



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR UN INVENTARIO DE EMISIONES PRODUCIDAS
POR FUENTES MÓVILES PARA LA CIUDAD DE MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE: MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ALEJANDRO ROJAS TAPIA

TUTOR O TUTORES PRINCIPALES
ROGELIO GONZÁLEZ OROPEZA
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ; OCTUBRE DE 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PROYECTO PAPIIT IG101018. Simulación la combustión en motores de combustión interna usando biocombustibles y medición de la masa de contaminantes a fin de estructurar un inventario de emisiones en el Valle de México.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ACRÓNIMOS.....	6
INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS PARTICULARES.....	11
CAPÍTULO 1. CONTEXTO INTERNACIONAL Y NACIONAL DE LOS INVENTARIOS DE EMISIONES.....	13
1.1 Instrumentos Internacionales en Materia de Cambio Climático.....	14
1.1.1 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).....	14
1.1.2 Protocolo de Montreal.....	17
1.1.3 Protocolo de Kioto.....	17
1.1.4 Acuerdo de Copenhague.....	19
1.1.5 Acuerdos de Cancún.....	20
1.1.6 Acuerdo de París.....	21
1.1.7 El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).....	24
1.1.8 Ginebra, 26 de noviembre de 2019.....	27
1.2 Contexto Nacional de Cambio Climático.....	29
1.2.1 Ley General de Cambio Climático (LGCC).....	29
1.2.2 Sistema Nacional de Cambio Climático.....	30
1.2.3 Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC).....	31
1.2.4 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).....	32
1.2.5 Consejo de Cambio Climático (C3).....	33
1.3 Instrumentos de Planeación derivados de la Ley General de Cambio Climático.....	34
1.3.1 Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND 2013-2018).....	34
1.3.2 Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40 (ENCC 10-20-40).....	34
1.3.3 Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 (PECC 2009-2012).....	34
1.3.4 Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC 2014-2018).....	35
1.3.5 Principales Normas Oficiales que contribuyen a la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en México.....	36
1.4 Las Comunicaciones Nacionales sobre Cambio Climático.....	36
1.5 Programa Sectorial del Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2040 (PROMARNAT 2020-2040).....	38
1.6 Contaminación del aire.....	
1.6.1 Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios (OMS).....	42
1.6.2 Principales tipos de contaminantes del aire.....	42
1.6.3 Gases contaminantes de la atmósfera.....	43
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES Y SU IMPORTANCIA.....	46
2.1 ¿Qué es un inventario de emisiones?.....	47
2.1.1 Propósito de un inventario de emisiones.....	47
2.1.2 Clasificación de los inventarios de emisiones.....	48
2.2 Inventario de emisiones en otros países.....	51
2.2.1 China.....	51
2.2.2 La Unión Europea.....	55
2.2.2.1 Países que integran la Unión Europea.....	55
2.2.2.2 Inventario de Emisiones GEI en la Unión Europea.....	56
2.2.2.3 El proceso anual de compilación del inventario de GEI de la UE.....	57
2.2.2.4 Informes sobre los progresos en la acción por el clima.....	58
2.3 Inventario de Emisiones GEI en Estados Unidos.....	62
2.4 Inventario de Emisiones GEI en Latinoamérica.....	64
2.5 Inventarios Nacionales de Emisiones GEI en México.....	68

2.5.1 Fases de planeación de un inventario.....	69
2.5.2 INEGYCEI 1990-2015 publicado en 2018.....	69

CAPÍTULO 3. INVENTARIOS DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMVM 1994-2016).....77

3.1 Antecedentes de los Inventarios de Emisiones en la ZMVM.....	78
3.2 Delimitación geográfica del Inventario de Emisiones para la ZMVM 1994-2016.....	80
3.3 Clasificación de las fuentes de emisión por los Inventario de Emisiones 1994-2016.....	82
3.4 Metodología para las emisiones contaminantes de acuerdo con el Reglamento de la Ley General de Cambio Climático.....	82
3.5 Metodología para las emisiones contaminantes de acuerdo con las directrices IPCC 2006.....	83
3.6 Metodología utilizada por los Inventario de Emisiones para fuentes móviles de la ZMVM, 1994-2016.....	84
3.7 Parque vehicular para los Inventarios de Emisiones de la ZMVM 1994-2016.....	88
3.8 Características de la Flota vehicular en los inventarios de Emisiones de la ZMVM 1994-2010.....	88
3.9 Inventario de Emisiones para fuentes vehiculares de la ZMVM 1994 actualizados con datos de 1996.....	92
3.9.1 Parque vehicular.....	92
3.9.2 Homologación vehicular.....	93
3.9.3 Estimación de emisiones contaminantes.....	93
3.9.4 Actividad vehicular.....	94
3.9.5 Factores de emisión: HC, CO, NOX, PM ₁₀ , SO ₂	95
3.9.6 Resultados: Emisión de contaminantes de origen vehicular: HC, CO, NOX, PM ₁₀ , SO ₂	96
3.10 Inventario de Emisiones de fuentes vehiculares para la ZMVM 1998.....	97
3.10.1 Parque vehicular.....	97
3.10.2 Estimación de emisiones contaminantes: Ecuaciones.....	97
3.10.3 Factores de emisión: HC, CO, NOX, PM ₁₀ , SO ₂	98
3.10.4 Resultados: Emisión de contaminantes de origen vehicular: HC, CO, NOX, PM ₁₀ , SO ₂	99
3.11 Comparación de los Inventarios de Emisiones para fuentes vehiculares 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002.....	101
3.12 Emisiones contaminantes de los inventarios de la ZMVM 2004-2014.....	103
3.13 Inventario de Emisiones de la ZMVM 2016.....	108
3.13.1 Objetivo.....	108
3.13.2 Generalidades.....	108
3.13.3 Matriz energética de la Ciudad de México.....	109
3.13.4 Metodología.....	110
3.13.5 Muestra y clasificación vehicular.....	110
3.13.6 Homologación vehicular.....	112
3.13.7 Estimación de emisiones contaminantes.....	112
3.13.8 Actividad vehicular.....	114
3.13.9 Factores de Emisión.....	116
3.13.10 Resultados: Emisión de contaminantes de origen vehicular: contaminantes criterio, gases de efecto invernadero y compuestos tóxicos.....	117

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL FACTOR DE EMISIÓN VOLUMÉTRICO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES PRODUCIDAS POR LOS MOTORES DE CONBUSTIÓN INTERNA.....120

4.1 Metodología para obtener un inventario de emisiones vehiculares.....	121
4.2 Etapa 1 Elección estadística de la muestra.....	122
4.2.1 Conceptos de estadística.....	122
4.2.2 Indicadores estadísticos.....	122
4.2.3 Conjunto muestral representativo.....	124

4.3 Etapa 2. Ensayos experimentales en banco dinamométrico.....	132
4.4 Etapa 3. Algoritmo para el cálculo de masa de cada contaminante.....	134
4.4.1. Ley de Dalton de presiones aditivas.....	136
4.4.2. Ley de Amagat de volúmenes aditivos.....	136
4.4.3. Composición Gases de Escape.....	138
4.4.4. Factor de emisión volumétrico.....	141
4.5 Etapa 4. Uso del software ADVISOR para obtener el factor de emisión.....	141
4.5.1 Simulador de vehículos ADVISOR.....	141
4.5.2 ADVISOR (ADvanced VehIcle SimulatOR).....	142
4.5.3 Metodología de estimación de emisiones.....	146
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	148
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS.....	151
Anexo 1.....	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Acuerdos de Paris.
Figura 2.	Acciones propuestas para detener el calentamiento global.
Figura 3.	Incremento de la temperatura al 2100.
Figura 4.	Contaminación ambiental en China.
Figura 5.	Principales países y regiones contaminantes en 2015, según información del 2019 de la Comisión Europea (CE)
Figura 6.	Países que integran a la Unión Europea (UE).
Figura 7.	Emisiones contaminantes porcentuales de gases de efecto invernadero (GEI) de Estados Unidos.
Figura 8.	Compromisos de reducción de emisiones de GEI en América Latina.
Figura 9.	Emisiones nacionales GEI por tipo de gas de los sectores, categorías, subcategorías y fuentes según el IPCC 2006, en 2015.
Fig. 10.	Zona Metropolitana del Valle de México, 2016.
Figura 11.	Distribución de la Flota vehicular de la ZMVM en cuanto a su uso.
Figura 12.	Parámetros geométricos del conjunto cilindro-pistón, biela-manivela.
Figura 13.	Instalación para generar mapas de funcionamiento de los motores.
Figura 14.	ADVISOR ventana de entrada al vehículo.
Figura 15.	ADVISOR ventana de configuración de simulación.
Figura 16.	ADVISOR La definición del modelo emplea una arquitectura de biblioteca vinculada.
Figura 17.	ADVISOR La definición del modelo emplea una arquitectura de biblioteca vinculada.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Consumo energético por combustible (SENER 2019).
Gráfico 2.	Proyecciones de políticas actuales, mediciones, rangos y objetivos.
Gráfico 3.	El Total de emisiones de GEI para los países que integran la UE, 2017.
Gráfico 4.	Emisiones contaminantes de los 5 principales países de América Latina.
Gráfico 5.	Emisiones y contribución de gases de efecto invernadero, 2015, por tipo de gas (sin las absorciones de la categoría [3B] Tierra).
Gráfico 6.	Emisión de contaminantes por tipo de vehículo
Gráfico 7.	Resumen del inventario de emisiones nacional por tipo de vehículo.
Gráfico 8.	Vehículos a gasolina por año modelo y tecnología
Gráfico 9.	Flota vehicular por tipo de combustible.
Gráfico 10.	Flota vehicular y contribución porcentual a las emisiones de GEI.

- Gráfico 11. Emisiones contaminantes por año de fuentes puntuales, de área, vegetación y suelos, y móviles.
 Gráfico 12. Emisión de contaminantes PM₁₀, SO₂, CO, NO_x y COT por año.
 Gráfico 13. Crecimiento del número de autos particulares en circulación de la ZMVM, 1994- 2004.
 Gráfico 14. Emisión de contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de México, por contaminante y fuente, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002.
 Gráfico 15. Parque vehicular, compuesto de vehículos ligeros, pesados y motocicletas.
 Gráfico 16. Curva característica de una distribución normal.
 Gráfico 17. Composición de los gases de escape.

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Elaborada con datos de la Oficina Nacional de Estadística de China y de OICA 2019. Países con mayor producción de vehículos automotores (millones de unidades).
 Tabla 2. Comunicaciones Nacionales presentadas ante la CMNUCC (1997-2018).
 Tabla 3. % de emisiones globales de los principales países productores de GEI y % de reducción a la que se comprometen para el año 2030.
 Tabla 4. Emisiones Totales de gases de efecto invernador GEI (MMT DE CO_{2eq.}) para Estados Unidos.
 Tabla 5. Emisiones Nacionales de GEI por tipo de GAS del Sector Energía (1), Categoría Transporte (IA3) y Subcategoría Autotransporte (IA3b) del IPCC 2006, en 2015.
 Tabla 6. Emisiones de GEI en el año 2015.
 Tabla 7. Emisiones de GEI por transporte, 1990-2015 (Gg. de CO_{2e}).
 Tabla 8. Variación del parque vehicular desde 1994 hasta 1996 (millones de vehículos).
 Tabla 9. Homologación vehicular.
 Tabla 10. Promedio de kilometraje recorrido por día.
 Tabla 11. Emisión de contaminantes de origen vehicular en la ZMVM en 1996 (ton/año).
 Tabla 12. Distribución del parque vehicular en la ZMVM.
 Tabla 13. Inventario de emisiones anual y porcentual de la ZMVM, 1998.
 Tabla 14. Inventario de emisiones desagregado del parque vehicular de la ZMVM en 1998 (ton/año).
 Tabla 15. Inventario de emisiones porcentual desagregado del parque vehicular de la ZMVM en 1998.
 Tabla 16. Consumo energético del sector transporte en la Ciudad de México, 2016.
 Tabla 17. Flota vehicular de la Ciudad de México, 2016.
 Tabla 18. Homologación y clasificación vehicular.
 Tabla 19. Actividad de la flota vehicular de la Ciudad de México.
 Tabla 20. KRV por tipo de vehículo y año modelo para la CDMX, 2016.
 Tabla 21. Factores de emisión ponderados para vehículos ligeros a gasolina $\leq 3,8$ t (g/km) en la CDMX.
 Tabla 22. Emisión de contaminantes criterio y compuestos de efecto de invernadero de la ZMVM, 2016 (t/año).
 Tabla 23. Emisión de contaminantes criterio y compuestos de efecto de invernadero de la ZMVM, 2016 (t/año).
 Tabla 24. Principales compuestos tóxicos emitidos por las fuentes móviles, en la ZMVM, 2016 (t/año).
 Tabla 25. Emisión de gases y compuestos de efecto invernadero de la ZMVM, 2016 (t/año). Pág.153
 Tabla 26. Fragmento de la Tabla Maestra 2018.
 Tabla 27. N° de Cilindros en donde se muestra el proceso realizado hasta obtener las 3 categorías (segunda columna de iteración).
 Tabla 28. Categoría "Cilindrada" en donde se muestra el proceso realizado hasta obtener las 7 categorías (columna Segunda iteración).
 Tabla 29. Conjuntos de la categoría "años".
 Tabla 30. Errores, en naranja el resultado elegido.
 Tabla 31. Tabla conjunta en la que se cruzó la información de las tablas de categorías propuestas
 Tabla 32. Parámetros de funcionamiento del Motor de 1.6 litros.

ACRÓNIMOS

ADVISOR	ADvanced VehIcle SimulatOR
AEMA	Agencia Europea de Medio Ambiente
ANDEMOS	Asociación Colombiana de Vehículos Automotores
APF	Administración Pública federal
C3	Consejo de Cambio Climático
CAIEPA	Agencia de Protección Ambiental de California
CCI	Centro Común de Investigación
CDMX	Ciudad de México
CICC	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CN	Carbono Negro
COMEGEI	Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y de Captura de Gases de Efecto Invernadero
COP	Conferencia de las Partes
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
DG CLIMA	Dirección General de Acción por el Clima de la Comisión Europea
ENCC	Estrategia Nacional del Cambio Climático
ERG	Eastern Research Group Inc
ETC/CME	Centro Temático Europeo sobre Contaminación Atmosférica y Mitigación del Clima y Energía
FCVC	Forzador Climático de Vida Corta
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GHGRP	Programa de informes de gases de efecto invernadero de la EPA
GLP Gas	Licuado del Petróleo
GNC	Gas Natural Comprimido
GT-ADAPT	Grupo de Trabajo de Políticas de Adaptación
GT-FIN	Grupo de Trabajo de Financiamiento
GT-INT	Grupo de Trabajo de Negociaciones Internacionales en Materia de Cambio Climático
GT-PECC	Grupo de Trabajo para el Programa Especial de Cambio Climático
GT-REDD	Grupo de Trabajo sobre Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación
GT-VINC	Grupo de Trabajo de Vinculación con la Sociedad Civil
IGECM	Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
JRC	Centro Común de Investigación
KRV	Kilómetros Recorridos por Vehículos
LGCC	Ley General de Cambio Climático
MCCM	Multiscale Climate Chemistry Model
MCI	Motores de Combustión Interna
MDL	Mecanismo para Desarrollo Limpio
MEC	Motor de Encendido por Compresión
MEGAN	Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature
MEP	Motor de Encendido Provocado
MMT	Millones de Toneladas Métricas
MOBILE	Programa de cómputo elaborado por la EPA para calcular factores de emisión por medio de modelaciones matemáticas.
MOVES	Motor Vehicle Emission Simulator
MRV	Medición, Notificación y Verificación
NDC	Contribuciones Determinadas a nivel Nacional
OBD	Sistema de Diagnóstico a Bordo en Vehículos
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OMM	Organización Meteorológica Mundial
OMS	Organización Mundial de la Salud

ONU	Organización de las Naciones Unidas
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PICCSA	Programa Integral para el Control de la Contaminación Atmosférica
PM ₁₀	Material Particulado 10
PM _{2,5}	Material Particulado 2,5
PND	Plan Nacional de Desarrollo
PNUMA	Programa de la ONU Para el Medio Ambiente
PROMARNAT	Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales
PVVO	Programa de Verificación Vehicular Obligatorio
QA/QC	Aseguramiento de Calidad y Control de Calidad
RENE	Registro Nacional de Emisiones
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transporte
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SE	Secretaría de Economía
SECTUR	Secretaría de Turismo
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEMAR	Secretaría de Marina
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SEP	Secretaría de Educación Pública
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SINACC	Sistema Nacional de Cambio Climático
SRE	Secretaría de Relaciones Exteriores
SSA	Secretaría de Salud
TM	Tabla Maestra
UE	Unión Europea
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
UNICE	Unidad de Control de Emisiones
US-EPA	Environmental Protection Agency de Estados Unidos
VL	Vehículos Ligeros
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

INTRODUCCIÓN

Calidad del aire e Impacto Ambiental

De acuerdo con ONU-Habitat, las ciudades consumen el 78 % de la energía mundial y producen más del 60 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, sin embargo, abarcan menos del 2 % de la superficie de la Tierra.

Las iniciativas del Acuerdo de París demuestran que lograr el objetivo del 1.5 °C requiere la movilización de la sociedad al completo -países, regiones, ciudades, empresas, inversores, organizaciones, etc. y la colaboración dirigida a reducir las emisiones netas a cero para 2050.

En este contexto, los Motores de Combustión Interna (MCI) se les ha considerado como una de las principales fuentes de deterioro ambiental ya que, la exposición prolongada a un contaminante puede reducir en varios años la esperanza de vida de un ser humano. Puesto que la contaminación es un factor de riesgo para la salud de las personas, llegando a producir enfermedades cardiovasculares y pulmonares, así como otros trastornos. Según la Organización Mundial de la Salud la mortandad ha aumentado a causa de la contaminación ambiental.

Hay una conexión muy directa entre los cambios ambientales que surgen del calentamiento global y las grandes amenazas a la salud. La emisión de dióxido de carbono y otros contaminantes son causantes de que aproximadamente siete millones de personas mueran prematuramente en el mundo cada año. Esa cifra es mayor que el número de muertes prematuras por sida y malaria combinadas (PNUMA, Programa de la ONU para el Medio Ambiente). No obstante, esta situación tan alarmante de salud y deterioro, se tienen que mantener las condiciones que se viven hoy en día respecto a esta fuente de energía, o mejor dicho de transformación de energía en trabajo. Por un lado, los grandes males que puede provocar y por otro, que en los más diversos aspectos de las actividades humanas están asociados con el uso del transporte, con el empleo de los combustibles fósiles y en pequeñísima proporción con los biocombustibles.

La figura 1 indica de una forma objetiva, cuáles son los combustibles que se consumen en diversos sectores de nuestro país, y conjuntamente con esta gráfica la Embajada Británica, con el apoyo del ITDP (Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo) menciona que diariamente se consumen entre la Ciudad de México y el Estado de México más de 46 millones de litros de combustibles fósiles: GASOLINA, DIÉSEL, GLP y GNC, además estima que, en México existen actualmente 45 millones de vehículos y para 2030 la flota será de 70 millones.

Ya se plantea intrínsecamente que, una porción mayoritaria del consumo de dichos combustibles es acaparada por el autotransporte.

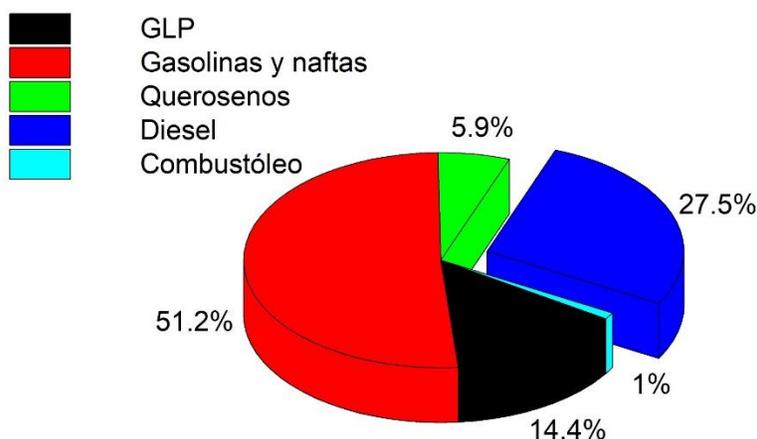


Gráfico 1. Consumo energético por combustible (SENER 2019)

Por supuesto, México no es el país que posee la mayor cantidad de vehículos, ni el que consume más combustibles, así que un panorama mundial de este sector se puede conocer por los datos que proporciona La Asociación Colombiana de Vehículos Automotores (ANDEMOS), la cual menciona que en el mundo, en 2015 circulaban 1,350 millones de vehículos y que actualmente sobrepasa los 1500 millones.

Agregando a la información anterior, la tabla 1 muestra la producción de vehículos automotores en 2012 y 2018, dando así una idea global de la situación mundial respecto al uso de los MCI. Es decir, no sólo NO se detiene el uso de motores y de procesos que consuman combustibles de la más diversa naturaleza, sino que se incrementa sensiblemente la producción, en este caso, de vehículos que van a seguir consumiendo hidrocarburos con mayor o menor grado de toxicidad e influencia en los problemas de calentamiento global y de afectación en la salud de la gente.

Lugar	País	2012	2018	Variación (%)
1°	China	19.2	25.7	33.9
2°	Estados Unidos	10.3	11.0	6.8
3°	Japón	9.9	9.2	-7.1
4°	Alemania	5.6	5.1	-8.9

5°	India	4.1	4.7	14.6
6°	Corea del Sur	4.5	4.0	-11.1
7°	México	3.0	3.9	30.0
8°	España	1.9	2.8	47.4
9°	Brasil	3.3	2.7	-18.2
10°	Francia	1.9	2.3	21.1
11°	Tailandia	2.4	2.2	-8.3
12°	Canadá	2.4	2.0	-16.7
13°	Reino Unido	1.4	1.6	14.3

Tabla 1. Elaborada con datos de la Oficina Nacional de Estadística de China y de OICA 2019. Países con mayor producción de vehículos automotores (millones de unidades).

