamiento de los síntomas en asmáticos y de los síntomas relacionados con enfermedades pulmonares crónicas. Como resultado de varios estudios llevados a cabo en la ZMVM e internacionalmente, se encontró una asociación entre un incremento del número de visitas a hospitales por síntomas de infecciones respiratorias agudas, y la exposición al NO₂ [Zuk, 2007].

2.5 USO DE MODELOS PARA PREDECIR LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES POR FUENTES MÓVILES

Actualmente la estimación de emisiones de fuentes vehiculares presenta un reto en cuanto que estas emisiones varían dependiendo de numerosos factores y, a diferencia de las fuentes puntuales, no es factible medir las emisiones provenientes de cada una de las fuentes móviles debido a la gran cantidad y variedad de vehículos en circulación que existen. Sin embargo, una adecuada estimación de este tipo de emisiones es indispensable si se pretende usar el inventario para la identificación de cambios debidos a la implementación de un programa o medida de control de calidad del aire. Esto se debe a que estos cambios generalmente no representan más de un cinco o diez por ciento del total del inventario, por lo tanto, si la estimación no es suficientemente precisa, no es útil para identificar el cambio [Cotler H., 2009].

Por otro lado, los autores que han desarrollado y propuesto modelos para el manejo de la calidad del aire urbano, consideran que si se cuenta con la información de las condiciones de las variables de la zona de estudio, los modelos permiten, mediante un correcto manejo de los datos, realizar un análisis detallado y aproximado de la información obtenida para implementar medidas de control de contaminantes atmosféricos [Granada L. F., 2011].

En este esquema, los escenarios de emisiones son fundamentales para los modelos para evaluar los impactos de los cambios previstos y diseñar las correspondientes estrategias de limitación, e incluso para estimar el impacto global de dichas estrategias. El uso de modelos, unidos al estudio de procesos físicos conocidos, son la herramienta esencial para predecir cómo pueden ser las emisiones del futuro según las distintas hipótesis de reducción de emisiones, y para justificar y explicar la variabilidad, de periodos mayores, observar en el pasado y en el presente [González A. de A., 2004].

Es decir, la modelización constituye una herramienta ineludible para comprender y simular los mecanismos que definen las emisiones y sus variaciones, y de esta manera adquirir un conocimiento cualitativo y cuantitativo sobre estas y predecir su evolución durante un periodo definido [CESCV, s. f.].

2.6 PROGRAMA DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

Los Programas de Inspección y mantenimiento (I/M) son dos maneras de controlar si los sistemas de control de emisión en el vehículo están trabajando correctamente. Todos los autos de pasajeros y los camiones que se venden deben poseer hoy estándares rigurosos de contaminación, pero pueden tener estándares bajos de contaminación si el control de las emisiones y el motor funcionan adecuadamente. I/M se diseñaron para asegurar que los

vehículos “stay clean” (se mantengan limpios) mientras los clientes lo usan. Con visitas de inspección de autos periódicos y las reparaciones requeridas para los vehículos que fallan en la prueba, I/M animan al mantenimiento apropiado de los vehículos y desalienta el tratar de forzar los dispositivos del control de emisión.

Los fabricantes de vehículo de motor han requerido presentar nuevos estándares cada vez más rigurosos de contaminación de vehículos. Pero los vehículos que no se les provee mantenimiento o que funcionan incorrectamente a menudo exceden los estándares. Incluso los funcionamientos de menor importancia pueden aumentar las emisiones mientras que los de mayor importancia pueden hacer que las emisiones se eleven súbitamente. La mayoría de los autos (autos promedio) que transitan emiten tres a cuatro veces más contaminación que lo que los estándares le permiten a los autos nuevos [CCAR-Greenlink, s. f.].

El porcentaje de “dirty vehicles” (vehículos sucios) aumenta con los años. Aproximadamente 30% de los carros (que cuentan con alrededor de cinco años de uso) emiten contaminación excesiva. Los carros con alrededor de siete años de uso, el promedio de edad de los autos de pasajeros en los Estados Unidos, 55% de vehículos son emisores altos. En general, de 10% a 30% de los vehículos causan la mayor cantidad de problemas [CCAR-Greenlink, s. f.].

Desafortunadamente, no son siempre obvios los vehículos que caen dentro de esta categoría, a medida que las emisiones por sí mismas no pueden ser perceptibles y el mal funcionamiento del control de emisiones no necesariamente afecta la capacidad de los vehículos de ser utilizados. Los programas eficaces de I/M pueden identificar los problemas de estos vehículos y asegurar su reparación.

Los conductores de sus propios autos no pueden pensar en sus vehículos como fuentes de contaminación, pero los coches y los carros son colectivamente los contribuidores más grande de este país a la contaminación con monóxido de carbono y al ozono a nivel de la tierra, el componente principal de la niebla (smog). En las ciudades contaminadas, los vehículos contribuyen con 35% a 70% de emisiones de formadores de ozono y más de 90% de emisiones de monóxido de carbono. Las concentraciones ambientales de uno o de ambos agentes contaminadores exceden los estándares de calidad nacionales del aire en cada área urbana importante del país [CCAR-Greenlink, s. f.].

Las reducciones substanciales en las emisiones de los vehículos son esenciales en las ciudades que luchan para alcanzar la meta del aire limpio. Dependiendo de lo sofisticado del programa, I/M puede reducir las emisiones de los vehículos relacionadas al monóxido de hidrocarburo y de carbono entre 5% y 30%. Un programa comprensivo de I/M puede también rendir reducciones en las emisiones de óxido de nitrógeno hasta en 10% [CCAR-Greenlink, s. f.].

La Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) supervisa un número de programas diseñados para limitar las emisiones de los vehículo, incluyendo los requisitos para vehículos “más limpios”, combustibles menos contaminantes, y alternativas “más limpias” de transporte. No obstante, un programa bien diseñado de I/M sigue siendo una manera eficaz y más “rentable” de alcanzar reducciones importantes en la contaminación de los vehículos [CCAR-Greenlink, s. f.].

Los estados diseñan y funcionan programas de I/M de acuerdo con la política nacional fijada por SUMA. En algunos estados, las inspecciones están a cargo de las estaciones de inspección del gobierno o de agencias privadas que no ejecutan o realizan reparaciones de vehículos. Otros estados licencian estaciones de gasolina y los talleres de reparaciones para

hacer exámenes. La mayoría de los estados requieren auditorías anuales [CCAR-Greenlink, s. f.].

Dos tipos básicos de pruebas se realizan en programas de I/M. La primera es una prueba de emisiones del tubo de escape (emisiones del extractor). En la misma una sonda se introduce (se inserta) en el tubo de escape mientras que el vehículo está inactivo o mientras que el motor está alrededor de las 2500 RPM (revoluciones por minuto). Los técnicos que se encargan de las emisiones entonces miden niveles de la contaminación en el extractor. El segundo procedimiento implica una inspección para asegurarse de que los componentes críticos del control de emisión están presentes y operando. Los autos que fallan debido al extractor sucio o los controles de emisión defectuosos deben ser reparados y ser nuevamente inspeccionados [CCAR-Greenlink, s. f.].

Los costos de las pruebas de I/M pueden variar de estado en estado. Los costos de las reparaciones también varían considerablemente, dependiendo de la causa del incidente. El costo de algunas reparaciones son cubiertas bajo las garantías de funcionamiento o el efecto del control de la emisión requeridas por el “Acta del aire limpio” o bajo otras garantías del fabricante [CCAR-Greenlink, s. f.].

Los estados consideran el diseño del vehículo para fijar los estándares para pasar o no pasar las pruebas de pruebas de I/M. Los vehículos más viejos no tienen los mismos estándares que los nuevos modelos con controles de emisión más sofisticados. Además, muchos estados renuncian a los requisitos de reparación si el costo excede un límite predeterminado [CCAR-Greenlink, s. f.].

Cabe mencionar que el resultado de la revisión técnica influye en la decisión del propietario para reparar, vender propietario para reparar, vender o chatarrar el vehículo. Sin embargo, actualmente los usuarios desconfían de la revisión técnica y la consideran ineficiente. Pero no hay que perder de vista que los programas I/M nos permiten una mayor concientización en temas ambientales / emisiones de vehículos, un incremento de servicios en los talleres y una concientización en seguridad vial (Luces, frenos, llantas etc.) [Kunckel K., s. f.].

2.7 CALIDAD DEL COMBUSTIBLE

El uso de energía es el hilo conductor entre la actividad urbana y la generación de contaminantes atmosféricos. En particular, el uso de combustibles fósiles en el transporte, la industria, los servicios y en el sector doméstico, constituye una de las causas más significativas de emisiones a la atmósfera.

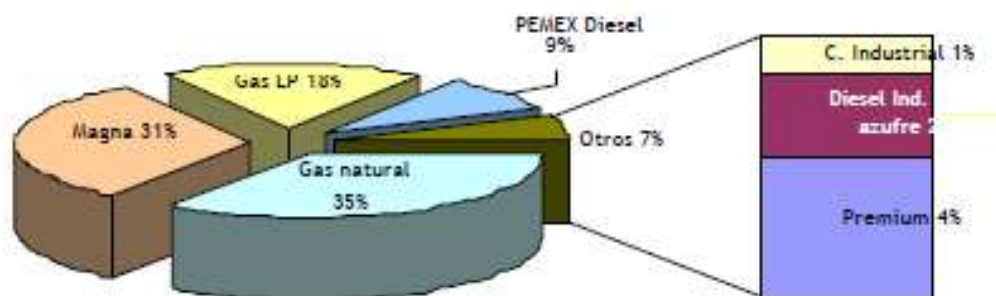


Figura 2.16 Distribución energética por combustible en el año 2000 [SEMARNAT, 2003]

Actualmente los principales aportadores de energía son las gasolinas con 35%, el gas natural con 35%, el gas LP con 18% y el diésel vehicular con 9%, cabe mencionar que todos los derivados del petróleo que se manejan dentro de México son producidos por PEMEX. La figura anterior muestra la distribución energética por tipo de combustible [SEMARNAT, 2003].

Haciendo un análisis detallado, se tiene que desde 1990 el transporte es el principal consumidor de energía, su demanda más baja en el periodo 1990-2000 fue de 45% y la mayor fue de 50.7% del total de la energía generada por la combustión de los combustibles incluidos en este balance energético. Para el caso de la industria se tiene que en este mismo periodo su consumo energético se ha mantenido entre 32.9% y 39.6%; la participación en la demanda energética por el sector residencial/comercial de 1990 respecto al 2000 varió en 1% [SEMARNAT, 2003]. Por otro lado, en el periodo 1990-2000 la demanda de gasolina se incrementó en casi 19%; aunque el consumo de gasolina Nova fue disminuyendo hasta desaparecer en 1998; en la misma proporción la demanda de gasolina Magna fue aumentando y en 1996 se inicia la distribución de la nueva gasolina PEMEX "Premium" [SEMARNAT, 2003].

La gasolina es un hidrocarburo con 5 a 12 átomos de carbono por molécula, su rango de destilación varía entre 40° y 200° C, y se utiliza como combustible en motores de combustión interna de dos o cuatro tiempos, principalmente automóviles, motocicletas y vehículos livianos en general. Es una sustancia líquida volátil, inflamable e incolora; el aspecto verde, rojo o amarillento se logra mediante la incorporación de un colorante artificial, que además de facilitar su diferenciación, permite controlar su eventual adulteración [USAL, s. f.].

Una propiedad muy importante de las gasolinas es el índice de octano que es una medida de su capacidad antidetonante. Las gasolinas que tienen un alto índice de octano producen una combustión más suave y efectiva. Anteriormente se usaba el Tetraetilato de plomo para mejorar el octanaje, pero al arder los residuos de plomo poco volátiles se van depositando sobre los asientos de las válvulas de escape y el plomo que se emite es altamente tóxico por lo que fue sustituido su uso por el metil t-butil eter (MTBE) [USAL, s. f.].

Actualmente existe mucho interés en reducir el contenido de azufre en las gasolinas y combustibles. El azufre está presente como un contaminante en el petróleo crudo, su concentración es mayor en los crudos pesados y amargos y los procesos de craqueo y coquización propician la formación de diversos compuestos de azufre y por tanto, su eliminación conlleva condiciones más severas de hidrodesulfuración, incrementando los costos de producción [Páramo J. V., 2004].

Se ha estimado que al reducir el contenido de azufre significativamente en los combustibles, el potencial de reducción de gases de efecto invernadero es también muy elevado, el transporte vehicular representa 14% de las emisiones globales de CO₂ y el diseño avanzado de motores, permitido por los combustibles de bajo azufre, hace posible una reducción de 20% a 45% de estas emisiones [Sierra M. E., 2004].

Al reducir los hidrocarburos (HC), partículas menores a 2.5 µm (PM_{2.5}), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂) a nivel nacional, se mejoraría la calidad del aire, con lo que se evitarían aproximadamente 56 mil muertes prematuras, 166 mil casos de bronquitis crónica, 5.6 millones de días de trabajo perdidos y 78.4 millones de días de actividad restringida por enfermedades respiratorias, durante el periodo 2006-2030. Estimándose que el valor de

estos beneficios es de \$11,373 millones de dólares, que al compararlo con el valor de los costos -\$4,683 millones de dólares- se traduce en un valor presente neto de \$6,690 millones de dólares (cociente beneficio/costo de 2.4), es decir, los beneficios son más de dos veces superiores a los costos [SEMARNAT, 2006].

También es importante mencionar que si compuestos del Azufre están presentes en los combustibles vehiculares en altas concentraciones, pueden impactar negativamente el funcionamiento de las tecnologías empleadas para reducir contaminantes como NOx, HC totales, monóxido de carbono (CO) y partículas (principalmente en el caso de motores diésel) [SGPA, s. f.], aunque esto también se puede presentar de forma inversa. Prueba de esto fue el aumento de ozono en la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) en forma aparentemente inexplicable, que coincidió claramente con el cambio de gasolinas realizado por PEMEX en esa misma fecha (1987), sugiriendo que existió un cambio en el balance de gases orgánicos reactivos (ROG) y NOx que eran emitidos a la atmósfera como consecuencia de una posible alteración en la formulación del nuevo combustible automotriz y al requerimiento de otras condiciones de diseño en motores para utilizar gasolinas sin plomo (motores con convertidores catalíticos), cosa que no sucedía en México [Bravo H *et al.*, s. f.].

Parámetro	% controlado*	Controles requeridos
HC	66	Timing de ignición
CO	63	Relación aire/combustible
NOx	11	Inyección de aire, Recirc. de gases de escape
HC	89	Catalizador de oxidación
CO	83	Timing de ignición
NOx	39	Recirculación de gases de escape
HC	94	Catalizador de tres vías
CO	95	
NOx	71	Inyección electrónica de combustible
HC	94	Catalizador de oxidación
CO	98	Inyección electrónica de combustible
NOx	71	Cámara de combustión de quemado rápido
HC	96	Catalizador de tres vías
CO	97	Inyección electrónica de combustible
NOx	88	Recirculación de gases de escape
HC		Catalizador eléctrico de tres vías
CO		Inyección electrónica de combustible
NOx		Recirculación de gases de escape

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Etapa de control

Estándares más exigentes de combustibles

* Comparado con niveles no controlados

Figura 2.17 Control de emisiones de escape para vehículos ligeros a gasolina [SGPA, s. f.]

Parámetro	% controlado*	Controles requeridos
NOx	40	Timing de la inyección
MP	33	Optimización de la combustión
NOx	40	Timing variable de inyección
MP	78	Optimización de la combustión, RGE
NOx	40	Inyección electrónica de combustible, Optimización de la combustión, RGE, Convertidor catalítico o trampa de partículas
MP	92	

*Ver especificaciones de combustibles

Etapa de control

Estándares más exigentes de combustibles

* Comparado con niveles no controlados

Figura 2.18 Control de emisiones de escape para vehículos ligeros a diésel [García J. F., 2007]

Es importante mencionar, que de acuerdo a la norma mexicana Proy-NOM-086-SEMARNAT -2003 [SEGOB, 2005], para mediados del año de 2008, se debería contar ya con combustibles de ultrabajo azufre (UBA), pero de acuerdo a datos de Pemex, el llamado “Proyecto Integral de Combustibles Limpios” requiere una inversión aproximada de 5.5 mil millones de dólares, debido a que la infraestructura actual de nuestras refinerías no está diseñada para obtener gasolinas con tan bajo azufre. De nuevo, de acuerdo a Pemex, esto implica construir 11 plantas de postratamiento de gasolinas, 4 nuevas plantas de hidrotratamiento de diésel y modernizar 18 plantas existentes de hidrotratamiento de destilados intermedios [CEFP, 2008], con lo cual es fecha que aún no se cumpla la agenda de la norma y sólo unos pocos estados cuentan con combustible UBA (caso del Distrito Federal y Nuevo León).

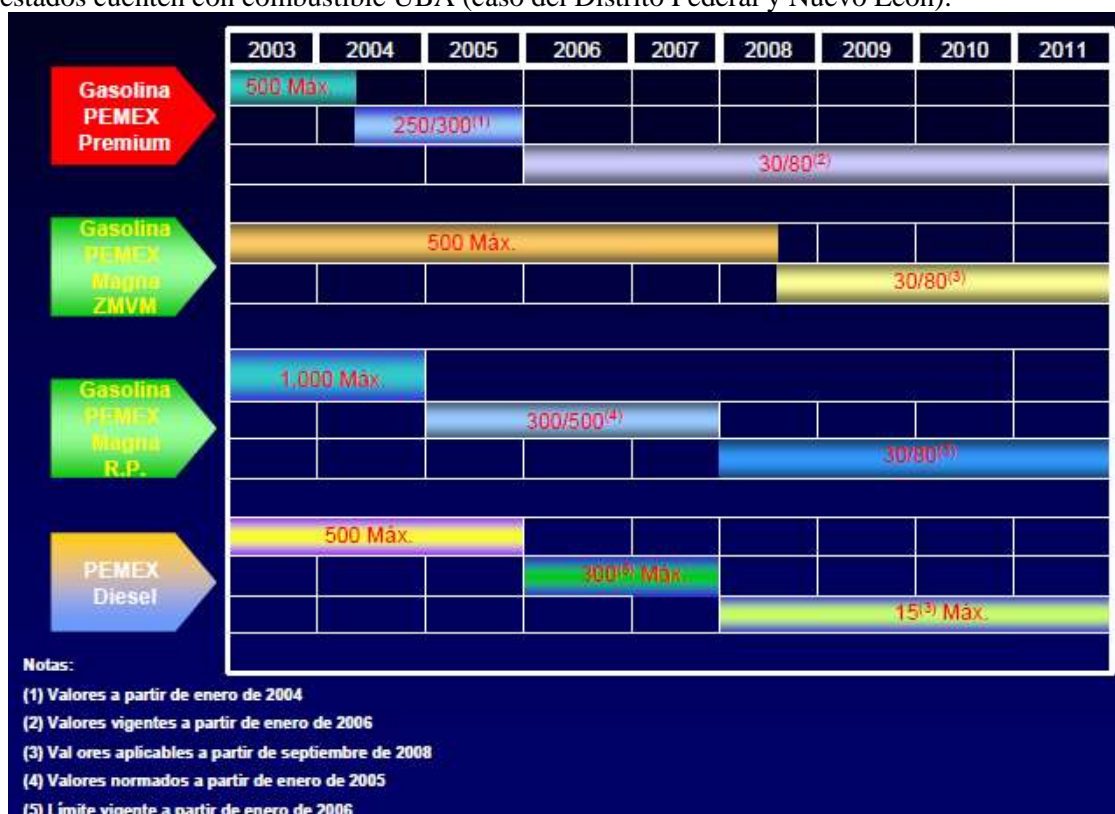


Figura 2.19 Concentración Promedio/Máxima en ppm en Peso de Azufre [Sierra M. E., 2004]

2.8 INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES

En el presente proyecto se pretende aplicar el modelo MOBILE6-Mexico para determinar un Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles para la Zona Metropolitana de la Ciudad de Morelia y hacer una evaluación sobre la implementación de un Programa de Verificación Vehicular dentro de la Ciudad.

2.8.1 GENERALIDADES

Los inventarios de emisiones son las estimaciones de la cantidad de contaminantes que se emiten a la atmósfera por los diferentes tipos de fuentes durante un periodo determinado de tiempo. Las fuentes pueden clasificarse como puntuales o fijas, de área, de vehículos automotores y naturales [Bautista Ramírez, 2007].

Los inventarios de emisiones pueden ser un instrumento de gestión en materia de calidad del aire y salud, ya que pueden utilizarse para el diseño y ejecución de diversos proyectos como son: determinar y evaluar riesgos y efectos en la salud por exposición, realizar estudios y modelación de la calidad del aire; así mismo, es una referencia actualizada para la renovación de las medidas de mejora de la calidad del aire en las Zonas Metropolitanas de las ciudades [Secretaría del Medio Ambiente Gobierno de Distrito Federal, 2008].

A su vez, esto nos permite planear estrategias de reducción de la contaminación del aire en las ciudades. Los inventarios se reconocen internacionalmente como uno de los elementos importantes en la política de calidad del aire, además de que suministran información crucial sobre fuentes de emisión y constituyen una herramienta fundamental para evaluar políticas o estrategias ya implementadas [Bautista Ramírez, 2007].

2.8.2 ANTECEDENTES EN MEXICO Y MORELIA

El primer documento de regulación de contaminantes tóxicos en Estados Unidos de Norteamérica (USA), fue generado por el Departamento de Protección al Ambiente de Nueva Jersey en 1979. En México estas actividades se inician años después (1991), con mediciones generales de compuestos orgánicos volátiles (COV) y estudios de riesgos a la salud, realizados por el Instituto Nacional de Ecología y el Instituto Mexicano del Petróleo [Secretaría del Medio Ambiente Gobierno de Distrito Federal, 2008].

En particular para la Zona Metropolitana del Valle de México, se tienen estudios de mediciones de COV y metales tóxicos desde 1999, realizados por Serrano-Trespacios. Así mismo, en el año 2006 se presentó el primer Inventario de Contaminantes Tóxicos del Aire de la ZMVM del año 2004, el cual se elaboró con la finalidad de impulsar el desarrollo e implementación de una normatividad que regule las emisiones de dichos contaminantes. Los inventarios de emisiones de contaminantes tóxicos del aire se reportan de manera bianual para dicha zona [Secretaría del Medio Ambiente Gobierno de Distrito Federal, 2008].

Otros inventarios que se han realizado dentro del país y que contribuyeron con el Instituto Nacional de Ecología son [Acosta, *et.al.*, 2004]:

- Área Metropolitana de la Ciudad de México y Valle de México, en el año 2000;
- Guadalajara, 1995;
- Monterrey, 1995;
- Ciudad Juárez, 1996;
- Toluca, 1996;
- Mexicali, 1996;
- Tijuana, Tecate, y Rosarito, 1998;
- Estado de Tabasco, 2000; y
- El Inventario de la Planta de Poder Nacional, 1999.

Dentro de las poblaciones del país que también cuentan con alguna clase de inventario de emisiones de contaminantes, tenemos a:

- Aguascalientes, 1996 [Burnette, *et. al.*, 2001]
- Los estados de Baja California Norte, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas, 1999 [Acosta, *et. al.*, 2004];
- La Zona Metropolitana del Valle de Puebla, 2004 [SEMARNAT, 2005];
- La Ciudad de Uruapan, 2007 [Lara Gómez, 2009]
- La Ciudad de Morelia y 5 ciudades aledañas, 2009 [SUMA, 2008]

Todos los inventarios anteriormente mencionados, basan los datos obtenidos principalmente en programas de modelación y en lo que se refiere a emisiones de vehículos automotrices en el programa MOBILE.

2.9 IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LA OPERACIÓN VEHICULAR Y EL USO DE PROGRAMAS DE VERIFICACIÓN VEHICULAR

En los años setentas la zona Metropolitana del Valle de México, la primera urbe mexicana en sufrir los efectos por el creciente número de vehículos a combustión interna, se iniciaron los programas de atención al problema ambiental de las emisiones contaminantes a la atmósfera. A finales de la década de los ochentas, se planteo inicialmente una iniciativa voluntaria y después como obligatorio el programa hoy no circula, que restringía a los vehículos a circular un día de la semana, en función a las placas de circulación que identifican a cada vehículo, registrado ante las autoridades viales [CEAMA, 2007].

Un factor que contribuyo desde 1994 a reducir el problema de emisiones contaminantes a la atmósfera fue el diseño y construcción de vehículos de modelos a gasolina, que tenían instalados convertidores catalíticos que terminan de convertir el agua y CO₂, aquellas trazas de HC y de CO producidas por el motor del vehículo, mientras que los NO_x son reducidos a gas nitrógeno, antes de ser expulsados al aire [CEAMA, 2007].

El programa de verificación de las emisiones de los vehículos que circulan en el área metropolitana del Valle de México ha sido uno de los factores relevantes en revertir los niveles de concentración Ambientales de los contaminantes prioritarios y en darle seguridad tanto a los propietarios de vehículos como a las autoridades gubernamentales que esta aplicándose la normatividad de manera adecuada y justa [CEAMA, 2007].

Con esta base de aplicación, pueden lograrse avances de abatimiento mayor dentro de los programas de mejoramiento de la calidad del aire en cada una de las entidades del país; tomando como plataforma de inclusión de tecnologías y de procedimientos de evaluación de emisiones vehiculares a las especificaciones elaboradas por el Buró Americano de Reparaciones (BAR), emitidas en el año 1997, y contando con la valiosa aportación de autoridades ambientales estatales que cuentan con programas de abatimiento de emisiones vehiculares mediante la inspección y mantenimiento, como de empresarios que operan los verificentros autorizados [CEAMA, 2007].

Es decir, la generación y reforzamiento de programas de inspección y mantenimiento, mejor conocidos como “Programas de Verificación Vehicular” o PVV’s redundará en un mayor uso de este instrumento que ayudará a mantener una operación eficiente de los vehículos en circulación, al detectar oportunamente el malfuncionamiento o deterioro del sistema mecánico eléctrico de cada vehículo sujeto a inspección, y demandar su pronta reparación, además de que éste puede ser utilizado como un instrumento de administración del uso vehicular, tendiente a reducir los congestionamientos provocados por la sobresaturación de las vialidades, y a impulsar la renovación de la flota vehicular, tal y como ha sido concebido y utilizado por los Gobiernos del Distrito Federal y el Estado de México en la ZMVM [SEMARNAT, 2007].

Sin embargo, las duras condiciones económicas de los países en vías de desarrollo han dado lugar a que el período de vida útil que se le aplica a la flota vehicular en estos países sea extraordinariamente largo, y así mismo, que el dinero que se invierte en su mantenimiento sea el mínimo posible; de tal forma que la filosofía imperante entre la gran mayoría de los propietarios de vehículos es que mientras el auto siga en marcha, no hay razón para gastar en su mantenimiento, quedando de esta manera el tema de las emisiones de escape como algo completamente secundario [Majano R., 2000].

En general puede decirse que en estos países, apenas un poco más de la mitad de los vehículos a gasolina aprueban la inspección de emisiones, y menos de la mitad de los diésel. Esta situación es grave si se considera que se excluyen vehículos de transporte público y de carga, muchos de los cuales se encuentran en condiciones realmente paupérrimas y a los cuales por simple inspección visual se les podría sancionar por exceder los límites de emisión [Majano R., 2000].

El problema grave radica en que la entrada en vigencia de restricciones legales a la cantidad de contaminantes que los vehículos pueden descargar a la atmósfera, y la consecuente puesta en marcha de sistemas de inspección periódicos de la flota en circulación para garantizar el cumplimiento de dichos límites, obliga a los propietarios de automóviles a invertir dinero a corto plazo para reparar los motores de sus unidades y cumplir así con la ley, y en los casos más graves, los obligaría a retirarlos de circulación [Majano R., 2000].

Siguiendo la máxima de “El que contamina paga”, es claro que estos costos deben ser absorbidos por cada usuario, pues los estados ya tienen que absorber el costo adicional en servicios de salud por la alta incidencia de enfermedades respiratorias que hay debido al deterioro de la calidad del aire; sin embargo, es de esperarse que muchas personas protesten ante la implementación de este tipo de medidas.

La protesta de los propietarios de vehículos particulares no es muy propensa a causar problemas significativos a los gobiernos, y a la larga, se espera que la intensa campaña publicitaria que se ha realizado en estos años, surta el efecto de terminar convenciendo a la mayoría de las personas de que ese gasto en el mantenimiento de sus autos se revertirá en beneficios a la salud de la población [Majano R., 2000].

Las protestas que si ponen en serios aprietos a los gobiernos son las de los propietarios de los autobuses del transporte público pues en primer lugar, el transporte público es de propiedad privada, no estatal ni municipal (concesionado). Por otra parte, la propiedad de las unidades se encuentra completamente atomizada, distribuida en cientos de pequeños propietarios que pueden poseer inclusive un solo autobús, lo cual dificulta sobremanera la implementación de planes de mantenimiento preventivo a costos razonables. Pero el problema no termina allí, la parte más complicada radica en que estos empresarios se encuentran agrupados en gremios o asociaciones a través de las cuales han adquirido una extraordinaria cuota de poder político con la cual son capaces de ejercer una presión real a los gobiernos para que adecuen las políticas de acuerdo a su beneficio. La dependencia de las grandes mayorías de la población del transporte público, hace que las autoridades cedan ante dichas presiones [Majano R., 2000].

No hay que perder de vista, que existen nuevas tecnologías que pueden dar una solución al problema de la contaminación atmosférica causada por el transporte. Se habla de motores a gas natural, celdas de combustible, trampas de hollín, motores eléctricos o híbridos, etc., tecnologías que ya se utilizan en ciertas regiones de países industrializados; pero tal vez la solución en los países en vías de desarrollo tenga que comenzar con dominar a por completo la tecnología que ya existe en la región. La flota vehicular existente con la tecnología de

combustible convencional, podría contaminar mucho menos de lo que actualmente lo hace, sólo se necesita una base sólida de organización y reglamentación vehicular, y una vez teniendo esas bases, puede pensarse en dar el siguiente paso hacia tecnologías más limpias [Majano R., 2000].

CAPITULO 3.- Marco Metodológico

3.1 MOBILE6-MEXICO

La realización de Modelos Computacionales para determinar las emisiones de contaminantes que producen los vehículos automotrices se basa en estudios realizados a poblaciones específicas con condiciones dadas, en los cuales se hace un análisis del tipo de gasolina utilizado, velocidad y kilómetros promedio realizados por viaje, características y modelo del vehículo, encuestas y pruebas realizadas in situ [Schifter, *et. al.*, 2005].

Para poder determinar la cantidad real de contaminantes que produce un vehículo, es necesario hacer el monitoreo de los vehículos típicos de la zona de estudio, durante todo el recorrido que realizan normalmente, para poder establecer la variación y concentración de las emisiones, velocidades y kilometraje recorrido [Schifter, *et. al.*, 2005].

Con los datos obtenidos, se establecen las ecuaciones y modelos matemáticos que nos permiten determinar la relación existente entre las características establecidas y la emisión de contaminantes de los vehículos. Estas ecuaciones y modelos matemáticos sirven de base para crear Modelos Computacionales que predicen emisiones de contaminantes de vehículos para determinadas condiciones, como es el caso del Modelo MOBILE.

La primera generación del modelo MOBILE fue creada a mediados de los años 70's y, desde entonces, ha tenido numerosas actualizaciones y revisiones para incorporar los cambios de la legislación ambiental y los avances tecnológicos. La versión más reciente del modelo MOBILE (MOBILE6) fue emitida a finales del año 2000 [Lara Gómez, 2009]. Desde la versión MOBILE5, se ha hecho una adaptación para México, utilizando datos obtenidos de la ciudad de Aguascalientes, alcanzando resultados muy favorables [Schifter, *et. al.*, 2005].

La adaptación del MOBILE6, se modificó para las áreas metropolitanas de las ciudades de México, Monterrey y ciudad Juárez con el objeto de tomar en cuenta las posibles diferencias en el parque vehicular y los hábitos para conducir en México. Los modelos modificados para la Ciudad de México (MOBILE-MCMA) y Monterrey (MOBILE-MMAP) utilizan una matriz de equivalencia para la tecnología de control que identifica los factores de emisión básicos del MOBILE para los vehículos del parque vehicular mexicano con base en la edad del vehículo y sus controles de emisión [Lara Gómez, 2009].

3.1.1 INTRODUCCIÓN DE DATOS

Para el correcto funcionamiento del modelo es necesario introducir los siguientes datos [EPA, 2003]:

- Condiciones locales: altitud, humedad, temperatura, estación del año, características de los combustibles, programas de inspección y mantenimiento y año en que se realiza la modelación.
- Flota vehicular, año-modelo, categoría vehicular, tipo de combustible utilizado por categoría vehicular, actividad vehicular (kilometraje anual acumulado por categoría y año modelo del vehículo desagregado por tipo de vialidad, tiempos de reposo, etc.) y tipo de tecnología vehicular (referido a los estándares de emisión).

El modelo MOBILE6 incluye valores por defecto para una amplia gama de condiciones que afectan las emisiones. Estos valores por defecto están diseñados para representar los valores de los datos de entrada del "promedio nacional" (adaptaciones que se hicieron para México a partir de los datos que se manejan en Estados Unidos); sin embargo, éstos pueden ser sustituidos por información más específica que refleje las condiciones del sitio a modelar. Dentro de las condiciones locales clave que se deben proporcionar, se tienen las siguientes [EPA, 2003]:

- Año calendario.- Este parámetro indica el año para el cual se obtendrán los factores de emisión.
- Temperatura.- El modelo requiere de los datos de temperatura mínima y máxima para realizar el cálculo de los factores de emisión.
- Altitud (media o baja).- Esta variable le indica al modelo si calculará factores de emisión para una región de alta o baja altitud.
- Tecnologías vehiculares.- Se pueden definir los años de entrada de los diferentes estándares tecnológicos mexicanos aplicables para vehículos nuevos, mismos que tienen cierta compatibilidad con los estadounidenses.
- Características del combustible.- Son las propiedades más significativas del combustible y que afectan en las características de las emisiones como es la volatilidad del combustible (PVR y contenido de azufre).

Como mínimo, los usuarios deben proporcionar datos de entrada para el año calendario, la temperatura diaria máxima y mínima, y la volatilidad del combustible.

3.1.2 SUSTENTO MATEMÁTICO

El MOBILE calcula como primer paso las ecuaciones de tasas básicas de emisión promedio (TBEs) para cada tipo de vehículo, modelo y año. Como las emisiones varían con la edad del vehículo, es posible aplicar regresiones lineales que relacionan los datos de las emisiones con las lecturas del odómetro (medidor de distancia recorrida por el vehículo). Estas regresiones dan como resultado ecuaciones TBE's que incorporan una tasa de emisión de cero millas (la intersección "y" de la regresión) y una tasa de deterioro (pendiente). La primera representa las emisiones de un vehículo nuevo, mientras que la segunda describe la manera en que las emisiones se incrementan con el kilometraje (millaje) del vehículo [EPA, 2003].

A cada tipo de vehículo se le ha asignado una TBE por cada 25 años de antigüedad, con base en la acumulación de kilometraje (millaje) para cada modelo y año vehicular. Como las tasas básicas de emisión corresponden a las emisiones medidas en condiciones de prueba sumamente controladas, se aplican varios factores de ajuste a las emisiones reales [EPA, 2003].

3.1.3 ARCHIVOS DE CONTROL

El modelo MOBILE6.2-México, como ya se mencionó anteriormente, incluye valores por defecto por lo que la mayoría de los comandos de entrada son opcionales, lo que permite proporcionar datos alternativos. Para poder ingresar valores el MOBILE se auxilia de diferentes archivos de control (entrada), los cuales permiten al usuario especificar el formato y el contenido de los datos que el modelo calcula y reporta (archivos de salida). A continuación se hizo una breve descripción de los principales archivos de control, de acuerdo a los dos principales tipos de archivo que maneja el modelo [EPA, 2003]:

- Archivos de entrada

- Archivos de salida.

a) Archivos de entrada

Hay tres tipos de archivos de entrada del MOBILE6: los archivos de comando, archivos de grupo y archivos de datos externos. Los tres tipos deben ser archivos de texto ASCII DOS y no puede contener caracteres "tabulados" o caracteres no-ASCII en cualquier línea de entrada. Los archivos de comandos de entrada son el método para que los usuarios especifiquen qué tipo de resultados se necesitan del MOBILE6. Los archivos de datos externos se asocian con algunos comandos individuales.