¿Qué actitud se debe adoptar, o que se debe plantear ante tales circunstancias? Seguramente hay varias respuestas ante esta interrogante, pero en lo que respecta al contenido de este trabajo se puede comentar lo siguiente. Las autoridades ambientales de diversos países están restringiendo severamente el empleo de motores sin control de emisiones contaminantes, y sin tener una eficiencia mínima que se garantice la menor cantidad de CO₂ producido, imponiendo normas cada vez más estrictas. También entran en escena otras tecnologías que proponen cambios radicales y/o cambios graduales, tal es el caso de las celdas de combustible, de los vehículos eléctricos y de los vehículos híbridos (enchufables y los autónomos) todos ellos son contribuciones a la solución del problema de la contaminación atmosférica y de calentamiento global.

Es en este orden de ideas, parece ser que cada sector, gobierno, personas, etc. debemos participar en la reducción del calentamiento global y por tanto aparece precisamente la enorme necesidad de conocer la cantidad de contaminantes que son arrojados a la atmósfera por los vehículos, por las industrias, por los habitantes, por los fenómenos naturales, y dado que una contribución mayoritaria es la de los vehículos,¹ se propone una metodología mediante este trabajo para determinar la masa de contaminantes que son expulsados por los motores de combustión interna, particularmente en la Ciudad de México.

Debido a que la flota vehicular en la ZMVM es muy diversificada, se limitó el presente trabajo, sólo a una muestra constituida por una población de vehículos ligeros que se consideran con una masa vehicular menor o igual a 2600 kg clasificación propuesta para este trabajo dada las

¹ INECC, SEMARNAT. (2018). *Elementos de inventario de fuentes móviles: Inventario de emisiones de fuentes móviles carreteras, 2016*.

características de la flota vehicular mexicana ya que en ESTADOS Unidos se considera un vehículo ligero aquél que tiene masa menor o igual a 3857 kg.

Consideraciones:

Vehículos ligeros cuya edad promedio oscila entre los 6.5 años.

La flota vehicular se clasificó en tres categorías por el número de cilindros:

- 1) Categoría 1 de 4 cilindros, incluye motores de 2, 3 y 4 cilindros
- 2) Categoría 2 de 6 cilindros, incluye motores de 5 y 6 cilindros
- 3) Categoría 3 de 8 cilindros, incluye motores de 8, 10 y 12 cilindros

Del total de vehículos se determinaron 7 categorías en función de su cilindrada:

- 1) Categoría 1: 1600 cm³
- 2) Categoría 2: 2000 cm³
- 3) Categoría 3: 3000 cm³
- 4) Categoría 4: 3500 cm³
- 5) Categoría 5: 4000 cm³
- 6) Categoría 6: 5000 cm³
- 7) Categoría 7: 5400 cm³

Estas categorías se determinaron por un análisis estadístico que se describe en la etapa uno de la metodología que se empleará para estimar las emisiones contaminantes.

OBJETIVO GENERAL

- Proponer una nueva metodología para estimar las emisiones contaminantes emitidas por los vehículos ligeros a gasolina con una masa vehicular ≤ 3.8 toneladas de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

OBJETIVOS PARTICULARES

- Conocer el contexto Internacional en cuanto a las emisiones contaminantes.
- Investigar qué se ha hecho a nivel nacional en cuanto a la normatividad por las que se rigen los inventarios de emisiones contaminantes producidos por el sector transporte.

- Investigar desde cuándo se han realizado oficialmente los inventarios de emisiones contaminantes del sector transporte y en específico de vehículos ligeros.
- Investigar qué metodologías se utilizaron para desarrollar los inventarios de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).
- Desarrollar un procedimiento que permita obtener un estimado de la cantidad de emisiones contaminantes, de los principales compuestos expulsados en el escape de los motores de combustión interna de vehículos ligeros.
- Realización de la simulación numérica para obtener los factores de emisión.
- Investigar el consumo promedio anual de los vehículos ligeros a gasolina.

Capítulo 1

CONTEXTO INTERNACIONAL Y NACIONAL DE LOS INVENTARIOS DE EMISIONES.

1.1 Instrumentos Internacionales en Materia de Cambio Climático.

1.1.1 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático²

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC-Nueva York, 1992). Es un Organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) encargado de “establecer las bases para la acción internacional conjunta en cuanto a la mitigación y la adaptación al cambio climático”. El artículo 2º de la Convención y de todo instrumento jurídico conexo que adopte la Conferencia de las Partes, tienen como objetivo lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Para esto, las Partes deberán tomar medidas de precaución para prevenir, prevenir o reducir al mínimo las causas del cambio climático y mitigar sus efectos adversos. Por lo que, de acuerdo con el artículo 4º de la Convención, las Partes que son países desarrollados y demás Partes incluidas que forman parte de esta Convención se comprometerán a:

- Elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes (COP), de conformidad al artículo 12, inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero, no controlados por el protocolo de Montreal,³ utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la Conferencia de las Partes.
- Formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático, teniendo en cuenta las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, y medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático.
- Cada una de las Partes adoptará políticas nacionales y tomará las medidas correspondientes de mitigación del cambio climático, limitando sus emisiones antropógenas de gases de

² Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Naciones Unidas 1992.

³ El Protocolo de Montreal es un acuerdo ambiental enfocado hacia la eliminación de las emisiones de sustancias agotadoras de la capa de ozono. Fue aprobado en Montreal, Canadá el 16 de septiembre de 1987.

efecto invernadero y protegiendo y mejorando sus sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero.

- Las Partes que son países en desarrollo y las demás Partes desarrolladas que figuran en el anexo II tomarán todas las medidas posibles para promover, facilitar y financiar, según proceda, la transferencia de tecnologías y conocimientos prácticos ambientalmente sanos, o el acceso a ellos, a otras Partes, especialmente las Partes que son países en desarrollo, a fin de que puedan aplicar las disposiciones de la Convención.

El artículo 7º de la Convención establece que la Conferencia de Partes, en su calidad de órgano supremo de la presente Convención, examinará regularmente la aplicación de la Convención y de todo instrumento jurídico conexo que adopte la Conferencia de las Partes y, conforme a su mandato, tomará las decisiones necesarias para promover la aplicación eficaz de la Convención. Con este fin, además de otros:

- Promoverá y dirigirá, de conformidad con el objetivo y las disposiciones de la Convención, el desarrollo y el perfeccionamiento periódico de metodologías comparables que acordará la Conferencia de las Partes, entre otras cosas, con el objeto de preparar inventarios de las emisiones de gases de efecto invernadero por las fuentes y su absorción por los sumideros, y de evaluar la eficacia de las medidas adoptadas para limitar las emisiones y fomentar la absorción de esos gases.

Los países “Anexo I” de la Convención constituyen 43 países y la Unión Europea. Estas Partes se clasifican como “países desarrollados” y “economías en transición” (soviéticas, de Rusia y Europa del Este, en total 14 países). Los países “Anexo II” incluyen a la Unión Europea, y está formado por miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Las partes que en su mayoría son países en desarrollo con bajos ingresos se les conoce como países “no Anexo I” y no tienen compromisos cuantitativos de reducción de emisiones, no obstante, comparten los compromisos aplicables a todas las partes de la Convención. Los países incluidos en el Anexo II son los que apoyan financiera y técnicamente a las economías en transición y los países en desarrollo para que reduzcan sus emisiones de GEI (acciones de mitigación del cambio

climático) y gestionar los impactos del cambio climático (acciones de adaptación al calentamiento global).

Las definiciones de acuerdo con el artículo 1º que establece la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático son las siguientes:

- Por “efectos adversos del cambio climático” se entiende los cambios en el medio ambiente físico o en la biota resultantes del cambio climático que tienen efectos nocivos significativos en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales o sujetos a ordenación, o en el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos, o en la salud y el bienestar humanos.
- Por “cambio climático” se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.
- Por “sistema climático” se entiende la totalidad de la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y la geosfera, y sus interacciones.
- Por “emisiones” se entiende la liberación de gases de efecto invernadero o sus precursores en la atmósfera en un área y un período de tiempo especificados.
- Por “gases de efecto invernadero” se entiende aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja.
- Por “depósito” se entiende uno o más componentes del sistema climático en que está almacenado un gas de efecto invernadero o un precursor de un gas de efecto invernadero.
- Por “sumidero” se entiende cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera.
- Por “fuente” se entiende cualquier proceso o actividad que libera un gas de invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de invernadero en la atmósfera.

1.1.2 Protocolo de Montreal

El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono fue adoptado en Montreal en 1987, y posteriormente modificado y enmendado en Londres (1990), Copenhague (1992), Viena (1995), Montreal (1997) y Beijing (1999). Controla el consumo y la producción de sustancias químicas que contienen cloro y bromo y que destruyen el ozono (O₃) estratosférico, como los clorofluorocarbonos (CFC), el metilcloroformo, el tetracloruro de carbono, y muchas otras.

1.1.3 Protocolo de Kioto⁴

El protocolo se aprobó el 11 de diciembre de 1997 y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. México lo firmó el 9 de junio de 1998 y lo ratificó el 9 de abril de 2000. El objetivo principal es la reducción de las emisiones de efecto invernadero a un nivel que no dañe los ciclos biológicos del planeta. Para lograr esto, estableció una serie de artículos, de los cuales a continuación se presentan lo más relevantes:

El Artículo 2° del Protocolo de Kioto establece que, con el fin de promover un desarrollo sostenible, cada una de las Partes contenidas en el Anexo 1 deberá cumplir con los siguientes compromisos relacionados a la limitación y reducción de las emisiones:

- Fomentar de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional;
- protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal.
- Fomento de reformas apropiadas en los sectores pertinentes con la finalidad de promover unas políticas y medidas que limiten o reduzcan las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal;
- Establecer medidas para limitar y/o reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal en el sector del transporte.

⁴ Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas 1998. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

- limitación y/o reducción de las emisiones de metano mediante su recuperación y utilización en la gestión de los desechos, así como en la producción, el transporte y la distribución de energía.

De acuerdo con el artículo 5° del Protocolo de Kioto, cada parte incluida en el Anexo 1 incluirá, a más tardar un año antes del primer periodo de compromiso:

- Un sistema nacional que permita la estimación de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal.
- Las metodologías para calcular las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal serán las aceptadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y acordadas por la Conferencia de las Partes. Y en caso de que no se utilicen tales metodologías, se introducirán los ajustes necesarios conforme a las metodologías acordadas por la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo en su primer período de sesiones.
- Los potenciales de calentamiento atmosférico que se utilicen para calcular la equivalencia en dióxido de carbono de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de los gases de efecto invernadero enumerados en el anexo A⁵ serán los aceptados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y acordados por la Conferencia de las Partes en su tercer período de sesiones.

El artículo 10° del Protocolo de Kioto, establece que, todas las Partes, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y las prioridades, objetivos y circunstancias concretos de su desarrollo nacional y regional, sin introducir ningún nuevo compromiso para las Partes no incluidas en el Anexo 1 aunque reafirmando los compromisos ya estipulados por la Convención deberán:

⁵ Dióxido de carbono (CO₂) Metano (CH₄) Óxido nitroso (N₂O) Hidrofluorocarbonos (HFC) Perfluorocarbonos (PFC) Hexafluoruro de azufre (SF₆).

- Formular programas nacionales y/o regionales para mejorar la calidad de los factores de emisión, datos de actividad y/o modelos locales que sean eficaces en relación con el costo y que reflejen las condiciones socioeconómicas de cada Parte para la realización y la actualización periódica de los inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando las metodologías comparables en que convenga la Conferencia de las Partes y de conformidad con las directrices para la preparación de las Comunicaciones Nacionales adoptadas por la Conferencia de las Partes.
- Formular, aplicar, publicar y actualizar periódicamente programas nacionales y, en su caso, regionales que contengan medidas para mitigar el cambio climático y las medidas necesarias para facilitar una adaptación adecuada al cambio climático. Tales programas deberán guardar relación con los sectores energéticos, de transporte y de la industria, así como con la agricultura, la silvicultura y la gestión de los desechos.

El Protocolo de Kioto promueve el desarrollo sustentable de los países en desarrollo. México tiene el quinto lugar a nivel mundial en desarrollo de proyectos MDL (Mecanismo para Desarrollo Limpio) en las áreas de recuperación de metano, energías renovables, eficiencia energética, procesos industriales y manejo de desechos, entre otros.

1.1.4 Acuerdo de Copenhague⁶

La 15ª Conferencia de las Partes (COP15) de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, realizada en Copenhague en diciembre de 2009, llegó a un acuerdo político sin carácter jurídico debido a una ausencia de consenso. Algunos aspectos relevantes de este acuerdo incluyeron:

- El reconocimiento de la importancia de la opinión científica acerca de la necesidad de limitar el aumento en la temperatura media global en superficie por debajo de 2 °C.

⁶ Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2015.

- El compromiso de las Partes incluidas en el anexo I de aplicar los objetivos de reducción de las emisiones relativas al conjunto de la economía para 2020, y el compromiso de las Partes no incluidas en el anexo I de aplicar medidas de mitigación.
- Para las Partes incluidas en el anexo I, el acuerdo de asumir objetivos de emisión y el cumplimiento de los compromisos de financiación destinada a los países en desarrollo sujetos a medición, notificación y verificación (MRV), y para los países en desarrollo, el sometimiento a medición, notificación y verificación a nivel nacional de las medidas adoptadas.
- La petición de mayor financiación, en particular una financiación acelerada por valor de 30 000 millones de dólares de Estados Unidos y de 100 000 millones de dólares Estados Unidos en 2020.
- El establecimiento de un nuevo Fondo Verde para el Clima.
- La creación de un nuevo mecanismo tecnológico.

México adoptó su Programa Especial de Cambio Climático en 2009, que incluye un conjunto de acciones de mitigación y adaptación apropiadas que cada país emprenderá en todos los sectores relevantes. Con la plena implementación de este Programa se logrará una reducción de las emisiones anuales totales de 51 millones de toneladas de CO_{2eq.} para 2012, con respecto al escenario habitual. México apuntó a reducir sus emisiones de GEI hasta en un 30% con respecto al escenario habitual para 2020, y proporcionó apoyo financiero y tecnológico adecuado de los países desarrollados como parte de un acuerdo global.

1.1.5 Acuerdos de Cancún⁷

El Acuerdo de Cancún se celebró en México del 29 de noviembre al 10 de diciembre del 2010. Comprende un conjunto de decisiones aprobadas en el 16^a Conferencia de las Partes (COP16) en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), entre las cuales se encuentran las siguientes:

- El recién establecido Fondo Verde para el Clima.
- Un mecanismo tecnológico de reciente creación.

⁷ Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2015.

- Un procedimiento para avanzar en los debates sobre adaptación.
- Un procedimiento formal para informar sobre los compromisos en materia de mitigación.
- Un objetivo de limitación del aumento de la temperatura media global en superficie en 2 °C.
- Un acuerdo sobre medición, notificación y verificación para los países que reciben apoyo internacional para sus iniciativas de mitigación.

1.1.6 Acuerdo de París⁸

Se aprobó el 12 de diciembre de 2015, México lo firmó el 22 de abril de 2016 y lo ratificó el 14 de diciembre de 2016 (Figura 1). El acuerdo tiene como objetivo reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza para esto, en su artículo 2°, especifica lo siguiente:

- Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.
- Promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos.
- Elevar las corrientes financieras a un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

Artículo 4°:

- Para cumplir el objetivo a largo plazo referente a la temperatura que se establece en el artículo 2, las Partes se proponen lograr que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo lo antes posible, teniendo presente que los países en desarrollo tardarán más en lograrlo, y a partir de ese momento reducir rápidamente las emisiones de gases de efecto invernadero, de conformidad con la mejor información

⁸ FCCC/CP/2015/L.9. pág. 24. Anexo Acuerdo de París.

científica disponible, para alcanzar un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros en la segunda mitad del siglo.

- Las Partes que son países desarrollados deberán seguir encabezando los esfuerzos y adoptando metas absolutas de reducción de las emisiones para el conjunto de la economía. Las Partes que son países en desarrollo deberán seguir aumentando sus esfuerzos de mitigación, y adoptar metas de reducción o limitación de las emisiones para el conjunto de la economía, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales.

Artículo 9°

- Las Partes que son países desarrollados deberán proporcionar recursos financieros a las Partes que son países en desarrollo para prestarles asistencia tanto en la mitigación como en la adaptación, y seguir cumpliendo así sus obligaciones en virtud de la Convención.

Artículo 13:

- Cada Parte deberá proporcionar periódicamente un informe sobre el inventario nacional de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros de gases de efecto invernadero, utilizando las metodologías para las buenas prácticas aceptadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático que haya aprobado la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Acuerdo de París.

Artículo 14:

- La Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Acuerdo de París hará su primer balance mundial en 2023 y a partir de entonces, a menos que decida otra cosa, lo hará cada cinco años. El resultado del balance mundial aportará información a las Partes para que actualicen y mejoren, del modo que determinen a nivel nacional, sus medidas y su apoyo de conformidad con las disposiciones pertinentes del presente Acuerdo, y para que aumenten la cooperación internacional en la acción relacionada con el clima (Figura 2).

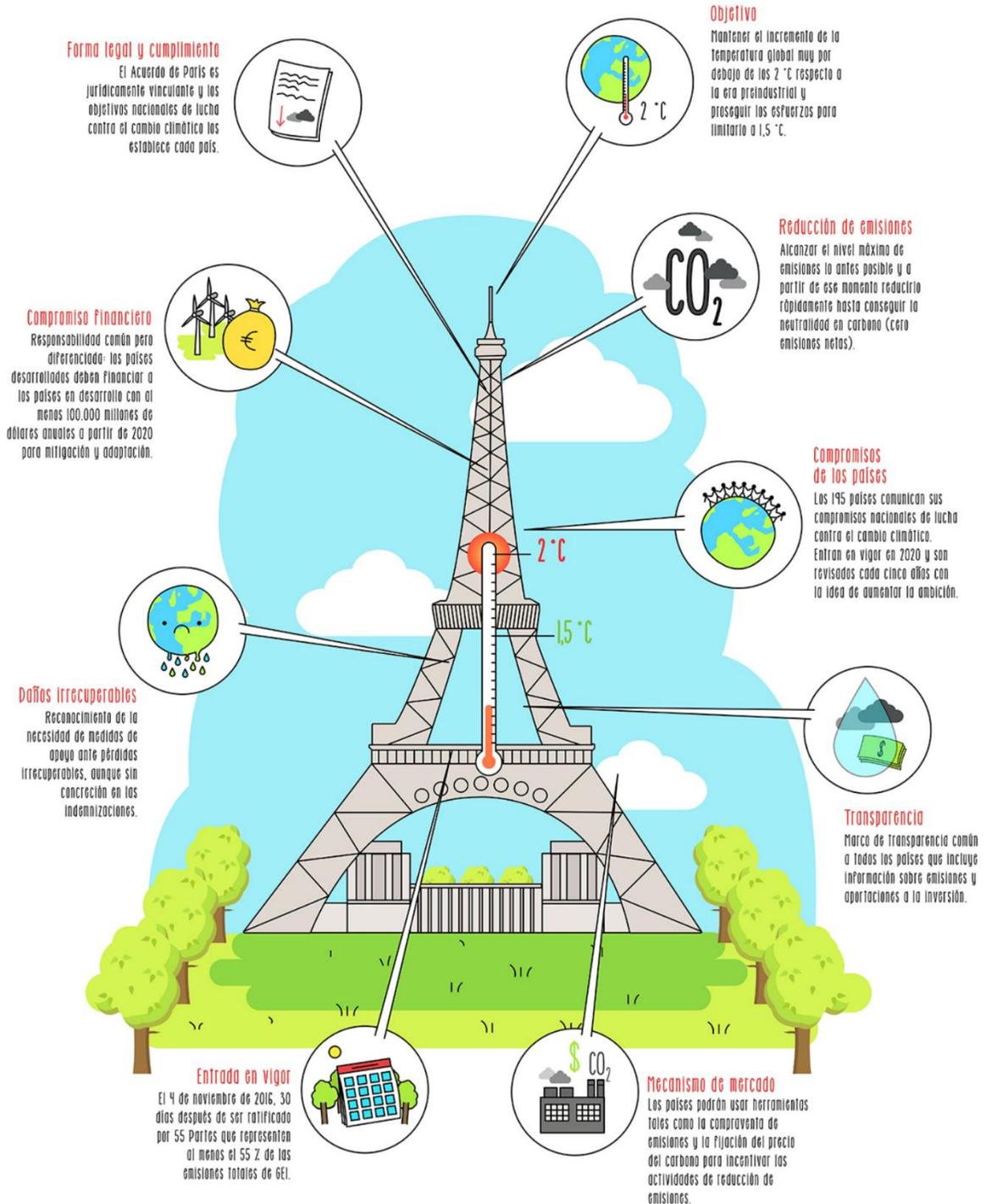


Figura 1. Acuerdos de París.



Figura 2. Acciones propuestas para detener el calentamiento global.

1.1.7 El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)⁹

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es un organismo intergubernamental que se creó en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con la finalidad de proporcionar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. El Panel está formado por tres Grupos de Trabajo y un Equipo especial:

- Grupo de trabajo I. (Bases físicas del cambio climático). Evalúa la evidencia científica disponible sobre los aspectos científicos, tecnológicos, ambientales, económicos y sociales de la mitigación del cambio climático.¹⁰

⁹ IPCC, 1992: Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment [Houghton, J.T., B.A. Callander, y S.K. Varney (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

¹⁰ IPCC, 2013: “Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático” [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

- Grupo de Trabajo II. (Impactos, adaptación y vulnerabilidad). Evalúa la vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y ambientales del cambio climático, las consecuencias positivas y negativas de dicho cambio y las posibilidades de adaptación al mismo.
- Grupo de Trabajo III. (Mitigación del cambio climático). Evalúa las posibilidades de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y atenuar los efectos del cambio climático.¹¹
- Grupo Especial para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Desarrolla y perfecciona las metodologías para estimar las emisiones y remociones antropógenas de gases de efecto invernadero.