- *Archivos de entrada de comando:*

Todos los archivos de entrada de comandos comienzan con el comando MOBILE6 INPUT FILE. Los archivos de entrada de comandos proporcionan información de control del programa y los datos que describen los escenarios para que los factores de emisiones sean estimados. La información de entrada se compone de tres secciones distintas:

- La sección de encabezado controla en conjunto la entrada, la salida y ejecución del programa. Es decir, determina el contenido y el formato del archivo de entrada y de salida y contiene una serie de banderas que le indican al programa cómo debe ejecutarse. La información proporcionada en la sección de encabezado se aplicará a todas las ejecuciones y escenarios descritos en el archivo de entrada de comandos. El comando RUN DATA indica el final de la sección de encabezado del archivo de entrada de comandos.
- La sección de ejecución permite al usuario definir los valores de los parámetros para que se localicen o personalicen sus ejecuciones del MOBILE6, es decir la información para el área específica del estudio. Por ejemplo, los usuarios pueden especificar porcentajes acumulativos de millas recorridas anuales alternativas o distribuciones de registro por edad para cada tipo de vehículo. Además, la sección de ejecución permite a los usuarios especificar aún más los parámetros de control del programa, tales como la descripción(es) de el(los) programa(s) de inspección y mantenimiento. La información proporcionada en la sección de ejecución se especifica una vez y se aplica a todos los escenarios en esa ejecución. Algunos comandos pueden aparecer ya sea en la sección de ejecución o de escenario. Un archivo de entrada de comandos puede contener varias ejecuciones. La primera sección de ejecución inicia con el comando RUN DATA y termina con el primer comando SCENARIO RECORD. La sección siguiente de ejecución comienza con el comando END OF RUN de la ejecución anterior y termina con el siguiente comando SCENARIO RECORD.
- La sección de Escenario detalla los escenarios individuales para los que se calculan los factores de emisión. Por ejemplo, la sección Escenario debe especificar el año de evaluación y también puede especificar otra información, como es el mes de evaluación y las temperaturas. Cada ejecución del MOBILE6 puede incluir muchos escenarios. La información proporcionada en la sección de Escenario se aplica sólo a los resultados de ese escenario. Algunos comandos pueden aparecer ya sea en la sección de ejecución o de Escenario. Cada escenario se inicia con el comando SCENARIO RECORD y termina con el siguiente comando SCENARIO RECORD o termina con un comando END OF RUN (que indica el final de todos los escenarios que se ejecutan).

Un archivo de entrada de comandos del MOBILE6 debe comenzar con una sección de encabezado y puede contener muchas secciones de ejecución separadas, o ejecuciones. Cada archivo de entrada de comandos debe contener al menos una ejecución, y cada sección de ejecución debe contener al menos uno o más escenarios. Cualquier elemento de los datos introducido en la sección de ejecución se utiliza para todos los escenarios dentro de la ejecución, a menos que sea reemplazado en cualquier escenario por un valor local. El final del archivo de entrada de comandos se considera como el final de la última ejecución. La nota END OF RUN al final del último escenario en el archivo de entrada de comandos es por lo tanto opcional, pero recomendable.

```

***** Header Section *****

MOBILE6 INPUT FILE
Input Extensions   : INTL EFS HI-EM TECHFRAC

> 2003/7/15 Example input file with PM.
* Modified from an arterial case.
* Temperature & altitude have no PM impact.
* Speed only impacts SO4 & SO2.

* Header section report options as needed. PARTICULATES required to enable PM.
Particulates      :
SpreadSheet       :
Run Data          :

***** Run Section *****

* Run section report options as needed.
Express HC As VOC :
Expand Exhaust    :
Expand Evap       :

Fuel RVP          : 08.0
Min/Max Temp      : 54.0 54.0

Intl Fleet File   : MexFleet.inc

We Da Tri Len Di  : Mex_Trip_Leng_WeekDay.dat
We En Tri Len Di  : Mex_Trip_Leng_WeekEnd.dat

***** Scenario Section *****

Scenario Record   : PM10 scenario with Mexico-specific PM data
Calendar Year     : 1999
Altitude          : 1
Soak Distribution : Mex_Soak_Dist.dat
Hot Soak Activity : Mex_Hot_Soak_WeekDay.dat
Diurn Soak Activity: Mex_Diurn_Soak_WeekDay.dat

Particulate EF    : Mex_PMGZML.CSV Mex_PMGDR1.CSV Mex_PMGDR2.CSV Mex_PMDZML.CSV
Mex_PMDDR1.CSV Mex_PMDDR2.CSV
Particle Size     : 10.0
Diesel Sulfur     : 300.0

Scenario Record   : PM2.5 scenario with Mexico-specific PM data
Calendar Year     : 1999
Altitude          : 1
Soak Distribution : Mex_Soak_Dist.dat
Hot Soak Activity : Mex_Hot_Soak_WeekDay.dat
Diurn Soak Activity: Mex_Diurn_Soak_WeekDay.dat

Particulate EF    : Mex_PMGZML.CSV Mex_PMGDR1.CSV Mex_PMGDR2.CSV Mex_PMDZML.CSV
Mex_PMDDR1.CSV Mex_PMDDR2.CSV
Particle Size     : 2.5
Diesel Sulfur     : 300.0

***** End of Run *****

```

Figura 3.1 Ejemplo de un archivo de entrada de comandos [EPA, 2003(2)]

archivos de entrada de comandos de MOBILE6 separados puede ser completado con una sola ejecución de la aplicación del MOBILE6.

Después de la entrada del comando MOBILE6 BATCH FILE, la única otra línea activa en el archivo contiene nombres de archivos. Ningunos otros comandos de MOBILE6 pueden aparecer en un archivo de entrada de grupo, aparte de los comentarios y líneas en blanco. Todos los nombres en el archivo de entrada de grupo deben de ser archivos de entrada de comandos del MOBILE6 existentes. Los nombres de archivos indicados no deben ser otros archivos de entrada de grupo. Todos los archivos de entrada indicados en el archivo de entrada de grupo se ejecutarán hasta que todos los archivos de entrada de comandos se completen o se produzca un error [EPA, 2003].

- *Archivos de datos externos:*

El MOBILE6 lee ciertos tipos de datos de archivos de datos externos. Estos datos incluyen porcentajes de manipulación suministrados por el usuario, porcentajes acumulados de millas recorridas, valores de la humedad relativa por hora de la zona y la distribución de vehículos registrados. De hecho, la mayoría de los comandos que requieren grandes cantidades de datos suministrados por el usuario se basan en archivos de datos externos.

```

*=====
* MOBILE6.2 Mexico "Fleets" External Input File -
* MOBILE6 Input Commands for the Run Section
* 2003/6/25 Last revision - Add "94+ LDG IMP," drop "No High Emitters"

INTL FLEET FILE      : MexFleet.inc

*-----
* Population

REG DIST             : Mex_Regdata_1999.dat
Mile Accum Rate      : Mex_MAR.dat

*-----
* Emission Technologies and Aging
* BEFs / Tech Fractions / High-emitter Regime Fractions

* Basic EFS
NO HDCGPM            : * Required BEFORE "Basic EFS" command
Basic EFS            : Mex_Basic_EFS.dat

* Pre-CAA EFS
*   See M6_B193_EFS.dat about COMBINATIONS of EFS and regime inputs.
*   2003/6/25 Mex_B193_EFS.dat has Average, High and Normal
1981-93 LDG EFS      : Mex_B193_EFS.dat

* Post-CAA EFS
94+ LDG IMP          : Mex_P94_Imp.dat

*-----
* CURRENTLY NOT USED

*Diesel Fractions    : <data>
*No High Emitters    :
*Basic High Em       : File
*1981-93 LDG High Em: File
*1981-93 LDG Inject  : File
*T1-LEV EFS          : File

*===== END =====

```

Figura 3.2 Ejemplo de un tipo de archivo de entrada de datos [EPA, 2003(2)]

Quando se utilizan archivos externos, el MOBILE6 espera encontrar un nombre de archivo en el campo de datos a la derecha de los dos puntos en la línea de comandos. Los

nombres de archivos pueden estar en mayúsculas o minúsculas, pueden incluir información de la ruta, y pueden aparecer en cualquier lugar en el campo de datos del registro de entrada a partir de o a la derecha de la columna 21.

El MOBILE6 siempre imprime los nombres de todos los archivos de datos externos que utilizo en el informe de resultados descriptivo. El MOBILE6 acepta nombres de archivo de hasta 80 caracteres de longitud, incluyendo la información de la ruta del archivo. El MOBILE6 asume que los nombres de los archivos de datos externos que no incluyen información de la ruta aparecen en el mismo directorio que la aplicación.

Las líneas en blanco o comentarios pueden aparecer enfrente de la sección de encabezado en el archivo de datos externo, entre la sección de encabezado y los datos, o al final del archivo después de que los datos se han completado. Sin embargo, no pueden aparecer líneas en blanco o comentarios entre la primera y la última línea del bloque de datos a menos que se indique específicamente en la descripción del comando. Las líneas en blanco y las líneas de comentarios en los archivos de datos externos pueden proporcionar anotaciones de documentación interna o proporcionar texto que podrá repercutir en el archivo de salida descriptivo.

El contenido específico y el formato de los archivos de datos externos varían y dependen del comando que requiere los datos, por lo cual no existe un patrón general para este tipo de archivos, sino que es necesario elaborarlo de acuerdo a las indicaciones indicadas en cada comando [EPA, 2003].

b) Archivos de salida

Hay cinco tipos básicos de salida:

1. Informe de salida de base de datos.
2. Informe de salida descriptivo.
3. Salida de hoja de cálculo.
4. Mensajes de advertencia y error.
5. Pantalla de diálogo con el usuario.

El informe de salida de base de datos contiene los resultados detallados de las emisiones en un formato adecuado para su uso con un gestor de base de datos o una hoja de cálculo.

Los informes de salida descriptivos contienen un resumen a nivel de resultados de emisión en un formato adecuado para impresión. Estos informes también contienen cualquier advertencia no fatal o mensajes de comentarios relacionados con los valores ingresados por el usuario.

La salida de hoja de cálculo informa el mismo nivel de detalle que el descriptivo de salida en una forma para importar fácilmente en un software de hoja de cálculo.

Durante la ejecución del programa MOBILE6, algunos mensajes de aviso simples y de estado aparecen en la pantalla del ordenador. Ciertos mensajes de error relacionados con la interacción entre el sistema operativo del ordenador del software y el programa MOBILE6 también podrían aparecer en la pantalla. Los mensajes de error fatal se escriben en un archivo de informe de error por separado [EPA, 2003]

```

MOBILE6 (28-Aug-2006)
Input file: TESTAIR4.IN (file 1, run 1).
M6C3 Comment:
    User has disabled the calculation of REFUELING emissions.

File 1, Run 1, Scenario 1.
M 48 Warning:
    there are no sales for vehicle class HDGV6b

    Calendar Year: 2006
    Month: Jan.
    Altitude: Low
    Minimum Temperature: 60. (F)
    Maximum Temperature: 84. (F)
    Nominal Fuel RVP: 11.5 psi
    Weathered RVP: 11.2 psi
    Fuel Sulfur Content: 300. ppm

    I/M Program: No
    MTF Program: No
    Reformulated Gas: No

    Following assumptions made for air conditioning adjustments:
    Absolute Humidity: 75. grains/lb
    Sun rise at 600; Sun set at 2100
    Peak sun occurring between 1000 and 1600.
    Fraction of cloud cover equal to 0.00

    Vehicle Type:   LDGV   LDGT12  LDGT34   LOGT   HDGV   LDEV   LEET   HDOW   MC
    GWWR:          -----
    VMT Distribution: 0.494  0.283  0.097          0.036  0.001  0.002  0.081  0.006

Composite Emission Factors (g/mi):
Composite THC :    2.45    2.57    3.52    2.92    3.30    0.76    0.92    0.82    2.92
Composite CO  :   29.38   35.24   49.07   38.84   36.05    1.77    1.65    4.25   14.73
Composite NOX :    1.33    1.46    1.85    1.56    3.10    1.81    1.81   18.47    1.25
    
```

Figura 3.3 Ejemplo de un informe de salida de base de datos [EPA, 2003]

3.1.4 RESULTADOS

El modelo MOBILE6.2-México calcula los factores de emisión de hasta 28 tipos de vehículos distintos para cualquier año base entre 1952 y 2050 en función de las condiciones físicas de la zona de estudio y las características del combustible, los vehículos y el viaje realizado. Para cada año base se consideran en circulación los vehículos de hasta 25 años de antigüedad [EPA, 2003].

3.2 SITUACIÓN DE LA CIUDAD DE MORELIA

Morelia es la capital del estado de Michoacán de Ocampo y fue fundada el 18 de mayo de 1541. El nombre de Morelia se deriva del apellido de José María Morelos y Pavón, figura destacada en la lucha de la Independencia de México. Se localiza en la parte centro-norte del estado de Michoacán [HAG, s. f.], en el Valle de Guayangareo, en la zona de la ladera del sur, cuenta con una extensión territorial de 1,336 km² (2.03% de la superficie del Estado de Michoacán); y está situada a los 19° 42' de latitud norte y a los 101° 11' de longitud oeste, a una latitud de 1920 mt, sobre el nivel del mar [JCMV, s. f.].

Colinda al norte con los municipios de Tarímbaro, Copándaro, Chucándiro y Huaniqueo; al este con Charo y Tzitzio; al sur con Villa Madero, Acuitzio y Pátzcuaro; al oeste con Huiramba, Lagunillas, Tzintzuntzan, Quiroga y Coeneo.

Las principales actividades económicas de la Ciudad de Morelia son comerciales y turísticas. La infraestructura turística se basa en hoteles y restaurantes, agencias de viajes, clubes deportivos, campos de golf, balnearios, centros de convenciones, centros comerciales modernos, un planetario, orquidario y el parque zoológico, por cierto uno de los más grandes de América. Morelia ofrece atractivos naturales como la Cueva de la Joya, la Cañada del Cañón, la Peña y las Grutas de la Escalera [HAG, s. f.].

3.2.1 Clima

En Morelia predomina el clima templado con lluvias en verano. La temperatura alcanza su punto más alto a los 30° C entre los meses de abril a julio; el más bajo a los 20 6° C en diciembre y enero, teniendo una temperatura promedio anual de 18° C. Dentro del terreno se registra una temperatura de 27° C en los meses de abril a julio y de 11° C de diciembre a enero. El rango de confort admite una temperatura de 10° C a 35° C.

La humedad relativa en la ciudad es de 55 % con un incremento hasta 99 % en los meses de lluvia, teniendo una precipitación pluvial máxima en el mes de julio. Los vientos dominantes en Morelia son ligeros, con una velocidad de 1.8 a 2.4 km por hora en dirección sudoeste, en los meses de octubre a mayo. Y en los mese de junio a septiembre provienen del noroeste.

El periodo de mayor asoleamiento se presenta en los meses de mayo a agosto, donde el porcentaje mensual abarca de las 5:30 a las 19:30 hrs. del día, presentando una inclinación de 4° hacia el hemisferio norte. En los meses de marzo, abril, septiembre, octubre, noviembre y febrero, se observa una inclinación del sol hacia el hemisferio sur de 44° y el asoleamiento promedio es de 6:00a 18:00hrs. En invierno, el porcentaje disminuye, siendo de 6:35 17:15 hrs. aprox. [JCMV, s. f.].

Tabla 3.1 Características de manejo en la Ciudad de Morelia [SUMA, 2008]

TIPO DE VIAS	UNIDADES	% VIAJES	VEL (Km/h)	VEL POND(Km/h)
RAPIDAS	103770	62	30.73	19.07
ARTERIALES	61778	37	27.13	10.02
LOCALES-RESIDENCIALES	1650	1	26.23	0.26
TOTAL	167198	100		29.35
TIPO DE VEHICULO	DIST (Km/dia)			
	ESTUDIO TRANSP.	ENCUESTA		
auto part.	44.76	40.83		
pick-up	66.22	64.37		
vehic.<3 ton.	47.43	47.18		
vehic.>3 ton.	47.43	-		
autobuses	305.29	-		
combis	315.98	-		
microbus	315.98	-		
taxis	200	-		
motocicletas	79	-		

Tabla 3.2 Características de la Ciudad de Morelia [SUMA, 2008]

ALTITUD MEDIA (m)	TEMP. AMB. (°F)		VEL. PROM. RECORRIDO (Km/h)	
	MINIMA	MAXIMA		
1951	53.65	79.97	29.36	
PARAMETRO	TIPO COMBUSTIBLE			
	PEMEX-magna	Premium	Diesel	
Cont. de azufre (ppm)	500 prom.	250 prom.	300 max.	
	1000 max.	300 max.		
PARAMETRO	TIPO COMBUSTIBLE			
	AA	A	B	C
Presion de vapor Reid (kPa)/(lb/pulg ²)	45 a 54	54 a 62	62 a 69	69 a 79
	(6.5 a 7.8)	(7.8 a 9.0)	(9.0 a 10.0)	(10.0 a 11.5)

3.2.2 POBLACIÓN

Si tomamos los censos de población histórica de la Ciudad de Morelia, tenemos que:

Tabla 3.3 Población histórica de la ciudad de Morelia [INEGI, s. f.]

AÑO	POBLACION (hab.)	FUENTE
1980	353,055	Décimo Censo
1990	479,527	Undécimo Censo
1995	576,702	Primer Conteo
2000	617,020	Duodécimo Censo (14/02/2000)
2005	649,187	Segundo Conteo (17/10/2005)

Como fue de esperarse, el crecimiento poblacional se aprecia, debido a que es una ciudad y capital del estado, con lo que el movimiento migratorio y de crecimiento poblacional es principalmente hacia este punto dentro del estado, ya que las personas tienen la tendencia a dirigirse a grandes centros poblacionales en busca de más oportunidades de trabajo que, junto con la constante natalidad y disminución de mortalidad, debida a los avances científicos en el área de la medicina.

Como podemos observar en la Figura 3.4 que sigue, la cantidad de habitantes para el año 2005 es casi el doble de los habitantes para el año 1980 y el crecimiento de la población en dicho periodo no es lineal, si no que ha tenido fluctuaciones debidas a los factores anteriormente mencionados y al impulso de movimientos juveniles de liberación sexual y campañas de planificación familiar, un factor que se considera también que afectó en el crecimiento desmesurado de los años 80's es el sismo que hubo en el D.F. en el año de 1985, el cual provocó gran migración de dicha zona hacia el interior de la república y en la segunda mitad de los 90's, la crisis que se presentó en años posteriores a 1993, por la devaluación del peso.

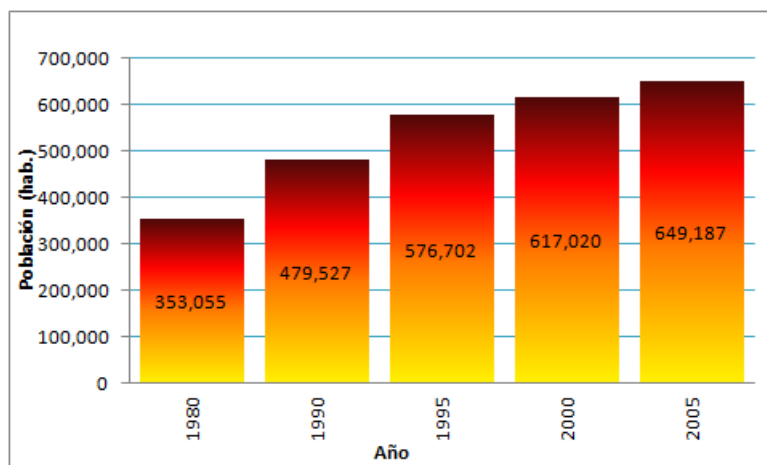


Figura 3.4 Población histórica de la ciudad de Morelia

Si obtenemos la tasa de crecimiento poblacional, tenemos la siguiente gráfica:

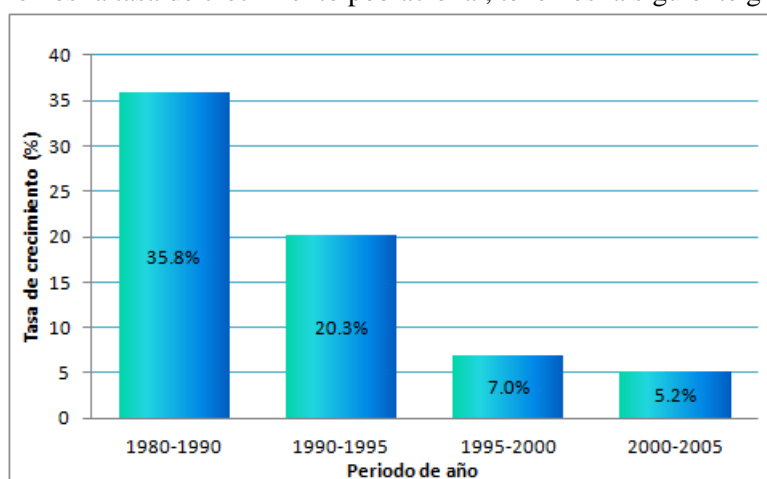


Figura 3.5 Tasa de crecimiento poblacional de la ciudad de Morelia

Como podemos observar en la Figura 3.5, se observa mejor la tendencia de la población de crecimiento, la cual es consistente con lo que ya se había mencionado, la tasa de crecimiento es mayor en el periodo de los años 80's y la más baja en la segunda mitad de los años 90's, cabe mencionar que la primer tasa de crecimiento es de 10 años y las demás son de cada 5, aunque si obtenemos las tasas de cada 10 años, éstas siguen representando casi la mitad que la de los años 80's. Se observa que la tendencia es a disminuir la tasa de crecimiento, sobre todo debido a que en las familias se tiende a tener un menor número de hijos.

Tabla 3.4 Tasa de crecimiento poblacional para la ciudad de Morelia

Periodo de año	Tasa de crecimiento poblacional (%)
1980-1990	35.82 (10 años)
1990-1995	20.26 (5 años)
1990-2000	28.67 (10 años)
1995-2000	6.99 (5 años)
1995-2005	12.57 (10 años)
2000-2005	5.21 (5 años)

3.3 METODO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO METODOLÓGICO

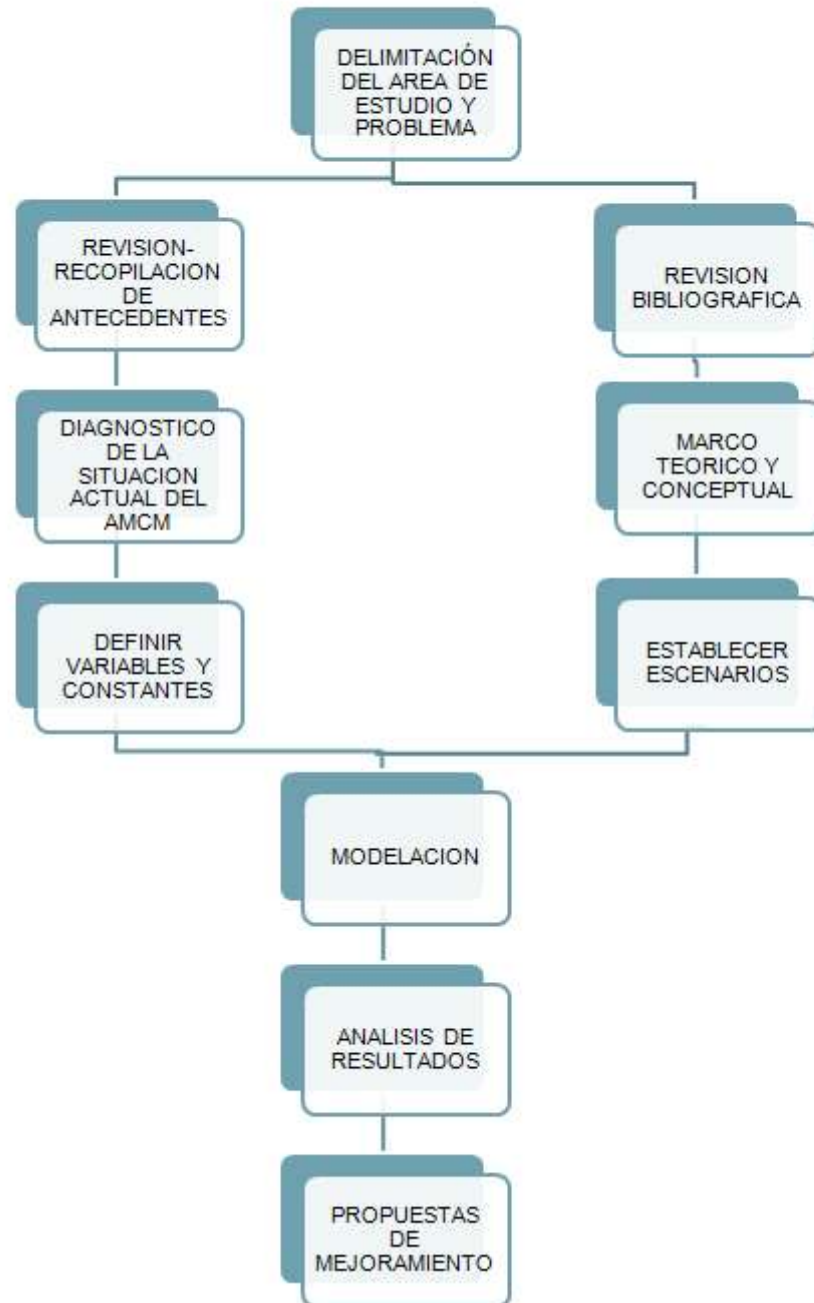


Figura 3.6 Diagrama del Diseño Metodológico que se siguió para la elaboración del trabajo

Para el desarrollo del proyecto en forma correcta y ordenada, se planteó el desarrollo de cinco etapas principales, que son:

1. Investigación y capacitación sobre el funcionamiento del modelo MOBILE6-MEXICO. En esta etapa se recopilará toda la información bibliográfica y digital

sobre el programa y los diferentes Inventarios de Emisiones que se han desarrollado para verificar los precedentes que se han tenido con este tipo de trabajos.

2. Recopilación de los datos necesarios para programar el modelo. Es necesario contar con todas las condiciones climáticas y de tránsito de la ciudad para poder programar el modelo en forma correcta y los valores que éste nos proporcione se ajusten de mejor forma a la realidad. Esta etapa es muy importante, ya que es necesario conseguir la flota vehicular completa de la ciudad de Morelia, Michoacán, ya que de esto depende que se consigan los objetivos en los tiempos programados.
3. Elaboración de los Inventarios de Emisiones para la Ciudad de Morelia, Michoacán con las condiciones actuales de Tránsito. En esta etapa se ejecutará el programa en varias fases para determinar el Inventario de Emisiones para las condiciones actuales, de acuerdo a la antigüedad del vehículo y al implementar un programa de verificación.
4. Análisis de resultados para determinar el impacto que tendría un programa de verificación vehicular sobre los contaminantes atmosféricos. Con los inventarios obtenidos en la etapa anterior se realizará una comparación para comprobar la factibilidad de implementar un programa de verificación vehicular dentro de la zona metropolitana de Morelia, Michoacán.
5. Preparación de las conclusiones obtenidas y el documento final. Todos los datos obtenidos nos servirán para emitir conclusiones que nos permitan comprobar la hipótesis o desecharla para poder elaborar el documento final de tesis.

3.4 FLOTA VEHICULAR DE LA CIUDAD DE MORELIA

La flota vehicular del área de Morelia tiene la siguiente distribución:

Tabla 3.5 Flota vehicular de la Ciudad de Morelia [SUMA, 2008]

CLASIFICACION	Nº UNIDADES	CLASIFICACION	Nº UNIDADES
autobuses	224	vehículos < 3 ton	40245
vehículos > 3 ton	9396	autos particulares	150644
tracto camiones	452	taxis	6529
combis	1859	microbuses	0
pick-up	53028	motocicletas	14698
TOTAL:		277075	

3.5 CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACION

La caracterización de la flota vehicular se hizo de acuerdo a la clasificación que hace el programa MOBILE6-México en cuanto al tipo de servicio (ligero o pesado) y el peso del vehículo [EPA, 2003].

Tabla 3.6 Clasificación vehicular [EPA, 2010]

CLASIFICACION DE VEHICULOS DEL MOBILE6			
NUMERO	ABREVIACION	DESCRIPCION	TRADUCCION
1	LDGV	Light-Duty Gasoline Vehicles (Passenger Cars)	Carro de pasajeros
2	LDGT1	Light-Duty Gasoline Trucks 1 (0-6,000 lbs. GVWR, 0-3,750 lbs. LVW)	Camiones de Gasolina de Servicio liviano 1
3	LDGT2	Light-Duty Gasoline Trucks 2 (0-6,000 lbs. GVWR, 3,751-5,750 lbs. LVW)	Camiones de Gasolina de Servicio liviano 2
4	LDGT3	Light-Duty Gasoline Trucks 3 (6,001-8,500 lbs. GVWR, 0-5,750 lbs. ALVW)	Camiones de Gasolina de Servicio liviano 3
5	LDGT4	Light-Duty Gasoline Trucks 4 (6,001-8,500 lbs. GVWR, greater than 5,751 lbs. ALVW)	Camiones de Gasolina de Servicio liviano 4
6	HDGV2b	Class 2b Heavy-Duty Gasoline Vehicles (8,501-10,000 lbs. GVWR)	Camiones de Gasolina de Servicio pesado clase 2b
7	HDGV3	Class 3 Heavy-Duty Gasoline Vehicles (10,001-14,000 lbs. GVWR)	Camiones de Gasolina de Servicio pesado clase 3
8	HDGV4	Class 4 Heavy-Duty Gasoline Vehicles (14,001-16,000 lbs. GVWR)	Camiones de Gasolina de Servicio pesado clase 4
9	HDGV5	Class 5 Heavy-Duty Gasoline Vehicles (16,001-19,500 lbs. GVWR)	Camiones de Gasolina de Servicio pesado clase 5
10	HDGV6	Class 6 Heavy-Duty Gasoline Vehicles (19,501-26,000 lbs. GVWR)	Camiones de Gasolina de Servicio pesado clase 6
11	HDGV7	Class 7 Heavy-Duty Gasoline Vehicles (26,001-33,000 lbs. GVWR)	Camiones de Gasolina de Servicio pesado clase 7
12	HDGV8a	Class 8a Heavy-Duty Gasoline Vehicles (33,001-60,000 lbs. GVWR)	Camiones de Gasolina de Servicio pesado clase 8 ^a
13	HDGV8b	Class 8b Heavy-Duty Gasoline Vehicles (>60,000 lbs. GVWR)	Camiones de Gasolina de Servicio pesado clase 8b
14	LDDV	Light-Duty Diesel Vehicles (Passenger Cars)	Vehículos de diesel de Servicio pesado
15	LDDT12	Light-Duty Diesel Trucks 1 and 2 (0-6,000 lbs. GVWR)	Camiones de diesel de Servicio pesado 1 y 2
16	HDDV2b	Class 2b Heavy-Duty Diesel Vehicles (8,501-10,000 lbs. GVWR)	Camiones de diesel de Servicio pesado clase 2b
17	HDDV3	Class 3 Heavy-Duty Diesel Vehicles (10,001-14,000 lbs. GVWR)	Camiones de diesel de Servicio pesado clase 3
18	HDDV4	Class 4 Heavy-Duty Diesel Vehicles (14,001-16,000 lbs. GVWR)	Camiones de diesel de Servicio pesado clase 4
19	HDDV5	Class 5 Heavy-Duty Diesel Vehicles (16,001-19,500 lbs. GVWR)	Camiones de diesel de Servicio pesado clase 5
20	HDDV6	Class 6 Heavy-Duty Diesel Vehicles (19,501-26,000 lbs. GVWR)	Camiones de diesel de Servicio pesado clase 6
21	HDDV7	Class 7 Heavy-Duty Diesel Vehicles (26,001-33,000 lbs. GVWR)	Camiones de diesel de Servicio pesado clase 7
22	HDDV8a	Class 8a Heavy-Duty Diesel Vehicles (33,001-60,000 lbs. GVWR)	Camiones de diesel de Servicio pesado clase 8
23	HDDV8b	Class 8b Heavy-Duty Diesel Vehicles (>60,000 lbs. GVWR)	Camiones de diesel de Servicio pesado clase 8b
24	MC	Motorcycles (Gasoline)	Motocicletas
25	HDGB	Gasoline Buses (School, Transit and Urban)	Autobuses de Gasolina (Escolares, Tránsito y Urbano)
26	HDDBT	Diesel Transit and Urban Buses	Autobuses urbanos y tránsito de diesel
27	HDDBS	Diesel School Buses	Autobuses escolares de diesel
28	LDDT34	Light-Duty Diesel Trucks 3 and 4 (6,001-8,500 lbs. GVWR)	Camiones de diesel de Servicio liviano 3 y 4

Aunque esta es la clasificación de vehículos que maneja el programa, también se puede considerar otros tipos de clasificación vehicular, tomando como base la clasificación del modelo pero ajustándola un poco más a las diversas clasificaciones que se manejan normalmente, como la siguiente que es la que generalmente se toma de base en México:

Number	Abbreviation	Description
1	L DV	Light-Duty Vehicles (Passenger Cars)
2	LDT1	Light-Duty Trucks 1 (0-6,000 lbs. GVWR, 0-3,750 lbs. LVW)
3	LDT2	Light-Duty Trucks 2 (0-6,000 lbs. GVWR, 3,751-5,750 lbs. LVW)
4	LDT3	Light-Duty Trucks 3 (6,001-8,500 lbs. GVWR, 0-5,750 lbs. ALVW*)
5	LDT4	Light-Duty Trucks 4 (6,001-8,500 lbs. GVWR, 5,751 lbs. and greater ALVW)
6	H DV2B	Class 2b Heavy-Duty Vehicles (8,501-10,000 lbs. GVWR)
7	H DV3	Class 3 Heavy-Duty Vehicles (10,001-14,000 lbs. GVWR)
8	H DV4	Class 4 Heavy-Duty Vehicles (14,001-16,000 lbs. GVWR)
9	H DV5	Class 5 Heavy-Duty Vehicles (16,001-19,500 lbs. GVWR)
10	H DV6	Class 6 Heavy-Duty Vehicles (19,501-26,000 lbs. GVWR)
11	H DV7	Class 7 Heavy-Duty Vehicles (26,001-33,000 lbs. GVWR)
12	H DV8A	Class 8a Heavy-Duty Vehicles (33,001-60,000 lbs. GVWR)
13	H DV8B	Class 8b Heavy-Duty Vehicles (>60,000 lbs. GVWR)
14	H DBS	School Buses
15	H DBT	Transit and Urban Buses
16	MC	Motorcycles (All)

Figura 3.7 Clasificación vehicular alternativa [EPA, 2010]

De acuerdo a la clasificación anterior del MOBILE6-México y la que se maneja en SUMA, podemos considerar la siguiente homologación:

Tabla 3.7 Clasificación de la Flota Vehicular de la ciudad de Morelia de acuerdo al MOBILE6-Mexico [SUMA, 2008]

CLASIFICACION	Nº UNIDADES	CLASIFICACION M6	TIPO	# CLASIF. M6
Autos particulares	150,644	LDGV	Autos particulares, taxis	1
Taxis	6,529			
Combis	1,859	LDGT1	Pick up, estaquitas, combis	2
Pick-up	53,028			
Vehic. < 3 ton	40,245	LDGT3	Vagonetas, SUV, combis utilitarias	4
Vehic. > 3 ton	9,396	HDGV2b a HDGV8a	Camiones de volteo, torton	9
Microbuses	0	HDGV3	Camiones pesados (4,536-6,350 kg)	7
Tractocamiones	452	HDDV8b	Tráileres	13
Autobuses	224	HDBBT	Autobús de pasajeros/escolar	15
Motocicletas	14,698	MC	Motocicletas	16
TOTAL:	277,075			

3.6 FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión son una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. Los factores de emisión, en general, se pueden clasificar en dos tipos: los basados en procesos y los basados en censos. Por lo general, los primeros se utilizan para estimar emisiones de fuentes puntuales y a menudo se combinan con los datos de actividad recopilados en encuestas o en balances de materiales. Por otro lado, los factores de emisión basados en censos se usan generalmente para estimar emisiones de fuentes de área [Bautista Ramírez, 2007].

Los factores de emisión que calcula el MOBILE6 se pueden considerar dentro del primer caso, es decir basados en proceso. El modelo te permite predecir dos tipos de factores de emisión:

- a) Factor de emisión desagregado por año modelo y categoría de vehículo. Se calculan factores de emisión para cada año modelo vehículos de pasajeros 2005, 2004, 2003, etc., vehículos y camionetas ligeras, camiones ligeros y pesados, etc.
- b) Factor de emisión global, el cual incluye todos los años modelo de cada categoría vehicular. Los factores de emisión se presentan por categoría vehicular, sin desagregarlos por año-modelo, para ello el modelo hace una ponderación que toma en cuenta la combinación de la distribución vehicular por año modelo y el kilometraje acumulado para cada año-modelo [Lara Gómez, 2009].

3.7 ESCENARIOS

Ya que las autoridades de SUMA del estado de Michoacán han determinado que existe un serio problema con las concentraciones de ozono y que una medida necesaria para mitigar el problema era la implementación de un programa de verificación vehicular (Programa I/M) [SUMA, 2008]. Se establecieron 3 escenarios alternos para poder visualizar de una mejor manera la forma en que estas acciones afectarían a las emisiones de esta fuente y poder tener un mejor panorama sobre las acciones que resultarían más convenientes para realizar. Los escenarios propuestos fueron los siguientes:

- En primer lugar, se propuso reproducir el Inventario de Emisiones obtenido para la Ciudad de Morelia, Michoacán, ya que necesitamos tener la base con la cual se puede hacer una comparación acerca del impacto que las diferentes acciones propuestas tiene sobre las emisiones que se tienen sin implementar ninguna acción y también nos sirve para poder hacer una comprobación de los resultados obtenidos por otro método.
- En segundo lugar, se propuso modelar un Inventario de Emisiones suponiendo que existiera un Programa I/M con las mismas características que el que se desea implementar por parte de las autoridades para verificar el impacto de dicho programa sobre las emisiones.
- Por último, se propuso modelar un Inventario de Emisiones suponiendo que el combustible que se manejara fuera de ultra bajo contenido de azufre (UBA), ya que de acuerdo a la norma mexicana Proy-NOM-086-SEMARNAT -2003, ya deberíamos contar con este tipo de combustible y de acuerdo a la bibliografía, la calidad en el combustible afecta significativamente en las emisiones de los vehículos.

Para tener un mejor panorama sobre el impacto que tenía el combustible en sus diferentes presentaciones, se realizaron tres variaciones del escenario, es decir, se manejaron tres modelaciones para este Inventario de Emisiones: se hizo la suposición de que todo el combustible en general era UBA; el segundo cálculo fue que sólo el diesel fuera UBA y la gasolina tenía el contenido de azufre normal; y, finalmente, se consideró que sólo la gasolina era UBA y el contenido de azufre del diesel era el regular.

3.8 CONSISTENCIA DEL INVENTARIO DE EMISIONES

La consistencia de los Inventarios de Emisiones se puede determinar realizando un análisis en la variación de los datos obtenidos con el método propuesto y obtener los valores de las emisiones por medio de otro método. Actualmente existen muchos métodos para obtener las emisiones debidas a fuentes móviles, las principales son:

- Muestreo en la fuente. El muestreo en la fuente se usa para estimar emisiones de fuentes puntuales. Debido a la complejidad técnica del muestreo en la fuente se requiere de tiempo y equipo para obtener datos de emisiones que sean exactos y representativos de los diversos contaminantes emitidos por una flota vehicular. El costo de realizar un muestreo de este tipo resulta muy alto. Sin embargo, si se aplica correctamente, este método puede proporcionar la mejor estimación de las emisiones de una fuente, en comparación con los factores de emisión o los balances de materiales. Es importante mencionar que en México no se cuenta con la tecnología ni infraestructura necesaria para llevar a cabo este tipo de muestreo.
- Modelos de emisión. Muchas estimaciones de emisiones se desarrollan utilizando un factor de emisión que supone una relación lineal entre la tasa de emisión y una unidad de actividad (p.ej., cantidad de combustible consumido, tasa de producción, población, empleo, etc.). Para ciertas categorías de fuente la relación funcional entre las emisiones, procesos múltiples y las variables ambientales se estudia lo suficientemente para dar lugar a modelos matemáticos complejos. Si estos modelos de emisión requieren cálculos complejos o grandes volúmenes de datos para alimentarlos, es probable que se apoyen en programas de cómputo. Si bien los modelos están diseñados para producir estimaciones más exactas que las obtenidas con factores de emisión, la exactitud de la estimación siempre dependerá de la calidad de los datos con que se alimente el modelo y de los supuestos en que se base. Por lo tanto, antes de utilizar un modelo para un tipo específico de fuente es importante comparar las necesidades del modelo de emisión con los datos disponibles.
- Factores de emisión. Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. Actualmente existen gran variedad de modelos que nos permiten determinar los factores de emisión, de acuerdo al tipo de fuente que se trate, lo cual hace que sea la opción más utilizada, si no es que la única, para estimar emisiones de fuentes a la atmósfera, ya que es fácil y exacto su uso. En nuestro caso, nosotros utilizaremos factores de emisiones para estimar nuestro Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles.
- Balance de materiales. El balance de materiales (también conocido como balance de masa), es un método utilizado para estimar las emisiones de algunas categorías de fuentes (como es el caso de las fuentes móviles), en donde se conoce el volumen y la composición química de los insumos o materias primas utilizadas. El método de balance de materiales puede usarse en los casos en que no hay datos disponibles de muestreos en la fuente o factores de emisión aplicables. De hecho, para algunas fuentes, un balance de materiales es el único método práctico para estimar las emisiones con exactitud. Por ejemplo, en muchos casos, el muestreo en la fuente de emisiones de COVs, intermitentes o fugitivas puede ser muy difícil y costoso, por lo que es recomendable aplicar técnicas de estimación de emisiones a partir del balance de materiales. También se usa este método cuando se desea hacer una validación de las emisiones obtenidas por cualquier otro método, sobre todo en los casos que

involucran factores de emisión o modelaciones. Con el objetivo de verificar la consistencia de nuestro Inventario de Emisiones obtenido, se realizará un balance de masa con la totalidad del combustible utilizado para nuestro año base.

- Encuestas. La encuesta o cuestionario es utilizada como un método para recabar los datos básicos necesarios en la estimación de emisiones de una o varias fuentes. Generalmente dicha estimación de emisiones se realiza mediante la aplicación de factores de emisiones promedio o ponderadas, de acuerdo con la información levantada en la encuesta o cuestionario. Con este fin, el cuestionario debe realizarse de acuerdo a las características estadísticas aplicables para que resulte preciso o, de ser posible, realizarlo para toda la muestra, conteniendo todas las preguntas posibles para reunir la información necesaria para poder calcular las emisiones. De igual manera este método puede dar lugar al desarrollo de factores de emisión específicos para una región, que sirvan para hacer ciertas estimaciones de emisiones de algunas fuentes. Es importante mencionar que este método resulta a veces muy costoso o insuficiente para realizar estimaciones de emisiones de ciertos tipos de fuentes [Bautista Ramírez, 2007].

CAPITULO 4.- Resultados

4.1 CASO BASE: INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES

El Inventario de Emisiones (IE) para fuentes móviles obtenido para la Ciudad de Morelia con año base 2005, se compone de la siguiente forma:

- Análisis de la flota vehicular
- Factores de emisión
- Emisiones por modelo de año del vehículo
- Emisiones por tipo de vehículo
- Validación del Inventario de Emisiones.

A continuación se describe cada uno de estos componentes de los cuales se tomó información para la elaboración de este trabajo.

4.1.1 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS AUTOMÓVILES EN LA CIUDAD DE MORELIA

Para estandarizar los resultados dentro del inventario y siguiendo la clasificación necesaria dentro del MOBILE6-Mexico, nuestra flota vehicular quedó distribuida de la siguiente manera:

Tabla 4.1 Distribución de la Flota Vehicular del IE por tipo de vehículo

CLASIFICACION	Nº UNIDADES
Autobuses	224
Autos particulares	150,644
Combis	1,859
Motocicletas	14,698
Pick-up	53,028
Taxis	6,529
Tractocamiones	452
Vehic. < 3 ton	40,245
Vehic. > 3 ton	9,396
TOTAL	277,075

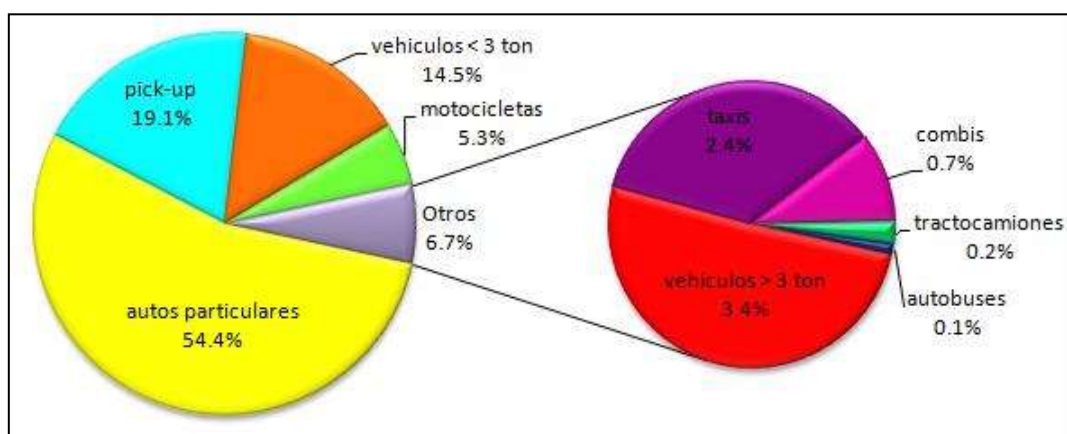


Figura 4.1 Distribución de la Flota Vehicular del IE por tipo de vehículo

Como se puede observar, los vehículos ligeros son la mayoría dentro de la distribución de la flota vehicular, representando más del 54% del total del parque vehicular, siendo éstos los autos particulares, pick-up, vehículos menores a 3 toneladas, principalmente. También cabe señalar que dentro de la flota vehicular 99.7% de vehículos utiliza gasolina y sólo se considero que los tractocamiones y autobuses (0.3%) utilizan diésel.

Tabla 4.2 Distribución de la Flota Vehicular del IE por año modelo de vehículo

AÑO MODELO	N° UNIDADES
2005	27,289
2004	24,677
2003	24,658
2002	20,702
2001	13,453
2000	12,601
1999	7,515
1998	6,469
1997	4,379
1996	7,038
1995	7,743
1994	10,317
1993	9,980
1992	10,471
1991	9,117
1990	7,745
1989	7,512
1988	6,005
1987	5,292
1986	6,684
1985	4,767
1984	3,996
1983	3,119
1982	4,217
1981 y anteriores	31,329
TOTAL	277,075

De la Figura 4.2, podemos verificar que la Ciudad de Morelia sigue la tendencia del país (ciudad típica mexicana [Álvarez Medina, 2010]) en cuanto a la distribución de edades de la flota vehicular, ya que la gran mayoría de vehículos tienen una antigüedad mayor o igual a 25 años y se ve una disminución de vehículos en la etapa posterior a la devaluación y supresión de 3 ceros en la moneda mexicana, esto consistente con la economía dentro del país. Como se puede observar, posteriormente a 1997, hay un incremento positivo en cuanto a vehículos con año modelo recientes ya que los vehículos ligeros son los que tienen una vida útil de 5 años y por lo tanto, al ser la mayoría, hace que la curva presente esta característica.

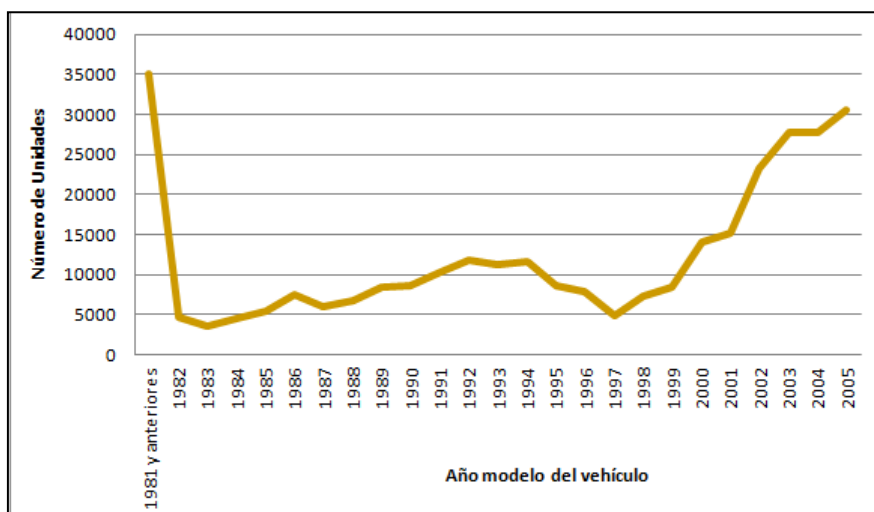


Figura 4.2 Distribución de la Flota Vehicular del IE por año modelo de vehículo

Por otro lado si queremos observar con mayor claridad el comportamiento de la flota vehicular para cada año modelo del vehículo, podemos determinar, cuál es el tipo de vehículo que es más significativo para cada año, haciendo una distribución de la flota vehicular por año modelo y tipo de vehículo, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.3 Distribución de la Flota Vehicular del IE por tipo y año modelo de vehículo

AÑO MODELO	autobús	vehic. > 3 ton	Tracto camión	combi	pick up	vehic. < 3 ton	auto	taxi	motocicleta
2005	2	156	5	0	520	1985	24515	299	672
2004	3	134	6	1	504	1382	22585	261	589
2003	3	176	13	2	459	1161	22838	244	549
2002	3	201	17	1	569	1061	18610	268	603
2001	4	216	9	5	635	1002	11048	276	621
2000	2	207	6	6	635	991	10370	218	490
1999	2	245	12	5	517	853	5485	168	377
1998	1	137	11	7	774	1037	4025	174	393
1997	2	149	14	1	756	1252	1823	118	264
1996	1	98	0	5	1156	3910	1380	145	327
1995	4	211	4	17	1890	3402	1483	192	433
1994	3	300	6	23	2604	2421	4043	248	560
1993	5	390	11	29	2828	3030	2646	263	593
1992	14	417	11	26	2731	2078	4079	304	684
1991	21	435	14	35	3200	1898	2406	263	591
1990	12	349	15	36	2854	1254	2225	240	539
1989	8	392	11	53	3220	1252	1573	216	486
1988	6	284	12	26	2621	1135	1139	165	371
1987	4	237	9	39	2286	1038	1008	141	319
1986	5	317	11	76	2711	1133	1633	171	386
1985	8	287	11	99	2026	993	565	180	406
1984	3	183	11	83	1724	859	420	173	390
1983	4	164	5	76	1303	550	398	158	355
1982	5	362	17	131	1803	568	462	214	481
1981 y ant.	99	3349	211	1077	12702	4000	3885	1430	3219
TOTAL	224	9396	452	1859	53028	40245	150644	6529	14698

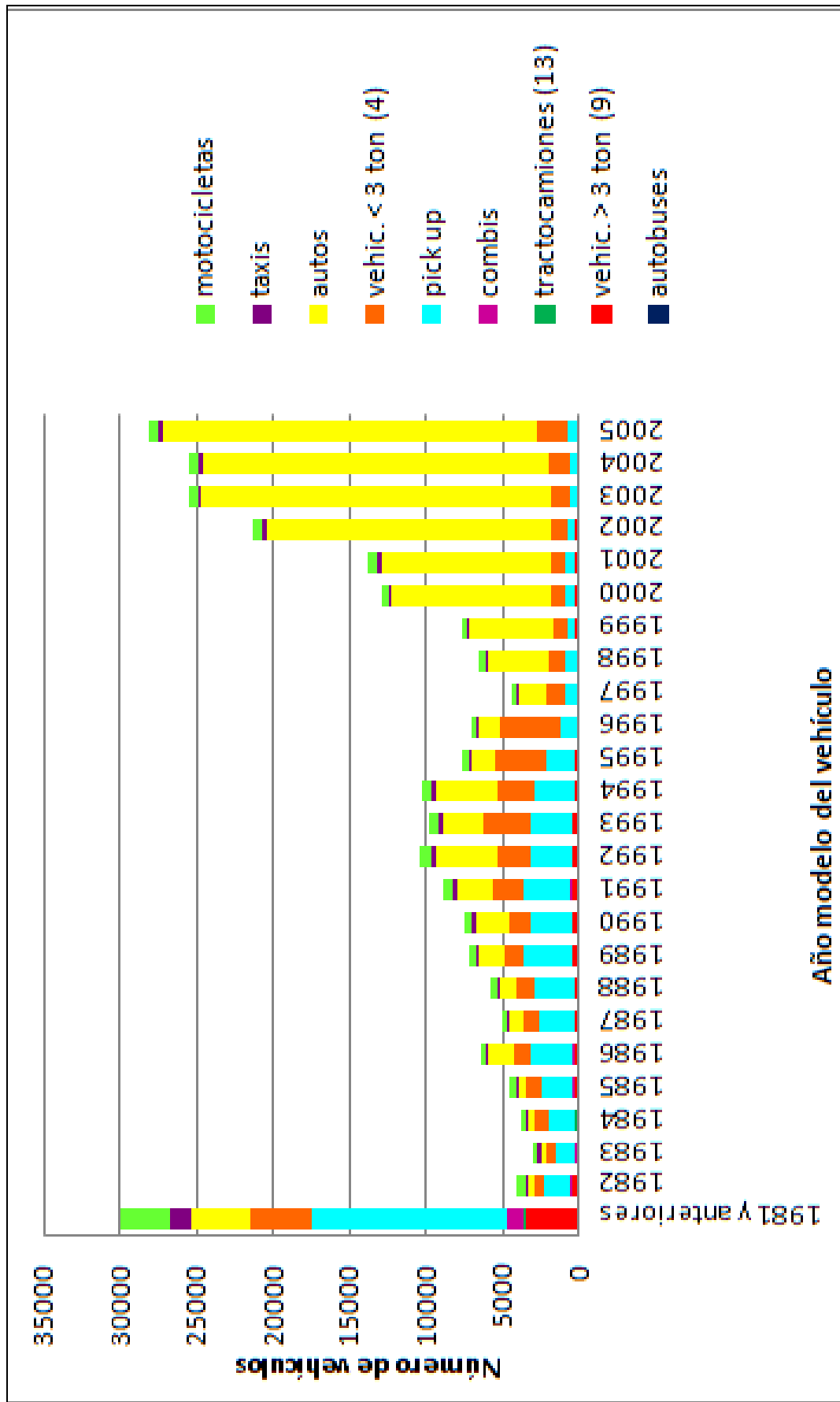


Figura 4.3 Distribución de la Flota Vehicular del IE por tipo y año modelo de vehículo

En la Figura 4.3 se aprecia que los vehículos ligeros son la mayoría, a partir del año 1997, siendo las pick ups y camionetas ligeras (vehic. < 3 ton.), los predominantes en los años modelo de vehículos anteriores a 1994 y en modelos recientes los autos particulares, consistente con su vida útil, como ya se mencionó anteriormente (5 años). Podría pensarse que como la concentración mayor de vehículos los tenemos del año modelo de 1999 a 2005, que las emisiones más significativas las tenemos en estos años, pero cabe mencionar que las tecnologías que se han estado desarrollando en los últimos años hacen que la combustión sea más eficiente por lo que no necesariamente se tiene que cumplir dicha idea.

4.1.2 FACTORES DE EMISIÓN

Al alimentar al modelo MOBILE6-Mexico con los datos de Morelia, este nos generó varios archivos, de los cuales se obtuvieron los siguientes factores de emisión:

Tabla 4.4 Factores de emisión por tipo de vehículo (g/mi)

Contaminante	Auto	Motocicleta	Pick up	Combi	Vehic. < 3 ton	Vehic. > 3 ton	Tracto camión	Autobús
PM ₁₀	0.028	0.019	0.030	0.030	0.109	0.104	0.136	0.096
PM _{2,5}	0.015	0.011	0.017	0.017	0.082	0.073	0.111	0.082
SO ₂	0.086	0.021	0.111	0.145	0.223	0.284	0.151	0.218
NH ₃	0.102	0.006	0.102	0.102	0.045	0.045	0.014	0.014
COV	0.135	0.875	0.128	0.190	2.528	3.387	0.321	0.243
CO	7.415	11.540	6.365	4.805	59.250	71.275	2.967	3.857
NO _x	0.143	0.425	0.142	0.198	4.235	4.950	3.298	4.842
CO ₂	365.3	66.6	476.9	621.9	848.3	1081.4	800.0	1157.8

Para poder utilizar estos factores de emisión, es necesario convertirlos a gramos/kilómetro y considerando que tenemos 277,075 vehículos transitando dentro de la ciudad; con la información anterior y utilizando la fórmula

$$E_{ijk} = \frac{FV_{ij} * KRV_i * FE_{ijk}}{1,000,000}$$

Donde:

- E_{ijk} = emisión del tipo de vehículo i, año modelo j, del contaminante k (ton/año)
- FV_{ij} = flota vehicular por tipo de vehículo i, año modelo j
- KRV_i = kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i (km/año)
- FE_{ijk} = factor de emisión del tipo de vehículo i, año modelo j, del contaminante k (g/km)
- 1,000,000 = factor de conversión de gramos a toneladas [SUMA, 2008]

Utilizando esta fórmula, podemos obtener las emisiones totales de contaminantes de la flota vehicular total.

4.1.3 EMISIONES POR TIPO DE VEHÍCULO

Al convertir los factores de emisión anteriores y utilizando la fórmula, se obtuvieron las siguientes emisiones totales para el año 2005:

Tabla 4.5 Emisiones de contaminantes totales por tipo de vehículo (ton/año)

Contaminante	Autobús	Vehic. > 3 ton	Tracto camión	Combi	Pick up	Vehic. < 3 ton	Auto	Taxi	Motocicleta	TOTAL
PM ₁₀	38.04	10.50	2.37	8.22	35.57	47.26	42.75	10.08	9.88	205
PM _{2.5}	34.82	7.40	2.14	5.98	24.10	35.26	22.90	6.02	5.64	144
SO ₂	7.25	28.72	0.53	19.06	84.56	96.12	125.60	26.00	10.66	398
NH ₃	0.42	4.56	0.04	5.07	55.40	19.48	148.14	29.08	2.91	265
COV	60.33	342.41	5.95	1616.56	6913.13	1091.44	1597.75	1283.76	2568.27	15480
CO	469.18	7205.60	59.99	13296.27	58247.36	25585.76	25080.98	11484.91	9921.94	151352
NO _x	364.95	500.42	37.93	383.07	1996.75	1828.79	1309.01	618.80	321.79	7361
CO ₂	37645.52	109324.96	2674.77	62035.0	284331.7	366297.34	523030.99	99821.36	24573.64	1509735
TOTAL	38620.52	117424.57	2783.71	77369.2	351688.5	395001.45	551358.11	113280.00	37414.73	1684592

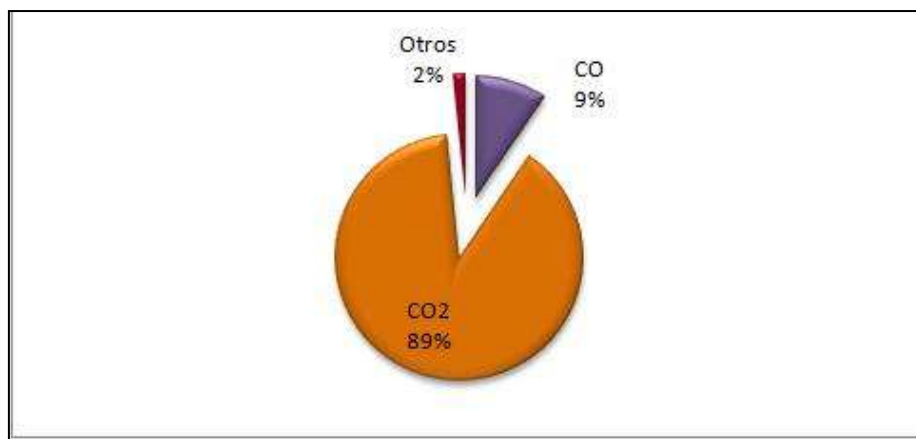


Figura 4.4 Producción de emisiones de contaminantes totales

Como se puede apreciar en la Figura 4.4, la mayor emisión se tiene de CO₂, el cual no es considerado un contaminante, ya que todos los organismos vivos dentro de sus procesos de respiración lo emiten y no es dañino para la salud, a menos que éste desplace a la mayoría de las moléculas de oxígeno en un espacio cerrado; por lo tanto se considera una emisión “inofensiva”, ya que es un gas de efecto invernadero pero con motivos de nuestro análisis, no lo consideraremos por no ser un contaminante nocivo. Podemos observar en la Figura 4.5 que los COV, sobre todo el CO, constituyen la mayor concentración de emisiones, ya que éste grupo de contaminante constituye casi 95% de las emisiones totales, siendo los menos significativos el SO₂ y NH₃.

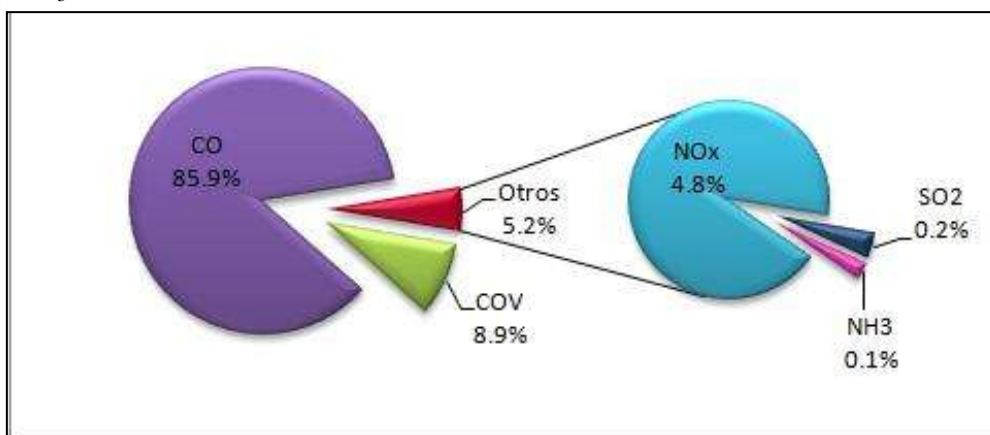


Figura 4.5 Producción de emisiones de contaminantes sin considerar el CO₂

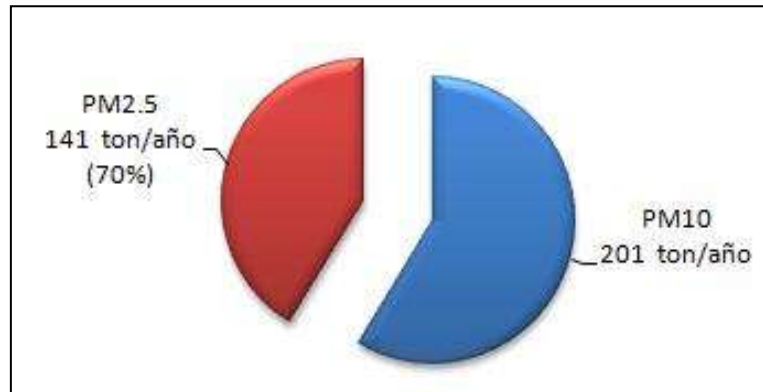


Figura 4.6 Producción de partículas suspendidas

Dentro de las emisiones tenemos que para el año 2005 se hizo un aporte de los vehículos con 201 toneladas de PM₁₀, que son las consideradas partículas respirables; de las cuales 70% son PM_{2.5}; estos dos tipos de partícula son muy importantes ya que se han asociado directamente con problemas respiratorios y según estudios si se incrementa la concentración en 10 µg/m³ de PM₁₀, se incrementa la mortalidad diaria en 1.4% y existen costos por gastos médicos superiores a los 20 mil millones de dólares en un año [Rojas Bracho, 2003].

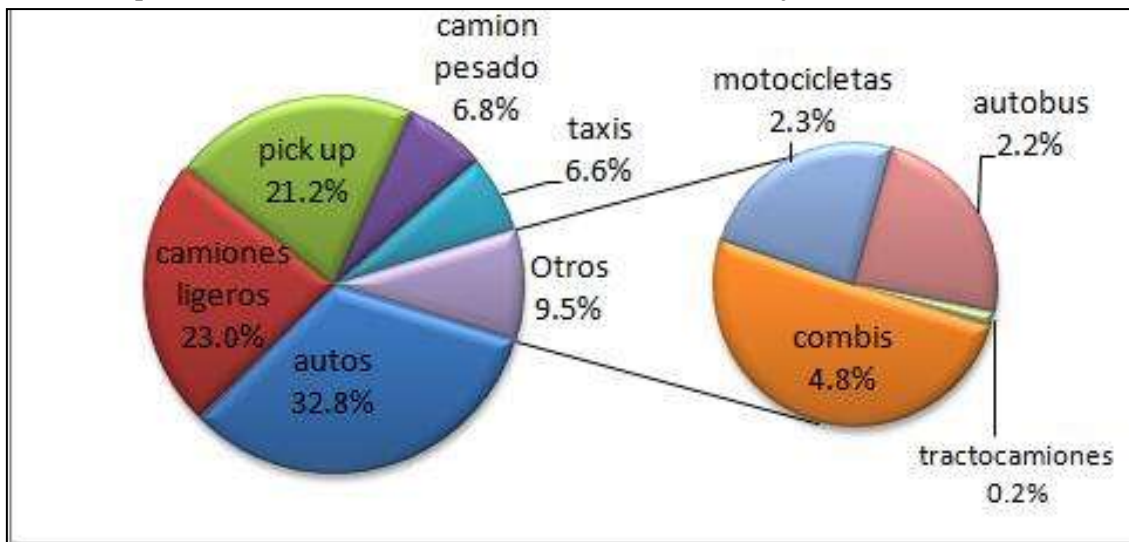


Figura 4.7 Distribución de la producción de contaminantes totales por tipo de vehículo

Al analizar la distribución que tiene la producción de contaminantes en el año 2005 la ciudad de Morelia por el tipo de vehículo que la emite, con la Figura 4.7, podemos observar que la mayor producción de contaminantes la tiene los autos particulares, camiones ligeros (vehic. < 3 ton) y las pick up, ya que tan sólo estas tres categorías constituyen más del 75% de las emisiones totales (77% de las emisiones totales) y el transporte público (taxis, combis y autobuses), constituye el 13.6% de dichas emisiones, siendo de las categorías de menor porcentaje de emisiones.

4.1.4 EMISIONES POR MODELO DE AÑO DEL VEHÍCULO

A partir del IE por tipo de vehículo se determinaron las emisiones para los diferentes contaminantes y tipos de vehículo por el modelo de año de los vehículos; de manera condensada estas son las emisiones totales por tipo de vehículo:

Tabla 4.6 Emisiones de contaminantes totales por tipo y año modelo de vehículo (ton/año)

AÑO MODELO	Autobús	Vehíc. > 3 ton	Tracto camiones	Combi	Pick up	Vehíc. < 3 ton	Auto	Taxi	Motocicleta	TOTAL
2005	162	1949	14	0	3726	19479	88812	5062	956	120160
2004	485	1674	33	45	3619	13561	82008	4429	1667	107522
2003	486	2199	71	90	3330	11393	83663	4177	1542	106952
2002	486	2512	93	45	4153	10411	68620	4618	1680	92619
2001	649	2699	50	226	4659	9832	40972	4783	1717	65588
2000	324	2587	33	268	4518	9725	37553	3689	1345	60041
1999	324	3061	66	223	3680	8370	19957	2856	1027	39565
1998	162	1712	61	308	5424	10176	14473	2924	1062	36302
1997	325	1862	77	44	5355	12286	6585	1992	708	29235
1996	162	1225	0	220	8106	38368	5008	2459	871	56418
1995	657	2637	22	756	13462	33383	5384	3257	1144	60703
1994	499	3749	34	1010	18335	23757	14802	4243	1465	67894
1993	831	4873	64	1263	19638	29733	9661	4487	1539	72089
1992	2352	5211	64	1139	19053	20391	15209	5297	1774	70490
1991	3563	5435	83	1503	21866	18625	8882	4537	1533	66027
1990	2069	4361	90	1575	19982	12305	8281	4174	1399	54237
1989	1399	4898	67	2300	22266	12286	5776	3706	1263	53962
1988	1062	3549	72	1118	17896	11138	4132	2797	965	42729
1987	706	2961	55	1604	14944	10186	3667	2397	824	37345
1986	882	3961	68	3144	17600	11118	5951	2912	998	46635
1985	1410	3586	70	4248	13679	9744	2097	3122	1050	39006
1984	529	2287	71	3568	11591	8429	1598	3076	980	32128
1983	705	2049	33	3005	7676	5397	1523	2825	891	24104
1982	881	4523	111	5306	10832	5574	1714	3711	1205	33858
1981 y ant.	17436	41847	1376	44347	76235	39251	14962	25735	7794	268984
TOTAL	38548	117407	2779	77355	351629	394919	551292	113264	37399	1684592

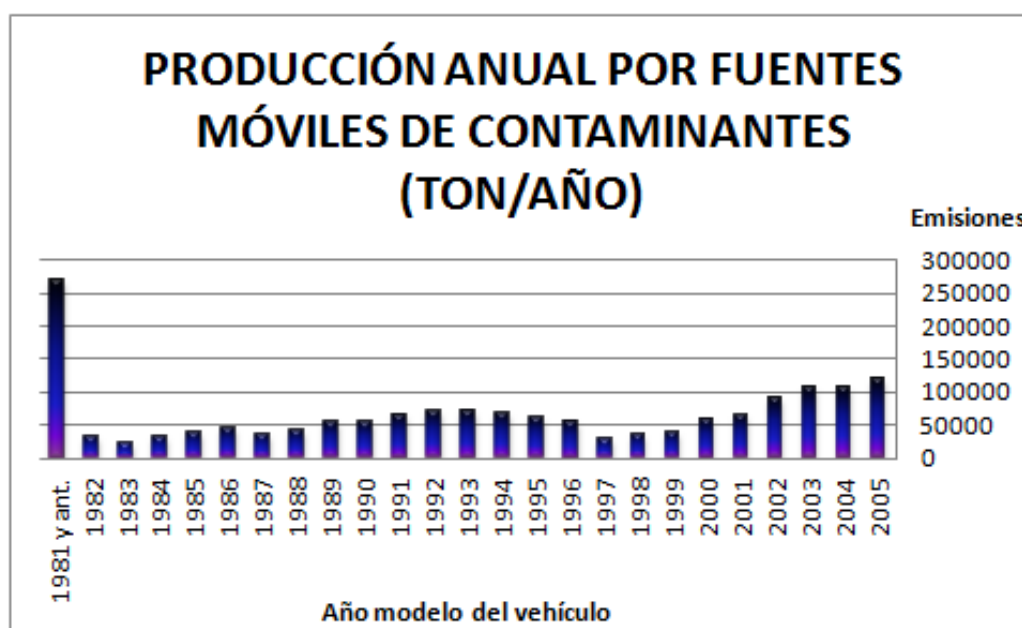


Figura 4.8 Emisiones de contaminantes totales por año modelo de vehículo (ton/año)

Se puede observar en la Figura 4.8 que la mayor contribución de contaminantes la tienen los vehículos con año modelo igual o menor a 1981, contribuyendo con 46% de las emisiones totales. Esto es debido a que los motores de este tipo de vehículos no cuentan con tecnología de control de emisiones, como las descritas en el capítulo 2; como es el caso del convertidor catalítico y además, se han hecho modificaciones significativas tanto en el motor como en los combustibles para hacer más eficiente la combustión y por lo tanto, emitir menos contaminantes. Si omitimos esta categoría de año modelo del vehículo observamos fluctuaciones en la emisión de contaminantes, las cuales siguen el siguiente comportamiento:

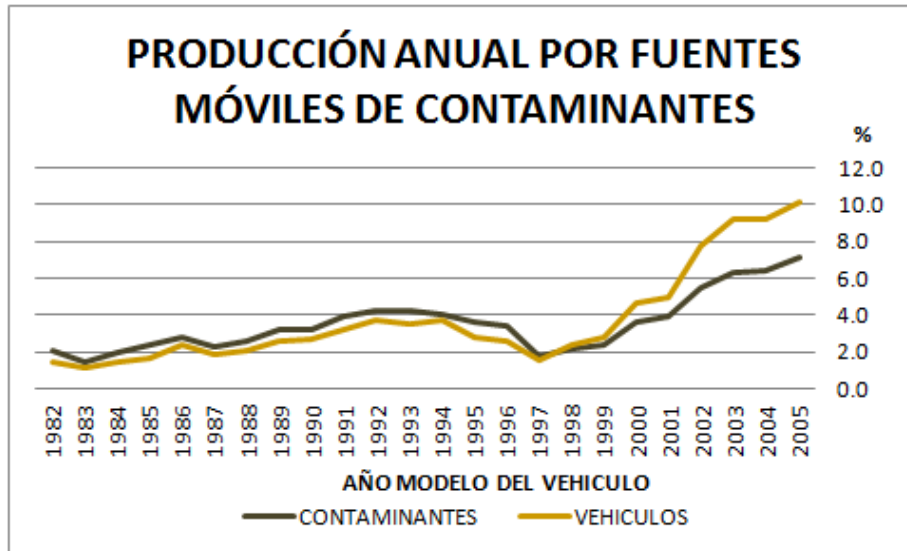


Figura 4.9 Distribución de la flota vehicular y las emisiones de contaminantes por año modelo de vehículo en porcentaje

Como podemos apreciar en la Figura 4.9 si comparamos la distribución que se tiene de la flota vehicular contra las emisiones de contaminantes por año modelo de vehículo en forma porcentual, la emisión de contaminantes sigue la misma tendencia que la de la flota vehicular, esto nos demuestra que las emisiones son proporcionales a la cantidad de vehículos; para el caso de vehículos recientes se observa que esta tendencia ya no es proporcional, si no exponencial, ya que las tecnologías que aplican estos vehículos hacen que sus emisiones de contaminantes sean menores en comparación a vehículos de mayor antigüedad.