El quinto informe de evaluación del IPCC donde se puntualizan las contribuciones del Grupo de Trabajo III finalizó entre 2013 y 2014. En su 41 sesión en Nairobi, Kenia, en febrero de 2015, el Panel decidió seguir preparando informes de evaluación cada 5-7 años y tomó una serie de decisiones con respecto a la preparación del Sexto Informe de Evaluación. Actualmente, el IPCC está preparando su Sexto Informe de Evaluación donde se presentarán las contribuciones de cada uno de los tres Grupos de Trabajo del IPCC y un Informe de Síntesis, que integrará las contribuciones del Grupo de Trabajo y los Informes Especiales producidos en el ciclo.

Los tres informes especiales del IPCC y el informe metodológico son los siguientes:¹²

- Informe especial 1. Impactos del calentamiento global de 1,5 ° C por encima de los niveles preindustriales y las vías de emisión de gases de efecto invernadero relacionadas, en el contexto del fortalecimiento de la respuesta global a la amenaza del cambio climático, desarrollo sostenible y esfuerzos para erradicar la pobreza

¹¹ IPCC, 2014: Resumen para responsables de políticas. En: Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel y J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

¹² The IPCC and the Sixth Assessment cycle. Abril 2020. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6_en.pdf

- Informe especial 2. Cambio climático y tierra, desertificación, degradación de la tierra, gestión sostenible de la tierra, seguridad alimentaria y flujos de gases de efecto invernadero en ecosistemas terrestres.
- Informe especial 3. El océano y la criósfera en un cambio climático.
- Informe Metodológico. Refinamiento de 2019 al IPCC de 2006. Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Con respecto al Informe Metodológico se puede decir que el IPCC, en su 43ª reunión celebrada en abril de 2016, decidió preparar un Informe Metodológico para perfeccionar las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero con el fin de actualizar y proporcionar una base científica sólida para la futura acción climática internacional, especialmente en el marco del Acuerdo de París. Así que en agosto del mismo año celebró una reunión de estudio para el informe metodológico y en su 44ª reunión celebrada en octubre de 2016, el IPCC acordó el esquema del Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de 2006, que consta de un único informe metodológico con un capítulo de panorama general y cinco volúmenes que se alinean al formato de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de 2006. El Perfeccionamiento de 2019 abarca todos los sectores de inventario del IPCC, pero los perfeccionamientos se incluyen únicamente para las categorías respecto de las cuales se consideró que la ciencia había avanzado suficientemente desde 2006 o respecto de las cuales se necesitaba nueva orientación u orientación adicional.¹³ El *Refinamiento de 2019* proporciona una base científica sólida y actualizada para apoyar la preparación y la mejora continua de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y proporciona metodologías complementarias para estimar las fuentes que producen emisiones de gases de efecto invernadero y los sumideros que absorben estos gases. También aborda las lagunas en la ciencia que se identificaron, las nuevas tecnologías y los procesos de producción han surgido, o las fuentes y sumideros que no se incluyeron en las *Directrices del IPCC de 2006*. También proporciona valores actualizados de

¹³ IPCC 2019, Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol2.html>

algunos factores de emisión que se utilizan para vincular la emisión de un gas de efecto invernadero para una fuente en particular con la cantidad de actividad que causa la emisión.¹⁴

Regresando a las contribuciones de los tres grupos de trabajo, éstas se publicarán en 2021 y el Informe de Síntesis se finalizará en el primer semestre de 2022 a tiempo para el Balance global de 2023 de la CMNUCC, cuando los países revisarán el progreso hacia el objetivo del Acuerdo de París de mantener el calentamiento global muy por debajo de 2 °C mientras se persiguen esfuerzos para limitarlo a 1,5 °C.

1.1.8 Ginebra, 26 de noviembre de 2019.¹⁵

Establece que las emisiones globales de gases de efecto invernadero deben reducirse 7.6% cada año entre 2020 y 2030 para que el mundo logre frenar el calentamiento global en 1,5 °C este siglo, advirtió un nuevo informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) lanzado en Ginebra, Suiza. EL informe constituye la evaluación mundial más actualizada sobre la diferencia entre las emisiones esperadas para 2030 de acuerdo con los compromisos nacionales actuales y los niveles requeridos para cumplir con los objetivos de calentamiento global de 2°C/ 1,5°C establecidos en el Acuerdo de París. Además, indica que, incluso si se implementan todos los compromisos no condicionados del Acuerdo de París, las temperaturas aumentarán 3,2 °C a fines de siglo, lo que provocará impactos climáticos destructivos y de amplio alcance. Para evitar este escenario y lograr el objetivo de 1,5 °C, los compromisos de reducción de emisiones deben quintuplicarse. Para esto, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) advirtió que ir más de 1,5 °C aumentará la frecuencia e intensidad de los impactos climáticos, como las olas de calor y las tormentas presenciadas en todo el mundo en los últimos años.¹⁶

¹⁴ 2020. Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2020. El IPCC actualiza la metodología para los inventarios de gases de efecto invernadero. Publicado el 13 de mayo de 2019. Consultado el 13 de octubre de 2010. Disponible en: <https://public.wmo.int/en/media/news/ipcc-updates-methodology-greenhouse-gas-inventories>

¹⁵ ONU. Programa para el medio ambiente. 26 de noviembre de 2019. El mundo debe reducir las emisiones 7,6% anual en la próxima década para lograr objetivo de 1.5°C. Disponible en: <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-debe-reducir-las-emisiones-76-anual-en-la>

¹⁶ Noticias ONU. 26 de noviembre de 2020. Cambio Climático y Medio Ambiente. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2019/11/1465861>

El surcoreano Hoesung Lee, presidente del panel intergubernamental de expertos que asesora a la ONU en materia de cambio climático, ha subrayado que la “crisis climática es real” y ha lamentado que la comunidad internacional no está haciendo lo suficiente para combatirla,¹⁷ ya anteriormente había comentado que “para 2100 la elevación del nivel del mar sería de 10 centímetros inferior con un calentamiento global de 1,5 °C en vez de 2 °C (Figura 3). La probabilidad de que el océano Ártico quede libre de hielo en verano sería de una vez por siglo con medio grado menos, frente a una vez cada década. Los arrecifes de coral disminuirían entre un 70% y un 90%, pero desaparecerían completamente a 2°C”.¹⁸



Figura 3. Incremento de la temperatura al 2100. Fuente: ConexiónCOP.

¹⁷ XXV Conferencia de las Partes de Cambio Climático (COP25). 2-13 de diciembre de 2019, Madrid, España.

¹⁸ Noticias ONU. 8 de octubre de 2018. Reducir el calentamiento global de 0.5 °C, la diferencia entre la vida y la muerte. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443222>

1.2 Contexto Nacional de Cambio Climático.

A partir de la Quinta Comunicación Nacional a la CMNUCC, México ha logrado establecer un marco jurídico institucional en torno a las políticas de cambio climático con la finalidad de vincular los esfuerzos de los tres órganos de gobierno y de la sociedad, para cumplir las metas de los programas para la mitigación de compuestos de efecto invernadero, establecida por la normatividad internacional ya explicada anteriormente. En la Quinta Comunicación destacaron la puesta en vigor de la nueva Ley General de Cambio Climático y los resultados sobre los estudios prospectivos de una estrategia de desarrollo bajo en emisiones.

La alineación de las políticas públicas y la articulación de los arreglos institucionales en materia de cambio climático en México deriva de la Ley General de Cambio Climático (LGCC), del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND) y del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018 (PROMARNAT). La LGCC entró en vigor en octubre de 2012 y establece las pretensiones a las cuales México aspira en materia de mitigación a la reducción del 30% de emisiones para el año 2020 y 50% de reducción de emisiones para el año 2050 con relación a las emitidas en el año 2000.¹⁹

1.2.1 Ley General de Cambio Climático (LGCC)

La Ley General de Cambio Climático (LGCC),²⁰ es el principal ordenamiento jurídico que establece el marco de regulación y política nacional para atender las principales causas y enfrentar los efectos adversos del cambio climático a través de las siguientes acciones:²¹

- Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias

¹⁹ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2015. Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC/SEMARNAT, México.

²⁰ Ley General de Cambio Climático. (6-junio-2012). Diario Oficial de la Federación. México. Disponible en: b.mx/cms/uploads/attachment/file/347021/LGCC_130718.pdf

²¹ Cambio Climático: Principales acciones de adaptación y mitigación en México. Marco Jurídico Nacional e Internacional, Iniciativas presentadas, Opiniones especializadas. Subdirección de Análisis de Política Interior (SAPI), junio 2019. Ciudad de México.

antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2º. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.²²

- Regular las acciones para la mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y adaptación al cambio climático sustentada en instrumentos de diagnóstico, planificación, medición, monitoreo, reporte, verificación y evaluación.
- Definir las obligaciones del Estado y las facultades de los tres órdenes de gobierno para establecer los mecanismos institucionales necesarios para enfrentar este reto.

Los objetivos de las políticas públicas de la LGCC con respecto a la mitigación de GEI consisten en Promover:

- El desarrollo sustentable y el derecho a un medio ambiente sano.
- La sustitución de manera gradual, del uso y consumo de los combustibles fósiles por fuentes renovables de energía y generar electricidad a través de éstas.
- El desarrollo y uso de fuentes renovables de energía y la transferencia y desarrollo de tecnologías bajas en carbono.
- El incremento en el transporte público con altos estándares de eficiencia, privilegiando la sustitución de combustibles fósiles y el desarrollo de sistemas de transporte sustentable.

1.2.2 Sistema Nacional de Cambio Climático

Para lograr la coordinación efectiva de los distintos órdenes de gobierno y la concertación entre los sectores público, privado y social, la LGCC dispone del Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC), el cual tiene las siguientes funciones:

- 1) Fungir como un mecanismo permanente de concurrencia, comunicación, colaboración, coordinación y concertación sobre la política nacional de cambio climático.

²² Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas, 1992.

- 2) Promover la aplicación transversal de la política nacional de cambio climático en el corto, mediano y largo plazo entre las autoridades de los tres órdenes de gobierno, en el ámbito de sus respectivas competencias.
- 3) Coordinar los esfuerzos de la federación, las entidades federativas y los municipios para la realización de acciones de adaptación, mitigación y reducción de la vulnerabilidad, para enfrentar los efectos adversos del cambio climático, a través de los instrumentos de política previstos por la LGCC.

Sistema Nacional de Cambio Climático está integrado por:

- 1) Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC).
- 2) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- 3) Consejo de Cambio Climático (C3).
- 4) las entidades federativas.
- 5) Las asociaciones de autoridades municipales.
- 6) El Congreso de la Unión.

1.2.3 Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC).

Constituye el mecanismo permanente de coordinación de acciones entre las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal en materia de cambio climático. Está integrada por:

- 1) 14 secretarías de Estado: Secretaría de Gobernación (SEGOB), Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), Secretaría de Marina (SEMAR), Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Energía (SENER), Secretaría de Economía (SE), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Secretaría de Educación Pública (SEP), Secretaría de Salud (SSA), Secretaría de Turismo (SECTUR) y la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU).

- 2) 7 grupos de trabajo: Grupo de Trabajo para el Programa Especial de Cambio Climático (GT-PECC), Grupo de Trabajo de Políticas de Adaptación (GT-ADAPT), Grupo de Trabajo sobre Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (GT-REDD), Grupo de Trabajo de Negociaciones Internacionales en Materia de Cambio Climático (GT-INT), Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y de Captura de Gases de Efecto Invernadero (COMEGEI), Grupo de Trabajo de Vinculación con la Sociedad Civil (GT-VINC) y Grupo de Trabajo de Financiamiento (GT-FIN).
- 3) 1 invitado permanente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

La Comisión Intersecretarial de Cambio Climático tiene las siguientes funciones:

- Formular e instrumentar políticas nacionales para la mitigación y adaptación al cambio climático.
- Desarrollar los criterios de transversalidad e integralidad de las políticas públicas para que sean aplicadas por las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal centralizada y paraestatal.
- Aprobar la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC).
- Participar en la elaboración e instrumentación del Programa Especial de Cambio Climático (PECC).

1.2.4 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

A partir de la LGCC se crea el INECC, el cual es un organismo público descentralizado de la Administración Pública Federal y sectorizado en la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, entre sus funciones se encuentran las siguientes:

- Coordinar y realizar estudios y proyectos de investigación científica o tecnológica con instituciones académicas, de investigación, públicas o privadas, nacionales o extranjeras en materia de cambio climático, protección al ambiente y preservación y restauración del equilibrio ecológico.
- Realizar análisis de prospectiva sectorial, y colaborar en la elaboración de estrategias, planes, programas, instrumentos y acciones relacionadas con el desarrollo sustentable, el

medio ambiente y el cambio climático, incluyendo la estimación de los costos futuros asociados al cambio climático, y los beneficios derivados de las acciones para enfrentarlo.

- Emitir recomendaciones sobre las políticas y acciones de mitigación o adaptación al cambio climático, así como sobre las evaluaciones que en la materia realizan las dependencias de la administración pública federal centralizada y paraestatal, de las entidades federativas y de los municipios.
- Integrar la información para elaborar las comunicaciones nacionales que presenten los Estados Unidos Mexicanos ante la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).
- Elaborar cada dos años el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), integrarlo, monitorearlo y actualizarlo, de acuerdo con los lineamientos y metodologías establecidos por la Convención, la Conferencia de las Partes y el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático.²³

1.2.5 Consejo de Cambio Climático (C3)

Es un órgano permanente de consulta de la CICC y está integrado por miembros provenientes de los sectores social, privado y académico, con experiencia en cambio climático. Entre sus funciones destacan:

- Asesorar a la CICC y recomendarle la realización de estudios, políticas y acciones, así como fijar metas tendientes a enfrentar los efectos adversos del cambio climático.
- Promover la participación social, informada y responsable, mediante consultas públicas.

²³ Artículo 74 de la LGCC.

1.3 Instrumentos de Planeación derivados de la Ley General de Cambio Climático²⁴

1.3.1 Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND).

Establece, dentro del apartado “México Próspero”, la importancia de la reducción en la dependencia de combustibles fósiles. Al respecto, tiene como objetivo “Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo. Para esto necesita “Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono.”²⁵

1.3.2 Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40 (ENCC).²⁶

Es el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo (10, 20 y 40 años) para enfrentar los efectos del cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.²⁷ Describe los ejes estratégicos y líneas de acción a seguir para orientar las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático establecidas en la Ley General de Cambio Climático de los tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal) y fomentar la corresponsabilidad con los diversos sectores de la sociedad, más allá de los periodos administrativos y con una visión conjunta.

1.3.3 Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 (PECC 2009-2012).²⁸

Este programa reveló una serie de áreas de oportunidad, las cuales fueron identificadas a partir de una evaluación independiente. Posterior a este análisis, se determinó que debían reducirse, de

²⁴ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2015. Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC/SEMARNAT, México.

²⁵ Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. (20-mayo-2013). Diario Oficial de la Federación. México. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013.

²⁶ ENCC 2013. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40. Gobierno de la República.

²⁷ Artículo 60 de la LGCC.

²⁸ Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. 2012. Informe de Avances del Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012. 1ª ed. SEMARNAT. México.

manera significativa, las incertidumbres que existen en lo relacionado a las metodologías, a la documentación y al acceso de la información, además de que fortaleció el monitoreo regular y la redacción del reporte periódico de los avances. Considerando estas lecciones derivadas de este primer programa, y dado que se busca transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono, la Administración Pública Federal (APF) elaboró el PECC 2014-2018 con un enfoque más focalizado y alineado a la LGCC, la cual trata de priorizar las acciones de mitigación con mayor potencial de reducción al menor costo, y que además conlleven beneficios ambientales, económicos y sociales.²⁹

1.3.4 Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC 2014-2018).³⁰

Establece los objetivos, estrategias, acciones y metas para enfrentar el cambio climático mediante la definición de prioridades en materia de adaptación, mitigación, investigación, así como la asignación de responsabilidades, tiempos de ejecución, coordinación de acciones y de resultados y estimación de costos, de acuerdo con la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC). También retoma y articula las acciones establecidas en el PND 2013-2018, Este Programa Especial de Cambio Climático es congruente con el objetivo 4.4 y la estrategia 4.4.3 del PND 2013-2018 que se refieren al fortalecimiento de la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono.

La ENCC y los programas sectoriales de 14 secretarías de Estado, incluyen medidas que reducirán la emisión de gases y compuestos de efecto invernadero y además mejorarán nuestra capacidad de respuesta ante fenómenos ambientales. Para ello, el PECC establece cinco objetivos, 26 estrategias y 199 líneas de acción, de las cuales 81 se enfocan en la mitigación de emisiones; y conforme a lo establecido en la LGCC, las entidades federativas deben elaborar programas estatales de cambio climático que sean coherentes con la ENCC y el PECC 2014-2018. Asimismo, éstas deben elaborar e integrar la información de las categorías de fuentes emisoras de gases de efecto invernadero

²⁹ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2015. Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC/SEMARNAT, México.

³⁰

(GEI) de su jurisdicción, para su incorporación al inventario y en su caso, las entidades federativas, deberán integrar el inventario estatal de emisiones.

1.3.5 Principales Normas Oficiales que contribuyen a la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en México.

En México se han publicado o actualizado nueve normas de eficiencia energética, cuatro normas de transporte, una en materia de residuos y otra referente a fuentes fijas. Considerando sólo el sector transporte, se tienen las siguientes:

- NOM-042- SEMARNAT-2003 07/09/2005. Establecer los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.
- NOM-044-SEMARNAT-2006 30/06/2014. Establece los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes provenientes del escape de motores pesados nuevos que usan diésel como combustible.
- NOM-163-SEMARNAT-ENERSCFI-2013 21/06/2013. Establece los parámetros y la metodología para el cálculo de valor máximo permisible de emisiones de bióxido de carbono (CO₂) en términos de rendimiento de combustible.

1.4 Las Comunicaciones Nacionales sobre Cambio Climático

Actualmente 196 países forman parte de la CMNUCC. México firmó la Convención el 13 de junio de 1992 y la ratificó ante la ONU el 11 de marzo de 1993, con lo que asumió el compromiso ante la comunidad internacional de cumplir con los lineamientos ahí establecidos.³¹ México ha presentado cinco Comunicaciones Nacionales ante la Convención (1997, 2001, 2006, 2010, 2012

³¹ INECC. 2018. México y las Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Resumen Informativo. Ciudad de México.

y 2018) y ha sido el único país de América Latina en haberlo hecho (Tabla 2). Las Comunicaciones Nacionales sobre Cambio Climático son el principal instrumento de informe ante la CMNUCC y tienen como objetivo:

# de Comunicación Nacional y fecha	Periodo de datos reportados (GEI)	Descripción	Lugar
1ª, 1997	1990	<ul style="list-style-type: none"> Primera estimación nacional de las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI). Proporciona una visión general de las circunstancias nacionales respecto al cambio climático y los avances y resultados de los primeros estudios de vulnerabilidad del país ante el cambio climático. 	
2ª, 2001	1994, 1996 y 1998	<ul style="list-style-type: none"> Comprende la actualización del inventario nacional. Las emisiones de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura sólo se presentaron datos para 1996. Incluyó escenarios de emisiones de GEI futuras. 	
3ª, 2006	1990 - 2002	<ul style="list-style-type: none"> Las emisiones de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura considera el periodo 1993-2002. incluyó nuevos cálculos para el periodo 1990-2002 	COP15 celebrada en Copenhague, Dinamarca
4ª, 2009	1990 - 2006	<ul style="list-style-type: none"> Incluye los avances nacionales en materia de cambio climático a partir de la publicación de la Tercera Comunicación. Actualización y recálculo del inventario nacional. 	
5ª, 2012	1990 - 2010	<ul style="list-style-type: none"> Incluye los avances nacionales en materia de cambio climático entre la Cuarta y Quinta Comunicaciones Nacionales. Incorpora el tema de cambio climático en ciudades. Actualización y recálculo del inventario nacional. 	
6ª, 2018	1990 - 2015	<ul style="list-style-type: none"> La actualización del INEGYCEI 1990-2015. Segundo Informe Bienal de Actualización con las metodologías más recientes del Grupo IPCC. Acciones realizadas en materia de mitigación y adaptación al cambio climático (20012-2017). 	

Tabla 2. Comunicaciones Nacionales presentadas ante la CMNUCC (1997-2018).

- Informar los esfuerzos de las Partes para hacer frente al cambio climático.
- Informar las limitaciones, problemas y carencias que los países enfrentan frente al cambio climático.
- Ayudar a los países a ajustar sus intereses y prioridades a los objetivos globales de la Convención.
- Resaltar y diseminar la preocupación sobre el cambio climático a una amplia audiencia nacional e internacional.

1.5 Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024 (PROMARNAT 2020-2024)

Algunos aspectos de la normativa mexicana están alineados a los periodos sexenales, por lo cual se presentan discrepancias al momento de analizar la información cuando termina un periodo sexenal y comienza otro. En este nuevo sexenio se presentan algunas modificaciones a estas normativas y se plantean nuevas modificaciones y creaciones de planes de desarrollo en función de la ausencia y/o disponibilidad de resultados en cuanto a la mitigación del cambio climático en nuestro país. Como parte del Acuerdo de Paris, en 2015 México presentó a la Convención Marco de las Naciones Unidas contra el Cambio Climático (CMNUCC) sus Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC) la cual incluye, dentro de sus metas de mitigación lo siguiente:

- Reducción del 22 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el año 2030
- Reducción del 51% de carbono negro (CN) para el año 2030.

En función de lo anterior, el nuevo sexenio ha establecido un nuevo Programa Sectorial derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024,³² cuyo objetivo principal y estrategia con respecto al cambio climático son los siguientes:

³² DOF: 07/07/2020. Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596232&fecha=07/07/2020

- Fortalecer la acción climática a fin de transitar hacia una economía baja en carbono y una población, ecosistemas, sistemas productivos e infraestructura estratégica resiliente, con el apoyo de los conocimientos científicos, tradicionales y tecnológicos disponibles
- Actualizar y fortalecer el marco normativo y regulatorio ambiental en materia de emisiones, descargas, residuos peligrosos y transferencia de contaminantes para prevenir, controlar, mitigar, remediar y reparar los daños ocasionados por la contaminación del aire, suelo y agua.

Este nuevo programa se debe en parte al debilitamiento en diversos sectores que ha venido presentando la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), desde hace ya 25 años, como recorte presupuestal, debilitamiento de la plantilla de funcionarios (cada vez con menor capacidad técnica y operativa), así como la falta de articulación funcional dentro de la misma secretaría y con otros sectores de la administración pública. El predominio de los objetivos económicos sobre los ecológicos y sociales ha afectado la fortaleza y eficiencia de la gestión ambiental de la institución, contribuyendo a su debilidad actual y a sus impedimentos para cumplir sus atribuciones y ordenamientos legales vigentes. Todo esto en su conjunto ha mermado la política ambiental nacional.

En el siguiente capítulo se retomarán los lineamientos establecidos por el IPCC para establecer el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero con base a las directrices del IPCC 2006, ya que el Refinamiento de 2019 al IPCC de 2006 aún no se encuentra disponible.

1.6 Contaminación del aire

El cambio climático es el mayor desafío de nuestro tiempo y ahora nos encontramos en un momento decisivo para hacer algo al respecto. Todavía estamos a tiempo de hacer frente al cambio climático, pero esto requerirá un esfuerzo sin precedentes por parte de todos los sectores de la sociedad.

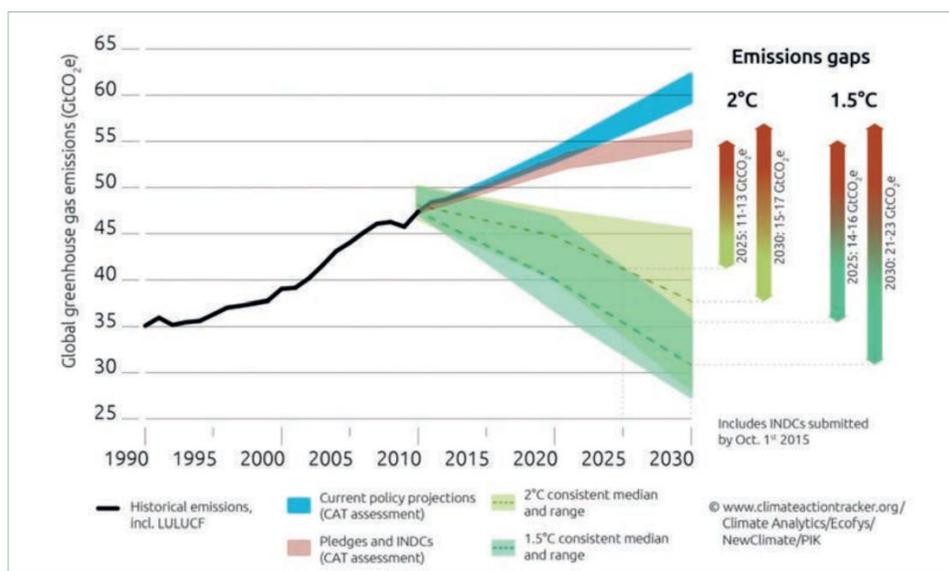


Gráfico 2. Proyecciones de políticas actuales, mediciones, rangos y objetivos

Las emisiones a nivel mundial están alcanzando unos niveles sin precedentes que parece que aún no han llegado a su cota máxima. Los últimos cuatro años han sido los más calurosos de la historia y las temperaturas invernales del Ártico han aumentado 3 °C desde 1990 (Gráfico 2). Los niveles del mar están subiendo, los arrecifes de coral se mueren y estamos empezando a ver el impacto fatal del cambio climático en la salud a través de la contaminación del aire, las olas de calor y los riesgos en la seguridad alimentaria.

Los impactos del cambio climático se sienten en todas partes y están teniendo consecuencias muy reales en la vida de las personas. Las economías nacionales se están viendo afectadas por el cambio climático, lo cual nos está costando caro y resultará aún más costoso en el futuro. Pero se empieza

a reconocer que ahora existen soluciones asequibles y escalables que nos permitirán dar el salto a economías más limpias y resilientes.

Los últimos análisis indican que, si actuamos ya, podemos reducir las emisiones de carbono de aquí a 12 años y frenar el aumento de la temperatura media anual por debajo de los 2 °C, o incluso a 1.5 °C por encima de los niveles preindustriales, según los datos científicos más recientes.

Por suerte contamos con el Acuerdo de París, un marco normativo visionario, viable y puntero que detalla exactamente las medidas a tomar para detener la alteración del clima e invertir su impacto. Sin embargo, este acuerdo no tiene sentido en sí mismo si no se acompaña de una acción ambiciosa.

El Secretario General de la ONU, ha hecho un llamamiento a todos los líderes para mejorar sus contribuciones concretas a nivel nacional para 2020, siguiendo la directriz de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 45 % en los próximos diez años y a cero para 2050.

Para que sean efectivos y fiables, estos planes no pueden enfrentarse a la reducción de forma aislada, deben mostrar vías de transformación concretas siguiendo los objetivos de desarrollo sostenible. No deberían generar ganadores y perdedores, ni aumentar la desigualdad económica. Tienen que ser justos, crear nuevas oportunidades y proteger a aquellos que se ven afectados por los impactos negativos en el contexto de una transición justa.

Para asegurar que las acciones de transformación tengan el mayor impacto posible en la economía real, existen algunas que tienen un alto potencial para frenar las emisiones de gases de efecto invernadero y una acción global para la adaptación y la resiliencia¹.

En este sentido las finanzas deben promover la movilización de fuentes de financiación públicas y privadas, para impulsar la descarbonización de todos los sectores prioritarios y promover la resiliencia. Otra acción importante es la transición energética que demanda la aceleración del cambio de combustibles fósiles hacia la energía renovable, en los casos que sea factible llevarlo a cabo, además de la obtención de mejoras sustanciales en eficiencia energética.

1.6.1 Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios [OMS]

- Los contaminantes primarios son los que se emiten directamente a la atmósfera⁴ como el dióxido de azufre SO_2 , que daña directamente la vegetación y es irritante para los pulmones.
- Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Son importantes contaminantes secundarios el ácido sulfúrico, H_2SO_4 , que se forma por la oxidación del SO_3 , el dióxido de nitrógeno NO_2 , que se forma al oxidarse el contaminante primario NO y el ozono, O_3 , que se forma a partir del oxígeno O_2 .

Ambos contaminantes, primarios y secundarios, pueden depositarse en la superficie de la Tierra por precipitación, deposición seca o húmeda e impactar en determinados receptores, como personas, animales, ecosistemas acuáticos, bosques, cosechas y materiales. En todos los países existen unos límites impuestos a determinados contaminantes que pueden incidir sobre la salud de la población y su bienestar.

En nuestra Ciudad de México, existe funcionando una red de vigilancia de la contaminación atmosférica, instaladas en las diferentes zonas y que efectúan medidas de una variada gama de contaminantes que abarcan desde los óxidos de azufre y nitrógeno hasta hidrocarburos, con sistemas de captación de partículas, monóxido de carbono, ozono, metales pesados, etc.

1.6.2 Principales tipos de contaminantes del aire

En ambientes exteriores e interiores los vapores y contaminantes gaseosos aparecen en diferentes concentraciones. Los contaminantes gaseosos más comunes son: el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono. Diferentes fuentes producen estos compuestos químicos pero la principal fuente artificial es la quema de combustible fósil. La contaminación del aire interior es producida por el consumo de tabaco, el uso de ciertos materiales de construcción, productos de limpieza y muebles del hogar. Los contaminantes gaseosos del aire provienen de volcanes, e industrias. El tipo más comúnmente

reconocido de contaminación del aire es la niebla tóxica (smog), generalmente se refiere a una condición producida por la acción de la luz solar sobre los gases de escape de automotores, fábricas, edificios, casas, etc.

Los aerosoles, también llamados partículas en suspensión o material particulado son una mezcla heterogénea de partículas sólidas o líquidas suspendidas en un gas, como el aire de la atmósfera. Algunas partículas son lo suficientemente grandes y oscuras para verse en forma de hollín o humo. Otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse con un microscopio electrónico. Cuando se respira el aerosol, las partículas que contiene pueden entrar en los pulmones, irritarlos y dañarlos, con lo cual se producen problemas respiratorios. Los aerosoles de carbono negro tienen la capacidad de adsorber compuestos cancerígenos en la superficie de sus partículas. Las partículas finas (representadas con PM_{2.5}, mientras que las gruesas se representan con PM₁₀) se inhalan de manera fácil profundamente dentro de los pulmones, donde pueden permanecer durante prolongados períodos de tiempo causando efectos irritantes, inflamatorios y cancerígenos o ser absorbidas por el torrente sanguíneo.

1.6.3 Gases contaminantes de la atmósfera

Monóxido de carbono

Es uno de los productos de la combustión incompleta. Es peligroso para las personas y los animales, puesto que se fija en la hemoglobina de la sangre, impidiendo el transporte de oxígeno en el organismo. Además, es inodoro, y a la hora de sentir un ligero dolor de cabeza ya es demasiado tarde. Se diluye muy fácilmente en el aire ambiental, pero en un medio cerrado, su concentración lo hace muy tóxico, incluso mortal. Cada año, aparecen varios casos de intoxicación mortal, a causa de aparatos de combustión puestos en funcionamiento en una habitación mal ventilada.

Los motores de combustión interna de los automóviles emiten monóxido de carbono a la atmósfera por lo que en las áreas muy urbanizadas tiende a haber una concentración excesiva de este gas hasta llegar a concentraciones de 50-100 ppm, tasas que son peligrosas para la salud de las personas.

Dióxido de carbono

La concentración de CO₂ en la atmósfera está aumentando de forma constante debido al uso de carburantes fósiles como fuente de energía y es teóricamente posible demostrar que este hecho es el causante de producir un incremento de la temperatura de la Tierra –efecto invernadero– La amplitud con que este efecto puede cambiar el clima mundial depende de los datos empleados en un modelo teórico, de manera que hay modelos que predicen cambios rápidos y desastrosos del clima y otros que señalan efectos climáticos limitados. La reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera permitiría que el ciclo total del carbono alcanzara el equilibrio a través de los grandes sumideros de carbono como son el océano profundo y los sedimentos. Está formado por una molécula lineal de un átomo de carbono ligado a dos átomos de oxígeno de forma O = C = O.

Monóxido de nitrógeno

También llamado óxido de nitrógeno es un gas incoloro y poco soluble en agua que se produce por la quema de combustibles fósiles en el transporte y la industria. Se oxida muy rápidamente convirtiéndose en dióxido de nitrógeno, NO₂, y posteriormente en ácido nítrico, HNO₃, produciendo así lluvia ácida o efecto invernadero.

Dióxido de azufre

La principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión del carbón que contiene azufre. El SO₂ resultante de la combustión del azufre, que se oxida y forma ácido sulfúrico, H₂SO₄, un componente de la llamada lluvia ácida que es nocivo para las plantas, provocando manchas allí donde las gotitas del ácido hacen contacto con las hojas. La lluvia ácida se forma cuando la humedad en el aire se combina con el óxido de nitrógeno o el dióxido de azufre emitido por fábricas, centrales eléctricas y automotores que queman carbón o aceite. Esta combinación química de gases con el vapor de agua forma el ácido sulfúrico y los ácidos nítricos, sustancias que caen en el suelo en forma de precipitación o lluvia ácida. Los contaminantes que pueden formar la lluvia ácida pueden recorrer grandes distancias, y los vientos los trasladan miles de kilómetros antes de precipitarse con el rocío, la llovizna, o lluvia, el granizo, la nieve o la niebla normales del lugar, que se vuelven ácidos al combinarse con dichos gases residuales.

El SO_2 también ataca a los materiales de construcción que suelen estar formados por minerales carbonatados, como la piedra caliza o el mármol, formando sustancias solubles en el agua y afectando a la integridad y la vida de los edificios o esculturas.

Metano

El metano, CH_4 , es un gas que se forma cuando la materia orgánica se descompone en condiciones en que hay escasez de oxígeno; esto es lo que ocurre en las ciénagas, en los pantanos y en los arrozales de los países húmedos tropicales. También se produce en los procesos de la digestión y defecación de los animales herbívoros. El metano es un gas de efecto invernadero del planeta Tierra ya que aumenta la capacidad de retención del calor por la atmósfera.

Ozono

El ozono O_3 es un constituyente natural de la atmósfera y es considerado un contaminante cuando se encuentra en las capas más bajas de ella (troposfera). Su concentración a nivel del mar, puede oscilar alrededor de 0.01 mg kg^{-1} . Cuando la contaminación debida a los gases de escape de los automóviles es elevada y la radiación solar es intensa, el nivel de ozono aumenta y puede llegar hasta 0.1 mg kg^{-1} . Las plantas pueden ser afectadas en su desarrollo por concentraciones pequeñas de ozono. El hombre también resulta afectado por el ozono a concentraciones entre 0.05 y 0.1 mg kg^{-1} , causándole irritación de las fosas nasales y garganta, así como sequedad de las mucosas de las vías respiratorias superiores.

Capítulo 2

Descripción de un Inventario de Emisiones y su importancia.

2.1 ¿Qué es un inventario de emisiones?

Un inventario de emisiones es una herramienta de gestión de la calidad del aire, no obstante, la definición se basa de manera simple en la cantidad de sustancias emitidas al ambiente como producto de la combustión y evaporación de los combustibles de cualquier fuente y en el caso particular de las fuentes móviles, de manera adicional el material particulado emitido por el desgaste de los frenos y de los neumáticos en un periodo de tiempo establecido.

2.1.1 Propósito de un inventario de emisiones

Definir el uso que se le dará al inventario es crucial para su desarrollo, ya que esto definirá tanto sus características técnicas como el grado de detalle de la información que se requiera recopilar o generar. Para las autoridades ambientales el propósito fundamental de los inventarios de emisiones es contar con información precisa de las tasas de emisión de los contaminantes del aire y sus diferentes fuentes emisoras, para definir políticas de prevención y control de la contaminación del aire en sus ciudades. Los inventarios de emisiones permiten:

- Identificar las fuentes o sectores económicos que contribuyen con los mayores volúmenes de emisiones por tipo de contaminante, para diseñar e implementar medidas de control para reducir sus emisiones.
- Evaluar el impacto de las políticas ambientales implementadas para reducir las emisiones contaminantes.
- Aplicar modelos de calidad del aire para evaluar el impacto de las estrategias de control de emisiones antes o después de su implementación.
- Analizar el alcance geográfico de las emisiones de los contaminantes atmosféricos que se generan en una región.

Para empresas privadas y la industria en general, la estimación de emisiones puede emplearse para distintos propósitos que varían dependiendo de sus necesidades. Algunas pueden ser:

- Cuantificar las emisiones que genera el establecimiento para implementar programas para reducirlas.
- Determinar el grado de cumplimiento de regulaciones específicas
- Determinar las especificaciones técnicas del equipo de control de emisiones.

Además, el propósito de un inventario de emisiones debe referirse a las necesidades presentes y futuras de la calidad del aire. Se debe hacer un intento para identificar las necesidades futuras de calidad del aire al determinar el alcance del inventario. Algunas veces puede ser difícil proyectar estas necesidades futuras. En otros casos, sin embargo, estas necesidades serán más claras y con una pequeña ampliación de los recursos se puede aumentar de manera significativa la utilidad final del inventario.

2.1.2 Clasificación de los inventarios de emisiones

Los inventarios de emisiones, atendiendo a la fuente de emisión, se pueden clasificar en inventarios de:

- 1) Fuentes puntuales: sector industrial.
- 2) Fuentes móviles: sector transporte.
- 3) Fuentes de área: sector doméstico, comercial y de servicio.
- 4) Fuentes naturales: suelo y vegetación.

Y con respecto a la emisión del tipo de contaminante, se pueden clasificar en:

- 1) Inventario de emisiones de contaminantes criterio incluirá: PM_{10} , $PM_{2.5}$, Dióxido de azufre (SO_2), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Monóxido de carbono (CO), Compuestos orgánicos volátiles (COV) y Amoniac (NH₃).
- 2) Inventario de Compuestos Tóxicos (Tolueno, Xileno, Metil ter-butyl éter (MTBE), 2,2,4-Trimetilpentano, Benceno. Etilbenceno, Hexano, Formaldehído, 1,3-Butadieno, Naftaleno, otros.

- 3) Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI): Bióxido (CO_2), Metano (CH_4), Óxido nitroso (N_2O), Hidrofluorocarbonos (HFCs), Perfluorocarbonos (PFC). Hexafluoruro de azufre (SF_6) y trifluoruro de nitrógeno (NF_3).³³

Los inventarios de emisiones de fuentes móviles, que es el tema principal de esta tesis, pueden desarrollarse para un día, una semana, un mes a un año calendario por tipo de vehículo, uso de combustible, año modelo, municipio, estado o país, según el nivel de desagregación que se requiera o la calidad y disponibilidad de los insumos. Las emisiones vehiculares debido al tráfico vehicular se pueden clasificar en dos grupos:

- 1) Contaminantes primarios. Son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera como resultado de un proceso de combustión, entre estos contaminantes se encuentran: dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), vapores de combustibles y solventes, plomo (Pb) y partículas suspendidas.
- 2) Contaminantes secundarios. Son aquellos que se forman como consecuencia de las reacciones y transformaciones que experimentan los contaminantes primarios una vez que se han liberado a la atmósfera, tal como el ozono (O_3), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y algunos tipos de partículas.

Ambos contaminantes, primarios y secundarios, pueden depositarse en la superficie de la Tierra por precipitación, deposición seca o húmeda e impactar en determinados receptores, como personas, animales, ecosistemas acuáticos, bosques, cosechas y materiales. En todos los países existen unos límites impuestos a determinados contaminantes que pueden incidir sobre la salud de la población y su bienestar.

Las emisiones de vehículos automotores están integradas por un gran número de contaminantes que provienen de muchos procesos diferentes. Las más comúnmente consideradas son las provenientes del escape, que resultan de la combustión del combustible y que son liberadas por el

³³ El NF_3 es el séptimo GEI añadido a la normatividad internacional contemplada por el Protocolo de Kioto y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). El NF_3 se agregó al segundo periodo de cumplimiento del Protocolo de Kioto, que comenzó en el 2012 y finalizará en el 2017 o 2020.

escape del vehículo. Los contaminantes de interés clave en este tipo de emisiones incluyen óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), monóxido de carbono (CO) y las partículas PM. También incluye los gases efecto invernadero como es el CO₂.

¿Por qué es importante hacer un inventario de emisiones provenientes de fuentes móviles (vehículos ligeros)? Para dar respuesta a esta cuestión podemos considerar los siguientes propósitos como los de mayor relevancia:

- Estimar los impactos en la calidad del aire a través de estudios de modelado.
- Determinar la aplicabilidad de licencias y otros requerimientos regulatorios.
- Determinar el grado de cumplimiento de una fuente para las aplicaciones de la licencia.
- Estimar los cambios en las emisiones de la fuente para las aplicaciones de la licencia.
- Determinar las especificaciones técnicas del equipo de control de emisiones.
- Rastrear los niveles de emisiones en el tiempo.
- Identificar las contribuciones de la emisión por categoría de fuente o por fuente específica.
- Cumplir con los requerimientos de reporte de emisiones y,
- Cumplir con las regulaciones que requieren el desarrollo de inventarios de emisiones muy completos.

Tomando en cuenta estos razonamientos se podrán desarrollar mejores inventarios de emisiones que contribuirán con el proceso de gestión de la calidad del aire en la megalópolis. Se estima que el transporte contribuye en un 60% de la contaminación ambiental, la industria en un 18 %, la generación de energía en 13%, calefacción doméstica en un 6 % y la incineración y otros en un 3%.³⁴

2.2 Inventario de emisiones en otros países.

2.2.1 China

Los últimos informes de la Comisión Europea, la Unión Europea, así como de entidades privadas, coinciden en que son cinco los principales países o regiones que emiten gases de efecto invernadero a nivel mundial.³⁵ China (Figura 4) es el primero con un 27% de emisiones totales de gases GEI, después de China sigue Estados Unidos con un 13% de las emisiones mundiales y en tercer lugar se tiene a la Unión Europea y cuarto a la India con un 7% en ambas regiones. En quinto lugar, se encuentra Rusia con una contribución del 4.6% de las emisiones globales (Figura 5). Además de este top de países, hay que destacar que el G20, las principales potencias económicas del mundo emiten alrededor del 78% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Esta cifra pone de manifiesto el alto contraste que existe en el mundo, ya que solo 20 países de 195 son capaces de lanzar más de las tres cuartas partes de GEI a la Tierra.



Figura 4. Contaminación ambiental en China.