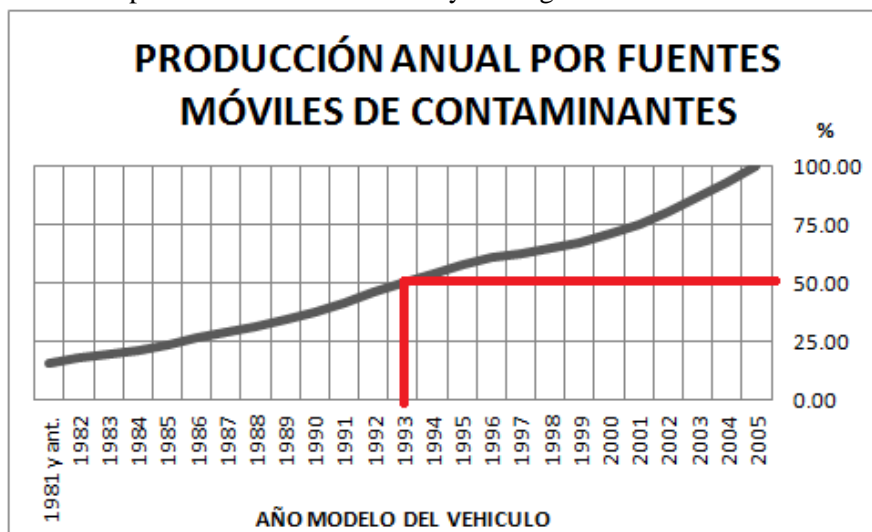


Figura 4.10 Porcentaje acumulado de las emisiones con respecto al año modelo de vehículo

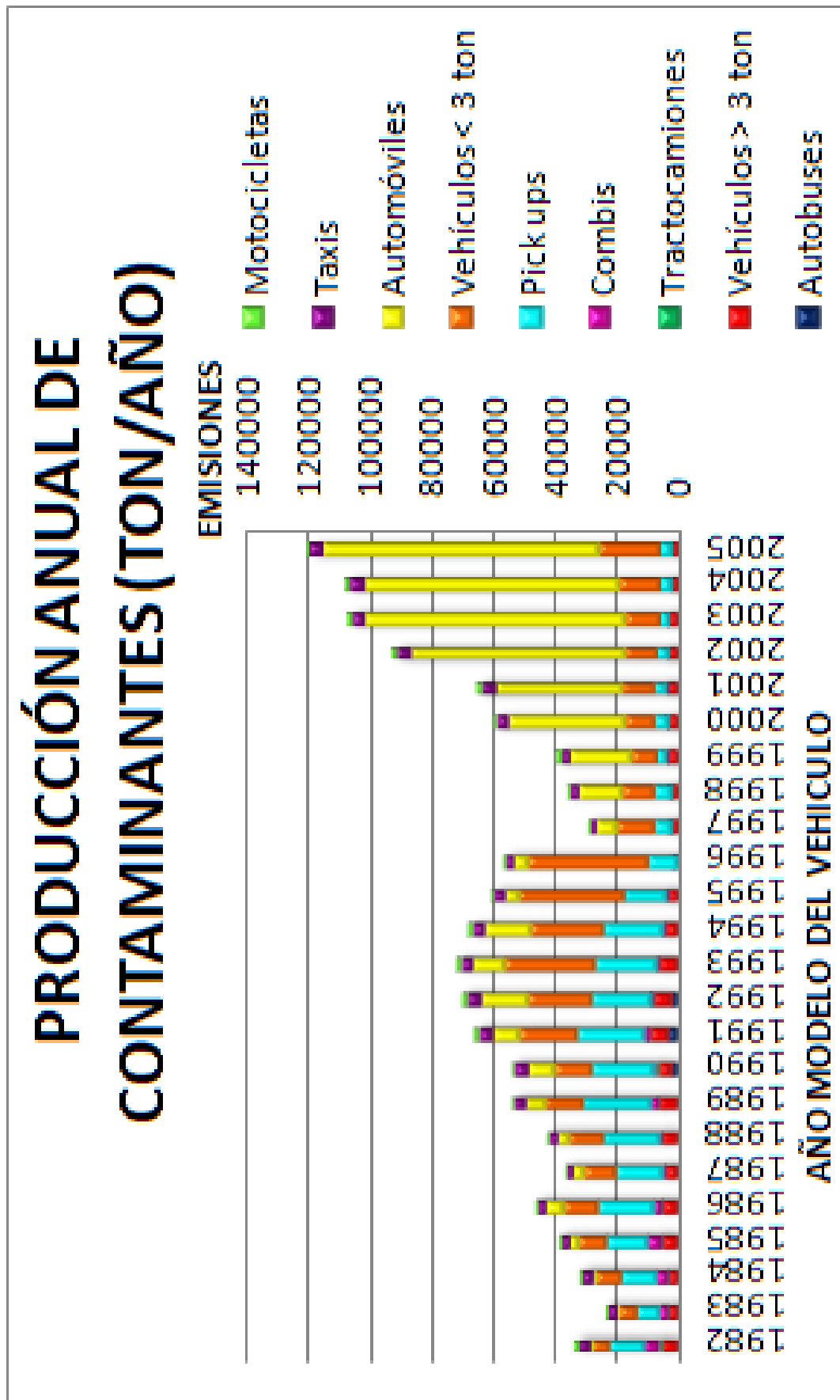


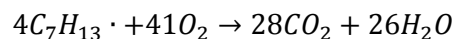
Figura 4.11 Distribución de emisiones de contaminantes por tipo y año modelo de vehículo

Como se puede apreciar en la Figura 4.10 si se instituyera un programa de deschatarrización o simplemente se sacara de la circulación todos los vehículos con año modelo anterior a 1993, es decir con una antigüedad de 12 años, se podrían reducir en gran medida las emisiones totales debidas a fuentes móviles. Es importante aclarar que la reducción no es de 50% ya que los vehículos serían sustituidos por otros, pero sí se vería una disminución ya que las emisiones de los vehículos de año modelo más reciente son mucho menores (se reducen hasta 96% las emisiones totales). Para obtener el porcentaje total real de emisiones es necesario evaluarlo utilizando el modelo.

En la Figura 4.11 se aprecia que la distribución vehicular en cuanto a cantidad de unidades y la emisión que se tiene, de alguna forma se conserva, ya que los que mayor contribución de contaminantes tiene son los vehículos ligeros: en modelos de años anteriores a 1997 de año modelo de vehículo las camionetas/camiones ligeros (vehíc. < 3 ton) y pick ups; y en modelos de años más recientes a 1997, los automóviles son los que más contribuyen.

4.1.5 VALIDACIÓN DEL CASO BASE MEDIANTE UN BALANCE DE COMBUSTIBLE

Con el objetivo de realizar una comprobación de los datos obtenidos de las emisiones, se realizó un balance de masa, considerando una combustión completa ideal y comparando la producción de CO₂ estequiométricamente con la obtenida con el modelo. La bibliografía consultada ([Wark, *et. al.*, 2004] y [Alcamí M., 2008]), especifica que para representar la combustión de un combustible (gasolina o diésel), como está formado por muchos tipos y familias de compuestos orgánicos, podemos hacer la representación de la combustión con dicho combustible, considerando en la ecuación solo un compuesto orgánico; en dicha bibliografía toman al anión cycloheptanide (C₇H₁₃), como el compuesto orgánico que representa al combustible, por lo que este fue el compuesto que se tomó para realizar el balance de masa, obteniendo los siguientes resultados:



Considerando las masas de los compuestos orgánicos involucrados tenemos que:

$$\begin{aligned} 1 \text{ molécula de } C_7H_{13} &= 7 (12 \text{ gr}) + 13 (1 \text{ gr}) = 97 \text{ gr} &\rightarrow & 4(97 \text{ gr}) = 388 \text{ gr} \\ 1 \text{ molécula de } CO_2 &= (12 \text{ gr}) + 2 (16 \text{ gr}) = 44 \text{ gr} &\rightarrow & 28 (44 \text{ gr}) = 1,232 \text{ gr} \end{aligned}$$

Por lo tanto, con 388 gr de C₇H₁₃ se produce 1.23 kg de CO₂. Por otro lado, en México se consumieron 671.3 miles de barriles diarios de gasolina y 320.1 miles de barriles diarios de diésel, lo que hace un total de 991.4 miles de barriles diarios de combustible que se consumieron en el país [PEMEX, 2011]. La flota vehicular de todo México es aproximadamente de 21 millones de vehículos [Guevara J, 2009], y en Morelia tenemos una flota vehicular de 277,075 vehículos [SUMA, 2008], considerando que existe una relación entre el número de vehículos y la gasolina consumida tenemos que el combustible consumido en la Ciudad de Morelia (CcCM) es:

$$CcCM = \frac{277,075 \text{ vehic.} * 991,400 \text{ barriles diarios}}{21,000,000 \text{ vehic.}} = 13080.6 \text{ barriles diarios}$$

Considerando que:

$$\begin{aligned} 1 \text{ barril de combustible} &= 159 \text{ litros de combustible [Anónimo, 2009]} \\ 1 \text{ litro} &= 720 \text{ gr (gasolina) [Anónimo, 2008]} &\rightarrow & 1 \text{ barril de combustible} = 114.48 \text{ kg} \\ CcCManual &= 13080.6 \text{ barriles diarios} * 114.48 \text{ kg} * 365 = 546,575,487.12 \text{ kg} \end{aligned}$$

Suponiendo un desperdicio del 5% debido a fugas y cualquier otro uso dado al combustible, tenemos que:

$$CcCManual = 546,575,487.12 \text{ kg} (0.95) = 519,246,712.76 \text{ kg}$$

Al relacionar el consumo de combustible en la Ciudad de Morelia anual con las relaciones entre el C_7H_{13} y el CO_2 , tenemos que:

$$Emision_{CO_2} = \frac{519,245,871.59 \text{ kg} * 1,232 \text{ gr} (CO_2)}{388 \text{ gr} (C_7H_{13}) * 1,000 \text{ kg}} = 1,648,742.14 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Considerando que el combustible no es simplemente C_7H_{13} ni al quemarse todo pasa a CO_2 , podemos considerar 5% de desperdicio con lo que tenemos que:

$$Emision_{CO_2} = 1,648,742.14 \frac{\text{ton}}{\text{año}} (0.95) = 1,566,305.03 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Por otro lado, de acuerdo a los criterios de experimentación un error de 5% resulta aceptable, tenemos que:

$$1,487,989.78 \text{ ton/año} < \text{Emisiones de } CO_2 < 1,644,620.28 \text{ ton/año}$$

Si analizamos el valor obtenido de emisiones al año de CO_2 con el MOBILE6-Mexico (1,509,735.25657188 ton/año), podemos observar que el resultado se encuentra dentro del margen de error, por lo que se considera que las emisiones obtenidas con el modelo son una buena aproximación a la realidad.

Es decir, el IE realizado para la Ciudad de Morelia es conveniente y válido para su uso, ya que los valores resultantes de la modelación utilizando el MOBILE6-Mexico, son una buena aproximación de las emisiones que tiene la flota vehicular, considerando la validación realizada anteriormente.

4.2 Programa de I/M

Ya que las autoridades de la Ciudad de Morelia han planteado implementar un Programa de I/M (programa de verificación vehicular), se ha deseado analizar el impacto que tiene dicho programa en las emisiones, obteniendo los siguientes resultados.

4.2.1 FACTORES DE EMISIÓN

Al alimentar al modelo MOBILE6-Mexico con los datos de Morelia y las características del Programa de I/M (Prog. I/M), que se desea implementar para la Ciudad de Morelia, este nos emitió varios archivos, de los cuales se obtuvieron los siguientes factores de emisión:

Tabla 4.7 Factores de emisión por tipo de vehículo con el Prog. I/M (g/mi)

Contaminante	Auto	Motocicleta	Pick up	Combi	Vehic. < 3 ton	Vehic. > 3 ton	Tracto camión	Autobús
PM ₁₀	0.035	0.038	0.039	0.035	0.109	0.104	0.887	2.251
PM _{2.5}	0.021	0.022	0.025	0.021	0.082	0.073	0.787	2.059
SO ₂	0.088	0.041	0.108	0.142	0.223	0.284	0.322	0.466
NH ₃	0.097	0.011	0.087	0.095	0.045	0.045	0.027	0.027
COV	4.597	7.365	5.125	2.784	2.364	3.191	2.337	3.580
CO	36.625	34.165	46.750	29.055	51.495	62.080	21.459	27.566
NO _x	2.346	1.140	2.105	1.796	4.217	4.915	19.440	22.859
CO ₂	333.5	106.1	404.6	577.2	848.3	1081.4	1670.2	2426.7

Para poder utilizar estos factores de emisión, es necesario realizarle el mismo proceso que en el caso anterior.

4.2.2 EMISIONES POR TIPO DE VEHÍCULO

Al convertir los factores de emisión anteriores y utilizando la fórmula, se obtuvieron las siguientes emisiones totales con el uso del Prog. I/M para el año 2005:

Tabla 4.8 Emisiones de contaminantes totales por tipo de vehículo con el Prog. I/M (ton/año)

Contaminante	Auto	Motocicleta	Pick up	Combi	Vehic. < 3 ton	Vehic. > 3 ton	Tracto camión	Autobús	Taxi	TOTAL
PM ₁₀	51.26	10.11	30.52	4.66	47.26	10.50	1.36	34.91	10.38	200.98
PM _{2.5}	31.23	5.77	19.36	2.79	35.26	7.40	1.21	31.94	6.32	141.28
SO ₂	129.15	10.90	84.72	18.96	96.12	28.72	0.49	7.23	26.16	402.47
NH ₃	142.53	2.98	68.14	12.69	19.48	4.56	0.04	0.42	28.87	279.71
COV	6723.68	1939.97	4025.38	370.93	1020.62	322.60	3.59	55.54	1361.72	15824.03
CO	53568.57	8999.19	36722.89	3871.90	22236.94	6276.02	33.00	427.65	10849.04	142985.20
NOx	3431.31	300.28	1653.51	239.34	1821.01	496.89	29.90	354.62	694.93	9021.80
CO ₂	487784.8	27947.2	317780.7	76918.3	366297.4	109325.0	2568.8	37646.0	98789.2	1525057.1
TOTAL	551780	39200	360335	81432	391492	116454	2636	38491	111750	1693570

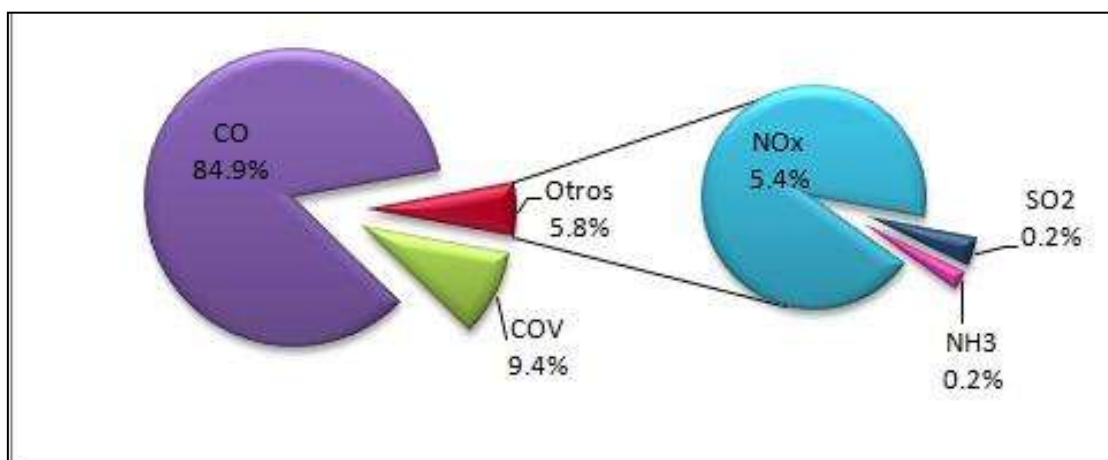


Figura 4.12 Producción de emisiones de contaminantes con el Prog. I/M sin considerar el CO₂

Como se puede apreciar en la Tabla 4.8, la mayor emisión se tiene de CO₂, consistente con el IE general base obtenido anteriormente y se genera la misma cantidad de partículas suspendidas. Podemos observar en la Figura 4.12 que se sigue conservando las relaciones y hay muy poca variación en cuanto a los porcentajes de los contaminantes.

4.2.3 EMISIONES POR MODELO DE AÑO DEL VEHÍCULO

A partir del IE por tipo de vehículo y considerando el Prog. I/M se determinaron las emisiones para los diferentes contaminantes y tipos de vehículo por el modelo de año de los vehículos considerando el Prog. I/M; de manera condensada estas son las emisiones totales por tipo de vehículo considerando el Prog. I/M:

Tabla 4.9 Emisiones totales por tipo y año modelo de vehículo con el Prog. I/M (ton/año)

AÑO MODELO	Autobús	Vehíc. > 3 ton	Tracto camiones	Combi	Pick up	Vehíc. < 3 ton	Auto	Taxi	Motocicleta	TOTAL
2005	162	1933	14	0	3726	19309	88812	5062	956	119975
2004	485	1661	33	45	3619	13444	82006	4428	1667	107388
2003	486	2181	71	90	3328	11294	83646	4176	1542	106815
2002	486	2491	93	45	4147	10321	68542	4612	1680	92419
2001	649	2677	50	226	4649	9747	40894	4774	1717	65383
2000	324	2566	33	267	4504	9640	37443	3678	1345	59800
1999	324	3037	66	222	3665	8298	19880	2845	1027	39365
1998	162	1698	61	307	5398	10088	14404	2910	1062	36089
1997	325	1847	77	44	5326	12179	6548	1981	708	29034
1996	162	1215	0	218	8055	38035	4975	2443	871	55974
1995	657	2615	22	753	13372	33094	5343	3232	1144	60232
1994	499	3718	34	1005	18221	23551	14686	4210	1465	67389
1993	831	4834	64	1257	19530	29475	9585	4452	1539	71566
1992	2352	5168	64	1134	18941	20214	15067	5247	1774	69963
1991	3563	5391	83	1495	21723	18463	8793	4491	1533	65535
1990	2069	4325	90	1567	19853	12199	8193	4129	1399	53824
1989	1399	4858	67	2288	22119	12179	5714	3666	1263	53554
1988	1062	3520	72	1113	17777	11041	4087	2767	965	42404
1987	706	2937	55	1593	14800	10097	3596	2350	824	36959
1986	882	3929	68	3129	17474	11021	5828	2852	998	46182
1985	1410	3557	70	4240	13628	9660	2046	3045	1050	38705
1984	529	2268	71	3564	11563	8356	1556	2994	980	31881
1983	705	2033	33	2932	7423	5350	1471	2729	891	23565
1982	881	4487	111	5178	10475	5525	1630	3528	1205	33019
1981 y ant.	17436	41507	1376	43348	73884	38911	14395	24760	7794	263413
TOTAL	38548	116454	2779	76060	347200	391492	549139	111362	37399	1670433

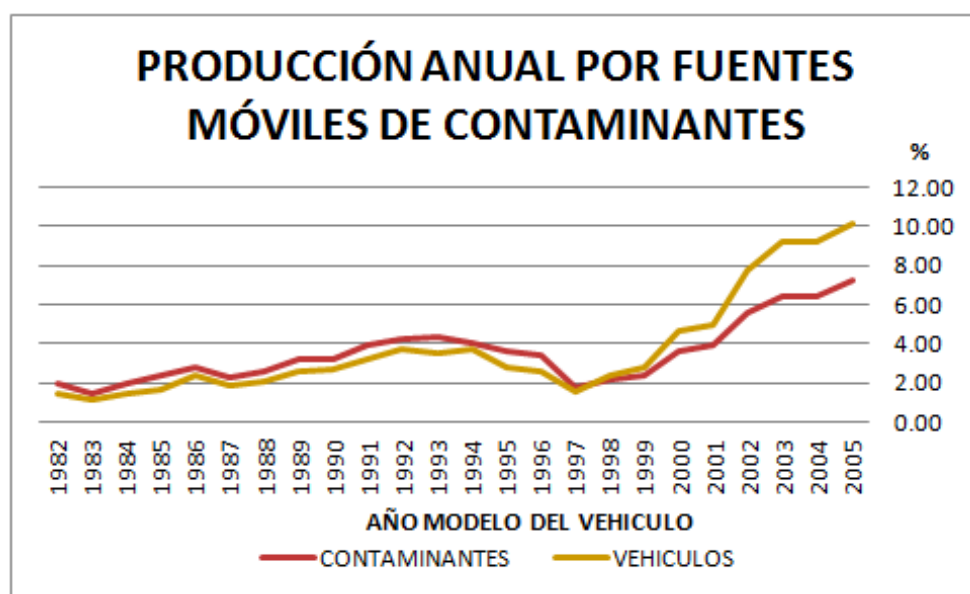


Figura 4.13 Distribución de la flota vehicular y las emisiones por año modelo de vehículo con el Prog. I/M en porcentaje

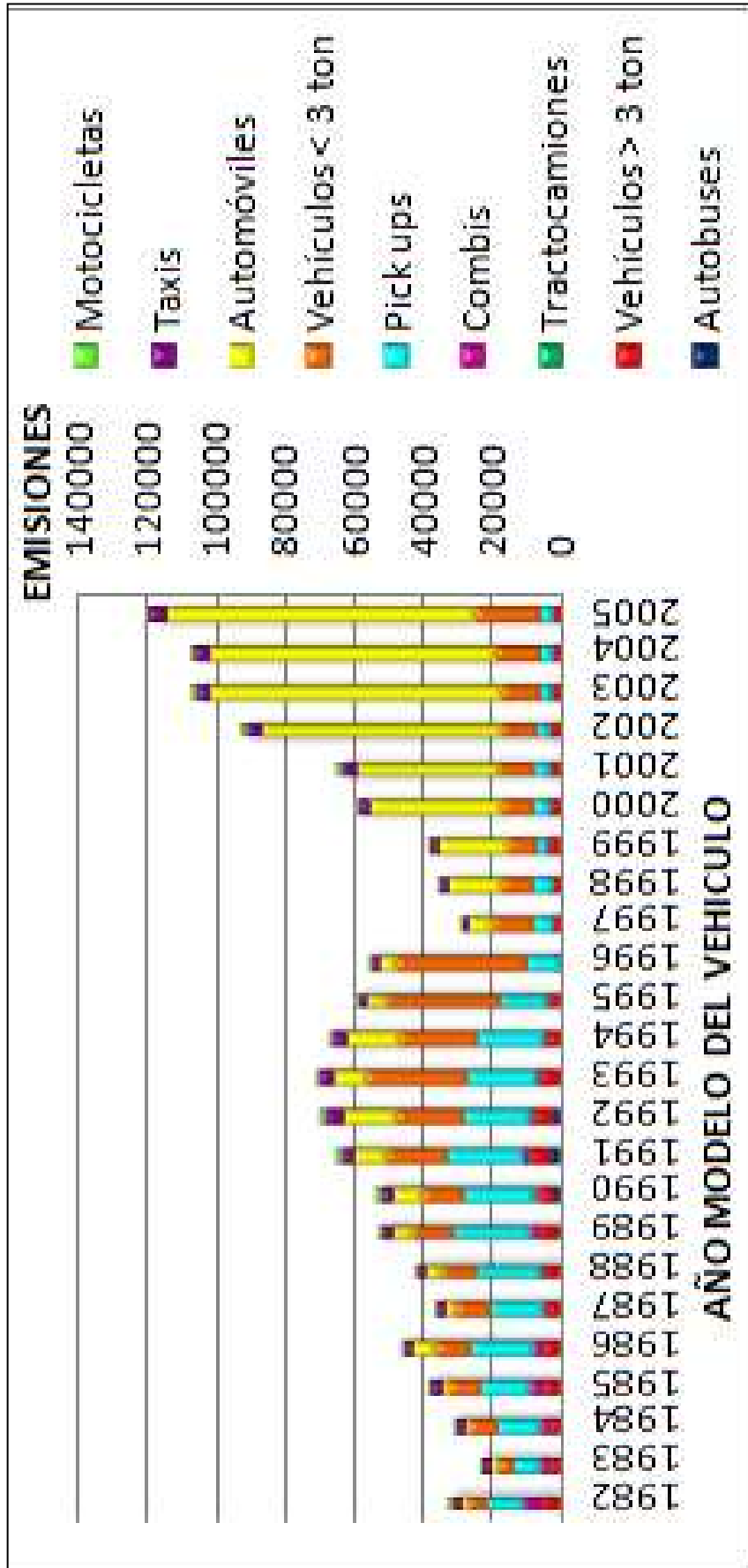


Figura 4.14 Distribución de emisiones por tipo y año modelo de vehículo con el Prog. I/M

Como podemos apreciar en la Tabla 4.9, se conserva la distribución de contaminantes con respecto al año, así como la distribución de contaminantes con respecto a la flota vehicular en la Figura 4.13 y Figura 4.14. Se puede observar que las distribuciones de vehículos y contaminantes se sigue manteniendo con respecto al caso base; más adelante se hará un análisis de los cinco escenarios modelados.

4.3 COMBUSTIBLE DE ULTRA BAJO CONTENIDO DE AZUFRE

El siguiente escenario considerado fue el de uso de combustibles UBA, ya que de acuerdo a la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 [SEMARNAT, 2005], para enero de 2009 ya tendríamos que contar con gasolina UBA y en septiembre del mismo año con Diésel UBA, y de acuerdo a Proy-NOM-086-SEMARNAT -2003 [SEGOB, 2005], para septiembre de 2008 contaríamos con los combustibles UBA (tanto diésel como gasolina); por lo que se ha deseado analizar el impacto que tienen estos combustibles en las emisiones, obteniendo los siguientes resultados.

Para considerar el impacto que cada uno de los tipos de combustible UBA tenía en las emisiones de contaminantes, dentro del IE con combustible UBA, se consideraron tres posibles escenarios:

- Escenario 1: gasolina UBA con cont. de Azufre 30 ppm prom., 80 máx.
diésel UBA con cont. de Azufre 15 ppm.
- Escenario 2: sólo se considera diésel UBA y la gasolina se considera la normal.
- Escenario 3: sólo se considera gasolina UBA y el diésel se considera el normal.

4.3.1 FACTORES DE EMISIÓN

Al alimentar al modelo MOBILE6-Mexico con los datos de Morelia y las características de los combustibles UBA, este nos emitió varios archivos, de los cuales se obtuvieron los siguientes factores de emisión:

Tabla 4.10 Factores de emisión por tipo de vehículo con combustibles UBA (g/mi)

Contaminante	Auto	Motocicleta	Pick up	Combi	Vehic. < 3 ton	Vehic. > 3 ton	Tracto camión	Autobus
PM₁₀	0.026	0.037	0.030	0.028	0.096	0.096	0.865	2.219
PM_{2.5}	0.012	0.021	0.015	0.014	0.069	0.065	0.766	2.028
SO₂	0.007	0.003	0.009	0.011	0.018	0.023	0.016	0.023
NH₃	0.097	0.011	0.087	0.095	0.045	0.045	0.027	0.027
COV	5.561	7.980	5.761	3.076	3.533	4.608	3.489	5.346
CO	41.530	38.535	46.240	27.580	78.445	93.800	31.920	41.004
NO_x	2.164	0.915	1.952	1.646	3.181	4.216	19.804	22.176
CO₂	333.40	106.10	404.50	577.20	848.15	1081.30	1669.95	2426.45

Tabla 4.11 Factores de emisión por tipo de vehículo con diésel UBA (g/mi)

Contaminante	Auto	Motocicleta	Pick up	Combi	Vehic. < 3 ton	Vehic. > 3 ton	Tracto camión	Autobus
PM ₁₀	0.035	0.039	0.039	0.036	0.107	0.103	0.865	2.219
PM _{2.5}	0.021	0.023	0.025	0.022	0.080	0.072	0.766	2.028
SO ₂	0.088	0.041	0.108	0.142	0.223	0.284	0.016	0.023
NH ₃	0.097	0.011	0.087	0.095	0.045	0.045	0.027	0.027
COV	5.612	7.980	5.936	3.287	3.798	4.965	3.489	5.346
CO	42.755	38.535	49.695	30.915	83.885	100.920	31.920	41.004
NO _x	2.398	0.915	2.144	1.824	3.619	4.230	19.804	22.176
CO ₂	333.40	106.10	404.50	577.20	848.15	1081.30	1669.95	2426.45

Tabla 4.12 Factores de emisión por tipo de vehículo con gasolina UBA (g/mi)

Contaminante	Auto	Motocicleta	Pick up	Combi	Vehic. < 3 ton	Vehic. > 3 ton	Tracto camión	Autobus
PM ₁₀	0.026	0.037	0.030	0.028	0.096	0.096	0.887	2.250
PM _{2.5}	0.012	0.021	0.015	0.014	0.069	0.065	0.787	2.059
SO ₂	0.007	0.003	0.009	0.011	0.018	0.023	0.322	0.466
NH ₃	0.097	0.011	0.087	0.095	0.045	0.045	0.027	0.027
COV	5.561	7.980	5.761	3.076	3.533	4.608	3.489	5.346
CO	41.530	38.535	46.240	27.580	78.445	93.800	31.920	41.004
NO _x	2.164	0.915	1.952	1.646	3.181	4.216	19.804	22.176
CO ₂	333.40	106.10	404.50	577.20	848.15	1081.30	1669.95	2426.45

Para poder utilizar estos factores de emisión, es necesario realizarle el mismo proceso que en los casos anteriores.

4.3.2 EMISIONES POR TIPO DE VEHÍCULO

Al convertir los factores de emisión anteriores y utilizando la fórmula, se obtuvieron las siguientes emisiones totales con el uso de combustibles UBA para el año 2005:

Tabla 4.13 Emisiones totales por tipo de vehículo con combustibles UBA (ton/año)

Contaminante	Auto	Motocicleta	Pick up	Combi	Vehic. < 3 ton	Vehic. > 3 ton	Tracto camión	Autobús	Taxi	TOTAL
PM ₁₀	37.88	9.80	23.21	3.71	41.65	9.68	1.33	34.43	7.67	169.37
PM _{2.5}	17.84	5.45	12.10	1.84	29.64	6.58	1.18	31.46	3.61	109.70
SO ₂	10.24	0.87	6.76	1.51	7.64	2.28	0.02	0.36	2.07	31.75
NH ₃	142.53	2.98	68.14	12.69	19.48	4.56	0.04	0.42	28.87	279.70
COV	8132.92	2101.96	4524.97	409.91	1525.65	465.85	5.37	82.94	1647.13	18896.68
CO	60742.74	10150.27	36322.28	3675.34	33874.68	9482.78	49.09	636.11	12301.99	167235.28
NO _x	3165.12	241.01	1533.33	219.35	1373.64	426.22	30.46	344.03	641.02	7974.17
CO ₂	487638.5	27947.2	317741.4	76918.3	366254.2	109314.9	2568.4	37642.9	98759.5	1524785.2
TOTAL	559832	40444	360197	81237	403055	119697	2653	38707	113381	1719203

Tabla 4.14 Emisiones totales por tipo de vehículo con diésel UBA (ton/año)

Contaminante	Auto	Motocicleta	Pick up	Combi	Vehic. < 3 ton	Vehic. > 3 ton	Tracto camión	Autobús	Taxi	TOTAL
PM ₁₀	50.83	10.33	30.40	4.76	46.38	10.40	1.33	34.43	10.29	199.15
PM _{2.5}	30.79	5.98	19.25	2.89	34.35	7.30	1.18	31.46	6.24	139.43
SO ₂	129.30	10.83	84.76	18.94	96.38	28.75	0.02	0.36	26.19	395.52
NH ₃	142.53	2.98	68.14	12.69	19.48	4.56	0.04	0.42	28.87	279.70
COV	8208.24	2101.96	4662.83	438.03	1640.08	501.94	5.37	82.94	1662.38	19303.76
CO	62534.45	10150.27	39036.24	4119.77	36223.82	10202.58	49.09	636.11	12664.86	175617.19
NOx	3507.37	241.01	1683.75	243.00	1562.78	427.64	30.46	344.03	710.33	8750.38
CO ₂	487638.5	27947.2	317741.4	76918.3	366254.2	109314.9	2568.4	37642.9	98759.5	1524785.2
TOTAL	562160	40454	363277	81751	405797	120480	2653	38707	113852	1729132

Tabla 4.15 Emisiones totales por tipo de vehículo con gasolina UBA (ton/año)

Contaminante	Auto	Motocicleta	Pick up	Combi	Vehic. < 3 ton	Vehic. > 3 ton	Tracto camión	Autobús	Taxi	TOTAL
PM ₁₀	37.88	9.80	23.21	3.71	41.65	9.68	1.36	34.91	7.67	169.88
PM _{2.5}	17.84	5.45	12.10	1.84	29.64	6.58	1.21	31.94	3.61	110.22
SO ₂	10.24	0.87	6.76	1.51	7.64	2.28	0.49	7.23	2.07	39.09
NH ₃	142.53	2.98	68.14	12.69	19.48	4.56	0.04	0.42	28.87	279.70
COV	8132.92	2101.96	4524.97	409.91	1525.65	465.85	5.37	82.94	1647.13	18896.68
CO	60742.74	10150.27	36322.28	3675.34	33874.68	9482.78	49.09	636.11	12301.99	167235.28
NOx	3165.12	241.01	1533.33	219.35	1373.64	426.22	30.46	344.03	641.02	7974.17
CO ₂	487638.5	27947.2	317741.4	76918.3	366254.2	109314.9	2568.4	37642.9	98759.5	1524785.2
TOTAL	559832	40444	360197	81237	403055	119697	2654	38714	113381	1719210

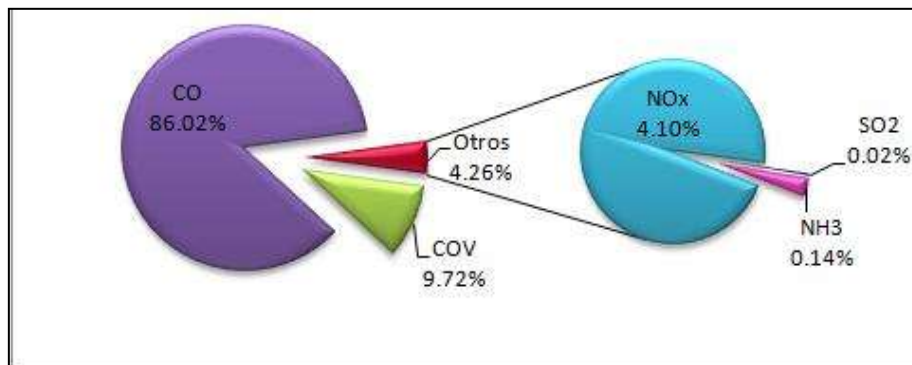


Figura 4.15 Producción de emisiones con combustibles UBA sin considerar el CO₂

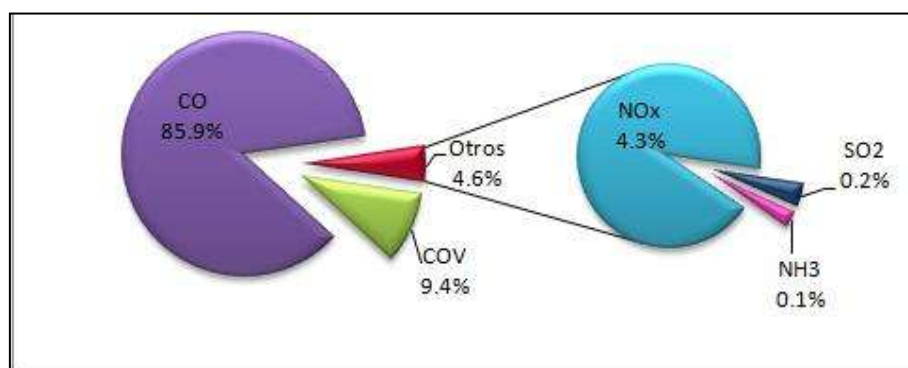


Figura 4.16 Producción de emisiones con diésel UBA sin considerar el CO₂

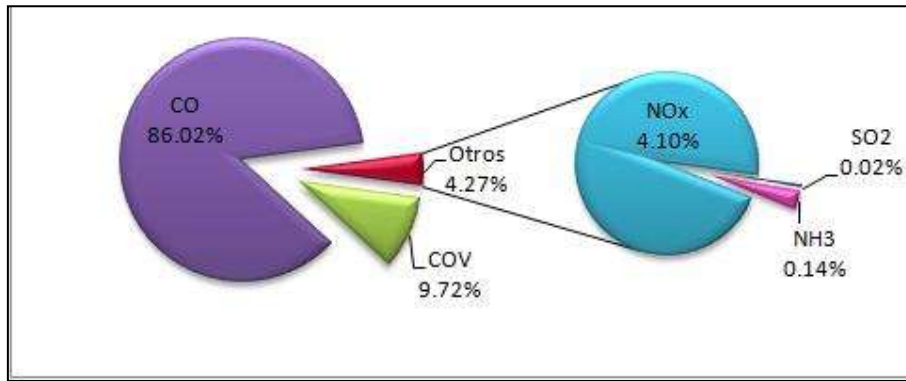


Figura 4.17 Producción de emisiones con gasolina UBA sin considerar el CO₂

Como se puede apreciar en la Tabla 4.13, Tabla 4.14 y Tabla 4.15, la mayor emisión se tiene de CO₂, consistente con el IE general base obtenido anteriormente. Podemos observar en la Figura 4.15, Figura 4.16 y Figura 4.17, que se siguen conservando las relaciones y hay muy poca variación en cuanto a los porcentajes de los contaminantes, a excepción del caso del dióxido de azufre en cuanto al escenario con combustible UBA y con gasolina UBA, en los que el porcentaje es diez veces menor.

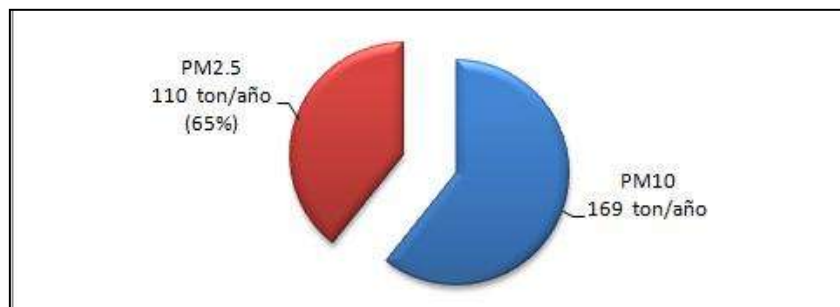


Figura 4.18 Producción de partículas suspendidas con combustible UBA

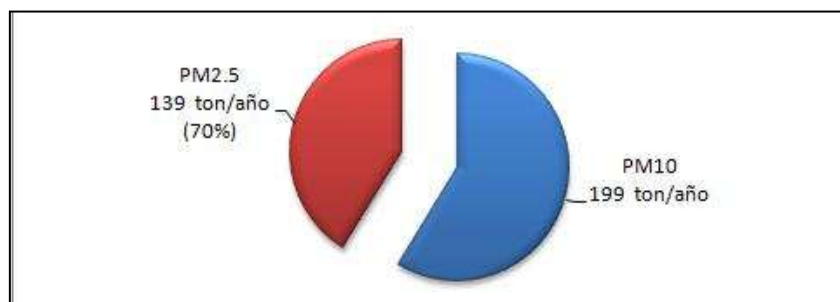


Figura 4.19 Producción de partículas suspendidas con diésel UBA

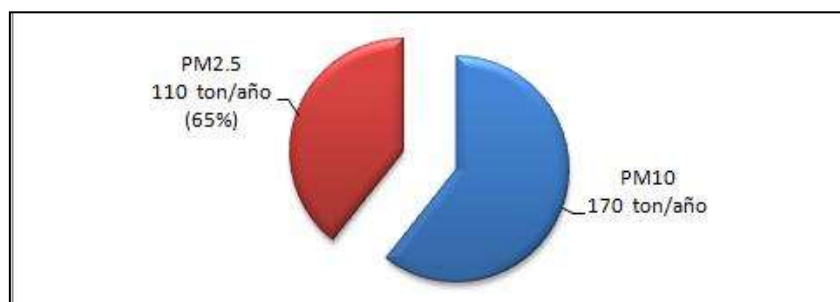


Figura 4.20 Producción de partículas suspendidas con gasolina UBA

Dentro de las emisiones, con los combustibles UBA, tenemos que el porcentaje de producción de partículas suspendidas $PM_{2.5}$ es similar al IE base en el escenario de diésel UBA y disminuye en 5% en los escenarios de combustible y gasolina UBA. Con respecto a la producción de partículas, se aprecia la misma relación (en el caso del escenario de diésel UBA es similar al IE base y hay disminución en los escenarios de combustible y gasolina UBA).

4.3.3 EMISIONES POR MODELO DE AÑO DEL VEHÍCULO

A partir del IE por tipo de vehículo y considerando el uso de combustible UBA se determinaron las emisiones para los diferentes contaminantes y tipos de vehículo por el modelo de año de los vehículos considerando el uso de combustibles UBA; de manera condensada estas son las emisiones totales por tipo de vehículo considerando el uso de combustibles UBA:

Tabla 4.16 Emisiones totales por tipo y año modelo de vehículo con combustible UBA (ton/año)

AÑO MODELO	Autobús	Vehíc. > 3 ton	Tracto camiones	Combi	Pick up	Vehíc. < 3 ton	Auto	Taxi	Motocicleta	TOTAL
2005	162	1987	14	0	3696	19880	87745	5001	979	119462
2004	486	1707	33	45	3586	13841	80951	4371	1706	106725
2003	486	2242	71	90	3264	11627	81698	4079	1580	105138
2002	487	2561	94	45	4048	10626	66606	4482	1724	90672
2001	649	2752	50	224	4520	10035	39559	4618	1763	64171
2000	325	2637	33	265	4474	9925	37149	3649	1383	59840
1999	325	3121	66	221	3641	8543	19722	2823	1057	39519
1998	162	1745	61	305	5364	10386	14294	2887	1094	36299
1997	325	1898	78	44	5294	12539	6501	1966	730	29376
1996	163	1248	0	218	8010	39159	4943	2427	898	57066
1995	658	2688	22	750	13306	34071	5315	3215	1181	61207
1994	499	3822	34	1001	18130	24246	14628	4193	1515	68068
1993	835	4968	64	1252	19423	30346	9555	4438	1591	72472
1992	2362	5312	65	1130	18846	20811	15046	5240	1835	70648
1991	3578	5542	83	1490	21629	19009	8785	4487	1587	66188
1990	2075	4446	90	1562	19774	12559	8192	4129	1448	54276
1989	1402	4994	68	2281	22043	12539	5720	3670	1308	54024
1988	1064	3618	74	1110	17727	11367	4091	2769	1000	42819
1987	712	3019	56	1595	14830	10396	3644	2382	855	37488
1986	889	4038	69	3128	17488	11347	5915	2895	1035	46804
1985	1422	3656	71	4232	13627	9945	2095	3118	1090	39255
1984	533	2331	72	3559	11575	8603	1601	3081	1020	32375
1983	711	2089	33	3023	7761	5508	1529	2837	927	24419
1982	888	4612	113	5344	10981	5689	1734	3753	1255	34367
1981 y ant.	17587	42663	1397	44715	77517	40060	15153	26064	8148	273304
TOTAL	38785	119697	2810	77627	350555	403055	542170	112576	38709	1685984

Tabla 4.17 Emisiones totales por tipo y año modelo de vehículo con diésel UBA (ton/año)

AÑO MODELO	Autobús	Vehíc. > 3 ton	Tracto camiones	Combi	Pick up	Vehíc. < 3 ton	Auto	Taxi	Motocicleta	TOTAL
2005	162	2000	14	0	3723	20015	88737	5057	979	120688
2004	486	1718	33	45	3616	13935	81917	4424	1706	107880
2003	486	2257	71	90	3324	11707	83485	4168	1581	107169
2002	487	2577	94	45	4142	10698	68416	4604	1724	92788
2001	649	2770	50	226	4646	10103	40836	4767	1764	65811
2000	325	2654	33	267	4509	9992	37473	3681	1383	60318
1999	325	3142	66	223	3673	8601	19912	2850	1057	39849
1998	162	1757	61	308	5415	10456	14442	2917	1094	36613
1997	325	1911	78	44	5347	12624	6573	1988	730	29621
1996	163	1257	0	219	8096	39425	5000	2455	899	57513
1995	658	2706	22	755	13446	34303	5377	3253	1181	61701
1994	499	3847	34	1009	18313	24411	14787	4239	1515	68654
1993	835	5001	64	1262	19616	30552	9651	4482	1592	73054
1992	2362	5347	65	1138	19032	20953	15198	5293	1836	71223
1991	3578	5578	83	1501	21845	19138	8875	4533	1587	66719
1990	2075	4475	90	1574	19960	12644	8276	4171	1449	54715
1989	1402	5026	68	2298	22244	12624	5773	3704	1308	54446
1988	1064	3642	74	1118	17880	11444	4130	2796	1000	43147
1987	712	3039	56	1604	14942	10466	3667	2397	855	37737
1986	889	4065	69	3141	17575	11424	5946	2909	1035	47055
1985	1422	3680	71	4243	13652	10013	2095	3119	1090	39383
1984	533	2347	72	3562	11564	8661	1596	3072	1020	32427
1983	711	2103	33	3032	7761	5546	1520	2820	927	24455
1982	888	4642	113	5354	10952	5727	1716	3713	1255	34359
1981 y ant.	17587	42943	1397	44746	77090	40333	14985	25775	8150	273006
TOTAL	38785	120480	2810	77805	352364	405797	550382	113188	38717	1700330

Tabla 4.18 Emisiones totales por tipo y año modelo de vehículo con gasolina UBA (ton/año)

AÑO MODELO	Autobus	Vehíc. > 3 ton	Tracto camiones	Combi	Pick up	Vehíc. < 3 ton	Auto	Taxi	Motocicleta	TOTAL
2005	162	1987	14	0	3696	19880	87745	5001	979	119463
2004	486	1707	33	45	3586	13841	80951	4371	1706	106726
2003	486	2242	71	90	3264	11627	81698	4079	1580	105138
2002	487	2561	94	45	4048	10626	66606	4482	1724	90672
2001	650	2752	50	224	4520	10035	39559	4618	1763	64172
2000	325	2637	33	265	4474	9925	37149	3649	1383	59840
1999	325	3121	66	221	3641	8543	19722	2823	1057	39519
1998	162	1745	61	305	5364	10386	14290	2887	1094	36294
1997	325	1898	78	44	5294	12539	6500	1966	730	29374
1996	163	1248	0	218	8010	39159	4941	2426	898	57064
1995	658	2688	22	750	13306	34071	5313	3215	1181	61205
1994	499	3822	34	1001	18130	24246	14624	4192	1514	68063
1993	835	4968	64	1252	19423	30346	9552	4437	1591	72468
1992	2363	5312	65	1130	18846	20811	15042	5239	1835	70644
1991	3578	5542	83	1490	21629	19009	8782	4486	1587	66185
1990	2076	4446	90	1562	19774	12559	8190	4128	1448	54273
1989	1402	4994	68	2281	22043	12539	5719	3669	1308	54022
1988	1065	3618	74	1110	17727	11367	4090	2768	1000	42818
1987	712	3019	56	1595	14830	10396	3643	2381	855	37487
1986	890	4038	69	3128	17488	11347	5914	2894	1035	46802
1985	1422	3656	71	4232	13627	9945	2094	3117	1090	39254
1984	533	2331	72	3559	11575	8603	1600	3080	1020	32374
1983	711	2089	33	3023	7761	5508	1529	2836	927	24418
1982	889	4612	113	5344	10981	5689	1733	3752	1255	34366
1981 y ant.	17590	42663	1397	44715	77517	40060	15150	26058	8148	273298
TOTAL	38792	119697	2811	77627	350555	403055	542137	112555	38708	1685937

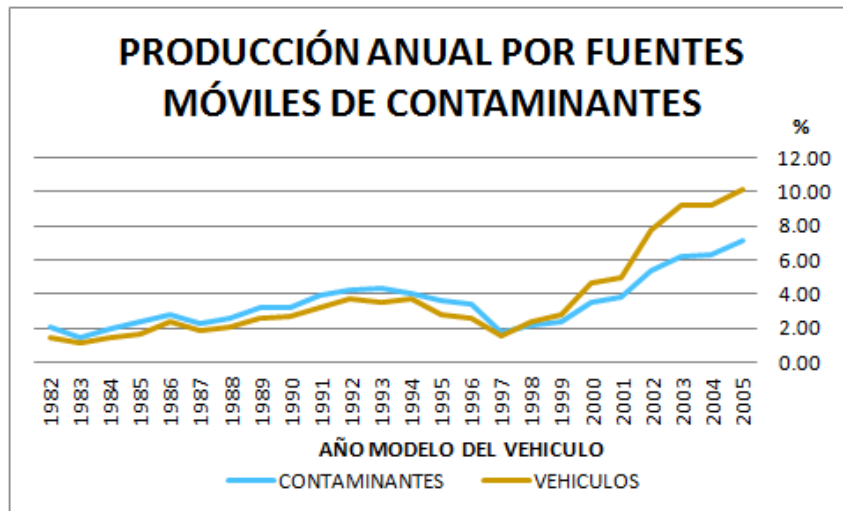


Figura 4.21 Distribución de la flota vehicular y las emisiones por año modelo de vehículo con combustible UBA en porcentaje

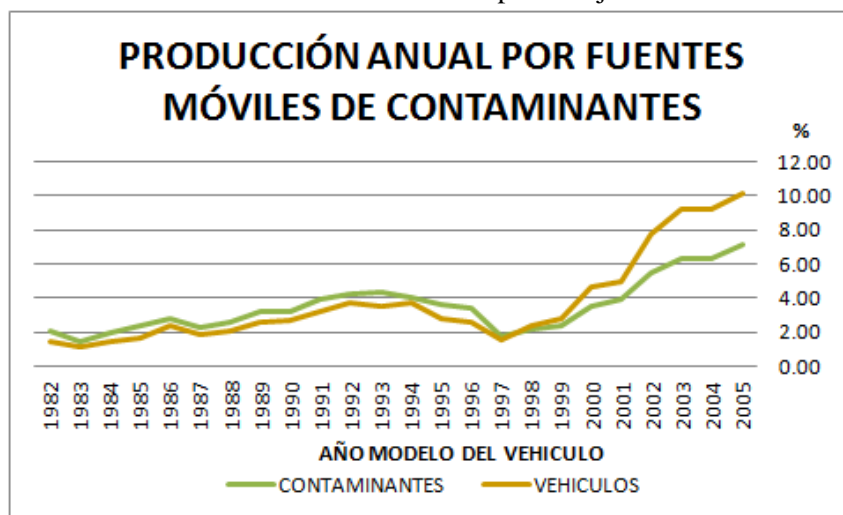


Figura 4.22 Distribución de la flota vehicular y las emisiones por año modelo de vehículo con diésel UBA en porcentaje

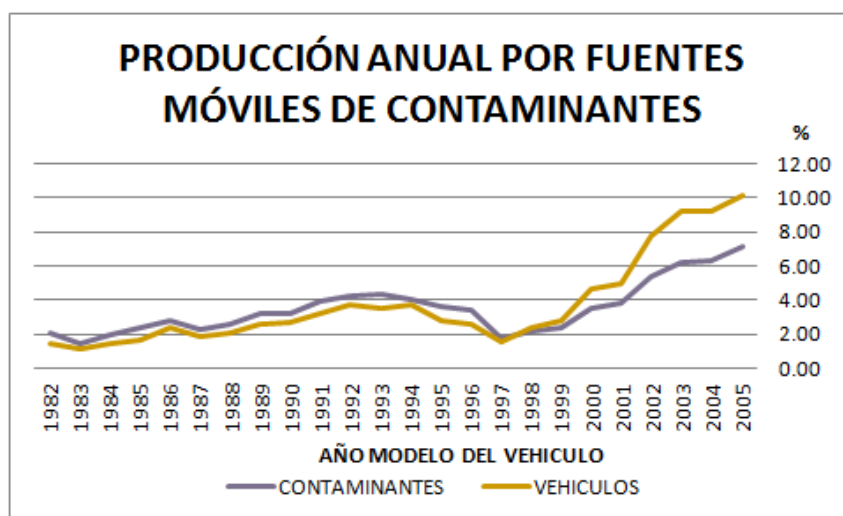


Figura 4.23 Distribución de la flota vehicular y las emisiones por año modelo de vehículo con gasolina UBA en porcentaje

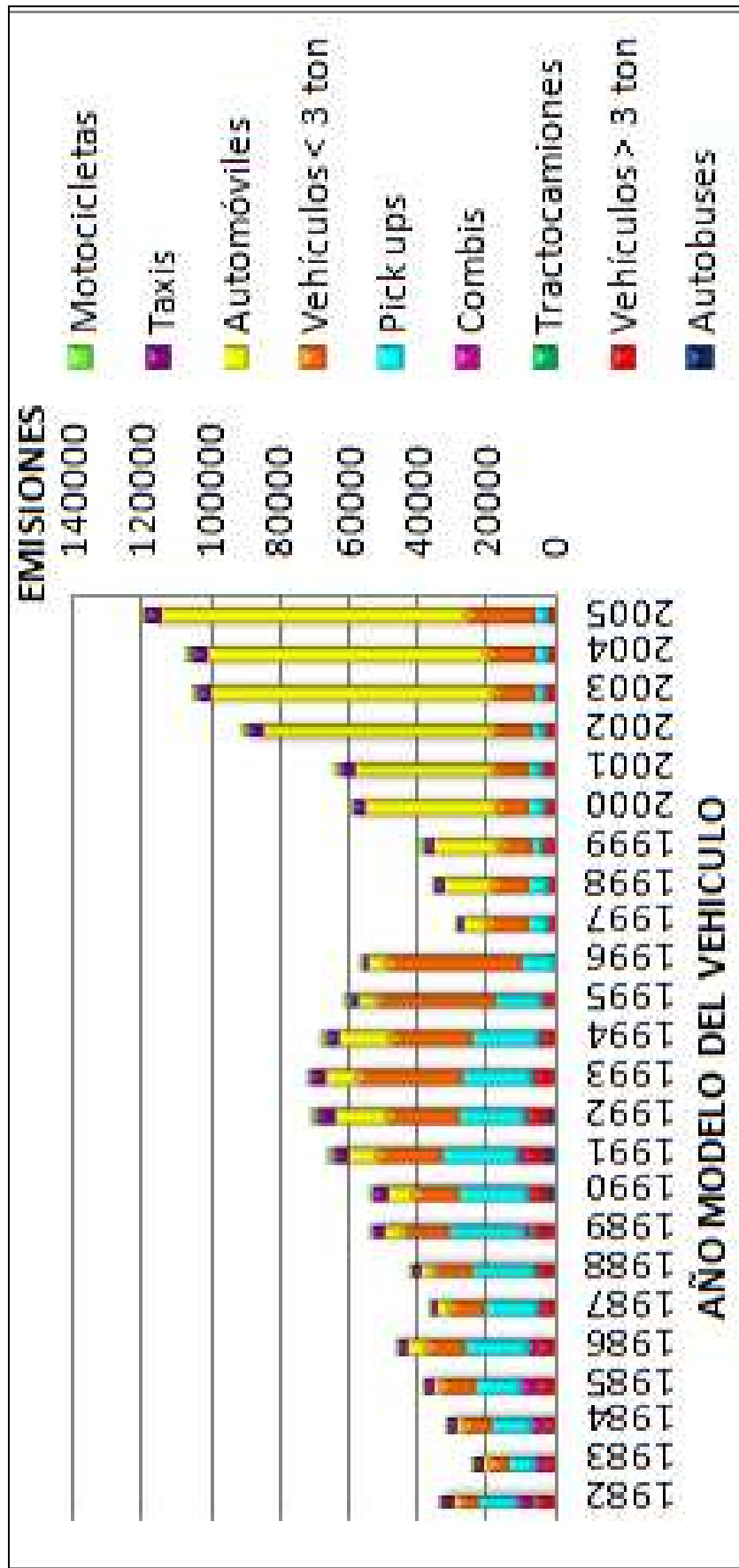


Figura 4.24 Distribución de emisiones por tipo y año modelo de vehículo con combustible UBA

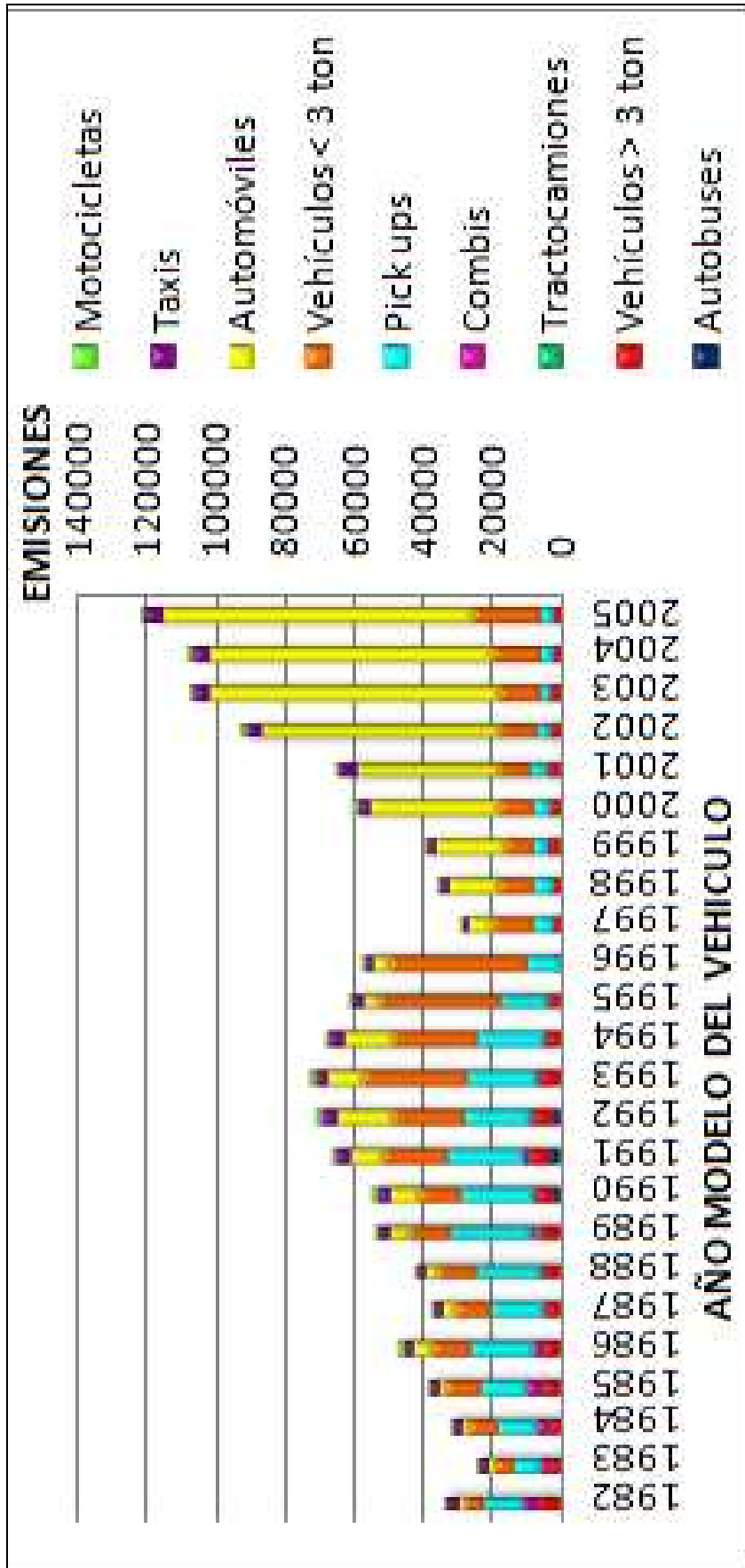


Figura 4.25 Distribución de emisiones por tipo y año modelo de vehículo con diésel UBA

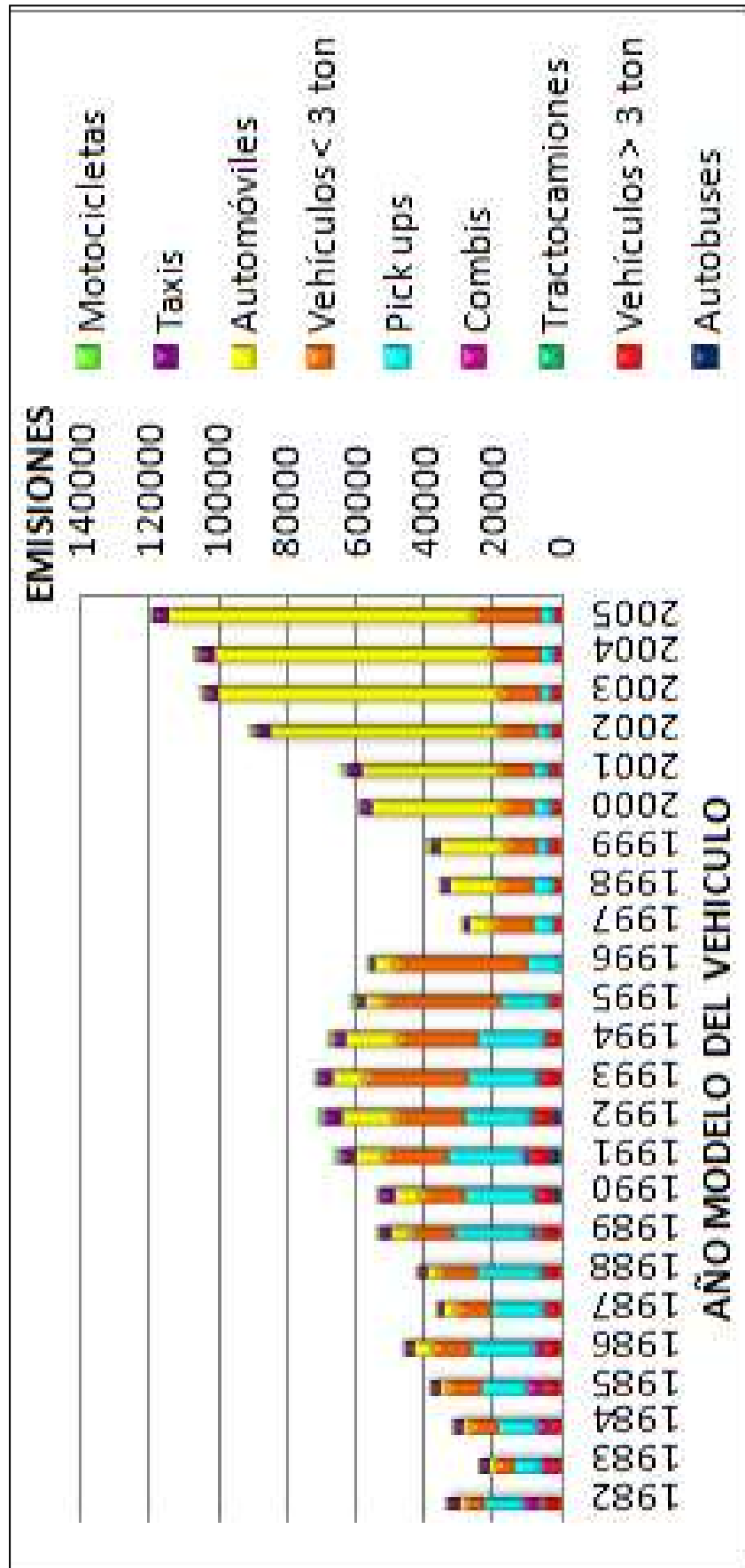


Figura 4.26 Distribución de emisiones por tipo y año modelo de vehículo con gasolina UBA

4.4 ESCENARIO 1: PROGRAMA DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

Para comprobar la efectividad de los escenarios propuestos en reducir las emisiones no sólo se necesita analizar el IE obtenido en forma individual, sino que también se tiene que visualizar con respecto al IE base y con respecto a los otros escenarios, ya que de esta forma es posible tener un mejor panorama de cómo se ven afectadas las emisiones en cada caso y poder plantear mejores alternativas para un Plan de Reducción de Emisiones certero.

Las autoridades de SUMA en su IE realizado para la zona [SUMA, 2008], han determinado la proporción de aportación en las emisiones de las fuentes móviles, con respecto a todos los tipos de fuente, obteniendo la siguiente distribución:

Tabla 4.19 Contribución de emisiones generales por tipo de fuente en porcentaje [SUMA, 2008]

FUENTE	SO ₂	PM10	Nox	CO	HC
Fuentes Móviles	5.2%	22.3%	74.6%	99.2%	48.7%
Fuentes Fijas	94.2%	29.9%	3.5%	0.0%	0.3%
Fuentes de Área	0.6%	47.8%	1.1%	0.8%	14.1%
Fuentes Biogénicas	0.0%	0.0%	20.9%	0.0%	36.9%
TOTAL	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

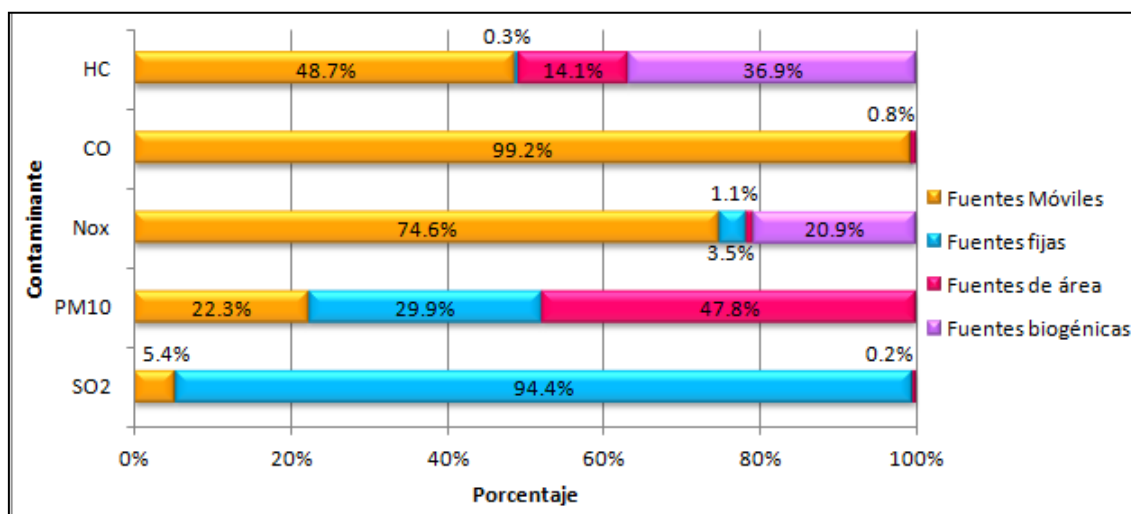


Figura 4.27 Contribución de emisiones generales por tipo de fuente [SUMA, 2008]

En general, podemos observar en la Figura 4.27, que la principal contribución de los vehículos es en CO, HC o COV y NO_x, mientras que la contribución de SO₂ y PM₁₀ es secundaria. Estos valores son importantes, ya que al analizar los diferentes escenarios, también nos ayudará la importancia en la contribución de cada contaminante para determinar la mejor opción para reducir de una manera significativa las emisiones.

4.4.1 EFECTIVIDAD DEL PROGRAMA DE I/M PARA DISMINUIR LAS EMISIONES

Si cuantificamos el porcentaje de emisiones con respecto al IE base obtenido y el IE considerando el Prog. I/M, obtenemos las siguientes gráficas:

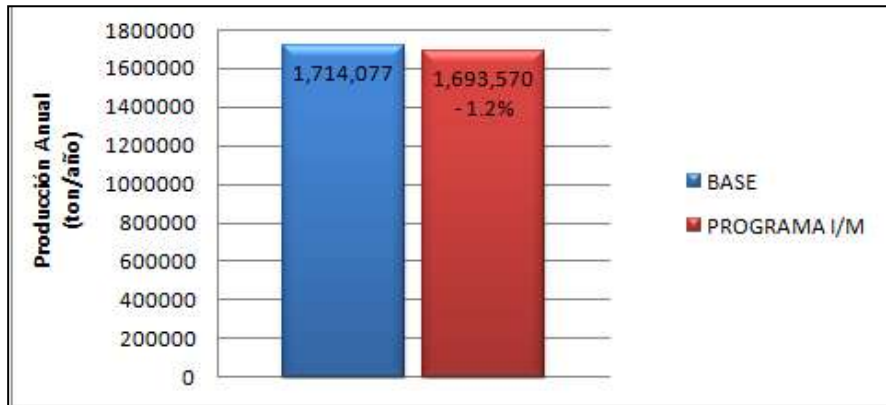


Figura 4.28 Comparación de la producción de contaminantes (IE base vs Prog. I/M)

En general, podemos observar que utilizando el Prog. I/M tenemos una disminución de 1.2% en las emisiones totales, como se aprecia en la Figura 4.28, pero al visualizar los contaminantes por separado en la Figura 4.29, observamos que esa disminución es sólo en COV y CO (compuestos orgánicos), de 6% y 12% aprox. cada uno, y casi nula en los demás contaminantes (compuestos inorgánicos).

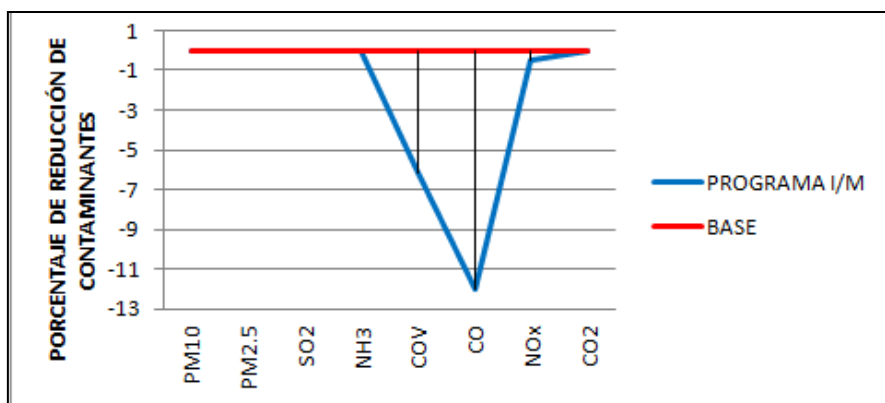


Figura 4.29 Comparación de la producción por contaminantes (IE base vs Prog. I/M)

4.4.2 RELACIÓN COMBUSTIBLE-EMISIONES FRENTE AL PROGRAMA DE I/M

Si cuantificamos el porcentaje de emisiones con respecto al IE base obtenido y el IE considerando combustibles UBA, obtenemos la siguiente gráfica:

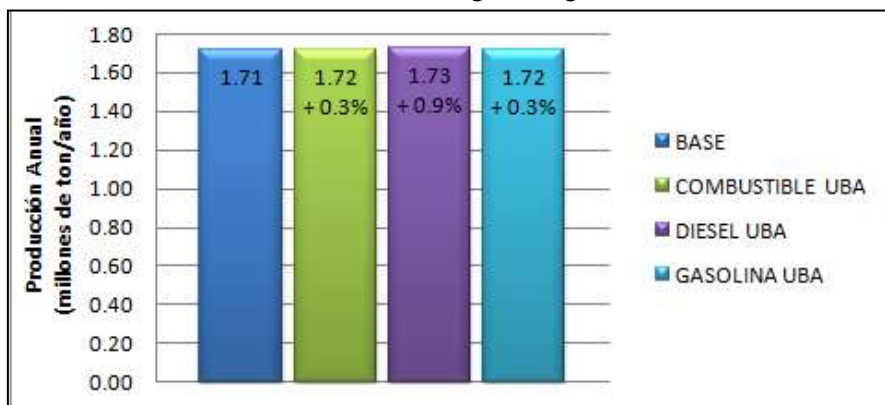


Figura 4.30 Comparación de la producción de contaminantes (IE base vs combustibles UBA)

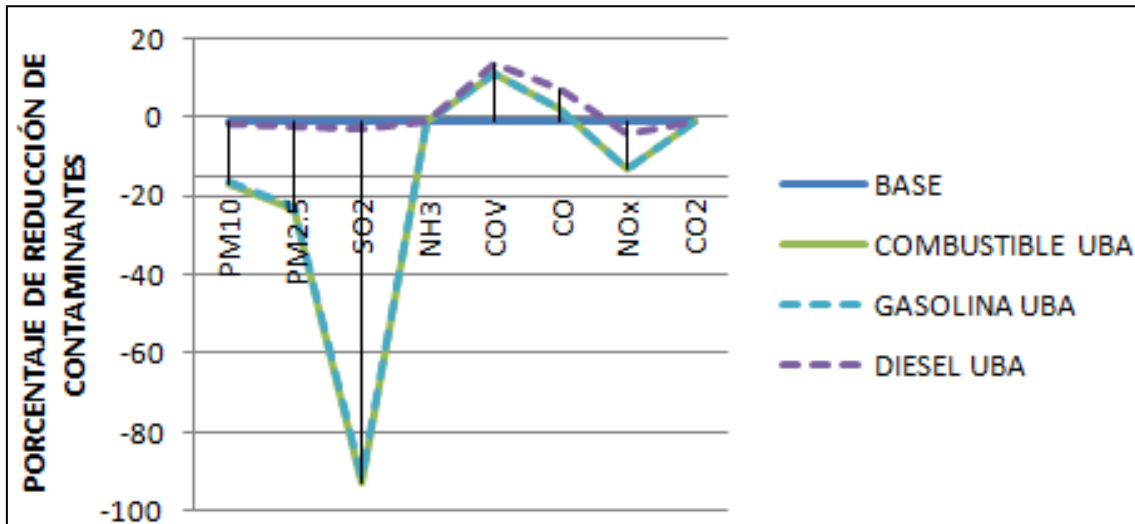


Figura 4.31 Comparación de la producción por contaminantes (IE base vs combustibles UBA)

En general, podemos observar en las figuras anteriores que utilizando combustibles UBA aparentemente tenemos un aumento de 0.9% a 0.3% en las emisiones, dependiendo del tipo de combustible UBA, como se observa en la Figura 4.30; pero al visualizar los contaminantes por separado, en la Figura 4.31, observamos que ese aumento es aparente, ya que podemos llegar a tener una disminución significativa en partículas suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$), del orden de 15 y 22 por ciento respectivamente, SO_2 y NO_x (compuestos inorgánicos), en un orden de 90 y 12 por ciento respectivamente, y tenemos un aumento en COV y CO (compuestos orgánicos), menor a 20%. Por otro lado, se observa en la Figura 4.31, que el combustible UBA y la gasolina UBA tienen un comportamiento igual, mientras que en el diésel UBA no se tiene una disminución significativa, este comportamiento es debido a que más de 95% de los vehículos se consideran con motor de gasolina y sólo 2.3% de diésel, de ahí este comportamiento en las emisiones.

Finalmente, considerando todos los escenarios propuestos, tenemos que la disminución que se tiene con el Prog. I/M es sólo en compuestos orgánicos, mientras que la reducción con combustibles UBA es en inorgánicos y más importante, como se observa en la Figura 4.32.