³⁵ El Ágora, Madrid. 20 de noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.elagoradiario.com/agorapedia/paises-emisores-gases-de-efecto-invernadero/>

Principales emisores de gases de efecto invernadero en el mundo en 2015

[kilotoneladas de equivalente de CO₂]

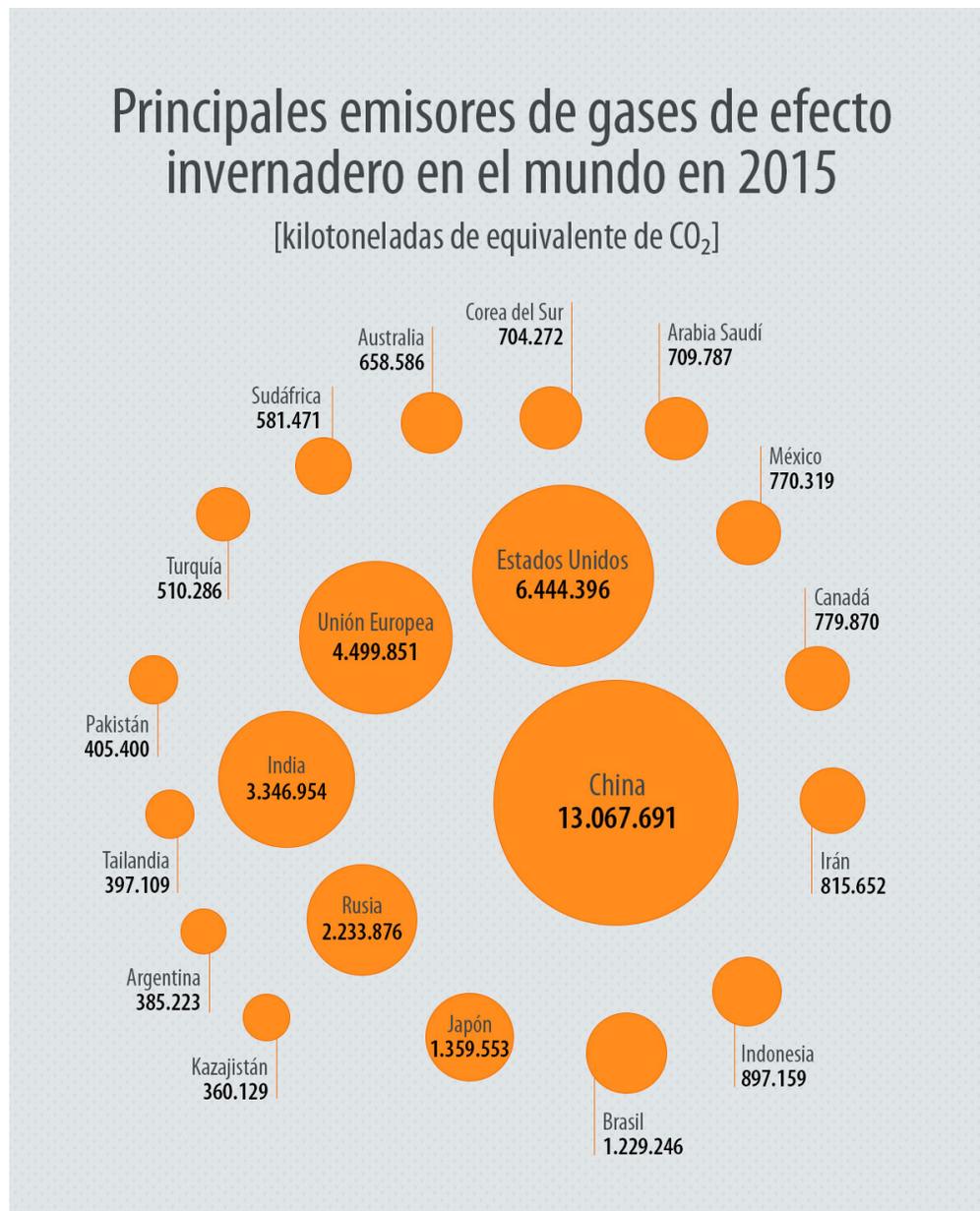


Figura 5. Principales países y regiones contaminantes en 2015, según información del 2019 de la Comisión Europea (CE).³⁶ Fuente: Informe de JRC sobre emisiones de CO₂ fósil y gases de efecto invernadero de todos los países del mundo (2019).

Como anteriormente ya se mencionó, China es uno de los países que más contribuye significativamente en las emisiones contaminantes, la cifra anunciada por el ministro chino de

³⁶ Noticias, Parlamento Europeo. 7 de marzo de 2018. Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector (infografía). Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>

Medio Ambiente en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 2014, fue de 12,300,000 de kilotoneladas de gases de efecto invernadero, por lo que se espera que las emisiones chinas alcancen su punto máximo en 2030 y luego disminuyan drásticamente en los siguientes años.

Las emisiones de gases de efecto invernadero en China aumentaron en más del 50% en el periodo 2005-2014. Según el informe presentado por el Ministro de Medio Ambiente de China a las Naciones Unidas, en 2014 las emisiones del país asiático alcanzaron una cifra récord de 12,300,000 kilotoneladas de toneladas, como ya se describió antes, esta cantidad significa un aumento del 53.5% en comparación con los niveles indicados por las autoridades chinas sólo nueve años antes. China es el mayor emisor de contaminantes de efecto invernadero en el mundo, por lo que las autoridades chinas se han comprometido a proporcionar una especie de “inventario” de emisiones basado en criterios científicos específicos (y fiables) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El gobierno de Pekín ya ha presentado dos informes en 2005 y 2010.

Un estudio publicado en Nature Geoscience el año pasado estimó que las emisiones chinas para 2013 habían alcanzado los 9,530 millones de toneladas y estaban a punto de disminuir en los próximos años. El informe presentado por las propias autoridades chinas a la ONU contradice las previsiones, mientras que es probable que los niveles récord alcanzados en los últimos años por sectores particularmente hambrientos de energía, como la producción de metales, hayan hecho que las emisiones sean incluso superiores a las declaradas para 2014.³⁷

El informe de emisiones de 2014 tiene en cuenta el aumento de las emisiones de dióxido de carbono y metano, pero no considera ciertos aspectos que mitigan la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, como las áreas reforestadas o las áreas que han sido recuperadas. El ministro de Medio Ambiente, Li Ganjie dijo: si se hubiera tenido en cuenta el efecto de los bosques y de otros “sumideros de carbono”, el cálculo de las emisiones chinas se habría reducido a 11,186 millones de toneladas, frente a los niveles registrados en 2010 “sólo” en un 17%. China espera que

³⁷ Emisión de Gases Contaminantes en China La contaminación Sus causas y consecuencias; como así también sus soluciones. 2019. Rivas Nuria, Centurión Ludmila, Sousa Misael, Centurión Melina, Bodego Braian.

sus emisiones de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo alrededor de 2030: un análisis reciente de Bloomberg New Energy Finance indica que el punto máximo de emisiones del sector energético chino debería llegar ya en 2027 y que para 2030 los niveles de CO₂ y metano en el sector podrían caer en un 79% en comparación con la cifra de 2005.

El sector energético chino está experimentando una rápida reconversión gracias al abandono del carbón y a un nuevo impulso impuesto al sector nuclear con la previsión de construir al menos 6-8 centrales al año hasta 2030. Al mismo tiempo, China sigue siendo uno de los principales inversores mundiales en energías renovables, con un crecimiento récord (+12%) de la capacidad instalada en 2018. En la primavera pasada, el gobierno de Pekín lanzó una campaña masiva contra la contaminación que llevó a cientos de controles en fábricas y empresas de todo el país y a la persecución pública de 82 empresas estatales por la contaminación. Sin embargo, de acuerdo con los recientes informes de la Comisión Europea de 2019, China sigue siendo considerado como el principal emisor de gases de efecto invernadero con una contribución de 13,067,961 kt CO₂.³⁸

³⁸ Noticias, Parlamento Europeo. 7 de marzo de 2018. Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector (infografía). Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>

2.2.2 La Unión Europea.

Actualmente la Unión Europea ha asumido el compromiso ante las Naciones Unidas de informar anualmente sobre las emisiones registradas en esta región, por lo que, anualmente en primavera, la Comisión Europea elabora el inventario de gases de efecto invernadero de la UE, con la participación de diversas instituciones como la Dirección General de Acción por el Clima de la Comisión Europea (DG CLIMA), la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) y su Centro temático europeo sobre contaminación atmosférica y Mitigación del clima y energía (ETC/CME), Eurostat y el Centro Común de Investigación (JRC).

El inventario de GEI de la UE comprende la suma directa de las emisiones de los inventarios nacionales compilados por los países que componen la UE-27 más Islandia más el Reino Unido. Se utilizan datos energéticos de Eurostat para el enfoque de referencia para las emisiones de CO₂ de los combustibles fósiles, desarrollado por el Intergubernamental Panel de Cambio Climático (IPCC).³⁹

2.2.2.1 Países que integran la Unión Europea

Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía y Suecia (Figura 6).

³⁹ Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2018 and inventory report 2020. Submission to the UNFCCC Secretariat 27 May 2020. European Environment Agency.



Figura 6. Países que integran a la Unión Europea (UE).

2.2.2.2 Inventario de Emisiones GEI en la Unión Europea

Los periodos de inventario van desde el año de referencia (por lo general, 1990) y se extiende hasta dos años antes del año en curso (es decir, en los inventarios de 2014 por ejemplo, incluían las emisiones hasta 2012). El inventario de emisiones de la Unión Europea es una compilación de los inventarios nacionales conforme a las emisiones de gases de efecto invernadero notificadas en el marco del mecanismo de seguimiento de la Unión Europea, por lo que ella y sus estados miembros han asumido ante las Naciones Unidas el compromiso de:

- Informar cada año sobre las emisiones registradas “inventario de gases de efecto invernadero”.
- Notificar periódicamente sus políticas y medidas contra el cambio climático “comunicaciones nacionales”.

Todos los Estados miembros de la Unión Europea están obligados a realizar el seguimiento de sus emisiones de gases de efecto invernadero, en el marco un mecanismo europeo que establece normas de notificación internas conformes a las obligaciones asumidas a nivel internacional. En los informes se incluyen:

- las emisiones de siete gases de efecto invernadero ("inventario de gases de efecto invernadero") en todos los sectores: energía, procesos industriales, uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, residuos, agricultura, etc.
- las proyecciones, políticas y medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- las medidas nacionales de adaptación al cambio climático.
- las estrategias de baja emisión de carbono.
- la asistencia técnica y financiera para países en desarrollo y otros compromisos similares en el marco del Acuerdo de Copenhague (2009) y de los Acuerdos de Cancún (2010).
- la utilización que hacen los gobiernos nacionales de los ingresos (estimados en unos 11,000 millones de euros en 2013) procedentes de las subastas de derechos de emisión en el régimen de comercio de la Unión Europea (se han comprometido a destinar, como mínimo, la mitad de esos ingresos a medidas relacionadas con el cambio climático dentro y fuera de la Unión Europea).

2.2.2.3 El proceso anual de compilación del inventario de GEI de la UE

El inventario de GEI de la UE comprende la suma directa de las emisiones de los inventarios nacionales compilados por los países que componen la UE-27 más Islandia y más el Reino Unido. Se utilizan datos energéticos de Eurostat⁴⁰ para el enfoque de referencia para las emisiones de CO₂ de los combustibles fósiles, desarrollado por el Intergubernamental Panel de Cambio Climático (IPCC).

El proceso anual de compilación del inventario de GEI de la UE se describe a continuación:

- 1) Los Estados miembros de la UE envían sus inventarios anuales de GEI antes del 15 de enero de cada año a la Comisión Europea, con una copia a la AEMA.

⁴⁰ Eurostat es la oficina de estadística de la Unión Europea

- 2) A continuación, la AEMA y su ETC/CME, Eurostat y el CCI realizan comprobaciones iniciales de los datos presentados. Los resultados específicos de estas comprobaciones se comunicarán a los Estados miembros antes del 28 de febrero. Además, el proyecto de inventario e informe de inventario de GEI de la UE se distribuye a los Estados miembros para su revisión y comentarios antes del 28 de febrero.
- 3) Los Estados miembros verificarán sus datos nacionales y la información presentada en el informe del inventario de GEI de la UE, y responderán a las conclusiones específicas de las comprobaciones iniciales realizadas por el equipo de inventario de la UE, después enviarán las actualizaciones si es necesario y revisarán el informe del inventario de la UE antes del 15 de marzo.
- 4) Finalmente, Eurostat publicará de forma anticipada las emisiones de CO₂ resultantes en torno a abril o mayo. Estas estimaciones se refieren a un gas y un sector, exclusivamente. Para facilitar datos más completos, los países también dan a conocer cada año un inventario aproximado que incluye estimaciones anticipadas de las emisiones totales del año anterior, cuya publicación suele producirse en otoño.

2.2.2.4 Informes sobre los progresos en la acción por el clima

El mecanismo de seguimiento también obliga a la Comisión a presentar un informe anual sobre los progresos hacia los objetivos de Kioto y de la UE, que abarca tanto las emisiones reales (históricas) como las emisiones previstas en cada país. También incluye información sobre las políticas y medidas de la UE, la financiación y la adaptación al cambio climático. Por su parte, la Agencia Europea de Medio Ambiente también publica cada otoño un informe más detallado sobre las tendencias y proyecciones en materia de emisiones. En los informes se debe incluir:

- emisiones y absorciones
- políticas y medidas para reducir las emisiones
- otras actividades llevadas a cabo para aplicar la Convención.

Desde 2014, también tienen la obligación de presentar un informe intermedio cada dos años (o "informe bienal") que cubra los periodos entre las comunicaciones nacionales

En el gráfico 3 puede observarse qué países de la Unión Europea contribuyen más en la producción de gases de efecto de invernadero (GEI) como Alemania (906,611 kt CO₂), Inglaterra (470,509 CO₂), Francia (464,593 CO₂), Italia (427,708 CO₂), Polonia (413,781 CO₂) y España (340,231 CO₂). La Unión Europea contribuye a la producción mundial de gases de efecto invernadero en un total de 4,323,163 kt CO₂, por lo que ocupa el tercer lugar en contribuciones contaminantes de emisiones GEI a nivel mundial (véase la figura 7, en el apartado de China).

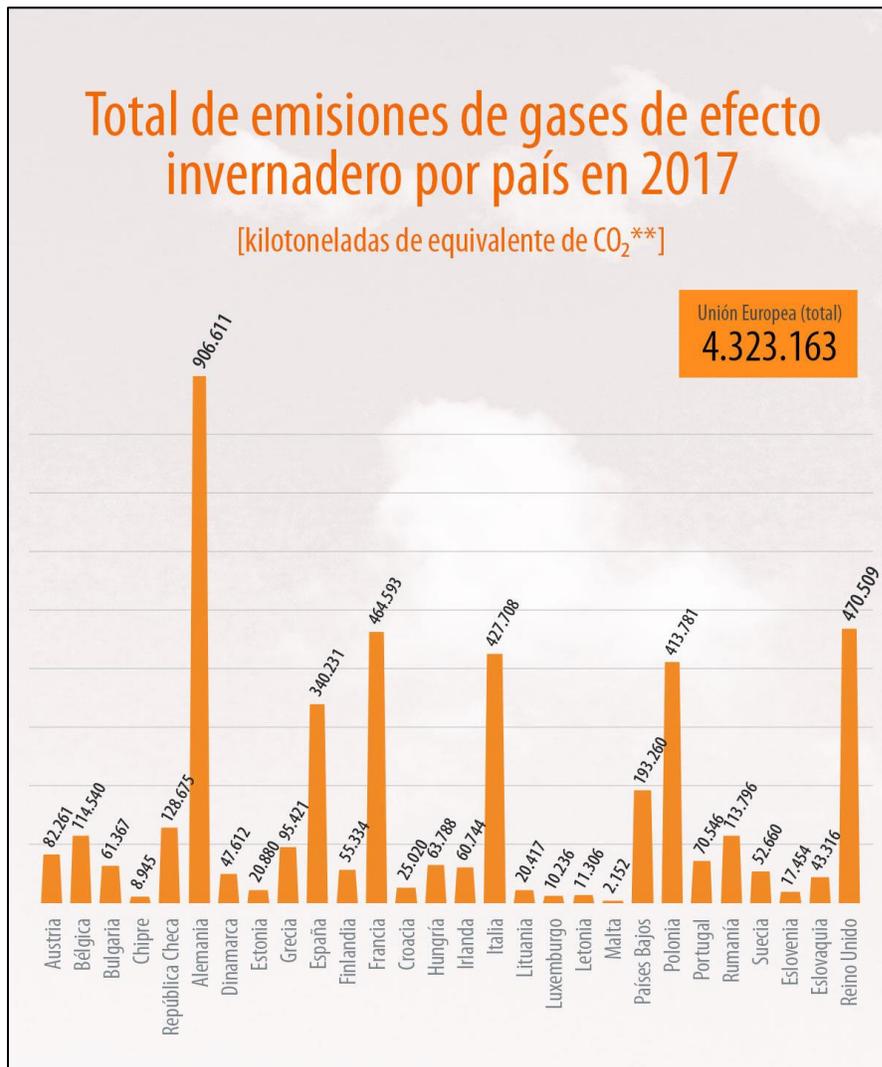


Gráfico 3. El Total de emisiones de GEI para los países que integran la UE, 2017. Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) y Eurostat. CO₂: NO₂, CH₄, PFC, SF₆ y N₃F, todos en equivalentes de CO₂.

País	% emisiones globales actuales	Contribución a la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)
 China	24,03%	Reducir la intensidad de carbono del PIB en un 60%-65% por debajo de los niveles de 2005 para el año 2030, aumentar la proporción de energías no fósiles de la demanda de energía primaria total a alrededor del 20% para 2030.
 Estados Unidos	15,54%	Reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero entre el 26-28% por debajo de 2005 en el año 2025, incluido el uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y la silvicultura (LULUCF).
 Unión Europea	10,78%	Establece un objetivo vinculante para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 40% y una cuota obligatoria del 27% de energías renovables para 2030.
 Rusia	4,89%	Reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) netos en un 25% y un 30% por debajo del nivel de 1990 para el año 2030.
 Japón	2,88%	Tiene un objetivo de reducción de emisiones del 26% por debajo de los niveles de emisiones de 2013 para el año 2030 (equivalente a una reducción del 18% de los niveles de 1990 para el año 2030).
 Brasil	2,13%	Brasil reducirá sus emisiones en un 36,1% a un 38,9% en 2020 en comparación con un escenario tendencial de las emisiones (se incluye las emisiones LULUCF).
 Indonesia	1,60%	Indonesia se ha comprometido a reducir las emisiones a 2020 en un 26% por debajo del escenario tendencial incondicionalmente, y en un 41% con el apoyo internacional suficiente.
 Canadá	1,53%	Reducir las emisiones de GEI en un 30% por debajo de los niveles de 2005 en 2030.
 México	1,42%	México tiene como objetivo reducir de gases de efecto invernadero en un 22% por debajo de la línea de base sin condiciones, y el 36% de forma condicional en 2030.

Tabla 3. % de emisiones globales de los principales países productores de GEI y % de reducción a la que se comprometen para el año 2030.

En la tabla anterior se puede observar el porcentaje de emisión global de los países que más contribuyen a la producción de gases de efectos invernadero (GEI), así como el % al que se comprometen en la reducción de emisiones GEI. A nivel mundial Estados Unidos ocupa el segundo en las emisiones de contaminantes GEI y México se ha colocado entre el noveno y onceavo lugar, según la fuente que se consulte (véase la figura 7 y la tabla 3).⁴¹ Con respecto a Norteamérica, Estados Unidos ocupó el primer lugar con una contribución de 6,444,396 kt CO₂ y México ocupó el segundo lugar con una contribución de 770,319 kt CO₂ en el año 2015.

⁴¹ Los inventarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) nacionales para México y la Zona Metropolitana de México (ZMVM) se analizarán a detalle en el tercer capítulo.

Eurostat estimó que en 2018 las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) derivadas de la quema de combustibles fósiles han disminuido significativamente en un 2,5% en la Unión Europea (UE), respecto al año anterior. Las emisiones de CO₂ son un contribuyente importante al calentamiento global y representan alrededor del 80% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE. Están influenciados por factores como las condiciones climáticas, el crecimiento económico, el tamaño de la población, el transporte y las actividades industriales.⁴²

2.3 Inventario de Emisiones GEI en Estados Unidos⁴³

El 30 de octubre de 2009, la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (EPA) promulgó una regla que requiere informes anuales de datos de gases de efecto invernadero de grandes fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero en los Estados Unidos. La implementación de la regla, codificada en 40 CFR Parte 98, se conoce como Programa de informes de gases de efecto invernadero de la EPA (GHGRP). La regla se aplica a los emisores directos de gases de efecto invernadero, los proveedores de combustibles fósiles, los proveedores de gases industriales y las instalaciones que inyectan dióxido de carbono (CO₂) bajo tierra para secuestro u otras razones. Los informes anuales se realizan a nivel de las instalaciones, excepto para ciertos proveedores de combustibles fósiles y gases de efecto invernadero industriales.

El conjunto de datos GHGRP de la EPA y los datos presentados en este informe de inventario son complementarios. El Inventario se utilizó para orientar el desarrollo del GHGRP, particularmente en términos de alcance y cobertura tanto de fuentes como de gases. El conjunto de datos del GHGRP sigue siendo un recurso importante para el Inventario, que proporciona no solo información sobre emisiones anuales, sino también otra información anual, como datos de actividad y factores de emisión que pueden mejorar y refinar las estimaciones y tendencias de emisiones nacionales a lo largo del tiempo. Los datos del GHGRP también le permiten a la EPA desagregar las estimaciones de los inventarios nacionales de nuevas formas que pueden resaltar las diferencias entre las regiones y subcategorías de emisiones, además de mejorar la aplicación de los procedimientos de QA / QC y la evaluación de incertidumbres.

En 1992, Estados Unidos firmó y ratificó la CMNUCC. Como se establece en el artículo 2 de la CMNUCC. El objetivo de esta Convención es lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes del Convenio, la estabilización de los gases de efecto invernadero concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida una peligrosa interferencia antropogénica con el sistema climático.

⁴³ Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2017. Greenhouse Gas (GHG) Emissions. US EPA. Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2017>

Para garantizar que el inventario de emisiones de Estados Unidos sea comparable con los de otras Partes de la CMNUCC, las estimaciones aquí presentadas se calcularon utilizando metodologías consistentes con las recomendadas en las Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC 2006) para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC).

En la tabla 4 se puede resumir la información más reciente sobre las tendencias de las emisiones de CO₂ equivalente de gases de efecto invernadero antropogénicas de Estados Unidos desde 1990 hasta 2017, así como la contribución del sector transporte.

Año	1990	2005	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂ eq. (MMT)	6,371.0	7,339.0	6,710.2	6,760.0	6,623.8	6,492.3	6,456.7
Transporte	1,469.1	1,857.0	1,682.7	1,721.6	1,734.0	1,779.0	1,800.6

Tablas 4. Emisiones Totales de gases de efecto invernador GEI (MMT DE CO₂eq.) para Estados Unidos.