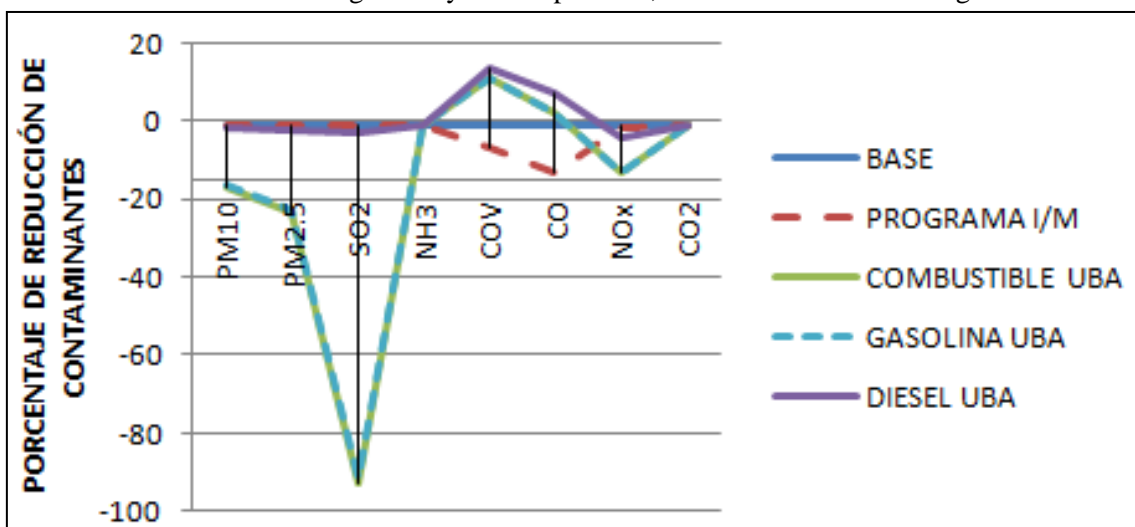


Figura 4.32 Comparación de la producción por contaminantes (todos los escenarios propuestos)

4.4.3 RELACIÓN FLOTA VEHICULAR-EMISIONES POR MODELO DE AÑO DEL VEHÍCULO CONSIDERANDO LAS RELACIONES COMBUSTIBLE-PROGRAMA DE I/M

Si observamos las gráficas obtenidas en los cinco escenarios de las emisiones por tipo y año modelo de vehículo y las gráficas de emisiones con la distribución vehicular por año modelo de vehículo, se observa que las distribuciones tanto de emisiones con respecto a la flota vehicular no guardan mucha diferencia entre los cinco escenarios, sino que la relación se conserva considerando todos los contaminantes.

Por otro lado, si graficamos los cuatro contaminantes que tuvieron una mayor diferencia de comportamiento ($PM_{2.5}$, SO_2 , CO y NOX), considerando los cinco escenarios y la distribución vehicular por año modelo de vehículo, obtenemos las siguientes gráficas:

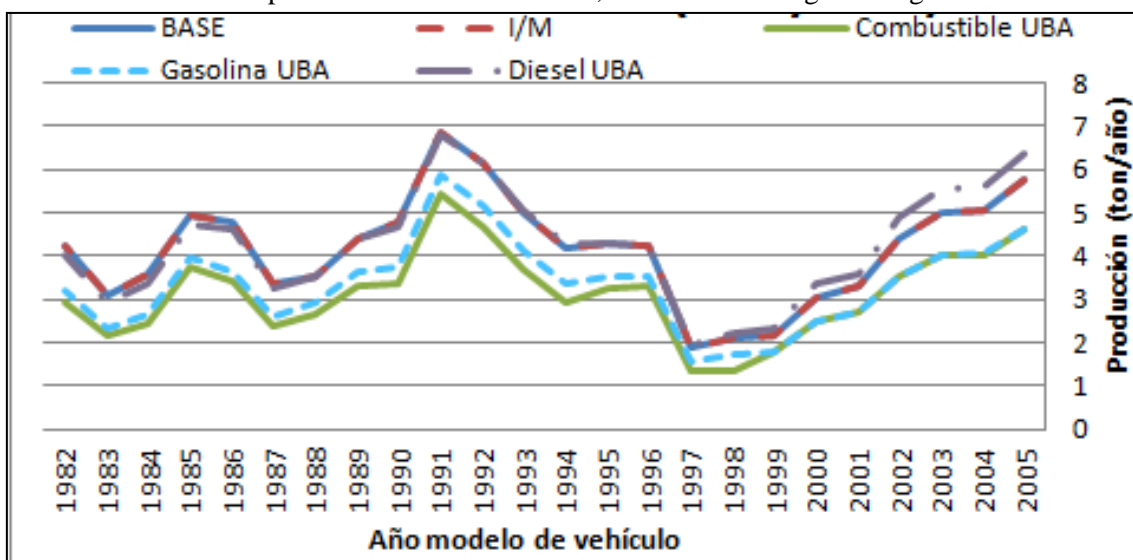


Figura 4.33 Producción anual de $PM_{2.5}$ por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios

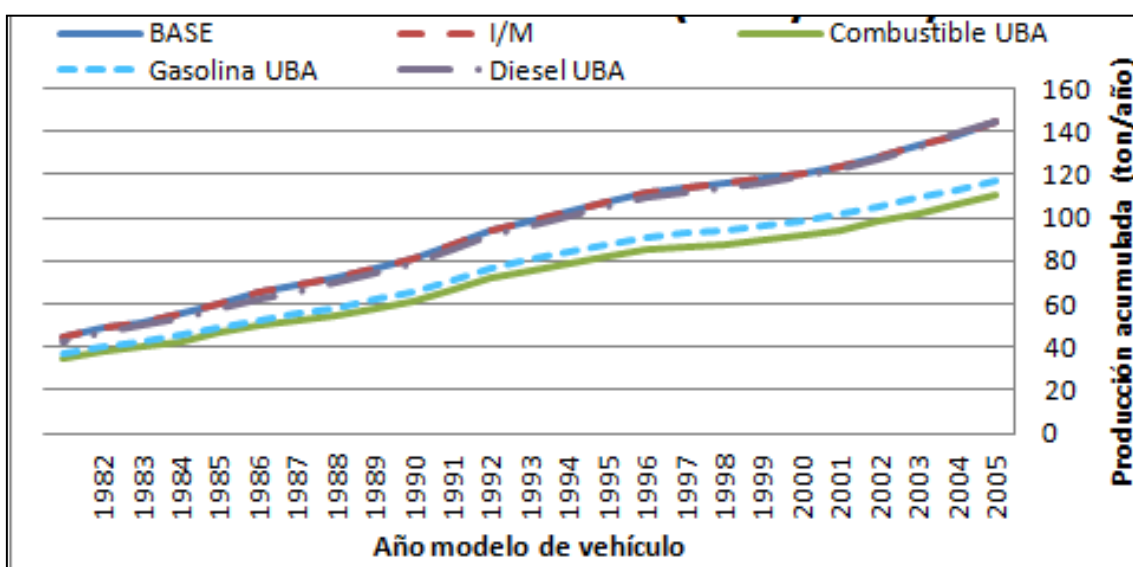


Figura 4.34 Producción anual acumulada de $PM_{2.5}$ por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios

En la Figura 4.33 y Figura 4.34, considerando los cinco escenarios y la distribución de emisiones de $PM_{2.5}$ con respecto al año modelo de vehículo, tanto en la producción parcial como

en la producción acumulada, el escenario actual como el de I/M se sobreponen, por lo que sólo se observa una línea, lo cual nos indica que entre estos valores no existe variación significativa o son iguales los valores. Por otro lado, se observa en las gráficas cómo en los años más antiguos las cinco líneas de los escenarios son casi perfectas paralelas entre sí y en los años de vehículos más recientes, la pendiente es más suave en el combustible y gasolina UBA.

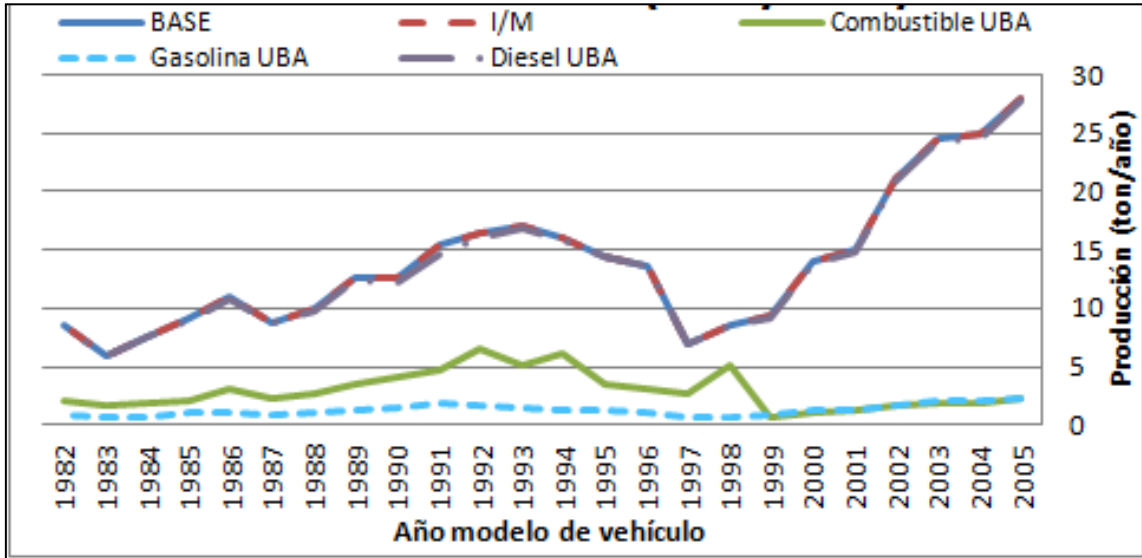


Figura 4.35 Producción anual de SO₂ por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios

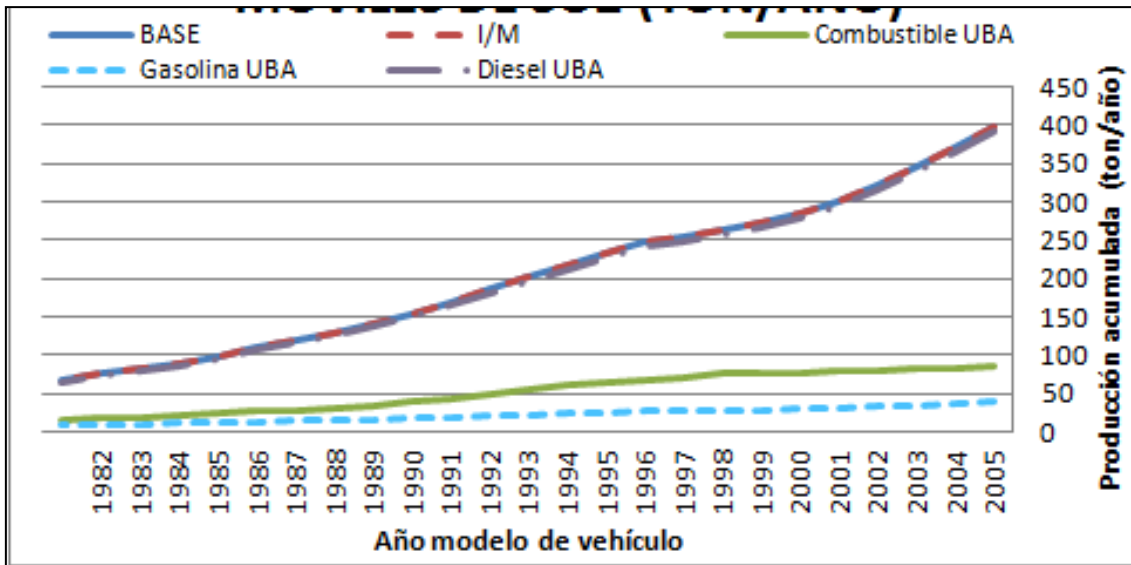


Figura 4.36 Producción anual acumulada de SO₂ por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios

En la Figura 4.35 y Figura 4.36, tanto en la producción parcial como en la producción acumulada, el escenario actual, el de Programa I/M y de diésel UBA se sobreponen, por lo que sólo se aprecia una línea. Por otro lado, se observa que existe una disminución considerable en el escenario de combustible UBA y crítico en el de gasolina UBA en la emisión parcial de SO₂; y en la producción acumulada de SO₂, cómo estos dos últimos escenarios tienen una pendiente casi horizontal con respecto a los otros escenarios.

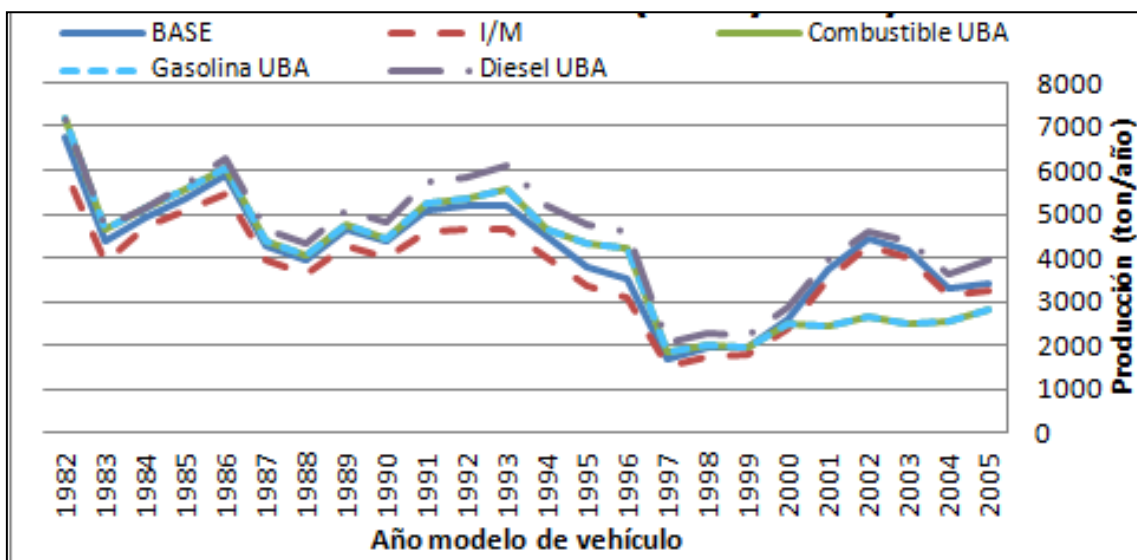


Figura 4.37 Producción anual de CO por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios

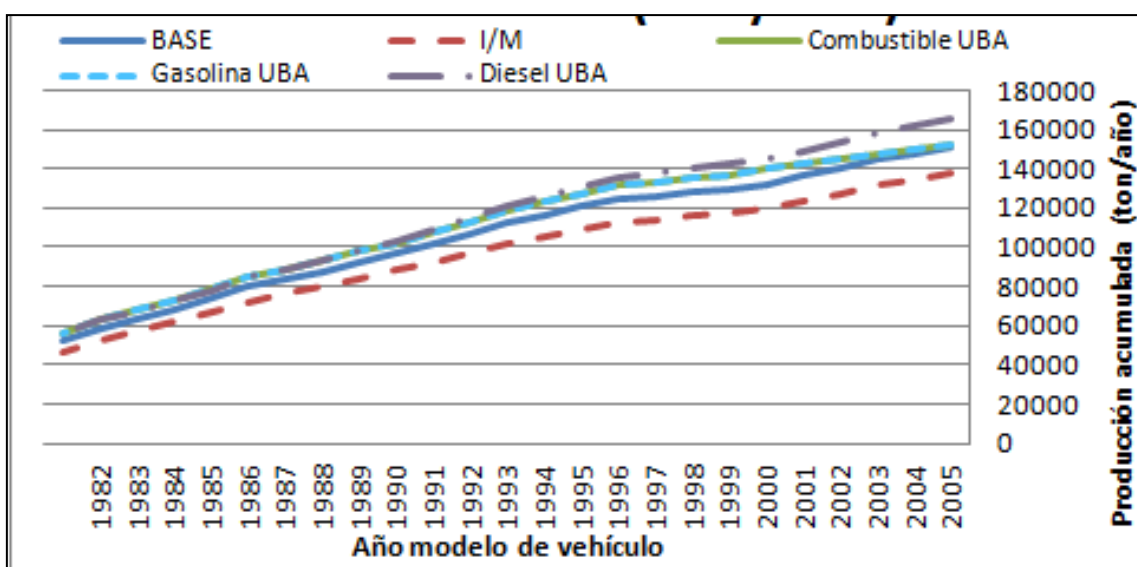


Figura 4.38 Producción anual acumulada de CO por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios

En la Figura 4.37 y Figura 4.38, tanto en la producción parcial como en la producción acumulada, el escenario de combustible UBA como el de gasolina UBA se sobreponen, por lo que sólo se aprecia una línea. Por otro lado, se observa en las gráficas cómo en los años más antiguos las cinco líneas de los escenarios son casi perfectas paralelas entre sí y en los años de vehículos más recientes, en la producción parcial, la pendiente es casi horizontal en el combustible y gasolina UBA, mientras que en los otros escenarios aumenta formándose una cresta en esta zona. También se observa cómo el escenario de Programa I/M es efectivo sólo en modelos anteriores a 1996, ya que en modelos recientes es mínima su reducción.

Por otro lado, en la Figura 4.39 y Figura 4.40, se sobreponen los escenarios de combustible UBA con el de gasolina UBA y los escenarios actual con I/M, quedando en la parte intermedia el escenario de diésel UBA. Por otro lado, se observa en las gráficas como en el caso

anterior, que en los años más antiguos las cinco líneas de los escenarios son casi perfectas paralelas entre sí y en los años de vehículos más recientes, en la producción parcial, la pendiente es casi horizontal en el combustible y gasolina UBA, mientras que en los otros escenarios aumenta formándose una cresta en esta zona.

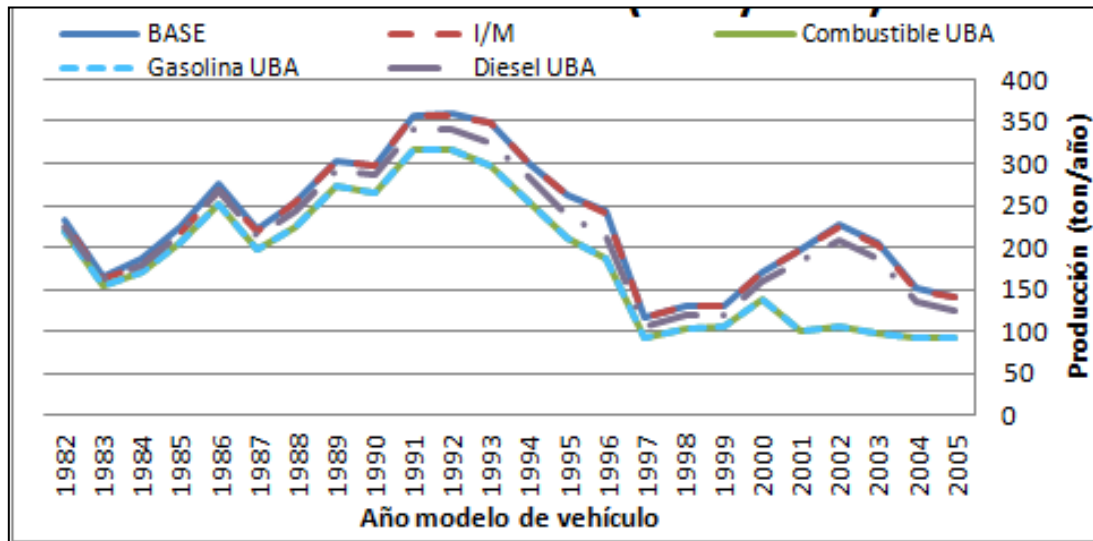


Figura 4.39 Producción anual de NOx por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios

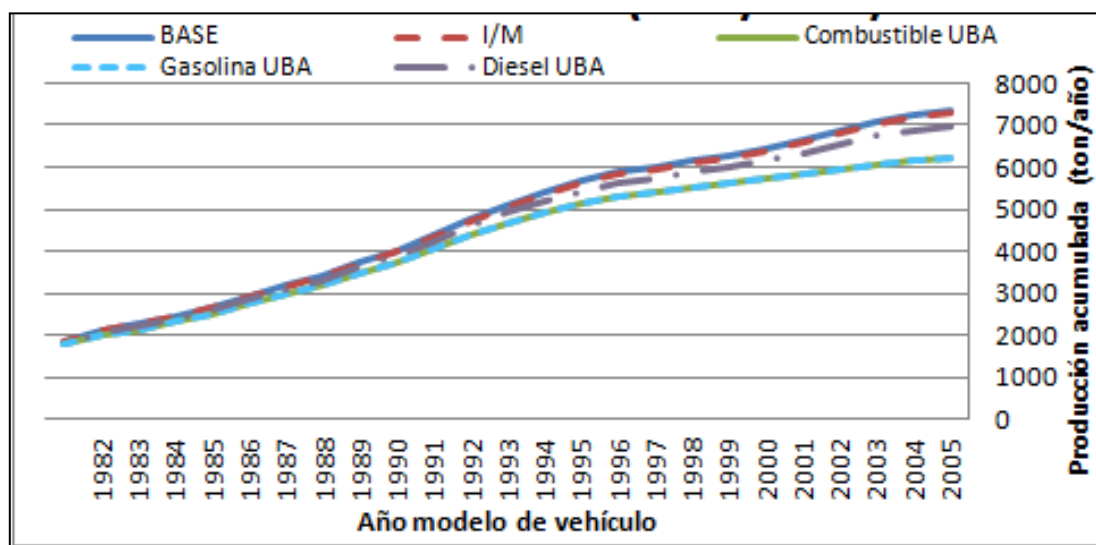


Figura 4.40 Producción anual acumulada de NOx por tipo y año modelo de vehículo de los escenarios

En general, podemos observar en las figuras anteriores que al utilizar combustibles UBA, la disminución significativa de emisiones se aprecia en vehículos de año modelo reciente, ya que en vehículos antiguos no se aprecia una disminución significativa, debido a los motores con tecnologías antiguas que manejan, como ya se ha estado mencionando; caso contrario al programa I/M, el cual tiene el mayor impacto en estos últimos tipos de vehículos, los cuales, emiten una mayor cantidad de contaminantes por vehículo.

4.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL PROGRAMA DE VERIFICACIÓN VEHICULAR PARA LA CIUDAD DE MORELIA

Para formular un Plan de Acción efectivo en la reducción de emisiones, primero se identifican los contaminantes que son problema o se desean disminuir y posteriormente el escenario que nos ayuda de una mejor manera a lograr el objetivo, considerando los beneficios adicionales. Analizando nuestro problema de investigación, la generación de contaminantes (sobre todo ozono), necesitaríamos reducir NOx, primer precursor del ozono, y posteriormente compuestos orgánicos.

Considerando el IE elaborado por SUMA [SUMA, 2008], en cuanto a producción de contaminantes, tenemos que:

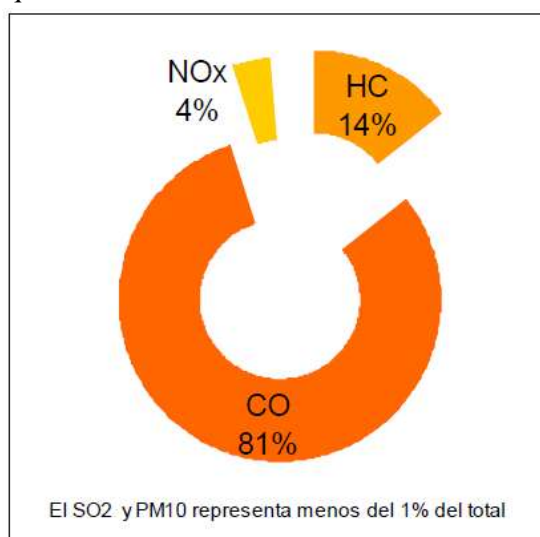


Figura 4.41 Contribución de emisión general por tipo de contaminante [SUMA, 2008]

Tabla 4.20 Resumen general de emisión por municipio

MUNICIPIO	EMISION (Ton/año)				
	HC	CO	NOx	PM ₁₀	SO ₂
Álvaro Obregón	1,915.64	13,572.63	750.26	30.61	10.63
Charo	5,622.81	4,402.72	515.95	53.55	12.21
Indaparapeo	2,797.11	6,048.03	632.46	41.86	6.12
Morelia	61,696.48	398,113.09	16,124.97	724.00	7,410.32
Tarímbaro	1,527.34	11,273.32	896.34	74.09	10.06
Zinapécuaro	9,883.98	33,376.80	2,084.61	118.08	35.02
TOTAL	83,443.35	466,786.59	21,004.59	2,4042.91	7,484.36

Si tomamos la contribución general por tipo de contaminante de la Figura 4.41, la contribución de emisiones generales por tipo de fuente de la Figura 4.27 y el resumen general de emisión por municipio, tenemos que los vehículos en la Ciudad de Morelia aportan 5.07% de COV y 2.30% de NOx, de las emisiones totales considerando todas las fuentes.

Por otro lado, al analizar de manera integral todos nuestros escenarios de la Figura 4.32 y Figura 4.33, con el Prog. I/M, el aporte de la ciudad de Morelia de las emisiones totales considerando todas las fuentes sería de 4.76% de COV y 2.29% de NOx, mientras que con el combustible UBA (escenario más efectivo), las aportaciones son de 5.68% de COV y 2.02% de NOx. Visto como emisiones en toneladas tenemos que:

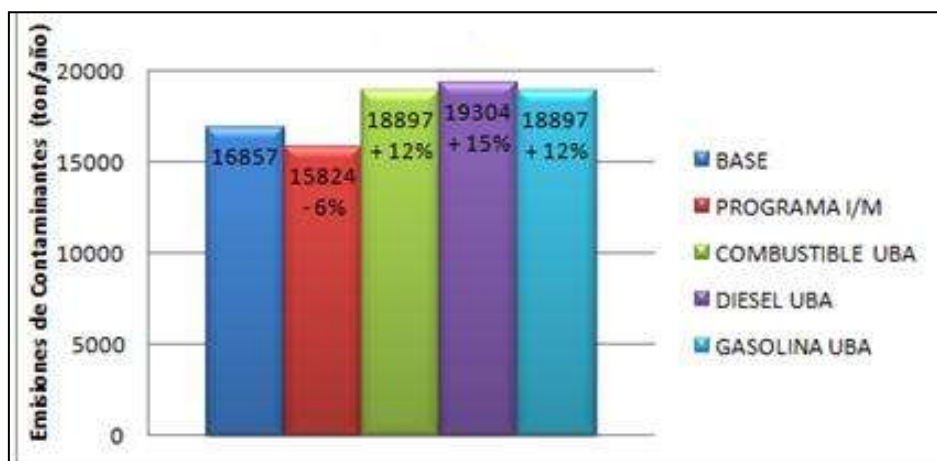


Figura 4.42 Comparación en todos los escenarios de la producción anual de COV

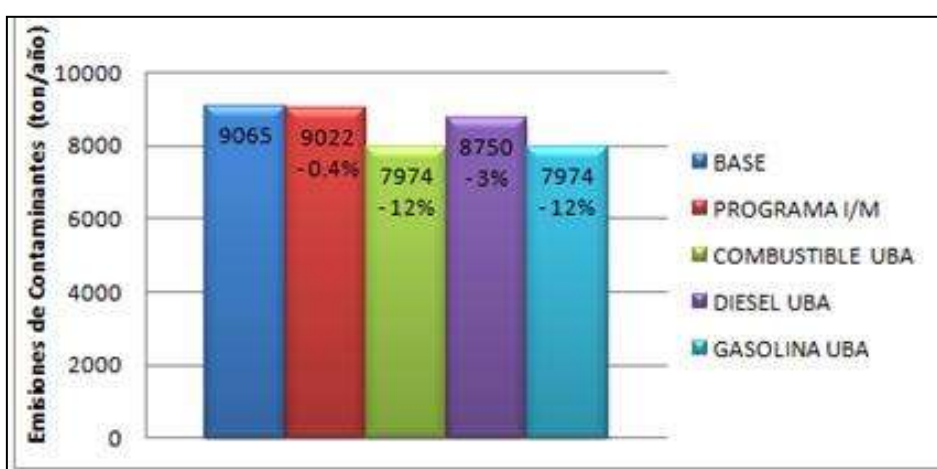


Figura 4.43 Comparación en todos los escenarios de la producción anual de NOx

Es decir, el Prog. I/M no resulta, por sí solo, ser muy atractivo como solución para disminuir las emisiones, ya que las disminuciones son limitadas y demanda muchos recursos para su implementación.

4.6 PROPUESTAS PARA DISMINUIR LAS EMISIONES DE FUENTES MÓVILES EN LA CIUDAD DE MORELIA

Al analizar todos los escenarios propuestos, uno puede observar que ninguno es ideal, ya que aunque los combustibles UBA disminuyen la mayoría de contaminantes, aumentan su producción de compuestos orgánicos (COV y CO), y el Prog. I/M sólo tiene disminución apreciable en los compuestos orgánicos.

Otra propuesta que se ha intentado poner en práctica es la llamada “deschatarización” que tendría también un buen impacto dentro de las emisiones, ya que al sacar de circulación los vehículos con antigüedad mayor a 12 años, se llegan a reducir hasta el 50% en las emisiones, lamentablemente para este caso entraría en juego la economía de la Ciudad, ya que las personas que cuentan con estos vehículos, en la mayoría de los casos, no cuenta con los recursos para cambiarlo por uno de modelo más reciente.

Analizando todo el panorama anterior, considero que lo ideal para el caso de la Ciudad de Morelia, para reducir las emisiones sería poner en práctica varias alternativas, considerando el siguiente orden:

- 1° Considerando que resulta más factible de llevar a cabo y por efectividad, sería conveniente el uso de combustibles UBA; si no se pudiera en su totalidad, con la gasolina UBA sería suficiente.
- 2° Para mitigar la generación de COV y CO, de ser necesario (habría que analizarlo más a detalle), se podría implementar el Prog. I/M o un programa de “deschatarización”, para sacar de circulación vehículos con una antigüedad de 15 ó 20 años.

4.7 DIÓXIDO DE CARBONO: GAS DE EFECTO INVERNADERO Y SU VARIACIÓN EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS

Como ya se ha mencionado, el CO₂ no es considerado un contaminante que afecte la salud humana o de los seres vivos, no siendo así a las condiciones meteorológicas, ya que este gas ayuda a mantener los rayos del sol dentro del planeta con lo que contribuye al efecto invernadero del planeta y, por consiguiente, al calentamiento global.

Si cuantificamos el porcentaje de emisiones de CO₂ del IE base (actual) obtenido y los IE de los otros escenarios, obtenemos los siguientes resultados:

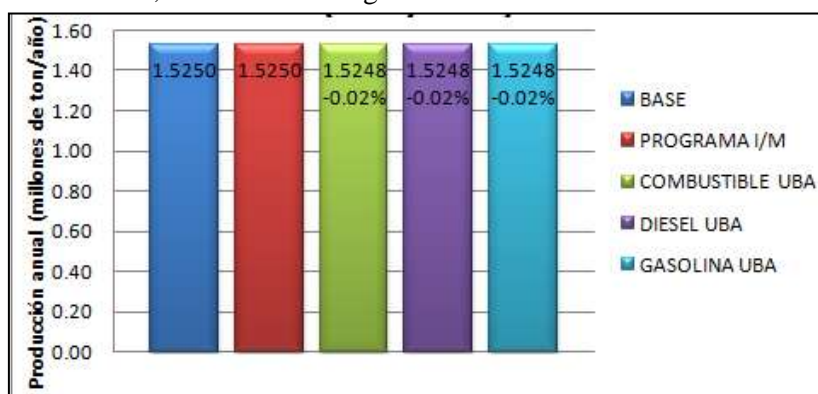


Figura 4.44 Comparación en la producción de CO₂ de los diferentes escenarios

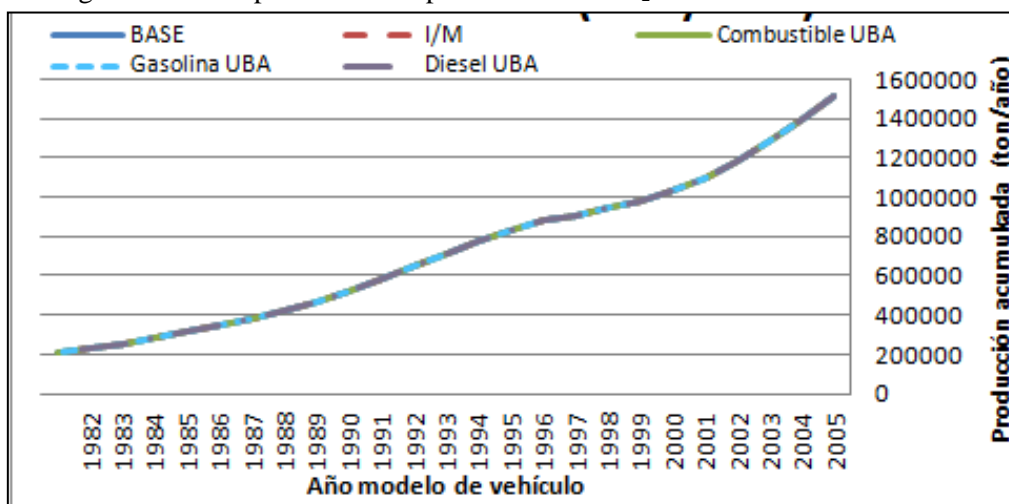


Figura 4.45 Comparación en la producción acumulada de CO₂ de los diferentes escenarios

En general, podemos observar en la Figura 4.44 y Figura 4.45, que no tenemos una disminución significativa con ningún escenario, ya que la disminución que se llega a tener es de tan solo dos centésimas de por ciento, en comparación con el año base, utilizando combustibles UBA. Al graficar los escenarios con respecto al año modelo de vehículo, las cinco líneas se sobreponen con lo cual se aprecia que tanto los Programas I/M como los combustibles UBA no nos permiten disminuir las emisiones de CO₂ ni en 1%, ya que se desea que la combustión sea completa y sólo se genere agua y CO₂.

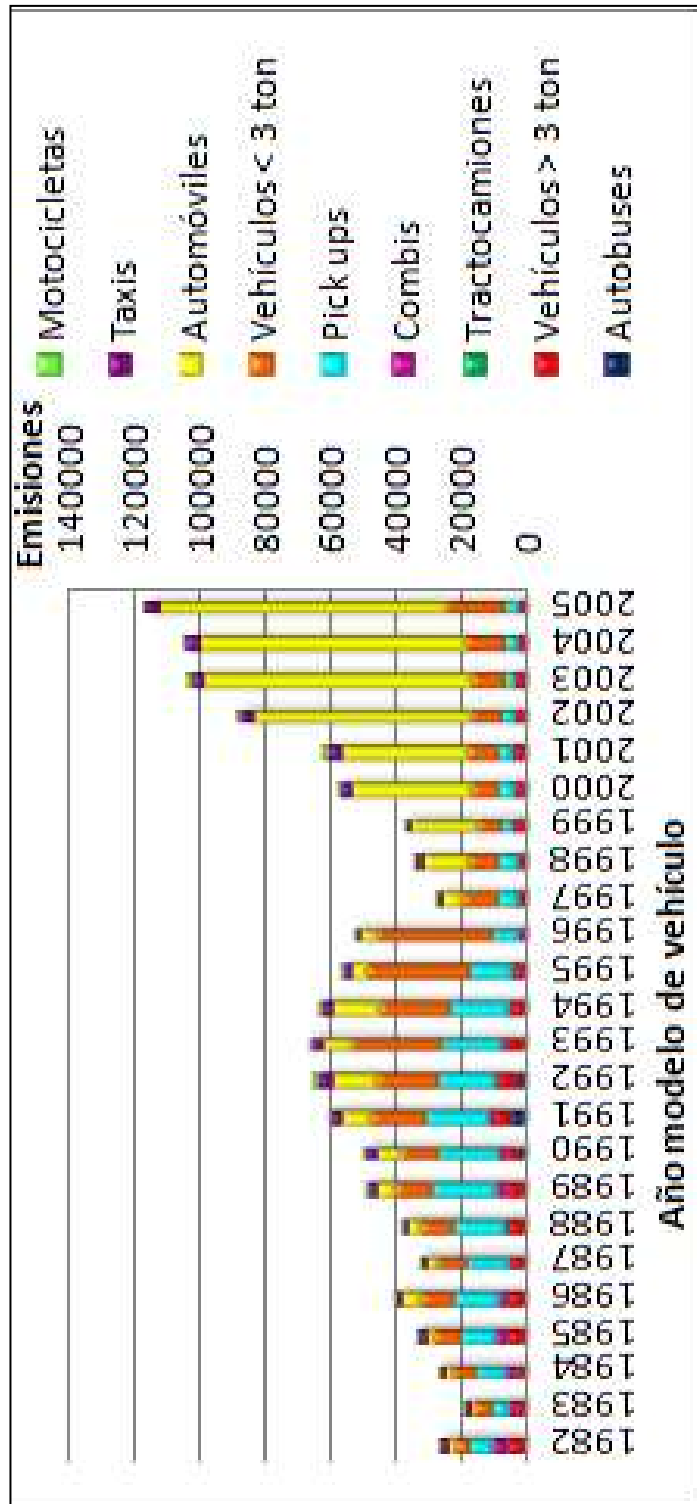


Figura 4.46 Producción de CO₂ anual por tipo y año modelo de vehículo

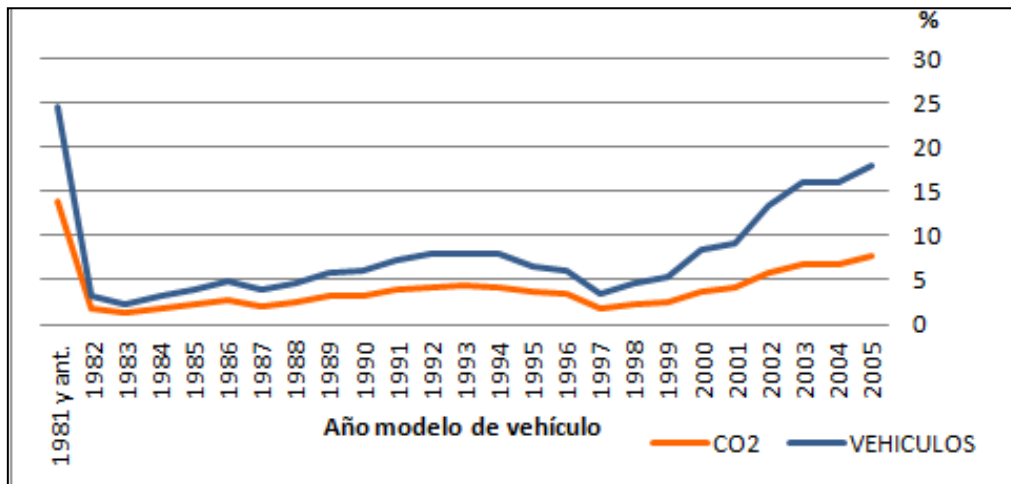


Figura 4.47 Distribución de la flota vehicular y las emisiones de CO₂ por año modelo del vehículo en porcentaje

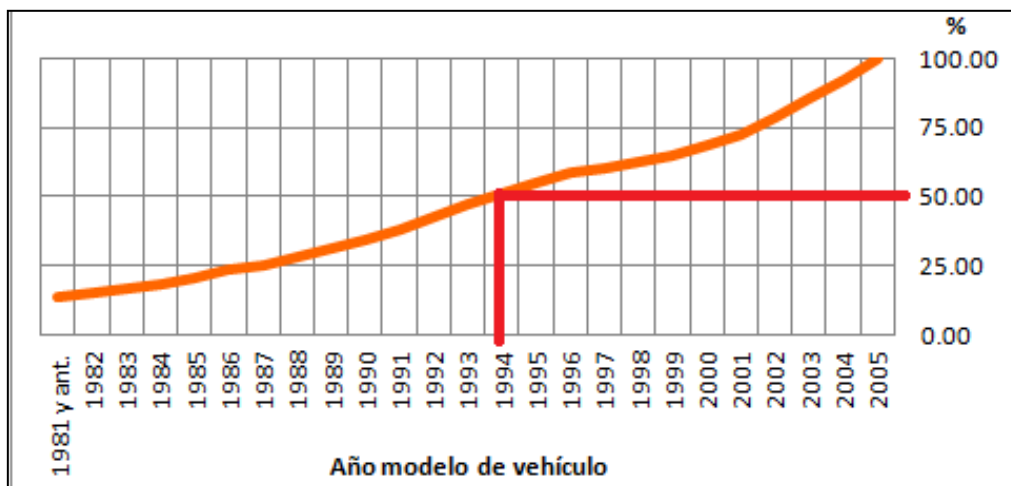


Figura 4.48 Producción acumulativa de CO₂ por año modelo de vehículo

Como podemos observar, la mayor producción de CO₂ es de vehículos, debido a que son los de mayor volumen; aunque hay un incremento en la producción de emisiones en los vehículos de modelo más reciente, estos en proporción a los vehículos, también se aprecia que con respecto a estos, la emisión por vehículo es menor, es decir la combustión es más limpia; finalmente, si deseamos disminuir las emisiones, necesitaríamos sacar de circulación los vehículos de año modelo de 1994 y anteriores, ya que como se mencionó anteriormente, la reducción no es de 50% ya que los vehículos serían sustituidos por otros y para obtener el porcentaje total real de emisiones es necesario evaluarlo utilizando el modelo.

A diferencia de los escenarios de los demás contaminantes, se aprecia que de las posibles soluciones ya analizadas, el que resulta más efectivo de realizar es el de “deschatarización”, ya que es el que tiene una mejor respuesta en cuanto a las emisiones, claro es importante recalcar que dicha propuesta es a reserva de considerar los factores económicos y otros escenarios.

CAPITULO 5.- Conclusiones

5.1 CONCLUSIONES

Al desarrollar la metodología propuesta y con ayuda del modelo MOBILE6-Mexico, se ha podido comprobar la hipótesis y llegar a varias conclusiones con respecto al trabajo realizado, entre las que destacan:

- 1° El MOBILE6-Mexico es una herramienta sencilla de usar y confiable para obtener uno o varios IE para las zonas urbanas de México, ya que la validación realizada con el balance de masa, basado en el consumo de combustible y generación de CO₂, salió de forma satisfactoria y reforzó la confianza en el uso de este modelo.
- 2° Como se observó en el IE de fuentes móviles obtenido para la Ciudad de Morelia, considerando el año base de 2005 y una flota vehicular de 277,075 unidades, teniendo una emisión total de 1.7 millones de ton/año, la mayor contribución es de los vehículos particulares ligeros, que representa el 76% de las emisiones (automóviles 32%, camiones ligeros o vehic. < 3ton., 23% y pick ups 21%), mientras que los vehículos del transporte público en total sólo representa 16% de la flota vehicular y 14% en la emisión de contaminantes. La mayor contribución de emisiones fue de CO₂ (89%), seguido del CO (9%).
- 3° Más de 97% de unidades de la flota vehicular se consideró con motor de gasolina por lo que no se apreciaron los efectos que tiene el uso de motores de diesel en las emisiones. La tendencia es que exista una gran conglomeración en los extremos del rango considerado de edades, es decir, más de 120 mil unidades se encuentran en el rango del 2000 al 2005 y más de 30 mil tienen una antigüedad igual o mayor a 25 años. Entre los vehículos recientes el que predominó es el automóvil particular, mientras que en los de más antigüedad son las pick ups.
- 4° La mejor respuesta obtenida en reducción general de emisiones es el Prog. I/M, debido a que las emisiones de mayor peso, CO y COV (12% y 6% de disminución, respectivamente), son las que disminuye esta medida, pero en los demás contaminantes no hay reducción significativa.
- 5° Por otro lado, al observar el comportamiento por separado de cada tipo de contaminante, el uso de combustibles UBA (sobre todo por la gasolina), es el que tiene una mejor respuesta a excepción de los compuestos orgánicos, CO y COV (3% y 12% de aumento, respectivamente), los cuales aumentan, mientras que disminuyen partículas suspendidas, PM_{2.5} y PM₁₀ (22% y 15% de disminución, respectivamente), NO_x y SO₂ (12% y 90% respecto).
- 6° Resulta factible la implementación de un programa de deschatarrización para disminuir las emisiones, ya que al sacar de circulación los vehículos con una antigüedad mayor a 15 años, se podría reducir los contaminantes emitidos significativamente, ya que los factores de emisiones son menores hasta en 90%.

7° Debido a que ninguna de las opciones analizadas resulta factible en su totalidad, se considera una mejor opción y más viable para tener una reducción significativa en las emisiones, que se realicen varias estrategias progresivas con un margen de estabilización en las emisiones y verificación de contaminantes excedentes. En primer lugar la propuesta se enfoca al uso de combustibles UBA y posteriormente un Programa (deschatarización/verificación vehicular).

5.2 SUGERENCIAS/RECOMENDACIONES

- Aunque se concluyó satisfactoriamente la investigación, todavía se puede profundizar aún más el trabajo para disminuir las emisiones, al considerar otros escenarios, como es el uso de combustibles alternos (gas natural), considerar el impacto del uso de combustible UBA con algún Programa (Inspección y mantenimiento/deschatarización).
- Es necesario reforzar el trabajo de investigación y autoridades, ya que la actualización y obtención de los datos se vio obstaculizada por algunas autoridades gubernamentales (no fue el caso de las autoridades de SUMA), lo que hace más difícil el trabajo del investigador para obtener resultados más veraces y recientes.
- Hacer del conocimiento de las autoridades del trabajo para que se tomen las medidas necesarias y que las decisiones sean con mayor conciencia y analizando todas las posibles alternativas que se pueden tener.
- Sería interesante poder vincular las emisiones con algún sistema de mejoramiento del transporte vial dentro de la ciudad, ya que las bajas velocidades que manejan algunas vías también provoca que las emisiones aumenten, así como las vialidades estancadas en las cuales el vehículo no avanza y solo está emitiendo contaminantes.

BIBLIOGRAFIA

- United States Environmental Protection Agency (EPA). 2003. **User's Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2**. <http://www.epa.gov/otaq/models/mobile6/420r03010.pdf> (Acceso febrero 2010).
- United States Environmental Protection Agency (EPA). 2003. **MOBILE6-MEXICO Documentation and User's Guide**. ftp://amdaftp.tceq.texas.gov/pub/Mobile_EI/Mexico/M62-Mexico-Documentation-UsersGuide-ERG.pdf (Acceso agosto 2011).
- United States Environmental Protection Agency (EPA). 2000. **MOBILE5-MEXICO DOCUMENTATION AND USER'S GUIDE**. <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir2/m5guide.pdf> (Acceso febrero 2010).
- Seoáñez C. A. 2002. **Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión**. Grupo Mundi-Prensa. España. 1110 pp. (Consulta en Internet).
- Calderón, D., J. L. Hernández, L. Castilla, E. Hernández, G. Barragán, R. A. Rodríguez y G. Villegas. 2000. **El ozono como molécula reactiva: concepto actual**. *Perinatol Repreod Hum* 14 (2): 115-123. (Consulta en Internet).
- Bautista R. M. A. 2007. **Estimación de un Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles para el Área Metropolitana de Monterrey con año base 2005**. Tesis de Maestría. División de Ingeniería y Arquitectura. Tecnológico de Monterrey. Monterrey, Nuevo León, México. 231 pp.
- Lara G. C. 2009. **Propuesta Metodológica para estimar Emisiones Contaminantes generadas por la Operación Vehicular en la Ciudad de Uruapan, Michoacán, México**. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 125 pp.
- Secretaría del Medio Ambiente Gobierno de Distrito Federal. 2006. **Inventario de Contaminantes Tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México**. <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=502> (Acceso febrero 2010).
- Acosta y asociados. 2004. **Mexico National Emissions Inventory, 1999: Six Northern States FINAL**. http://search.illinois.gov/cgi-bin/MsmGo.exe?grab_id=0&EXTRA_ARG=&host_id=42&page_id=33198&query=emission&hiword=EMISSIONS%20emission%20 (Acceso febrero 2010).
- Schifter, I., L. Díaz, V. Mújica y E. López-Salinas. 2005. **Fuel-based motor vehicle emission inventory for the metropolitan area of Mexico city**. *Atmospheric Environment* (39): 931-940 (Consulta en Internet).

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). s. f. **Programa de Gestión de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de Puebla 2006-2011.**
<http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/PROAIRE%20PUEBLA.pdf> (Acceso febrero 2010).
- Burnette, A. D., S. Kishan y M. E. Wolf. 2001. **MOBILE5-Mexico: An Emission Factor Model for On-Road Vehicles in Mexico.**
<http://www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei10/mobile/wolfpresentation.pdf> (Acceso febrero 2010).
- Pacyna J. M. y E. Graedel. 1995. **Atmospheric Emissions Inventories: Status and Prospects.** *Annual Review of Energy and the Environment* (20): 265-300. (Consulta en Internet).
- Environmental Economics. 2001. **Aumento de la comparabilidad de los Inventarios de Emisiones Atmosféricas en Canadá, Estados Unidos y México.**
http://www.cec.org/Storage/44/3639_inventory-s014_ES.pdf (Acceso febrero 2010).
- Ocaña A. J. E. 2002. **Desarrollo de un Modelo de Grupos Auto-Dirigidos como una Filosofía de Gestión Organizacional en Mediana Empresa del Ramo Alimenticio.** Protocolo de Tesis de Maestría. Universidad Iberoamericana. 13 pp. (Consulta en Internet).
- Mora C. J. G. 2002. **Desarrollo de una propuesta para la implantación de un sistema de gestión de la calidad de acuerdo a la norma ISO9001:2000 en una empresa de servicios educativos.** Protocolo de Tesis de Maestría. Universidad Iberoamericana. 22 pp. (Consulta en Internet).
- Hilsden B. s. f. **Guía de principiantes para la Propuesta de Investigación.**
<http://www.excelencia.uat.edu.mx/pariente/Tesis/hilsden.pdf> (Acceso febrero 2010).
- Wolfe J. s. f. **¿Cómo escribir una tesis de grado?.**
<http://academia.uat.edu.mx/pariente/Tesis/vera.pdf> (Acceso febrero 2010).
- Pariente. s. f. **Disertaciones y Tesis (ayudas).**
<http://www.excelencia.uat.edu.mx/pariente/ayudas.htm> (Acceso febrero 2010).
- Anónimo. s. f. **Tipos de Motores.**
<http://www.angelfire.com/planet/motorinfo/index.html> (Acceso julio 2010).
- Williams. s. f. **El avance de la tecnología: Motor de explosión.**
<http://tecnologiaenavanze.blogspot.com/2007/11/motor-de-explosin.html> (Acceso julio 2010).
- Mayz A. E. s. f. **Conocimientos básicos del automóvil.**
<http://www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-01.html> (Acceso julio 2010).

- Portal Planeta Sedna (PPS). s. f. **Principio Físico del Funcionamiento de Un Motor de Explosión Combustión Interna.** http://www.portalplanetasedna.com.ar/motor_explosion.htm (Acceso julio 2010).
- Arias-Paz. s. f. **Motor de dos tiempos. Constitución y funcionamiento.** <http://www.autocity.com/documentos-tecnicos/?cat=3&codigoDoc=271> (Acceso julio 2010).
- Mecánica Virtual. s. f. **Inyección directa de gasolina, Bosch Motronic MED7.** http://www.mecanicavirtual.org/inyeccion_directa.htm (Acceso julio 2010).
- Tecnigas. s. f. **Funcionamiento do sistema GNV!** <http://www.tecnigas.com.br/www.tecnigas.com.br/sistema-gnv.html> (Acceso julio 2010).
- H. Ayuntamiento de Guanajuato (HAG). s. f. **Morelia Michoacán México, ciudades hermanas de Guanajuato.** <http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=morelia%20ubicacion%20geografica&source=web&cd=2&ved=0CDoQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.guanajuatocapital.gob.mx%2Fciudadeshermanas%2Fcont%2FMoreliaEsp.pdf&ei=TctET6CoNcbjsQKbj93CDw&usg=AFQjCNE-vzXBHJmDwVyoBBXOfC6YYNH2kA> (Acceso febrero 2012).
- JCMV. s. f. **Localización Geográfica.** <http://www.slideshare.net/JCMV83/localizacion-geografica-2> (Acceso febrero 2012).
- Instituto Nacional de Estadística y Geología (INEGI). s. f. **Censos y conteos de población y vivienda.** <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx> (Acceso febrero 2012).
- Anónimo. 2011. **Morelia – Wikipedia, la enciclopedia libre.** <http://es.wikipedia.org/wiki/Morelia> (Acceso julio 2010).
- Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA). 2008. **Inventario de Emisiones Contaminantes a la Atmósfera para la Zona Metropolitana de Morelia y Cinco Municipios.** Morelia, Michoacán, México. 154 pp.
- Mantilla G. J. M. 2010. **Modelado de la combustión de mezclas gasolina-etanol en motores de combustión interna.** Tesis de Doctorado. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 264 pp. (Consulta en Internet).
- AS-SL. s. f. **Combustión en motores de explosión.** <http://www.as-sl.com/pdf/combustion.pdf> (Acceso agosto 2011).

- Martín S. M. y M. T. Martín. 1999. **Estudio teórico-experimental de las reacciones de combustión con alumnos de ESO**. Anales de la Real Sociedad Española de Química 95 (1): 48-53. (Consulta en Internet).
- Fernández F. E. 2009. **Análisis del control de emisiones de vehículos en la Provincia de León**. *Ambiociencias – Revista de Divulgación Científica* (5): 41-52. (Consulta en Internet).
- Vernier J. 1992. **EL MEDIO AMBIENTE**. Presses Universitaires de France y Publicaciones Cruz O., S.A. Ciudad de México, Distrito Federal, México. 115 pp. (Consulta en Internet).
- Fontanelle A. s. f. **Convertor catalítico para el sistema del escape**. <http://tuning.deautomoviles.com.ar/articulos/escape/convertor-catalitico.html> (Acceso agosto 2011).
- Alegría B. J. A. s. f. **Emisión de gases**. <http://www.mailxmail.com/curso-emision-gases/convertidor-catalitico-catalizador> (Acceso agosto 2011).
- UMO S. A. s. f. **Convertidores catalíticos de metales preciosos**. <http://www.umo.com.co/espanol/convertidores.htm> (Acceso agosto 2011).
- Jurado, I. A., A. Monsibais, N. Rivera y L. M. Trujillo. s. f. **Convertidor catalítico**. <http://quimicaequipo9.blogspot.com/> (Acceso agosto 2011).
- Cotler, A. H. y G. Caire. 2009. **Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México**. En: Instituto Nacional de Ecología –INE– (Ed.). **Metodología de estimación de emisiones vehiculares**. México, pp. 35-52. (Consulta en Internet).
- Granada A. L. F., I. Pérez-Vergara e I. Herrera. 2011. **Procedimiento para las medidas de control de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas**. *Ingeniería Industrial XXXII* (2): 108-116. (Consulta en Internet).
- González A. de A. 2004. **Restricciones medioambientales en la planificación energética. Mercados de emisiones**. Tesis de Máster. Instituto de Posgrado y Formación Continua. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. 161 pp.
- Comité Econòmic i Social de la Comunitat Valenciana (CESCV). s. f. **Estrategia española sobre cambio climático para el cumplimiento del protocolo de kioto**. http://www.ces.gva.es/pdf/conferencias/07/14_aparici.pdf (Acceso septiembre 2011).
- CCAR-GreenLink. s. f. **Autos limpios para aire limpio: Programas de inspección y mantenimiento**. http://www.ccar-greenlink.org/Spanish_Documents/Spanish_HTM/1714sp.htm (Acceso septiembre 2011).

- Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente (CEAMA). 2007. **¿Cómo surge el programa de verificación?**. <http://www.ceama.morelos.gob.mx/secciones/ambiente/verificacion.html> (Acceso septiembre 2011).
- Secretaría Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. **Guía para establecer programas de verificación vehicular en los estados y municipios**. <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/Gu%C3%ADa%20para%20Establecer%20Programas%20de%20Verificaci%C3%B3n.pdf> (Acceso septiembre 2011).
- Majano, T. R. 2000. **La implementación de los Programas de inspección y Mantenimiento de la flota Vehicular en Centro América**. <http://www.resourcesaver.com/file/toolmanager/O105UF825.pdf> (Acceso septiembre 2011).
- Kunckel, K. s. f. **Impacto de la implementación de programas de inspección y mantenimiento**. <http://es.scribd.com/doc/19435388/Impacto-de-los-programas-de-mantenimiento-y-inspeccion> (Acceso septiembre 2011).
- Secretaría Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2003. **Programa para mejorar la calidad del aire de la zona metropolitana del Valle de México 2002-2010**. En: Instituto Nacional de Ecología –INE– (Ed.). **La zona metropolitana del Valle de México**. México. pp. 2-1 - 2-25. (Consulta en Internet).
- Universidad de Salamanca (USAL). s. f. **Combustión y combustibles**. <http://dim.usal.es/eps/mmt/docencia/alumnos/trabajosdemotores/COMBUSTION.ppt> (Acceso septiembre 2011).
- Páramo, F. J. V. 2004. **Componente 3 Mesa de trabajo diesel bajo azufre**. http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/mesa_trabajo_diesel_bajo_azufre.pdf (Acceso septiembre 2011).
- Sierra, M. E. 2004. **Reducción de azufre en combustibles, el caso de México**. Memorias del Seminario Internacional Experiencias latinoamericanas en la introducción de combustibles limpios. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Lima, Perú. (Consulta en Internet).
- Secretaría Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2006. **Estudio de evaluación socioeconómica del proyecto integral de calidad de combustibles. Reducción de azufre en gasolinas y Diesel**. http://www.ine.gob.mx/descargas/calair/azufre_comb_est_costo_bene_2006.pdf (Acceso septiembre 2011).
- Secretaría Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2005. **Norma oficial mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental**. [http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SEMARNAT/Normas/Oficiales/2006/30012006\(1\).pdf](http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SEMARNAT/Normas/Oficiales/2006/30012006(1).pdf) (Acceso septiembre 2011).

- Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental (SGPA). s. f. **Combustibles limpios en México**. <http://www.semarnat.gob.mx/tramites/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/Combustibles%20Limpios%20Guadalajara.pdf> (Acceso febrero 2011).
- García, J. F. 2007. **Fundamentos para la disminución de azufre en los combustibles de ALC: enfoque sistémico. Desafíos de refinación**. Memorias de la Conferencia sobre Azufre en Combustibles en Sur América. ARPEL. Quito, Ecuador. (Consulta en Internet).
- Bravo A. H., G. Roy-Ocotla, P. Sánchez y R. Torres. s. f. **Contaminación atmosférica por ozono en la zona metropolitana de la Ciudad de México: evolución histórica y perspectivas**. <http://www.posgrado.unam.mx/servicios/productos/omnia/anteriores/23/05.pdf> (Acceso septiembre 2011).
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). 2008. **Reducción del azufre en los combustibles, costos y beneficios**. *Boletín del CEFP de la Cámara de Diputados* (147): 1-2. (Consulta en Internet).
- Real Academia Española (RAE). 2001. **Diccionario de la lengua española – Vigésima segunda edición**. <http://www.rae.es/rae.html> (Acceso noviembre 2011).
- Rojas B. L. y V. Garibay. 2003. **Partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles: ¿hacen daño a la salud?**. *Gaceta ecológica* (69): 29-44. (Consulta en Internet).
- Wark K. y C. Warner. 2004. **Contaminación del aire: origen y control**. Limusa-Wiley. México. 650 pp.
- Alcamí M. 2008. **Tema 2 Contaminación en ciudades**. Memorias del curso La Contaminación del Planeta Tierra. UAM. Madrid, España. (Consulta en Internet).
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). 2011. **Anuario Estadístico 2011**. http://www.ri.pemex.com/files/content/pemex%20Anuario_a.pdf (Acceso noviembre 2011).
- Guevara J. 2009. **Parque Automotor Mundial, 1.000 millones de vehículos para el año 2010**. <http://industriaautomotrizdevenezuela.com/blog/2009/03/23/parque-automotor-mundial-1000-millones-de-vehiculos-para-el-ano-2010/> (Acceso noviembre 2011).
- Anónimo. 2009. **Cuantos litros tiene un barril de petróleo**. <http://www.cuanto.biz/2009/07/cuantos-litros-tiene-un-barril-de.html> (Acceso noviembre 2011).
- Anónimo. 2008. **¿Cuanto pesa 1 litro de gasóleo?**. <http://newsgrupos.niuz.biz/es-charla-motor/563433-cuanto-pesa-1litro-de-gasoleo.html> (Acceso febrero 2012).
- Secretaria de Gobierno (SEGOB). 2005. **SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**. Diario Oficial de la Federación DCXXIV (13): 4-21. (Consulta en Internet).

- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2007. **Limites normados para los contaminantes del aire en México**. <http://www.ine.gob.mx/calair-indicadores/585-calair-val-normados> (Acceso enero 2012).
- Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA). s. f. **Normas Ambientales**. http://www.ni.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima_normas (Acceso enero 2012).
- Gobierno del Estado de Jalisco (JAL). 1997. **Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en la zona metropolitana de Guadalajara**. En: Instituto Nacional de Ecología –INE- (Ed.). **Normas de calidad del aire y salud ambiental**. México. pp. 29-31. (Consulta en internet).
- Departamento del Distrito Federal (DDF). 1997. **Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México 1995-2000**. En: Instituto Nacional de Ecología –INE- (Ed.). **Normas de calidad del aire y salud ambiental**. México. pp. 17-41. (Consulta en internet).
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2009. **Contaminantes criterio**. <http://www.ine.gob.mx/calair-indicadores/523-calair-cont-criterio#1> (Acceso enero 2012).
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). s. f. **¿Cómo se origina y qué daños causa el Monóxido de Carbono?**. <http://www.conama.cl/retc/1279/article-43796.html> (Acceso enero 2012).
- Zuk, M., M. G. Tzintzun, L. Rojas. 2007. **Tercer Almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas**. En: Instituto Nacional de Ecología – INE- (Ed.). **Bióxido de nitrógeno**. México. pp. 93-102. (Consulta en internet).
- Rodríguez G. L. s. f. **Efectos perjudiciales de los compuestos aromáticos sobre el medio ambiente. Su divulgación mediante la enseñanza de la Química Orgánica**. <http://www.ucp.ca.rimed.cu/edusoc/anteriores/A%C3%B1o%202002,%20No%20IV,%20numero4.2004/articulos/leila.htm> (Acceso enero 2012).
- Álvarez M., L. 2010. **Industria automotriz en México y en Brasil: una comparación de resultados después de la crisis económica de 2008**. Memorias del XV Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática. UNAM. México. (Consulta en Internet).

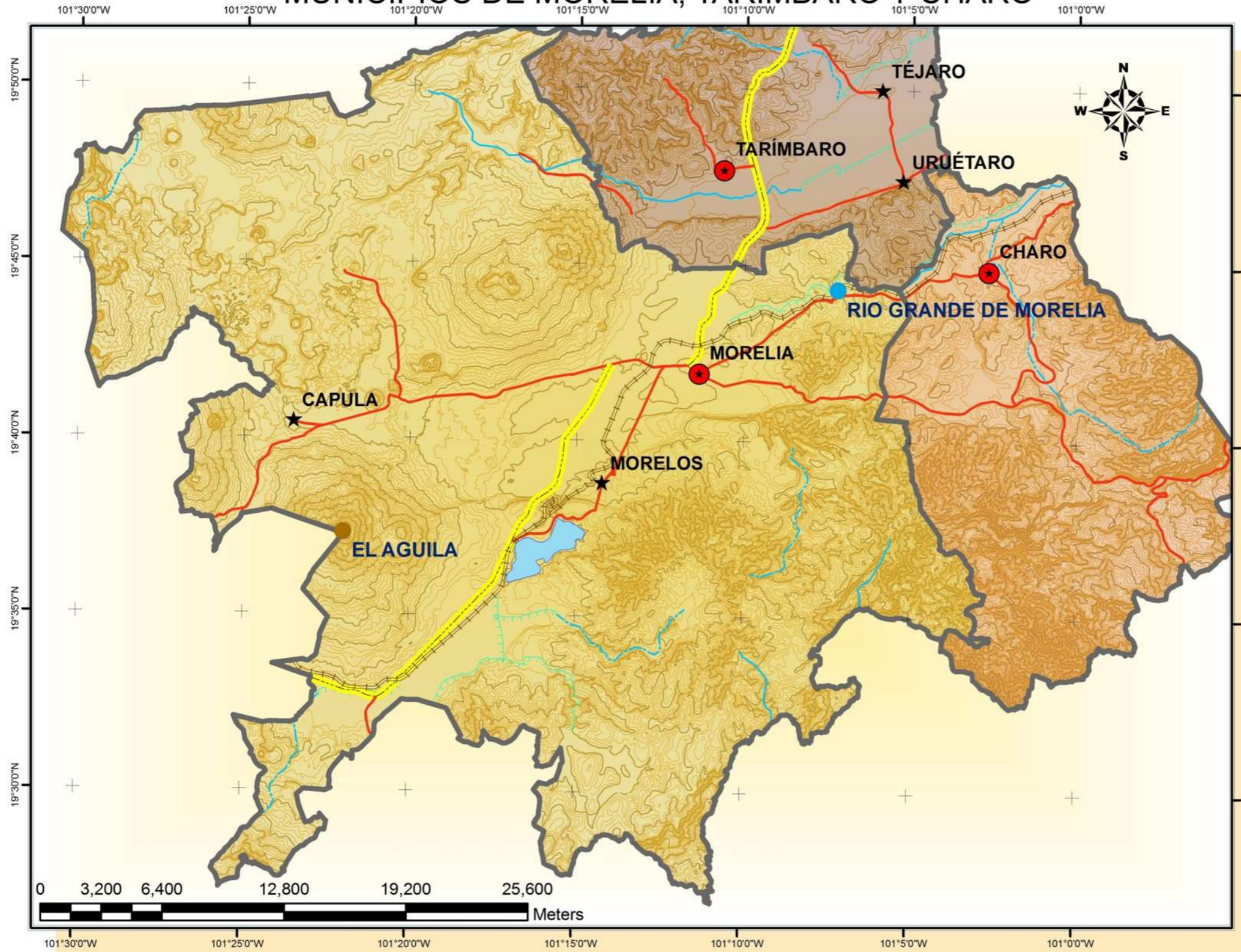
INDICE

TEMA	PÁGINA
- ANEXO A Cartografía de Morelia	II
○ Ubicación del municipio de Morelia en el estado	
○ Zona urbana del municipio de Morelia (Ciudad de Morelia)	
○ Estructura vial de la Ciudad de Morelia	
○ Áreas de uso de suelo de la Ciudad de Morelia (INDUM)	
○ Uso de suelo (INEGI)	
○ Uso de suelo (INDUM)	
- ANEXO B Archivos Básicos del MOBILE6-Mexico	IX
○ Archivo de entrada tipo usado en la modelación	
▪ Archivo de control	
▪ Archivo de datos externo	
○ Archivo de salida tipo obtenido de la modelación	
▪ Archivo general	
▪ Archivo de partículas suspendidas	
- ANEXO C Resumen del Curriculum Vitae	XII