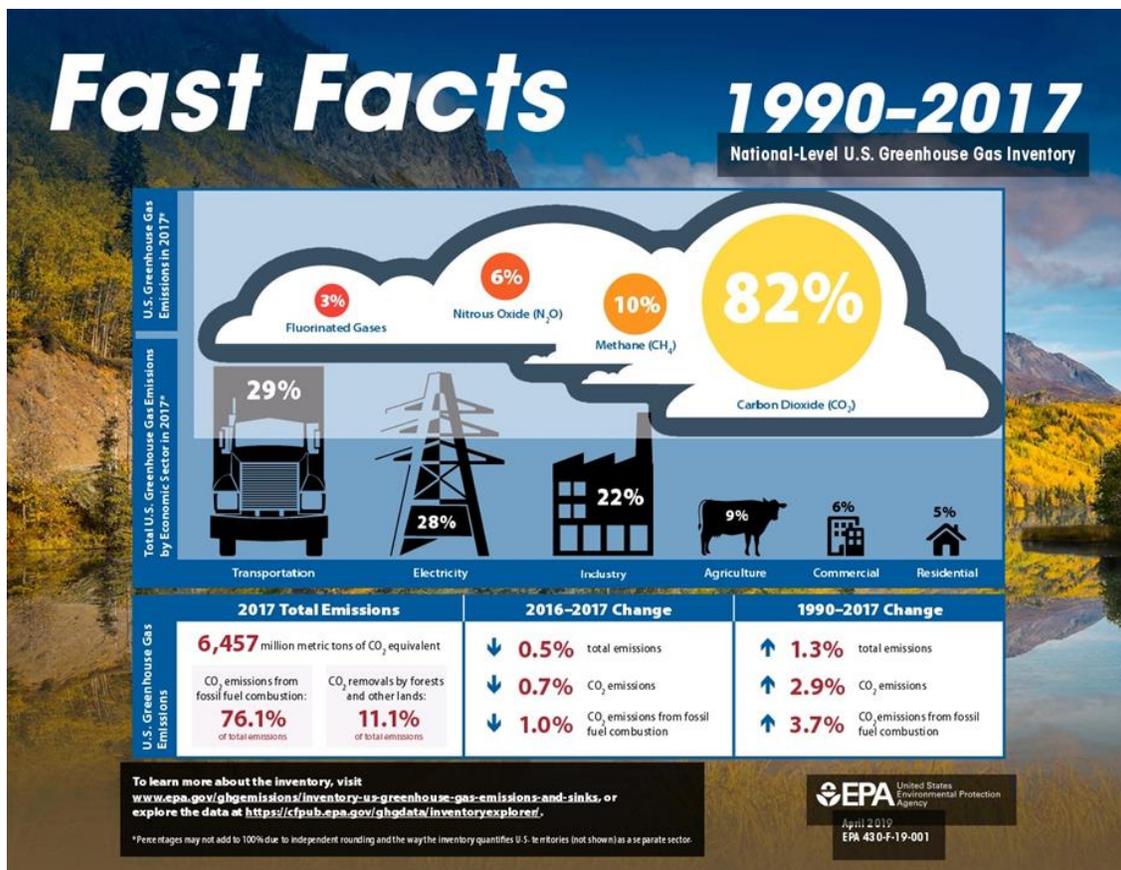


Figura 7. Emisiones contaminantes porcentuales de gases de efecto invernadero (GEI) de Estados Unidos. Fuente:

Las emisiones totales de todas las fuentes que estimó Estados Unidos para el año 2017 fueron 6,457 millones de toneladas métricas (MMT) de CO₂ equivalente. De este total el transporte contribuyó en un 29% (Figura 7). Como puede verse en la tabla, para Estados Unidos, si hay una disminución en la contribución de emisiones totales desde el año 2014 hasta el año 2017. Las emisiones totales de EE. UU. Aumentaron en un 1.3 por ciento entre 1990 y 2017, y las emisiones disminuyeron de 2016 a 2017 en un 0,5 por ciento (35,5 MMT CO_{2eq.}).

2.4 Inventario de Emisiones GEI en Latinoamérica

No sólo en Europa se tiene un estimado de los niveles de contaminantes en la atmosfera. Los países desarrollados y en vías de desarrollo de Latinoamérica están comprometidos a poner a disposición del público sus inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero GEI a través de sus comunicaciones nacionales, los países que periódicamente ofrecen esta información son:

- Trinidad y Tobago, Bolivia, Venezuela, Brasil, Uruguay, Ecuador, Honduras, Argentina, Surinam, Bahamas, Guyana, Guatemala, México, Barbados, Antigua y Barbuda, Chile, Perú Paraguay, Jamaica, Colombia, Belice, San Cristóbal y Nevis, Panamá, República Dominicana, Granada, Santa Lucía, Nicaragua, Costa Rica, San Vicente, El Salvador, Haití (Figura 10).

Las exigencias asociadas a este proceso de reporte han sido revisadas en la última COP16 de Cancún a la luz de las crecientes necesidades de Construcción de Inventarios de emisiones GEI. Los inventarios de emisiones se generan estableciendo metodologías que permitan obtener información lo suficientemente confiable, lamentablemente en los inventarios que periódicamente reportan estos países se puede observar deficiencias en:

- La calidad del reporte de las emisiones, no así en los cálculos realizados.
- Ninguno de los países reporta los niveles de actividad de los combustibles utilizados con la información necesaria para poder realizar una reproducción de los inventarios por sí sola.

En cuanto a los valores presentados en los inventarios, estos resultan bastante similares a los de otras fuentes internacionales, así como a los obtenidos por cálculo propio:

- Los inventarios no proporcionan, en general, la información suficiente (Factores de emisión y niveles de actividad) para replicar en forma confiable las cifras reportadas en los inventarios. Por lo tanto, existe una alta incertidumbre en las estadísticas nacionales sobre los niveles de actividad.
- El nivel de desagregación en algunos casos no permite ningún tipo de análisis, ya que se entrega una cifra global cerrada. Por lo que el nivel de incertidumbre en estos sectores es alto. Además, existen diferencias importantes en las estimaciones de emisiones para los sectores.
- Los resultados evidencian necesidades importantes en cuanto a la metodología en el proceso de estimación y reporte de emisiones de GEI en los países latinoamericanos.
- Es necesario consolidar información relativa a Factores de emisión y mejorar el acceso a información relativa a niveles de actividad.
- En su mayoría los inventarios son producidos por expertos extranjeros con software que no toma en cuenta las condiciones geográficas y ambientales reales de la región en estudio, ni la comparación entre diferentes sectores al interior de cada país.

América Latina representa el 9,30% de las emisiones mundiales y los 5 países con mayor emisión representan el 7.51% de las emisiones mundiales. Brasil ocupa el primero lugar, México el segundo, Argentina el tercero, Venezuela el cuarto y Colombia el quinto lugar (Gráfico 4). se observan los porcentajes de reducción de emisiones de GEI que prometieron los países de América Latina como medidas de mitigación consensuadas dentro de sus países, y en donde México se compromete a reducir 25 % de sus emisiones de GEI y de contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), es decir 22 % de GEI y 51 % de Carbono negro.

En el marco de las negociaciones de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMNUCC), los países han acordado delinear públicamente sus acciones climáticas para el periodo post 2020. Estas contribuciones se conocen como INDC (Intended Nationally Determined Contributions) y corresponden a los esfuerzos de cada país para hacerle frente al cambio climático mediante programas de mitigación y de adaptación. Actualmente las contribuciones son tentativas (*Contribuciones Tentativas Determinadas a nivel Nacional*, o iNDC por sus siglas en inglés). Pero se hacen oficiales en el momento en que el país ratifica el Acuerdo de París. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático entró en vigor en 1994, con el objetivo de

reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. La Conferencia de las Partes (COP) fue designada como el órgano supremo de la Convención. A la fecha, 195 países han presentado sus instrumentos de ratificación. Estos se reúnen una vez al año, por dos semanas, para examinar la aplicación de la Convención y desarrollar el proceso de negociación entre las Partes ante nuevos compromisos. En virtud de la Convención, todas las Partes tienen responsabilidades comunes, aunque diferenciadas. Además, toman en consideración el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo, de sus objetivos y circunstancias (Figura 8). Considerando lo anterior, los compromisos son los siguientes:⁴⁴

- Recabar y compartir la información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las políticas nacionales y las prácticas óptimas.
- Poner en marcha estrategias nacionales para abordar el problema de las emisiones de GEI y adaptarse a los impactos del cambio climático previstos, así como determinar la prestación de apoyo financiero y tecnológico a los países en desarrollo.
- Cooperar para prepararse y adaptarse a los efectos del cambio climático.

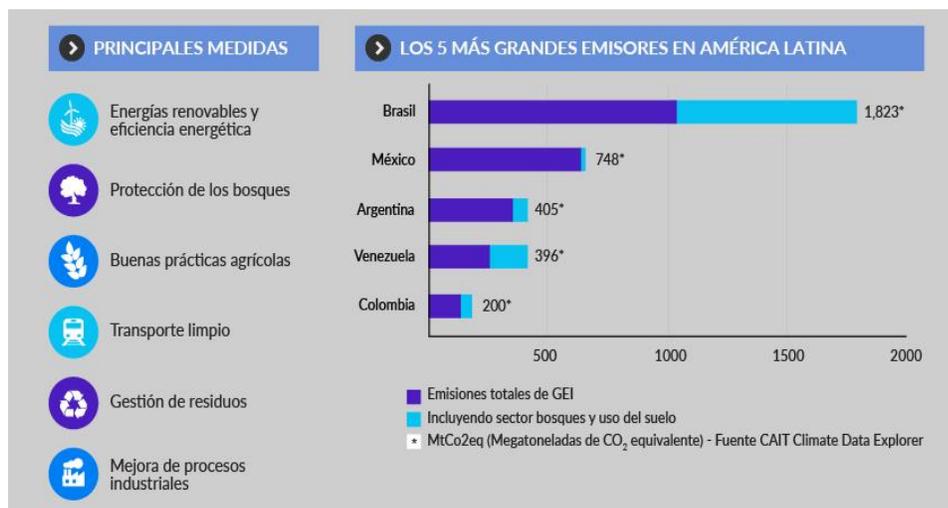


Gráfico 4. Emisiones contaminantes de los 5 principales países de América Latina. Fuente: ConexiónCOP para periodistas y líderes de opinión de América Latina, 2016.⁴⁵

⁴⁴ Comisión Europea (2019). Avances en la Acción Climática de América Latina: Contribuciones Nacionalmente Determinadas al 2019. Programa EUROCLIMA+, Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid, Comisión Europea, Bruselas, Bélgica. 171p

⁴⁵ ConexiónCOP para periodistas y líderes de opinión de América Latina, 1 de junio de 2016. Infografía: Compromisos Climáticos en Latinoamérica y del Caribe. Consultada (11-27-2020). Disponible en: <http://conexioncop.com/infografia-compromisos-climaticos-en-latinoamerica-y-el-caribe/>



Figura 8. Compromisos de reducción de emisiones de GEI en América Latina. Fuente: ConexiónCOP para periodistas y líderes de opinión de América Latina, 2016.⁴⁶

⁴⁶ ConexiónCOP para periodistas y líderes de opinión de América Latina, 1 de junio de 2016. Infografía: Compromisos Climáticos en Latinoamérica y del Caribe. Consultada (11-27-2020). Disponible en: <http://conexioncop.com/infografia-compromisos-climaticos-en-latinoamerica-y-el-caribe/>

2.5 Inventarios Nacionales de Emisiones GEI en México

El primer inventario realizado por México inicia en 1995 con el “Estudio de País: México ante el Cambio Climático”, financiado por el gobierno de Estados Unidos mediante el programa “U.S. Support for Country Studies to Address Climate Change». ⁴⁷ Uno de sus principales componentes fue las estimaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero con cifras del año base 1990, utilizando la metodología del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) creada en aquel entonces. Posteriormente, en el año 2000, se realizó una actualización del Inventario Nacional de Emisiones de GEI con la versión de las metodologías de 1996 del PICC, lo cual incluyó en forma parcial las recién publicadas Guías de las Buenas Prácticas del PICC. Con estas metodologías se estimaron los inventarios de 1994, 1996 y 1998. La nueva actualización del Inventario realizada durante 2005 utilizó estas mismas metodologías para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero al 2002 y se volvieron a calcular las emisiones de 1990 a 1998. ⁴⁸

En México, los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero se han publicado regularmente como parte de las Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La primera de ellas se presentó en 1997 con datos de emisiones de 1990. Para la Segunda Comunicación (2001) se calcularon las emisiones de los años 1994, 1996 y 1998 con la metodología revisada en 1996 por el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). En 2006, la Tercera Comunicación Nacional incluyó nuevos cálculos para el periodo 1990-2002. La Cuarta Comunicación Nacional (2009) presentó datos para el periodo 1990-2006 y a finales de 2012 se publicó la Quinta Comunicación Nacional con datos de la serie histórica para el periodo 1990-2010. México presentó en la Sexta Comunicación, publicada en 2018, la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) al año 2015 (INEGYCEI 1990-2015), utilizando las metodologías más recientes del Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

⁴⁷ Desde 1993, el Programa de Estudios de País de Estados Unidos ha trabajado con México en el desarrollo de un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, así como la evaluación de la vulnerabilidad potencial de México al cambio climático, el desarrollo de escenarios de emisiones a futuro, la identificación y evaluación de medidas de adaptación o mitigación del cambio climático y desarrollo de un plan de acción nacional.

⁴⁸ Inventario Nacional de Emisiones de Efecto Invernadero 1990-2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Instituto Nacional de Ecología (INE).

Los inventarios nacionales se publican cada dos años, su elaboración lleva 10 meses: inicia en junio y concluye en abril del siguiente año que es cuando se enviará ante las Naciones Unidas.⁴⁹ Por este motivo el inventario nacional de emisiones que corresponde al año base 2018 está aún en proceso (2019-2020) y estará listo hasta abril de 2021.

2.5.1 Fases de planeación de un inventario

- 1) Junio. Reunión de inicio.
- 2) Julio-agosto. Recolectar datos y preparar emisiones iniciales.
- 3) Octubre. Preparar borrador.
- 4) Noviembre-diciembre. Revisión entre agencia y expertos.
- 5) Diciembre. Incorporar comentarios de expertos.
- 6) Enero-febrero se libera para comentarios del público.
- 7) Marzo incorporar cambios.
- 8) Abril. Enviar el inventario a las Naciones Unidas.

2.5.2 INEGYCEI 1990-2015 publicado en 2018⁵⁰

La actualización del INEGYCEI 1990-2015 forma parte de la Sexta Comunicación Nacional y constituye el Segundo Informe Bienal de Actualización que México presenta ante la CMNUCC. Según el INEGYCEI, las emisiones directas de GEI en el país, sin considerar las absorciones, ascendieron a 700 millones de toneladas de CO₂ equivalente⁵¹ (MtCO_{2e}.) para el año 2015, de las cuales la mayor contribución se debió al sector transporte con 24% (171 MtCO_{2e}.) al autotransporte, con 22.8% (159,944.08), (Tabla 5) seguido por las actividades de generación de

⁴⁹ Managing the National Greenhouse Gas Inventory Process. 2005. National Communications Support Unit Global Environment Facility Energy and Environment Group, Bureau of Development Policy United Nations Development Programme. USA. Disponible en: https://www.transparency-partnership.net/sites/default/files/gpghandbook_eng_final.pdf

⁵⁰ INECC, SEMARNAT. (2018). Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático/ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México.

⁵¹ Las emisiones de los GEI se contabilizan en unidades de CO₂ equivalente (CO_{2e}), las cuales se obtienen al multiplicar la cantidad de emisiones de un GEI por su valor de potencial de calentamiento. En este caso el valor de potencial de calentamiento para el CO₂ es de 1. Debido a que todos los CyGEI poseen un potencial de calentamiento diferente, con fines de comparación, se reportan en una unidad estándar: bióxido de carbono equivalente (CO_{2e}). Esta medida describe la masa (en toneladas) de bióxido de carbono que causaría el mismo grado de calentamiento que una unidad de masa (tonelada) de otros CyGEI.

energía eléctrica con 20.3%, ganadería con 10.1% y residuos con 6.6 por ciento. En el caso del carbono negro, un contaminante y forzador climático de vida corta (FCVC), la emisión se contabilizó en 131 mil toneladas, derivadas en su mayor parte de las actividades del sector autotransporte con 24.1%.

Sector/Categoría/Subcategoría	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Emisiones
(IA3) ⁵² Transporte	167,855.82	329.54	3,169.48	NA	NA	NA	171,354.84
(IA3b) Autotransporte	156,754.35	2,872.01	317.72	NA	NA	NA	159,944.08

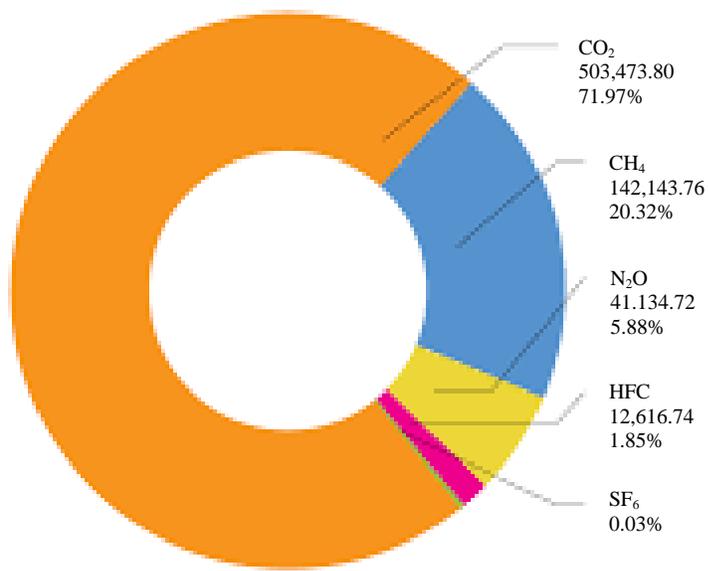
Tabla 5. Emisiones Nacionales de GEI por tipo de GAS del Sector Energía (1), Categoría Transporte (IA3) y Subcategoría Autotransporte (IA3b) del IPCC 2006, en 2015.

Según el Anexo A del Protocolo de Kioto, las emisiones por gas para el año 2015 fueron: dióxido de carbono, 503,473.80 Gg de CO_{2e} [$\pm 5.88\%$]; metano, 142,143.76 Gg de CO_{2e} [$\pm 4.85\%$]; óxido nitroso, 41,134.72 Gg de CO_{2e} [$\pm 123.29\%$]; hidrofluorocarbonos, 12,616.74 Gg de CO_{2e} [$\pm 22.07\%$], y hexafluoruro de azufre, 195.25 Gg de CO_{2e} [$\pm 3.89\%$] (Tabla 6). No se cuantifican emisiones de perfluorocarbonos en 2015, ya que a partir de 2004 se dejó de producir aluminio primario en México y los PFC no se consumen en el país como sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (Gráfico 5).

Gas	Emisiones (Gg CO _{2eq.})	%
CO ₂	503,473.80	71.97
CH ₄	142,143.76	20.32
N ₂ O	41,134.72	5.88
HFC	12,616.74	1.85
PFC	0.00	-
SF ₆	195.25	195.25
CO ₂ (ABSORCIONES)	-148,346.07	-

Tabla 6. Emisiones de GEI en el año 2015.

⁵² Código de clasificación IPCC.



Total: 699,564.27 Gg de CO_{2e}.

Gráfico 5. Emisiones y contribución de gases de efecto invernadero, 2015, por tipo de gas (sin las absorciones de la categoría [3B] Tierra).

La figura 9 resume la contribución de las emisiones totales por fuentes y sumideros (lado izquierdo) y por gas (lado derecho). Presenta también las emisiones netas (lado derecho) después de descontar a las emisiones totales la cantidad correspondiente a "Permanencias", es decir, las emisiones correspondientes a tierras que permanecen con su uso forestal o de tierra de cultivo.

Las Categorías de emisión incluidas en el sector Energía son: Transporte, Industrias de la energía, Industrias manufactureras y de la construcción, Emisiones fugitivas (en actividades relacionadas con Petróleo y gas natural, Minería carbonífera y manejo de carbón) y Otras actividades. Como puede verse en la Figura 12 la subcategoría autotransporte contribuye con el 22.8% a las emisiones globales.

Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2015

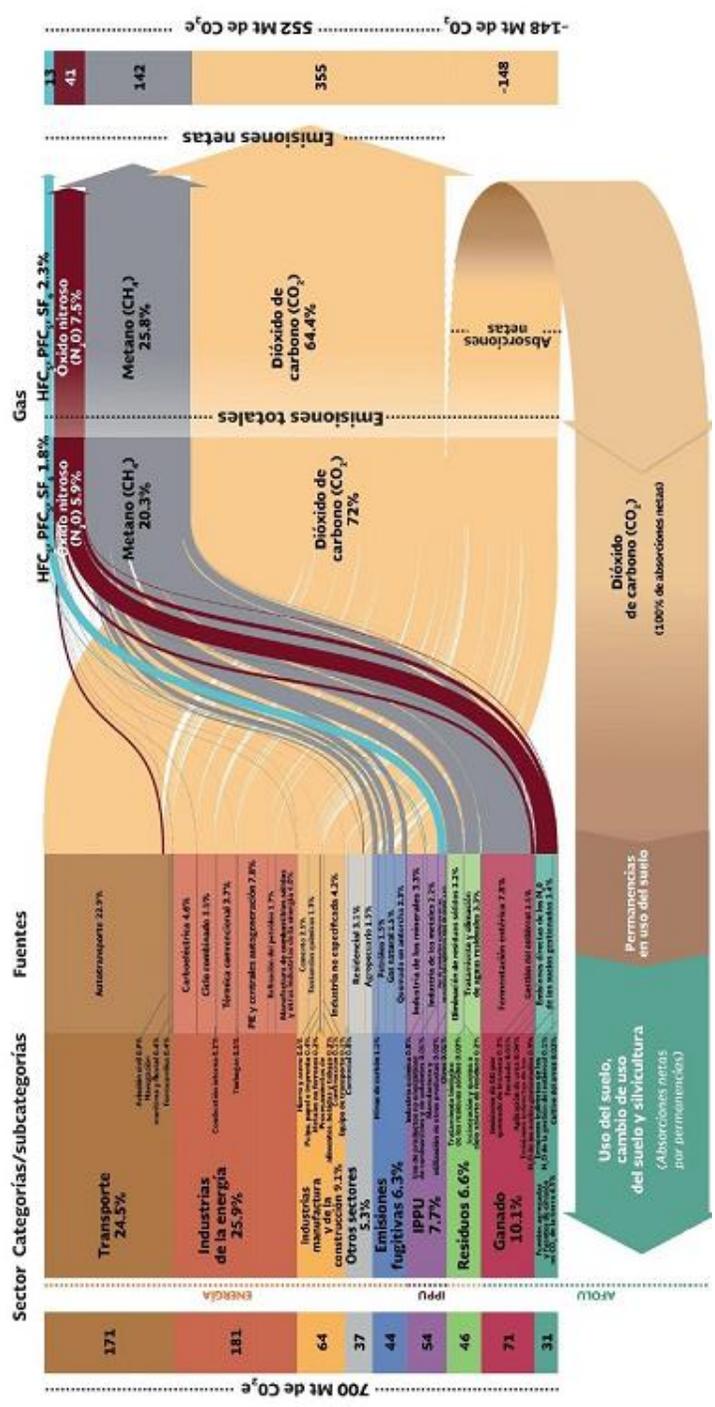


Figura 9. Emisiones nacionales GEI por tipo de gas de los sectores, categorías, subcategorías y fuentes según el IPCC 2006, en 2015. Fuente: Sexta Comunicación, 2018.

En el año 2012 la flota de vehículos terrestres registrados era de 33.1 millones a nivel nacional, cantidad que aumentó en 2016 un 14.5%, con 39.8 millones. La composición de la flota por tipo de vehículo para el último año referido fue la siguiente: 73% automóviles de pasajeros, 26% de camiones y camionetas de carga y 1% de transporte de pasajeros. El 97.2% de este parque vehicular utiliza gasolina y el restante, diésel. En 2015 el inventario de emisiones reporta que el autotransporte, como subcategoría contribuyó con un 93.3% de las emisiones totales con respecto a la categoría Transporte que abarca: la aviación civil con el 3.7%, la navegación marítima y fluvial con el 1.5%, los ferrocarriles con el 1.4 por ciento. Además, a nivel nacional, el autotransporte fue responsable del 22.9% de las emisiones totales del país, con 159.944 millones de ton de CO_{2e}⁵³ (Tabla 7).

Año	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Autotransporte (Gg. de CO _{2e})	86,078	93,929	105,967	130,067	154,905	157,711	158,223	155,195	153,473	159,944

Tabla 7. Emisiones de GEI por transporte, 1990-2015 (Gg. de CO_{2e}).

El inventario de emisiones de contaminantes al aire a nivel nacional incluye los resultados de las 32 entidades federativas y fue estimado para contaminantes criterio, gases y compuestos efecto invernadero, así como contaminantes tóxicos que provienen del proceso de combustión en automotores, así como de los procesos de evaporación y el desgaste de frenos y llantas de los vehículos.⁵⁴

Las emisiones contaminantes por tipo de vehículo para monóxido de carbono son de 5,124,752 (CO) Mg/año; para óxidos de nitrógeno (NOx) es de 1,191,386 Mg/año; y, para Hidrocarburos totales (HCT) es de 522,922 Mg/año. Estos son los tres contaminantes criterio de mayor emisión a nivel nacional y en lo que respecta a los gases y compuestos de efecto invernadero, se tiene que, el bióxido de carbono (CO₂) es el de mayor emisión por el escape de los automotores. Por lo tanto, por tipo de vehículo para contaminantes criterio se observa que los automóviles de uso particular contribuyen con la mayor emisión de hidrocarburos totales (39%), de monóxido de carbono (35%)

⁵³ Sexta Comunicación Nacional, 2018 pág.

⁵⁴ INECC, SEMARNAT. (2018). *Elementos de inventario de fuentes móviles: Inventario de emisiones de fuentes móviles carreteras, 2016*. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. Ciudad de México.

y de óxidos de nitrógeno (24%). Los tractocamiones y los vehículos mayores a 3 toneladas contribuyen cada uno con el 34% de las partículas PM10. Respecto a la emisión de gases efecto invernadero, los automóviles particulares contribuyen con el 26% del CO₂ y 35% de óxido nitroso. Los vehículos mayores a 3 toneladas con el 21% de metano. El carbono negro es emitido principalmente por los camiones pesados (autobús, mayores a 3 toneladas y tractocamiones) ya que en conjunto contribuyen con el 84%. (Gráfico 6.).

Los contaminantes tóxicos como el benceno, el tolueno y el xileno son emitidos mayormente por los automóviles de uso particular con el 41%, el 43% y el 42%, respectivamente. El formaldehído es emitido principalmente por los vehículos mayores a 3 toneladas con el 24% del total. (Gráfico 7).

Con base a la última actualización del inventario en 2017, se emitieron 734 MtCO_{2e}. De seguir incrementándose estas emisiones en el país, podrían llegar en 2030 a 979 MtCO_{2e}. Además, México emite 131,564 toneladas de carbono negro (CN), un contaminante climático de vida corta que nuestro país se ha comprometido a reducir, lo que implicará beneficios en la salud y en la mitigación del cambio climático. Por tal razón se ha responsabilizado en, su aportación al cambio climático, disminuir 22% sus emisiones de GEI y 51% las de CN hacia el año 2030.⁵⁵

Los inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero en México han sido calculados utilizando diferentes metodologías que pretenden obtener cada vez mejores estimaciones y mayores detalles respecto a las fuentes de emisión. Estas metodologías se tratarán a detalle en el siguiente capítulo relacionado con los inventarios de la ZMVM, ya que la publicación de éstos responde a un compromiso internacional ante la CMNUCC de elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes los inventarios

⁵⁵ DOF: 14/10/2020. Acuerdo por el que se aprueba el Programa Institucional de Ecología y Cambio Climático 2020-2024. Disponible en: <https://docs.mexico.justia.com/recursos/covid-19/2020-10-14/secretaria-de-medio-ambiente-y-recursos-naturales-01.pdf>

nacionales de las emisiones antropogénicas y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero (GEI).⁵⁶

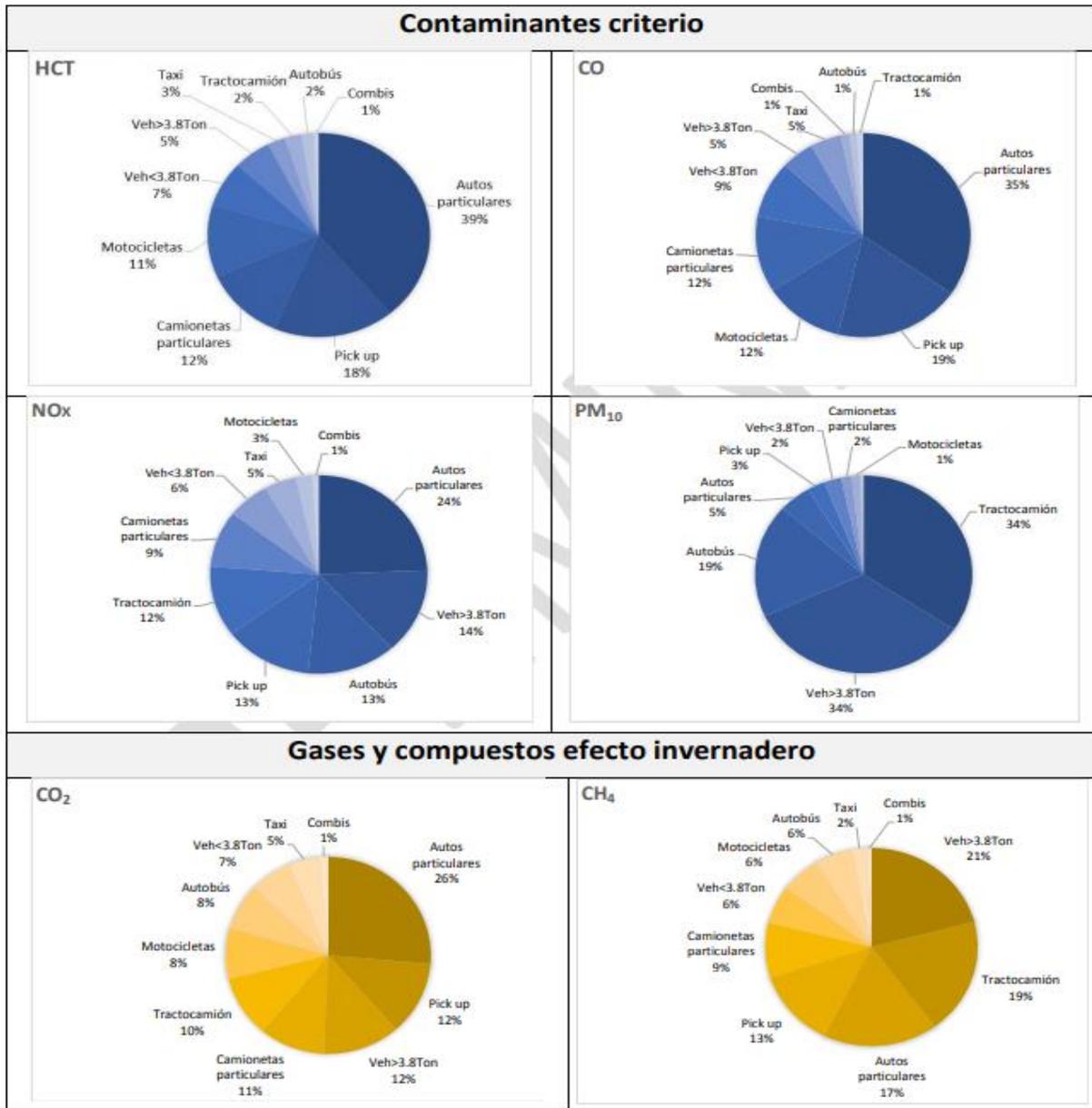


Gráfico 6. Emisión de contaminantes por tipo de vehículo.

⁵⁶ Atmósfera, Capítulo 5, página 314. En: Semarnat. (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Edición 2015. Semarnat. México

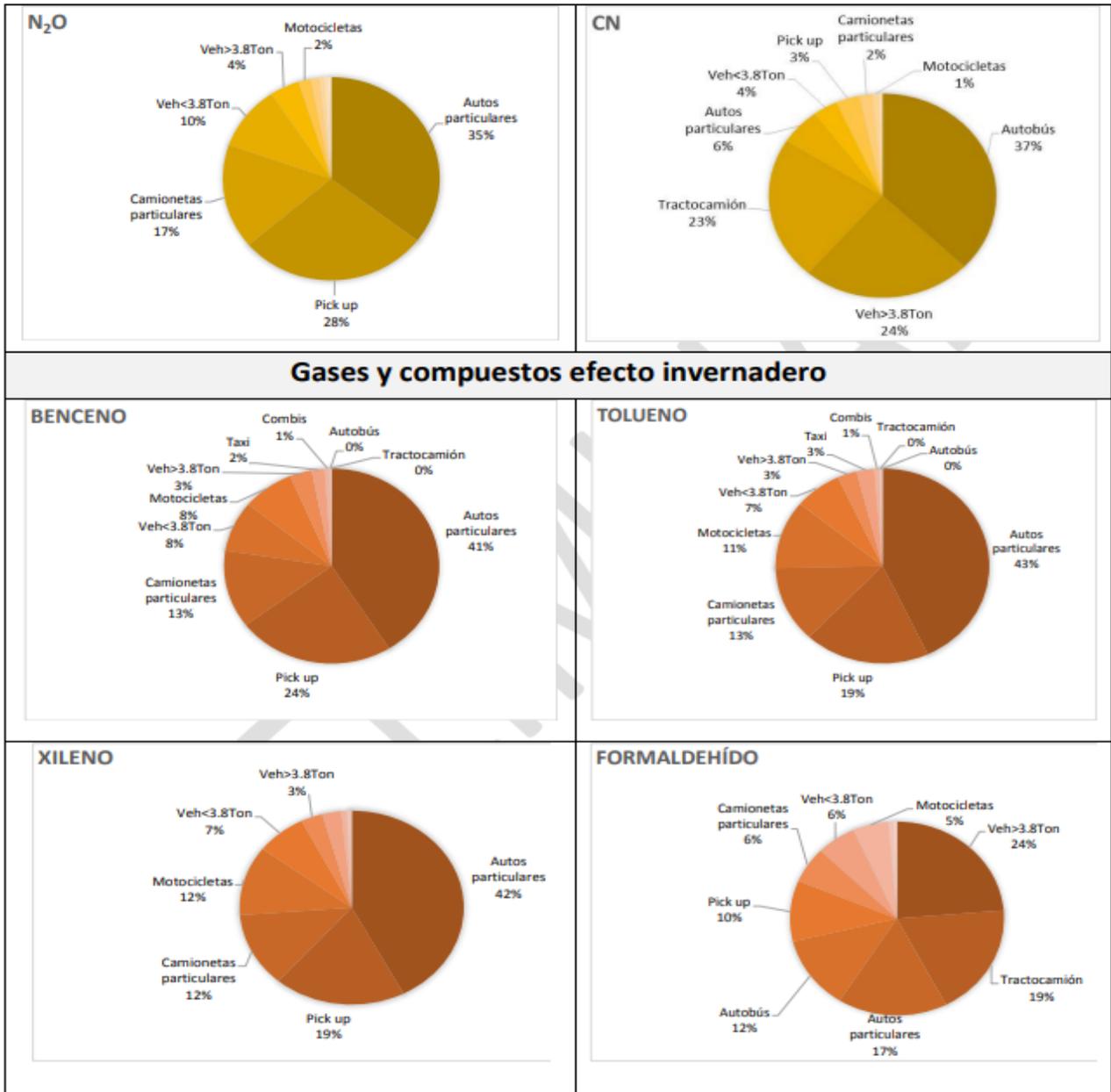


Gráfico 7. Resumen del inventario de emisiones nacional por tipo de vehículo.

Capítulo 3

INVENTARIOS DE EMISIONES EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (1994-2016)

3.1 Antecedentes de los Inventarios de Emisiones en la ZMVM

El desarrollo de los inventarios de emisiones en la ZMVM, se remontan al año de 1972, con la creación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, pero aun cuando se sabe que, desde esta fecha, se han realizado varios inventarios, pocos están publicados oficialmente. El primer inventario de emisiones más detallado para la ZMVM se realizó en el año de 1988,⁵⁷ mismo que sirvió de referencia al desarrollo del Programa Integral para el Control de la Contaminación Atmosférica (PICCA).

En 1995, las autoridades federales y locales elaboraron el primer inventario de emisiones desagregado con información disponible hasta 1994, que desafortunadamente no pudo ser comparable en términos absolutos con el inventario anterior, por no aplicar la misma metodología de cálculo. Al igual que el primer inventario, este también se empleó para guiar las políticas de la calidad del aire, proyectadas en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (ProAire).⁵⁸ Este programa estableció actualizar cada dos años el inventario de emisiones, y crear las plataformas para apoyar el inventario en sistemas de información geográfico interactivos, que suministrara información a los modelos de simulación y así poner en marcha un sistema completo e integral de información. No obstante, aunque el inventario para el año de 1996 fue publicado oficialmente, éste no fue posible utilizarlo en la aplicación de modelos de calidad del aire, ni contenía el suficiente soporte técnico de sus estimaciones, existiendo la incertidumbre en la metodología de realización de los cálculos y de las fuentes de información de los datos.

Por otra parte, se trató de comparar las emisiones de esas fechas con las actuales, desafortunadamente los inventarios de emisiones que hasta el momento se habían desarrollado no pudieron ser comparables en términos absolutos, debido principalmente a que se utilizaron en su desarrollo distintas metodologías. Asimismo, el Inventario 1998, fue el primer documento desarrollado con base en las metodologías de estimación que recomienda la Autoridad Ambiental Federal. Por tal motivo, el Gobierno del Distrito Federal desarrolló, además del presente inventario, los correspondientes a los años de 1998, 2000, 2002 y 2004. En éstos se han

⁵⁷ Atmósfera, Capítulo 5, página 261. En: Semarnat. (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Edición 2015. Semarnat. México

⁵⁸ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2000. Pág. 9

incorporado gradualmente, recomendaciones nacionales e internacionales para reducir el grado de incertidumbre de la estimación de los inventarios, resaltan las emitidas por el Doctor Mario Molina y su grupo de investigadores, así como los comentarios de la evaluación y auditoría al inventario de emisiones del año 1998 realizada por la compañía Eastern Research Group Inc.⁵⁹

Desde 1989 las autoridades ambientales locales y federales que convergen en la ZMVM para guiar la política ambiental del aire, han realizado esfuerzos en la elaboración de inventarios de emisiones que han permitido conocer el volumen y tipo de contaminantes producidos por cada fuente emisora o sector, identificando así las fuentes de mayor emisión de contaminantes al aire para dar prioridad a su control. Para este inventario se incorpora por primera vez, además de las emisiones contaminante criterio (HC, CO, NO_x, PM₁₀ y SO₂), las emisiones de los gases de efecto de invernadero (CO₂ y CH₄). Este inventario sirvió de base para recalcular con su nueva tecnología, las emisiones de los inventarios de 1994 y 1996 para hacer posible su comparación. Por otra parte, a partir de este inventario de 1998 se estimaron las emisiones proyectadas al año 2006 y 2010. Este inventario es importante porque constituye la base sobre el cual se fundamentó la elaboración del Tercer Programa de Mejoramiento de la Calidad de Aire en la ZMVM 2001-2010 (Proaire) y además el inventario fue espaciado para utilizarse como insumo básico en la aplicación del modelo de calidad de aire Multiscale Climate Chemistry Model (MCCM).⁶⁰

En el año 1998 se presentaron cambios importantes en las condiciones climáticas a escala regional y local, destacando entre ellas las variaciones del régimen pluvial (muy intensos en periodos cortos) y las elevadas temperaturas registradas en el ambiente, propiciando uno de los periodos de sequías más severos de ese siglo, además de un incremento importante en el número de incendios forestales en las zonas rurales de la ZMVM. Es probable que los incendios forestales hayan sido la causa por la cual se incrementó ligeramente la concentración de algunos contaminantes en la atmósfera, como el NO₂, CO, SO₂ y PM₁₀.

De acuerdo con los análisis presentados en el Informe Anual de la Calidad de aire 1998, los indicadores de estados estacionales de la ZMVM reflejaron el comportamiento de estos

⁵⁹ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2000. Pág. 13

⁶⁰ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 1998. Pág. 8

contaminantes en tres periodos diferentes del año: seca-caliente, época de lluvias y época de seca-fría. Los resultados permitieron inferir la influencia de las variaciones de las condiciones climáticas sobre la calidad del aire de ZMVM. Esto significa que los niveles de contaminación presentes en la atmósfera, durante 1998, no sólo fue producto de las emisiones antropogénicas, sino que también participaron de manera importante los fenómenos meteorológicos. Pag 12. Sin embargo, es posible que este comportamiento haya estado ligado a los cambios urbanísticos, lo cual conllevó a una mayor demanda de transporte, servicios, viajes, consumo de combustibles, agua; o bien a la deforestación y eliminación de la fauna nativa.⁶¹

3.2 Delimitación geográfica del Inventario de Emisiones para la ZMVM 1996-2016

En la planeación de un inventario de emisiones es importante definir los límites geográficos que éste cubre. En el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se definió con base en los problemas de contaminación atmosférica que ha presentado la región desde hace ya varias décadas. Por ejemplo, para el Inventario de Emisiones de la ZMVM 1996 integró 16 demarcaciones del Distrito Federal y a 18 municipios conurbados del Estado de México. La superficie ocupada por la ZMVM inició con una territorialidad de 4,681 km², en donde se concentran alrededor de 16 millones de habitantes con una densidad poblacional de 3,500 hab/km², y se asientan 44,580 establecimientos industriales, comerciales y de servicio. Asimismo, se estimó que el parque vehicular en circulación era cercano a los 3.2 millones de vehículos.⁶² No obstante, al realizar el Inventario de Emisiones 1998, la población creció a 16.7 millones de habitantes (8.6 millones de habitantes en el DF y 8.1 en los municipios conurbados) y cubría una superficie de 3.489 km², abarcando 16 delegaciones y 18 municipios (Fig. 10). Como puede apreciarse, la contaminación del aire en la ZMVM no sólo se circunscribe al territorio de la Ciudad de México, sino también afecta a los municipios conurbados del Estado de México, por lo que la atención al problema implica una gestión de carácter metropolitano y en ella deben participar los tres órganos de gobierno (federal, estatal, municipal o delegacional)

Para el Inventario de Emisiones de 2016, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) abarca las 16 delegaciones de la ciudad de México, 59 municipios del Estado de México más el

⁶¹ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2000. Pág. 12

⁶² Inventario de Emisiones de la ZMVM, 1996. Pág. 4-5

municipio de Tizayuca, Hidalgo. Cuenta con una superficie total de casi 7,700 km², con una población de 21.4 millones de habitantes.⁶³

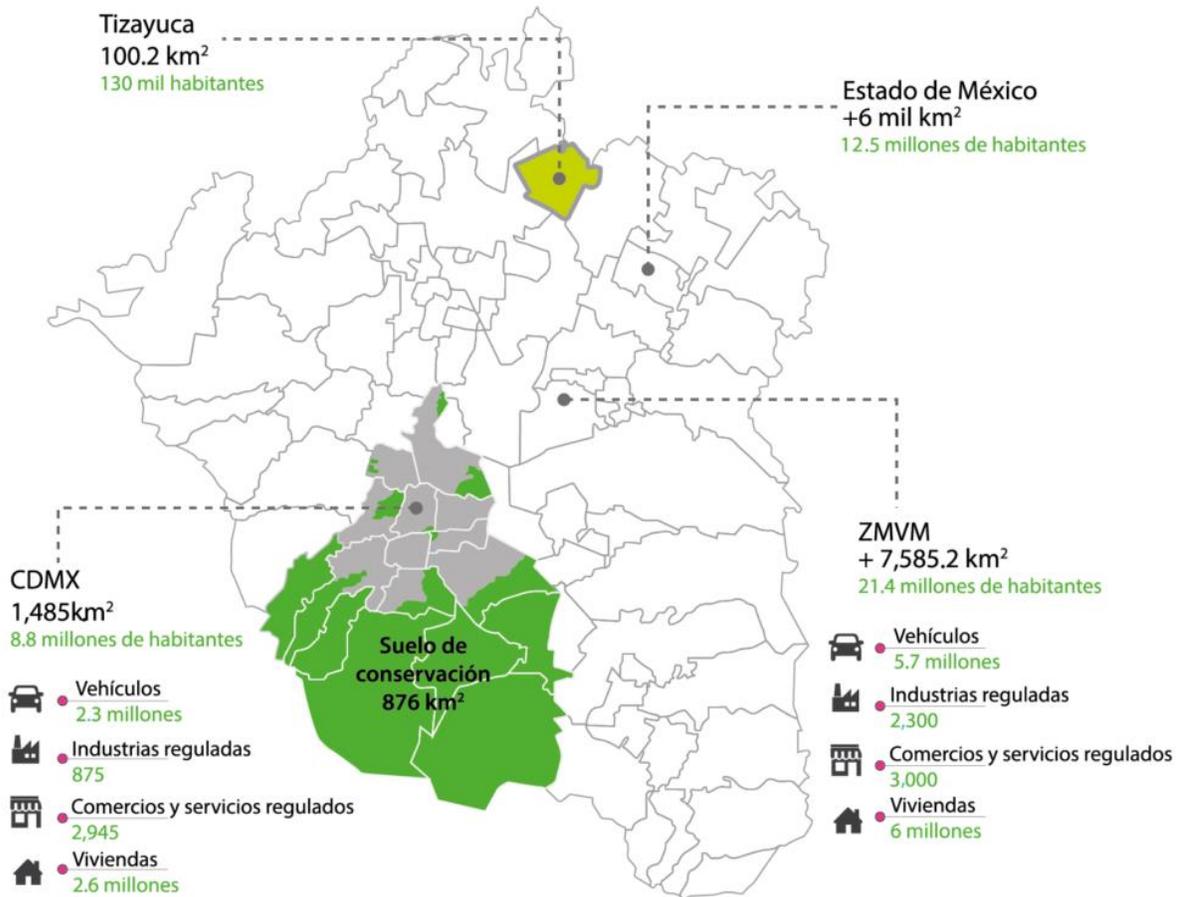


Fig. 10. Zona Metropolitana del Valle de México, 2016. Fuente: Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2016.