ANEXO A

CARTOGRAFÍA DE MORELIA

MUNICIPIOS DE MORELIA, TARIMBARO Y CHARO



SIMBOLOGIA

MUNICIPIOS

● CABECERA MUNICIPAL

★ LOCALIDAD

CARRETERAS

— 2 Carriles

— 4 Carriles

— VIA FERREA

RIOS

— Intermittente

— Perenne

— CANALES

— CUERPOS DE AGUA

NOMBRES GEOLOGICOS

● Canal

● Cerro

MUNICIPIO

Charo

Morelia

Tarimbaro

CURVAS DE NIVEL

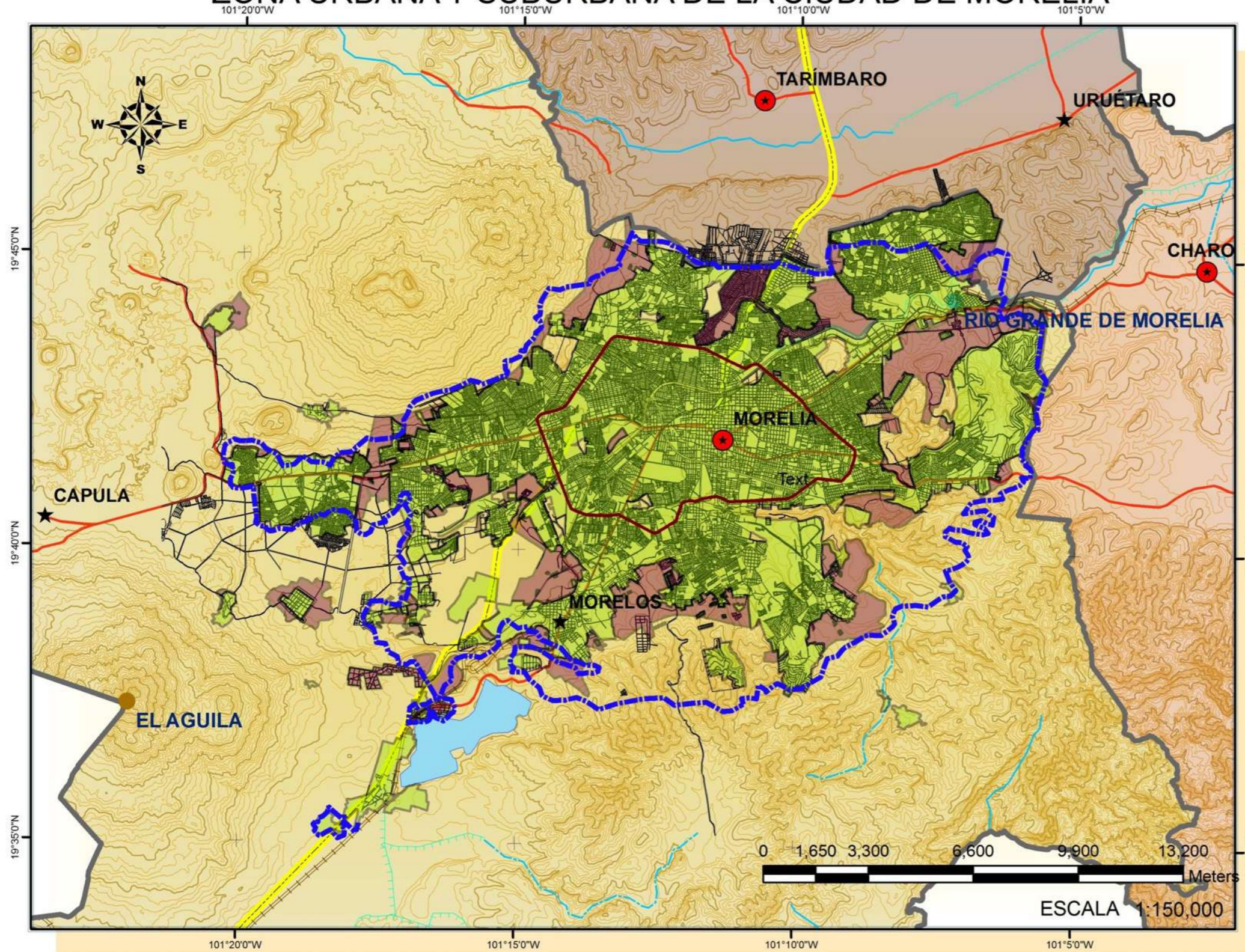
— ACOTADA

— ORDINARIA



ESCALA 1:250,000

ZONA URBANA Y SUBURBANA DE LA CIUDAD DE MORELIA



SIMBOLOGIA

MUNICIPIOS

- CABECERA MUNICIPAL
- ★ LOCALIDAD
- AREA URBANA
- AREA URBANIZABLE
- LIMITE URBANO
- PERIFERICO
- TRAZO DE LA CIUDAD

CARRETERAS

- 2 Carriles
- 4 Carriles
- VIA FERREA

RIOS

- Intermitente
- Perenne
- CANALES
- CUERPOS DE AGUA

NOMBRES GEOLOGICOS

- Canal
- Cerro

MUNICIPIO

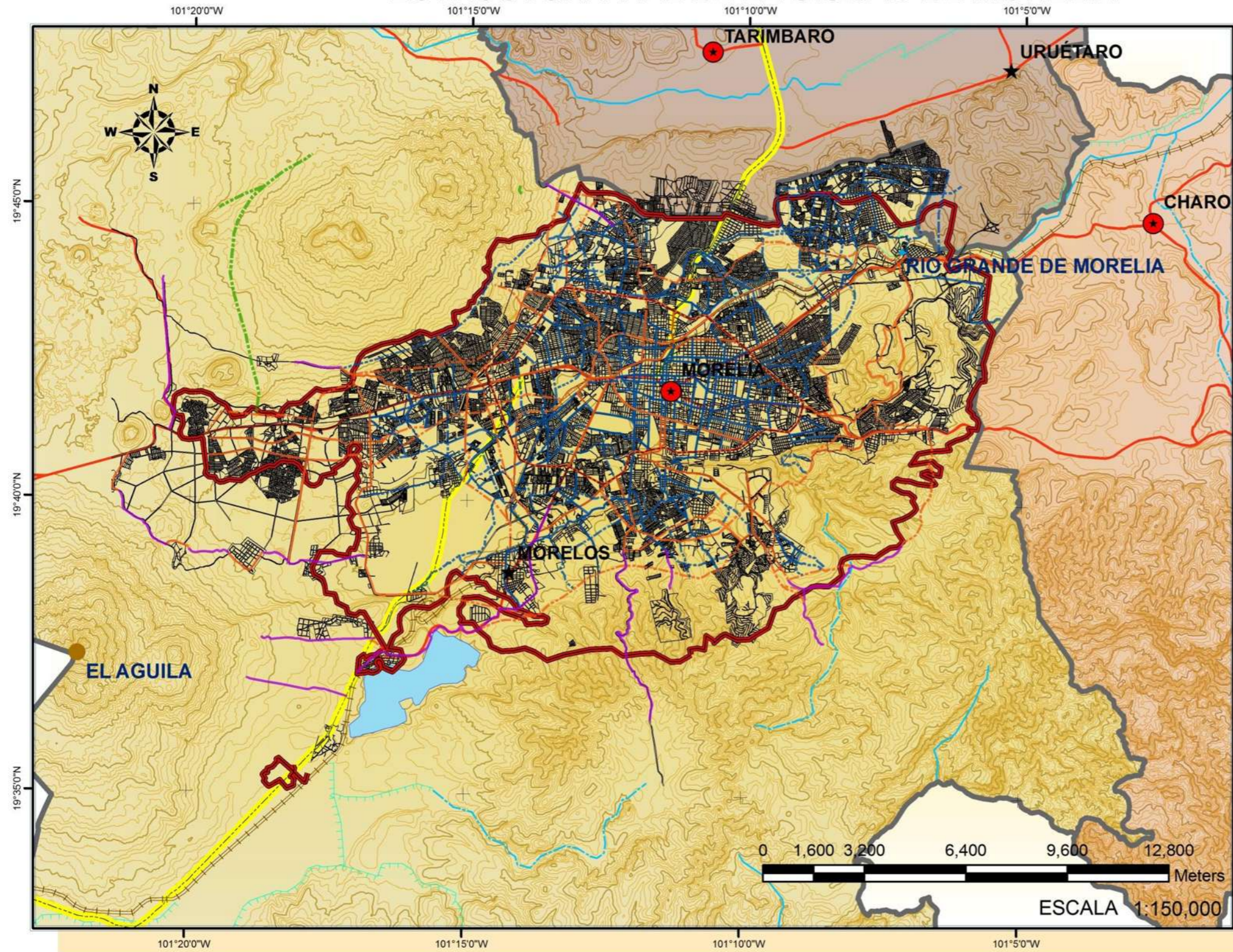
- Charo
- Morelia
- Tarímbaro

CURVAS DE NIVEL

- ACOTADA
- ORDINARIA



ESTRUCTURA VIAL DE LA CIUDAD DE MORELIA

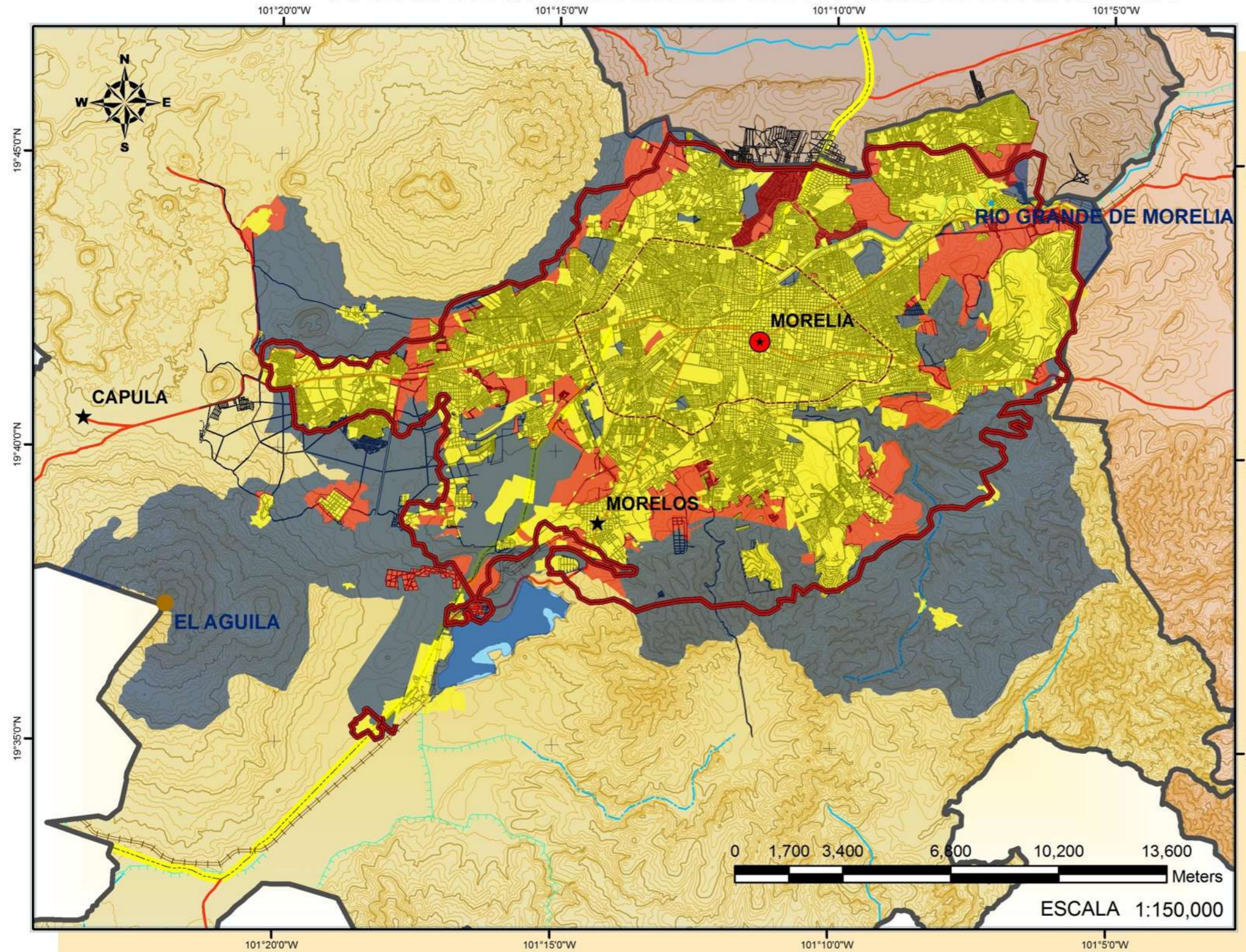


SIMBOLOGIA

- MUNICIPIOS**
- CABECERA MUNICIPAL
- ★ LOCALIDAD
- PERIFERICO
- ESTRUCTURA VIAL**
- Vialidad regional actual
- - - Vialidad regional propuesta
- Vialidad primaria actual
- - - Vialidad primaria propuesta
- Vialidad secundaria actual
- - - Vialidad secundaria propuesta
- Enlace suburbano
- LIMITE URBANO
- TRAZO DE LA CIUDAD
- VIA FERREA
- CARRETERAS**
- 2 Carriles
- 4 Carriles
- CUERPOS DE AGUA
- RIOS**
- Intermitente
- Perenne
- CANALES
- NOMBRES GEOLOGICOS**
- Canal
- Cerro
- MUNICIPIO**
- Charo
- Morelia
- Tarimbaro
- CURVAS DE NIVEL**
- ACOTADA
- ORDINARIA



AREAS DE USO DE SUELO DE LA CIUDAD DE MORELIA



SIMBOLOGIA

MUNICIPIOS

- CABECERA MUNICIPAL
- ★ LOCALIDAD
- PERIFERICO
- LIMITE URBANO
- TRAZO DE LA CIUDAD

AREAS

- Area urbana
- Area urbanizable
- Areas no urbanizables

CARRETERAS

- 2 Carriles
- 4 Carriles
- VIA FERREA

RIOS

- Intermitente
- Perenne
- CANALES
- CUERPOS DE AGUA

NOMBRES GEOLOGICOS

- Canal
- Cerro

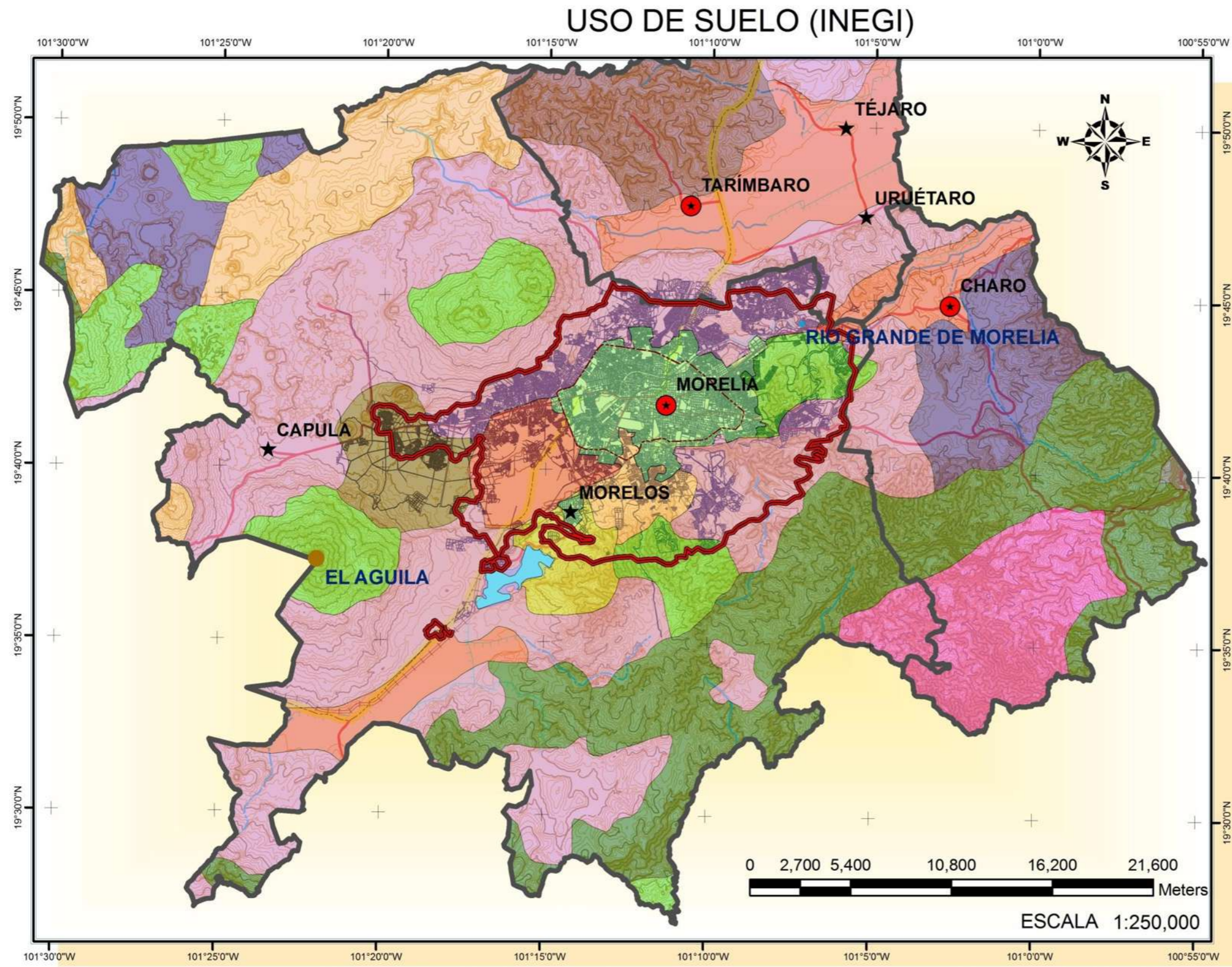
MUNICIPIO

- Charo
- Morelia
- Tarímbaro

CURVAS DE NIVEL

- ACOTADA
- ORDINARIA





SIMBOLOGIA

MUNICIPIOS

- CABECERA MUNICIPAL
- ★ LOCALIDAD
- PERIFERICO
- LIMITE URBANO
- TRAZO DE LA CIUDAD

USO DE SUELO

- Agricultura de Riego
- Agricultura de Temporal
- Agricultura de Temporal, Pastizal inducido
- Area Urbana
- Bosque Cultivado
- Bosque Mesofilo de Montana
- Bosque de Encino
- Bosque de Encino-Pino
- Bosque de Pino-Encino
- Cuerpo de Agua Perenne interior
- Matorral Subtropical
- Pastizal Inducido
- Pastizal Inducido, Agricultura de Temporal

CARRETERAS

- 2 Carriles
- 4 Carriles
- VIA FERREA

RIOS

- Intermittente
- Perenne
- CANALES

CUERPOS DE AGUA

- CANALES
- CUERPOS DE AGUA

NOMBRES GEOLOGICOS

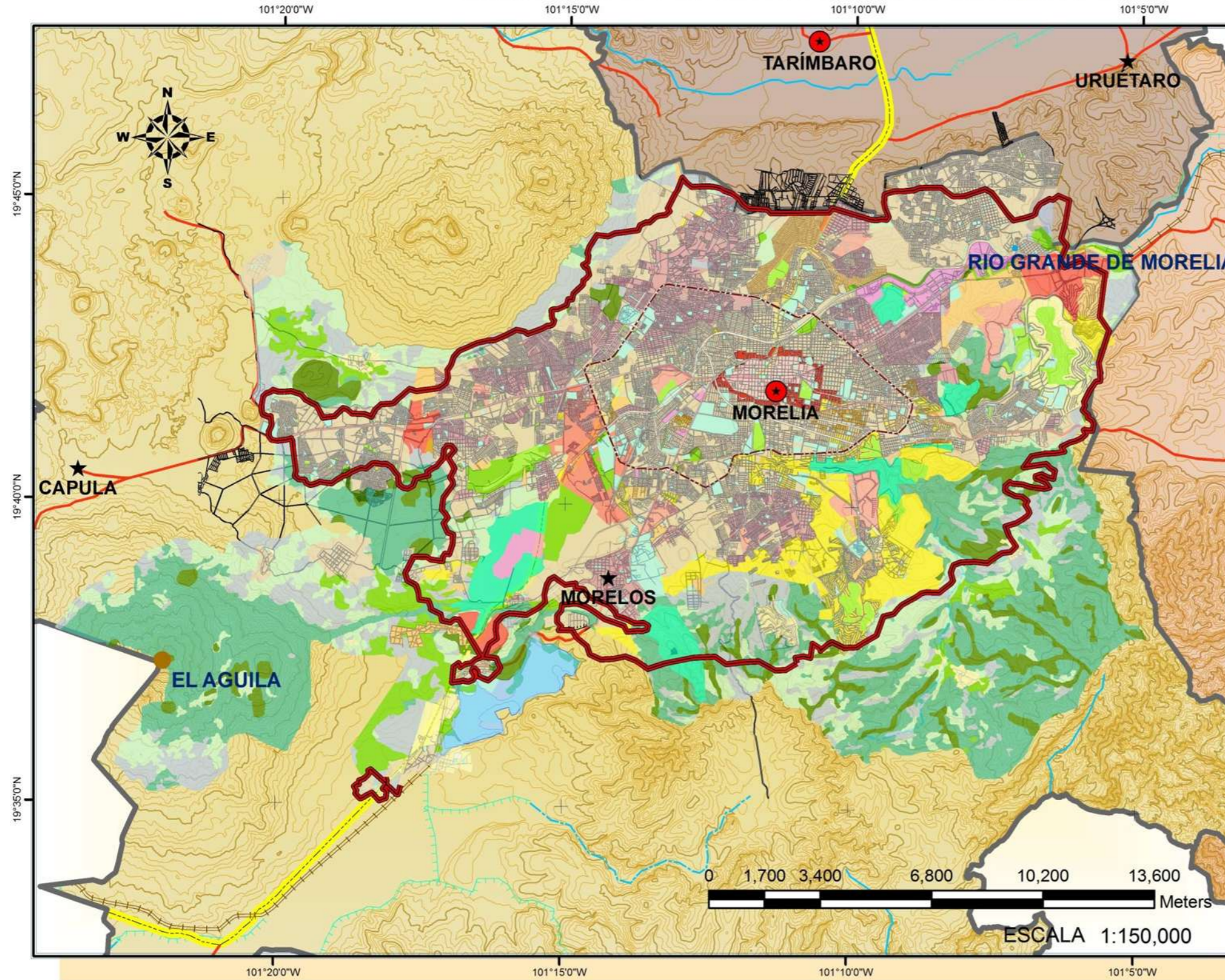
- Canal
- Cerro

CURVAS DE NIVEL

- ACOTADA
- ORDINARIA



USO DE SUELO DE LA CIUDAD DE MORELIA



SIMBOLOGIA

- | | |
|--|---------------------------|
| MUNICIPIOS | CARRETERAS |
| ● CABECERA MUNICIPAL | — 2 Carriles |
| ★ LOCALIDAD | — 4 Carriles |
| --- PERIFERICO | — VIA FERREA |
| — LIMITE URBANO | RIOS |
| — TRAZO DE LA CIUDAD | --- Intermitente |
| USO DE SUELO | — Perenne |
| ■ Area natural protegida | — CANALES |
| ■ Centro metropolitano | ■ CUERPOS DE AGUA |
| ■ Centro urbano | NOMBRES GEOLOGICOS |
| ■ Cuerpo de agua | ● Canal |
| ■ Equipamiento | ● Cerro |
| ■ Habitacional densidad alta 301 - 500 hab./ha. | MUNICIPIO |
| ■ Habitacional densidad baja 51 - 150 hab./ha. | ■ Charo |
| ■ Habitacional densidad media 151 - 300 hab./ha. | ■ Morelia |
| ■ Habitacional densidad suburbana < 50 hab./ha. | ■ Tarímbaro |
| ■ Habitacional mixto con industria y servicios | CURVAS DE NIVEL |
| ■ Habitacional mixto con servicios y comercio | — ACOTADA |
| ■ Habitacional vivienda rural | — ORDINARIA |
| ■ Industrial | |
| ■ Infraestructura | |
| ■ Parque urbano ecologico | |
| ■ Proteccion agropecuaria | |
| ■ Proteccion ecologica forestal | |
| ■ Proteccion especial | |
| ■ Proteccion usos agricolas | |
| ■ Proteccion usos pecuarios | |
| ■ Subcentro urbano | |
| ■ Vialidad y derecho de paso | |
| ■ Zona de monumentos | |
| ■ Zona de restauracion y proteccion ambiental | |
| ■ Zona de transicion | |
| ■ Áreas verdes | |



ANEXO B

ARCHIVOS BÁSICOS DEL MOBILE6-MEXICO

B.1 ARCHIVO DE ENTRADA TIPO USADO EN LA MODELACIÓN

```

***** Header Section
*****
MOBILE6 INPUT FILE
Input Extensions : INTL EFS HI-EM TECHFRAC
Intl Misc Flags : EFormat
POLLUTANTS : CO2 NOx CO HC
PARTICULATES : SO2 NH3
DATABASE FACILITIES: Arterial Local Freeway Ramp None
DATABASE AGES : 24,0
DATABASE VEHICLES : 22121 22222221 2 111 11111112 121

> 2003/6/18 Base case plus: Use the reg-dist file alone
(not in fleet file)

SPREADSHEET :
RUN DATA

***** Run Section
*****
EXPAND HDV EFS :
EXPAND HDGV EFS :
EXPAND LDT EFS :
EXPAND BUS EFS :
Express HC As voc :
Expand Exhaust :
Expand Evaporative :
FUEL RVP : 7.1
FUEL PROGRAM : 4
800.0 800.0 614.0 414.0 414.0 378.0 378.0
300.0
230.0 230.0 230.0 230.0 30.0 30.0 30.0
30.0

REG DIST : MORELIA.dat
*INTL FLEET FILE : MexFleet.inc
*We Da Tri Len Di : Mex_Trip_Leng_WeekDay.dat
*We En Tri Len Di : Mex_Trip_Leng_WeekEnd.dat

***** Scenario Section
*****
SCENARIO RECORD :
MIN/MAX TEMP : 44.6 73.4
EVALUATION MONTH : 1
PARTICLE SIZE : 10.0
PARTICULATE EF : PMGZML.CSV PMGDRI.CSV PMGDR2.CSV
PMDZML.CSV PMDDR1.CSV PMDDR2.CSV
SULFUR CONTENT : 378
DIESEL SULFUR : 300.0
CALENDAR YEAR : 2005
ALTITUDE : 2
CLOUD COVER : 0.4
SUNRISE/SUNSET : 8 7
*SOAK DISTRIBUTION : Mex_Soak_Dist.dat
*HOT SOAK ACTIVITY : Mex_Hot_Soak_WeekDay.dat
*DIURN SOAK ACTIVITY: Mex_Diurn_Soak_WeekDay.dat
***** End of Run
*****
END OF RUN
    
```

Figura B.1 Archivo de control

```

REG DIST
* This file contains the Mexico City MOBILE6 values for the distribution of
* vehicles by age for July of 2001 calendar year. There are sixteen (16)
* sets of values representing 16 combined gasoline/diesel vehicle class
* distributions. These distributions are split for gasoline and diesel
* using the separate input (or default) values for diesel sales fractions.
* Each distribution contains 25 values which represent the fraction of
* all vehicles in that class (gasoline and diesel) of that age in July.
* The first number is for age 1 (calendar year minus model year plus one)
* and the last number is for age 25. The last age includes all vehicles
* of age 25 or older (up until 1976). The first number in each distribution
* is an integer.
* which indicates which of the 16 vehicle classes are represented by the
* distribution. The sixteen vehicle classes are:
*
* 1 LDV Light-Duty Vehicles (Passenger Cars)
* 2 LDT1 Light-Duty Trucks 1 (0-6,000 lbs. GVWR, 0-3750 lbs. LWV)
* 3 LDT2 Light-Duty Trucks 2 (6-6,001 lbs. GVWR, 3751-5750 lbs. LWV)
* 4 LDT3 Light-Duty Trucks 3 (6,001-8500 lbs. GVWR, 0-3750 lbs. LWV)
* 5 LDT4 Light-Duty Trucks 4 (6,001-8500 lbs. GVWR, 3751-5750 lbs. LWV)
* 6 HDV2B Class 2B Heavy-Duty Vehicles (8501-10,000 lbs. GVWR)
* 7 HDV3 Class 3 Heavy-Duty Vehicles (10,001-14,000 lbs. GVWR)
* 8 HDV4 Class 4 Heavy-Duty Vehicles (14,001-18,000 lbs. GVWR)
* 9 HDV5 Class 5 Heavy-Duty Vehicles (18,001-19,500 lbs. GVWR)
* 10 HDV6 Class 6 Heavy-Duty Vehicles (19,501-26,000 lbs. GVWR)
* 11 HDV7 Class 7 Heavy-Duty Vehicles (26,001-33,000 lbs. GVWR)
* 12 HDV8A Class 8a Heavy-Duty Vehicles (33,001-60,000 lbs. GVWR)
* 13 HDV8B Class 8b Heavy-Duty Vehicles (>60,000 lbs. GVWR)
* 14(27) HDBS School Busses
* 15(26) HDBT Transit and Urban Busses
* 16(28) MC Motorcycles (All)
*
* The 25 age values are arranged in two rows of 10 values followed by a row
* with the last 5 values. Comments (such as this one) are indicated by
* an asterisk in the first column. Empty rows are ignored. Values are
* read "free format," meaning any number may appear in any row with as
* many characters as needed (including a decimal) as long as 25 values
* follow the initial integer value separated by a space.
*
* If all 25 vehicle classes do not need to be altered from the default
* values, then only the vehicle classes that need to be changed need to
* be included in this file. The order in which the vehicle classes are
* read does not matter, however each vehicle class set must contain 25
* values and be in the proper age order.
*
* We used Mobile 6 default values for HDBS (14), HDBT (15) and MC (16).
* For other vehicle values were derived from Mexico IM data for 2000 calendar year.
* LDT1 and LDT4 were calculated from the proportion of default LDT1 and LDT3 with
* weight portion of 75/25. Please see fleet_dist_yr_v2.xls for splitting details.
* Apply all one to age distribution to all HD vehicle (6-13).
*
*LDV
1 0.008264463 0.012396694 0.012396694 0.012396694 0.020661137 0.008264463
0.008264463 0.004132231 0.008264463 0.008264463 0.004132231
0.016528926 0.012396694 0.024793388 0.061883871 0.095041322
0.037190083 0.037190083 0.024793388 0.016528926 0.024793388
0.037190083 0.012396694 0.016528926 0.024793388 0.44014876

*LDT1
2 0.009526741 0.009248267 0.008442158 0.010435445 0.011695906 0.011710563
0.009541397 0.014275455 0.013880416 0.021237304 0.021237304
0.024867171 0.048044687 0.052239893 0.050418444 0.059124419 0.052822114
0.0259783963 0.048395843 0.042458951 0.050828826 0.049393988
0.038649255 0.032874584 0.025033344 0.035058406 0.249439388

*HDBT
4 0.048317215 0.024340721 0.028833659 0.026371166 0.024893665 0.024625028 0.02119991
0.025766734 0.031117081 0.097156929
    
```

Figura B.2 Archivo de datos externos

B.2 ARCHIVO DE SALIDA TIPO OBTENIDO DE LA MODELACIÓN

```

*****
* MEXM6 (ERC work in progress 2003JUN05) (INTL/EP/RI-EM/TECHFRAC) *
* Input file: Morelia.in (file run 1) *
*****
WFile Comment:
User has supplied post-1999 sulfur levels.

* Reading Registration Distributions from the following external
  data file: MORELIA.dat
*
* # # # # #
*
* File 1, Run 1, Scenario 1.
* # # # # #
*
* Reading PM Gas Carbon EML Levels
* from the external data file PMGEMG.CSV
*
* Reading PM Gas Carbon EMI Levels
* from the external data file PMGEMI.CSV
*
* Reading PM Gas Carbon EMI Levels
* from the external data file PMGEMI.CSV
*
* Reading PM Diesel Isoe Mile Levels
* from the external data file PMGDMG.CSV
*
* Reading the First PM Detonation Rates
* from the external data file PMGDR1.CSV
*
* Reading the Second PM Detonation Rates
* from the external data file PMGDR2.CSV
*
* User supplied gasoline sulfur content - 378.0 ppm.

ME17 Comment: User supplied alternate AC input: Cloud Cover Fraction set to 0.40.
ME18 Comment: User supplied alternate AC input: Sunrise at 8 AM, Sunset at 7 PM.
MC48 Warning: There are no sales for vehicle class HDQV8.

* Reading Ammonia (NH3) Basic Emission Rates
* from the external data file PMNH3BER.D
*
* Reading Ammonia (NH3) Sulfur Detonation Rates
* from the external data file PMNH3SD.R

Calendar Year: 2005
Month: Jan.
Altitude: High
Minimum Temperature: 44.6 (F)
Maximum Temperature: 73.4 (F)
Absolute Humidity: 75 grains/lb
Normal Fuel S/F: 7.1 gal
Weathered S/F: 7.1 gal
Fuel Sulfur Content: 378 ppm

Exhaust T/M Program: No
EWP T/M Program: No
ATP Program: No
Reformulated Gas: No

Vehicle Type: LDQV LDQ712 LDQ734 LDQ7 LDQV HDQV LDQV LDQ7 HDQV MC
All Veh GVWR: <6000 >6000 (All)
VMT Distribution: 0.3285 0.3907 0.1332 0.0468 0.0083 0.0024 0.0858 0.0043
Fuel Economy (mpg): 22.9 18.7 14.4 17.4 9.6 25.6 18.9 7.3 50.0
16.2
    
```

Figura B.3 Archivo general

```

*****
* MEXM6 (ERC work in progress 2003JUN05) (INTL/EP/RI-EM/TECHFRAC) *
* Input file: Morelia.in (file run 1) *
*****
* # # # # #
*
* File 1, Run 1, Scenario 1.
* # # # # #
*
Calendar Year: 2005
Month: Jan.
Gasoline Fuel Sulfur Content: 378 ppm
Diesel Fuel Sulfur Content: 300 ppm
Particle Size Cutoff: 10.00 Microns
Reformulated Gas: No

Vehicle Type: LDQV LDQ712 LDQ734 LDQ7 LDQV HDQV LDQV LDQ7 HDQV MC
All Veh GVWR: <6000 >6000 (All)
VMT Distribution: 0.3285 0.3907 0.1332 0.0468 0.0083 0.0024 0.0858 0.0043
1.0000
Composite Emission Factors (g/mi):
Total Exhaust PM: 0.0148 0.0121 0.0140 0.0126 0.0798 0.2535 0.1894 0.4870 0.0219
0.0395
Total PM: 0.0351 0.0326 0.0346 0.0331 0.1010 0.2740 0.2059 0.5228 0.0384
0.0814
SO2: 0.0883 0.1096 0.1426 0.1180 0.2148 0.0744 0.1011 0.2604 0.0414
0.1243
NH3: 0.0974 0.0985 0.0958 0.0978 0.0451 0.0068 0.0068 0.0270 0.0113
0.0878

Veh. Type: LDQ71 LDQ72 LDQ73 LDQ74 LDQ712 LDQ734
VMT Mix: 0.0514 0.3393 0.0858 0.0474 0.0006 0.0018

Composite Emission Factors (g/mi):
Total Exhaust PM: 0.0184 0.0111 0.0146 0.0130 0.3179 0.1483
0.0390
Total PM: 0.0390 0.0321 0.0352 0.0335 0.3385 0.1689
SO2: 0.1078 0.1099 0.1422 0.1433 0.0883 0.1115
NH3: 0.0865 0.1003 0.0950 0.0972 0.0068 0.0068

Veh. Type: HDQV8 HDQV3 HDQV4 HDQV5 HDQV6 HDQV7 HDQV8A HDQV8B
VMT Mix: 0.0388 0.0014 0.0006 0.0010 0.0031 0.0013 0.0000 0.0000

Composite Emission Factors (g/mi):
Total Exhaust PM: 0.0172 0.0852 0.1071 0.1242 0.0764 0.0794 0.0830 0.0000
0.0000
Total PM: 0.0977 0.1098 0.1316 0.1487 0.1010 0.1039 0.1316 0.0000
0.0000
SO2: 0.2092 0.0391 0.0391 0.0312 0.2612 0.2845 0.3034 0.0000
0.0000
NH3: 0.0451 0.0451 0.0451 0.0451 0.0451 0.0451 0.0451 0.0000
0.0000

Veh. Type: HDQV8 HDQV3 HDQV4 HDQV5 HDQV6 HDQV7 HDQV8A HDQV8B
VMT Mix: 0.0121 0.0037 0.0038 0.0007 0.0083 0.0121 0.0146 0.0279

Composite Emission Factors (g/mi):
Total Exhaust PM: 0.1500 0.1304 0.1420 0.1383 0.2888 0.2897 0.3876 0.8923
0.9008
Total PM: 0.1176 0.1348 0.1465 0.2098 0.1030 0.1243 0.1521 0.9008
0.9008
SO2: 0.1482 0.1639 0.1872 0.1980 0.2193 0.2523 0.2911 0.3322
0.3322
NH3: 0.0270 0.0270 0.0270 0.0270 0.0270 0.0270 0.0270 0.0270
0.0270
    
```

Figura B.4 Archivo de partículas suspendidas

ANEXO C

RESUMEN DEL CURRICULUM VITAE

Datos Personales			
Nombre:	ZAVALA VILLAGOMEZ, MONICA		
Dirección			
País:	México		
Estado Civil:	Soltero		
Direcciones de Correo electrónico			
Tipo:	Particular		
Correo Electrónico: (Principal)	ing.mzv@gmail.com		
Fecha de Nac.	21 de marzo de 1984		
Sexo:	Mujer		
País de Nac.:	MEXICO		
Estado Nacimiento:	GUANAJUATO		
Nacionalidad:	MEXICANA		
Adscripción Actual			
Principal			
Entidad:	Institución		
Sector:	INST. DE EDU. SUP. PUBLICAS		
Organización / 2o. Nivel / 3er. Nivel:	UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO / FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA / DIVISION DE POSGRADO		
Fecha Inicial:	07 de septiembre de 2009		
Fecha Final:	29 de febrero de 2012		
Nombramiento Puesto:			
País:	MEX		
Dirección:	Ciudad Universitaria Edificio "TR" UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO MORELIA MORELIA, MICH 58004		
Distinciones			
Num. de Registro:	Descripción de la Distinción:	Año:	País:
1	Constancia de asistencia al XXXII Encuentro Nacional y 1er. Congreso Nacional de la AMIDIQ	2011	México
Otorgante:	Institución otorgante:		
	Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, A. C.		
Num. de Registro:	Descripción de la Distinción:	Año:	País:
2	Reconocimiento de asistencia al Congreso Nacional de Ingenierías y Arquiterura 2010	2010	México

Otorgante:	Institución otorgante:		
Dr. Fernando A. Velasco A.	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo		
Num. de Registro:	Descripción de la Distinción:	Año:	País:
3	Constancia de participacion en el Curso-Taller: "Sistemas de Información Geográfica"	2010	México
Otorgante:	Institución otorgante:		
	Dirección General de Educación Superior Tecnológica y el Instituto Tecnológico del Valle de Morelia		
Num. de Registro:	Descripción de la Distinción:	Año:	País:
4	Constancia por participación como asistente en el Tercer encuentro Nacional sobre ciencia	2010	México
Otorgante:	Institución otorgante:		
	El Espacio Común de Educación Superior, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo...		
Num. de Registro:	Descripción de la Distinción:	Año:	País:
5	Reconocimiento de participación como auxiliar de modulo en la 16ª Expo Orienta Universitaria	2008	México
Otorgante:	Institución otorgante:		
	CENTRO DE PSICOLOGIA Y PSICOMETRIA DE LA UMSNH		
Num. de Registro:	Descripción de la Distinción:	Año:	País:
6	Testimonio de Desempeño Sobresaliente	2008	México
Otorgante:	Institución otorgante:		
	CENTRO NACIONAL DE EVALUACION PARA LA EDUCACION SUPERIOR A C		
Num. de Registro:	Descripción de la Distinción:	Año:	País:
7	Reconocimiento por haber resultado ganador	2008	México
Otorgante:	Institución otorgante:		
	EL GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACAN DE OCAMPO Y LA SECRETARIA DE LOS JOVENES		
Num. de Registro:	Descripción de la Distinción:	Año:	País:
8	Constancia por participación como responsable de "Calidad en Gravas y Arenas"	2007	México
Otorgante:	Institución otorgante:		
	UMSNH COORDINACION DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA Y EL DEPARTAMENTO DE COMUNICACION DE LA CIENCIA		
Num. de Registro:	Descripción de la Distinción:	Año:	País:

9	Diploma de Topografía	2007	México
Otorgante:	Institución otorgante:		
	UMSNH Y LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		
Num. de Registro:	Descripción de la Distinción:	Año:	País:
10	Diploma por haber obtenido el tercer mejor promedio de calificaciones del primer grado	2004	México
Otorgante:	Institución otorgante:		
	UMSNH Y LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		
Niveles/Grados Académicos			
Num. Registro:	1		
Nivel/Grado Académico:	LICENCIATURA		
Número Cédula Profesional:	6101984		
Título del Nivel/Grado:	INGENIERA CIVIL		
Fecha Obtención:	19 de mayo de 2009		
Estatus:	Grado Obtenido		
Título de la tesis:			
País:	México		
Estado:	MICHOACÁN		
Sector:	INST. DE EDU. SUP. PUBLICAS		
Organización / 2o. Nivel:	UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO / FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		
Área de Conocimiento			
Area:			
Disciplina:			
Subdisciplina:			
Participación en congresos			
Num. Registro:	1		
Título del trabajo:	CÁLCUCO Y REPRESENTACIÓN EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG) DE LAS EMISIONES DE FUENTES NATURALES (BIOGÉNICAS) DE NUEVO LEÓN, MÉXICO		
Año:	2011		
Nombre Congreso:	XXXII Encuentro Nacional y 1er. Congreso Internacional de la AMIDIQ		
Tipo Congreso:	Extranjero		
Coautores			

Núm	Coautor:
1	CITLALI LERMA
2	GERARDO MEJÍA VELÁZQUEZ
3	MARCO ANTONIO MARTÍNEZ CINCO
Tipo de Trabajo:	Poster
País:	México
Num. Registro:	2
Título del trabajo:	CÁLCUCO Y REPRESENTACIÓN EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG) DE LAS EMISIONES DE FUENTES MÓVILES EN LAS PRINCIPALES CARRETERAS DE NUEVO LEÓN, MÉXICO
Año:	2010
Nombre Congreso:	CONGRESO NACIONAL INGENIERÍA - ARQUITECTURA 2010
Tipo Congreso:	Nacional
Coautores	
Núm	Coautor:
1	M. A. MARTÍNEZ CINCO
2	G. M. MEJÍA VELÁZQUEZ
Tipo de Trabajo:	Ponencia
País:	México
Num. Registro:	3
Título del trabajo:	CÁLCUCO Y REPRESENTACIÓN EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG) DE LAS EMISIONES DE FUENTES MÓVILES EN LAS PRINCIPALES CARRETERAS DE NUEVO LEÓN, MÉXICO
Año:	2010
Nombre Congreso:	CONGRESO NACIONAL INGENIERÍA - ARQUITECTURA 2010
Tipo Congreso:	Nacional
Coautores	
Núm	Coautor:
1	M. A. MARTÍNEZ CINCO
2	G. M. MEJÍA VELAZQUEZ
Tipo de Trabajo:	Artículo in Extenso.
País:	México
Num. Registro:	4
Título del trabajo:	CÁLCUCO Y REPRESENTACIÓN EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG) DE LAS EMISIONES DE FUENTES NATURALES (BIOGÉNICAS) DE NUEVO LEÓN, MÉXICO
Año:	0
Nombre Congreso:	XXXII Encuentro Nacional y 1er. Congreso Internacional de la AMIDIQ
Tipo Congreso:	Extranjero
Coautores	
Núm	Coautor:

1	CITLALI LERMA
2	GERARDO MEJÍA VELÁZQUEZ
3	MARCO ANTONIO MARTÍNEZ CINCO
Tipo de Trabajo:	Artículo in Extenso.
País:	México
Idiomas	
Idioma:	Español
Lengua Materna:	Sí
Traductor:	No
Profesor:	No
Nivel Conversación:	Alto
Nivel Lectura:	Alto
Nivel Escritura:	Alto
Fecha Evaluación:	
Examen/Documento Probatorio:	
Puntos/Porcentaje:	0
Idioma:	Inglés
Lengua Materna:	No
Traductor:	No
Profesor:	No
Nivel Conversación:	Medio
Nivel Lectura:	Alto
Nivel Escritura:	Bajo
Fecha Evaluación:	22 de julio de 2009
Examen/Documento Probatorio:	TOELF INSTITUCIONAL
Puntos/Porcentaje:	350