⁶³ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2000. Pág. 35

3.3 Clasificación de las fuentes de emisión para los Inventario de Emisiones 1994-2016

Todos los Inventarios de Emisiones que se han publicado desde 1994 hasta el 2016 en la ZMVM manejan cuatro fuentes de emisión.

- 5) Fuentes puntuales: sector industrial.
- 6) Fuentes móviles: sector transporte.
- 7) Fuentes de área: sector doméstico, comercial y de servicio.
- 8) Fuentes naturales: suelo y vegetación.

3.4 Metodología para las emisiones contaminantes de acuerdo con el Reglamento de la Ley General de Cambio Climático

En el año 2014 se expidió el Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones⁶⁴, el cual obliga a los diferentes sectores a reportar las emisiones generadas por fuentes fijas y móviles, directas e indirectas, de gases o compuestos de efecto invernadero de sus instalaciones, cuando la suma anual de éstas sea igual o superior a 25,000 toneladas de CO_{2e}. También establece las metodologías y procedimientos que, se aplicarán en los Establecimientos Sujetos a Reporte para la medición, cálculo, o estimación de sus Emisiones Directas e Indirectas de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero. Éstas se basarán en la aplicación de metodologías de:

- 1) Cálculo mediante factores de Emisión
- 2) Cálculo mediante balance de materiales
- 3) O bien las que determine el Panel Intergubernamental y que la Secretaría dé a conocer como metodologías aplicables mediante Acuerdo, es decir, para el caso en que las metodologías señaladas en los casos 1) y 2) que anteceden, no resulten técnicamente aplicables a la actividad a reportar o no existan metodologías para la medición, cálculo o estimación de alguna Emisión específica.

⁶⁴ DOF 28-10-2014. Reglamento De la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones.

Los Establecimientos Sujetos a Reporte podrán presentar, a consideración de la Secretaría, metodologías alternativas para la medición, cálculo o estimación de sus Emisiones, cuando para garantizar la precisión en la información requieran sistemas, instrumentos o cualquier otro elemento técnicamente análogo en función de la actividad generadora de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero. Para tal efecto, la Secretaría difundirá en su sitio web el protocolo al que deberán sujetarse dichos Establecimientos para el reconocimiento de sus propuestas como metodologías alternativas, las que una vez aprobadas se publicarán mediante Aviso en el Diario Oficial de la Federación para que, quienes se ubiquen en la misma hipótesis que dio lugar a la adopción de una metodología alternativa puedan aplicarla en la medición, cálculo o estimación de sus Emisiones.

3.5 Metodología para las emisiones contaminantes de acuerdo con las directrices IPCC 2006

En las Directrices del IPCC 2006 se utilizan tres niveles jerárquicos para categorizar la complejidad metodológica de los factores de emisión para cada fuente determinada.⁶⁵ Para esta jerarquía se consideran algunas variables como la especificación matemática de los métodos, la información sobre los factores de emisión u otros parámetros que deben usarse para las estimaciones, y las fuentes de actividad para calcular el nivel general de las emisiones. El nivel 1 utiliza datos predeterminados y ecuaciones sencillas, mientras que los niveles 2 y 3 son más exigentes en términos de complejidad y requisitos de datos. Estos niveles (Tier en inglés) se definen como:⁶⁶

- Nivel 1 (T1). Es la metodología por defecto del IPCC para la estimación de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero, sólo cuando no se dispone de supuestos y datos nacionales. El IPCC recomienda limitar el uso de este método en la medida de lo posible.

⁶⁵ IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.

⁶⁶ Sexta Comunicación Nacional, 2018 pág. 109-113.

- Nivel 2 (T2). Es la metodología que utiliza datos específicos del país para el cálculo de las emisiones; es decir, factores de emisión propios para las circunstancias nacionales de las actividades que generan emisiones.
- Nivel 3 (T3). Es la metodología más robusta para la estimación de las emisiones y permite mediciones directas en las fuentes de emisión o el uso de modelos específicos para el país, con datos y parámetros calibrados para las circunstancias del mismo.

Por ejemplo, para las fuentes de emisión del INEGYCEI para el periodo 1990-2015, en el sector Energía para el consumo de combustibles fósiles, se utilizaron factores de emisión de CO₂ propios para el país, y se calculó el 100% de las fuentes de emisión del INEGYCEI con Metodología Nivel 2 para este gas. Las emisiones de CO₂ son las que predominan en este sector y, con menor contribución, CH₄ y N₂O, los cuales se estimaron con una Metodología Nivel 1; en conjunto representan 64.7% de las emisiones totales del país. Las emisiones fugitivas, en el sector Energía, se estimaron en su totalidad con una Metodología 1 con un peso de 6.35% en el inventario.

3.6 Metodología utilizada en los Inventario de Emisiones para fuentes móviles de la ZMVM (periodo 1994-2016)

Esta metodología que especifica el IPCC 2006 a nivel nacional e internacional, también tiene que aplicarse a nivel local para la ZMVM y cualquier ciudad del país, de acuerdo con el Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones.

En el inventario de 1996⁶⁷ se utilizó el modelo MOBILE4.3 adaptado para la ciudad de México para obtener los factores de emisión HC, CO y NO_x empleados en el inventario de 1994 para la ZMVM. En 1996 los factores de emisión de estos contaminantes fueron determinados mediante el modelo MOBILE5 en su versión para México, que es conocido como el modelo M5MCMA.a3, desarrollado por RADIANT Internacional. Esta versión del modelo incorporó adicionalmente información relacionada con las emisiones evaporativas, obtenidas en pruebas de laboratorio. Para el cálculo de los factores de emisión se consideraron las siguientes condiciones de modelación:

- 1) Distribución vehicular por año-modelo.

⁶⁷ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 1996 pág.

- 2) Kilometraje promedio anual recorrido por tipo de vehículo.
- 3) Temperatura ambiente.
- 4) Velocidad promedio de circulación.
- 5) Presión de Vapor Reid (PVR).
- 6) Altitud.

En el caso particular de las PM₁₀, se consideraron los factores de emisión reportados en el estudio *Measurement of Exhaust Particulate Matter Emissions from In-Use Light Duty in the Denver, Colorado Area*, mientras que, en el caso de bióxido de azufre, los factores de emisión se obtuvieron a través de la metodología propuesta por el modelo PART5, desarrollado por la Agencia para la protección Ambiental (EPA).⁶⁸ Se utiliza para estimar los factores de emisión de partículas (PM) y óxidos de azufre (SO_x) de vehículos automotores. Sin embargo, se recomienda que los factores de emisión de SO_x en México no sean estimados con este modelo debido a su incapacidad para ajustar el contenido de azufre, de manera tal que refleje las condiciones locales. En su lugar, las emisiones de SO_x deben estimarse mediante balances de combustible considerando el contenido de azufre de las gasolinas y del diesel que se vende en la ZMVM.

Para el Inventario de Emisiones de 1998⁶⁹ también se utilizaron los factores de emisión reportados en el estudio *Measurement of Exhaust Particulate Matter Emission from In-Use Light Duty Motor Vehicle in Denver Colorado Area*, realizados por la Universidad del estado de Colorado, para el cálculo de las emisiones de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀). Para estimar las emisiones de HC, CO, NO_x en vehículos que consumen gasolina se utilizaron los factores de emisión obtenidos de mediciones realizadas por el Instituto Mexicano del Petróleo para la ZMVM. Y para el cálculo de estos mismos contaminantes en motocicletas y vehículos que consumen diesel se utilizaron factores de emisión obtenidos de la aplicación del modelo MOBILE5a.3MCMA.

Para estimar las emisiones de las fuentes móviles en carreteras del inventario de emisiones de 2004,⁷⁰ se utilizó la metodología establecida en el Manual VI “Desarrollo de Inventario de Emisiones de Vehículos Automotores” del Programa de Inventarios de Emisiones para México.

⁶⁸ Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. Sanfandila, Queretaro, 2009. pág. 19

⁶⁹ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 1998 pág.

⁷⁰ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2004 pág.

Esta metodología recomienda la utilización de factores de emisión, aplicados a los datos de actividad, que en el caso de las fuentes móviles son los Kilómetros Recorridos por los Vehículos (KRV). Los factores que se utilizaron para estimar las emisiones de HC, CO, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} y NH₃, se obtuvieron de diversas fuentes tales como: Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Modelos MOBILE5-México y MOBILE6-México desarrollados por la US-EPA, Greenhouse Gas Inventory Reference Manual Vol. 3, desarrollado por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC). Para estimar las emisiones de SO₂ se utilizó un balance de materiales a partir del consumo de combustible y su contenido de azufre en peso.⁷¹

Para estimar los factores de emisión del Inventario de Emisiones del año 2006 se utilizó el modelo computacional Mobile5-Mexico y las mediciones realizadas en la ZMVM por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). La razón de utilizar modelos computacionales es que las emisiones de los vehículos automotores son más complejas y dinámicas que la mayoría de los otros tipos de fuentes. Al modelo se le incorporaron datos propios de la ZMVM, como el contenido de azufre y presión de vapor Reid (PVR) de las gasolinas, la velocidad de circulación, la temperatura ambiente, la altitud, entre otros parámetros que influyen en el factor de emisión. Los factores que se obtuvieron de este modelo fueron para cada una de las tres temporadas climáticas que se presentan en el año en la ZMVM (seca fría, seca caliente y lluvias), por tipo de vehículo, por tipo de combustible utilizado y por cada año modelo.⁷²

En el año 2008, 2010 y 2012, se utilizó el modelo Mobile6-Mexico, con información de la ZMVM que influyó en el factor de emisión como:

- la Presión de Vapor Reid (PVR) de las gasolinas.
- el contenido de azufre de los combustibles.
- la velocidad de circulación.
- la temperatura ambiente y la altitud.

⁷¹ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2004 pág. 98.

⁷² Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2006 pág. 107.

Los factores de emisión obtenidos del modelo Mobile6-Mexico se estimaron para el Distrito Federal y el Estado de México, así como por tipo de vehículo, tipo de combustible y año modelo. Estos factores de emisión para cada tipo de vehículo varían de acuerdo con la entidad, a la edad de la flota vehicular registrada y al kilometraje recorrido.⁷³

Para el Inventario de Emisiones 2014⁷⁴ se hicieron las siguientes consideraciones: Los cálculos de las estimaciones de contaminantes criterio del presente inventario, se basan en las metodologías establecidas en los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México (Radian International LLC, 1997)⁷⁵, así como en las propuestas por el Air Resources Board de la Agencia de Protección Ambiental de California. En el caso de los gases de efecto invernadero, se consideran las Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero publicadas por el Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006), y de las consideraciones de expertos en cada una de las fuentes contaminantes. Para este año, la Ciudad de México fue la primera ciudad que publicó el inventario de las emisiones del transporte, con la adecuación del modelo recomendado por la US-EPA y la SEMARNAT, denominado MOVES-México. Desde el año 2010 la US-EPA ha trabajado en mejorar los algoritmos de cálculo y en la incorporación de nuevas mediciones de contaminantes.⁷⁶

En marzo del 2016 finalmente, se liberó la versión para México. Las emisiones de las fuentes móviles de la ZMVM para el Inventario 2016, fueron estimadas por la SEDEMA, con el modelo MOVES-México (Motor Vehicle Emission Simulator). El cual es una versión del modelo para el cálculo de emisiones vehiculares MOVES2014a, desarrollado por la US-EPA (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos. MOVES-México incorpora los cambios tecnológicos y mejora la estimación de contaminantes criterio, tóxicos y de GEI con nuevas mediciones provenientes de sensor remoto de varias ciudades. Además, se realizaron correcciones de datos y se observó la disminución de hidrocarburos y tóxicos, principalmente en las emisiones evaporativas a gasolina. Considerando el cambio del modelo de estimación, la CDMX solicitó el

⁷³ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2008 pág. 104. Inventario de Emisiones de la ZMVM 2010 pág. 15.

⁷⁴ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2014 pág.

⁷⁵ Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México, Vol. VI. Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Vehículos Automotores. Elaborado para: La Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado. Elaborado por: Radian International. 1997

⁷⁶ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2014 pág.

aseguramiento de la calidad de las emisiones a los desarrolladores del modelo: Eastern Research Group Inc.- ERG, con la finalidad de validar y dar certidumbre a las estimaciones de las emisiones del transporte, debido a la importancia de su participación en la contaminación. Durante este proceso se verificó el ingreso de los datos (flota, kilómetros recorridos, calidad de combustibles, entre otros), así como las bases de datos de salida del modelo y se hicieron comparaciones contra las emisiones del modelo anterior, determinándose que las diferencias provienen de las mejoras del modelo y de la incertidumbre de los datos de actividad, los cuales datan de más de diez años.⁷⁷

3.7 Parque vehicular para los Inventarios de Emisiones de la ZMVM 1994-2016

En la tabla 8 se puede analizar cuál es la variación de la flota vehicular desde el año 1994 hasta el año 2016. En términos generales hay un incremento de vehículos desde el año 1994 hasta el año 2016. En la tabla 7 se puede analizar cuál es la variación de la flota vehicular desde el año 1994 hasta el año 2016. En términos generales hay un incremento de vehículos desde el año 1994 hasta el año 2016. También se puede observar que el incremento en los vehículos del año 1994 hasta 2004 fue de más del 55 %, situación que provocó un fuerte incremento en la generación de emisiones contaminantes. Del año 2008 hasta los vehículos registrados en el inventario de 2016 se aumentó en poco más del 26 %, este incremento provocó que las emisiones contaminantes disminuyeran en su incremento con respecto al año 2006.

1994	1996	1998	2000-2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016
2,720,000	3,157,874	3,260,919	3,165,000	3,759,718	4,227,274	4,500,000	5,024,618	5,012,750	5,3000,00	5,700,000

Tabla 8. Variación del parque vehicular desde 1994 hasta 1996 (millones de vehículos).

3.8 Características de la Flota vehicular en los inventarios de Emisiones de la ZMVM 1994-2010)

2004_Flota vehicular: 3.7 millones de vehículos (2,967,893). El 66% corresponden a unidades registradas en el Distrito Federal y el 34% restante a unidades registradas en el Estado de México.⁷⁸

⁷⁷ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2016 pág.

⁷⁸ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2004. Pág. 97

Edad del parque vehicular: en el caso de la gasolina cerca del 26% son modelos 1990 y anteriores, 8% corresponden a los modelos 1991-1992 y alrededor del 66% corresponden a modelos 1993 y posteriores, los cuales ya cuentan con convertidores catalíticos de tres vías y otros dispositivos anticontaminantes.⁷⁹

2006_ Flota vehicular: La flota vehicular registrada en la ZMVM, se estima en más de 4.2 millones de vehículos (4,227,274), de los cuales el 62% corresponden a unidades registradas en el Distrito Federal y el 38% restante a unidades registradas en el Estado de México. Cabe mencionar que los 41 municipios conurbados que se agregaron recientemente a la ZMVM, sólo representan el 12% de la flota del Estado de México y el 5% de la flota total de la ZMVM.⁸⁰

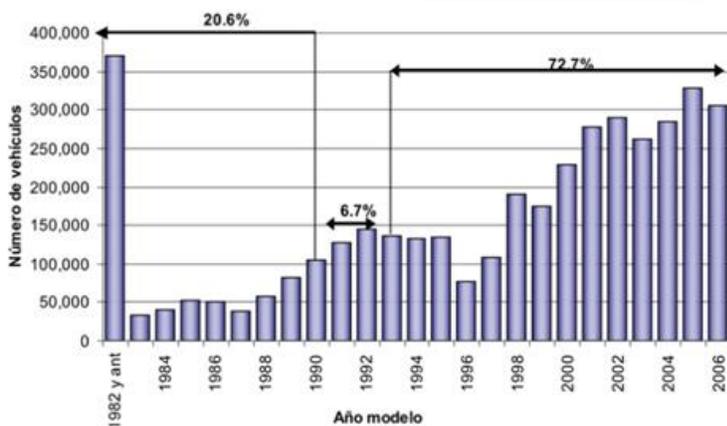


Gráfico 8. Vehículos a gasolina por año modelo y tecnología.

Edad del parque vehicular por tipo de combustible (Gráfico 8): De los vehículos a gasolina (4,027,992), poco más del 20% son modelos 1990 y anteriores, los cuales no cuentan con sistemas de control de emisiones; aproximadamente el 7% son modelos 1991-1992, estos vehículos ya traen incorporados convertidores catalíticos de dos vías y permiten disminuir las emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono; el resto de los vehículos corresponde a modelos 1993 y posteriores, los cuales ya cuentan con convertidores catalíticos de tres vías y otros dispositivos anticontaminantes para reducir las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

⁷⁹ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2004. Pág. 100

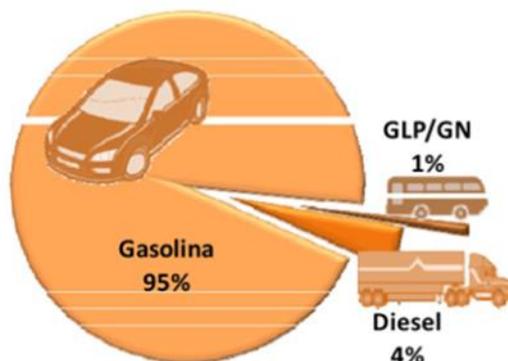
⁸⁰ Inventario de Emisiones de contaminantes criterio 2006. Pág. 99

Flota vehicular por tipo de combustible: El 95% de la flota vehicular de la ZMVM utiliza gasolina como combustible, el 4% son unidades a diesel y los vehículos restantes utilizan principalmente gas licuado de petróleo (GLP) y en menor volumen gas natural comprimido⁸¹.

2008_ La flota vehicular registrada en la ZMVM, se estima en más de 4.5 millones de vehículos, de los cuales el 64% corresponde a unidades registradas en el Distrito Federal y el 36% restante, a unidades registradas en el Estado de México.

Flota vehicular por tipo de combustible (Gráfico 9): De manera general, el 95% de la flota vehicular de la ZMVM utiliza gasolina como combustible, el 4% son unidades a diesel y los vehículos restantes utilizan principalmente gas licuado de petróleo (GLP) y en menor cantidad gas natural comprimido.⁸²

Edad del parque vehicular: De los vehículos a gasolina (4.3 millones), el 14% son modelos 1990 y anteriores, los cuales no cuentan con sistemas de control de emisiones; aproximadamente el 5% son modelos 1991-1992, vehículos que ya integran convertidores catalíticos de dos vías y permiten disminuir las emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono. Los vehículos que corresponden a modelos 1993 y posteriores (81% de la flota a gasolina), ya cuentan con convertidores catalíticos de tres vías y otros dispositivos anticontaminantes para reducir las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.⁸³



⁸¹ Inventario de Emisiones de contaminantes criterio 2006. Pág. 100

⁸² Inventario de Emisiones de contaminantes criterio 2008. Pág. 95

⁸³ Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM, 2008. Pág. 97

Gráfico 9. Flota vehicular por tipo de combustible.

2010_ Flota vehicular: Las emisiones provenientes de los vehículos registrados en la ZMVM, son parte importante del problema de contaminación del aire por PM₁₀, PM_{2.5} y ozono; sin embargo, también tienen importantes aportaciones de gases de efecto invernadero y carbono negro. En el gráfico 10 se incluyen las emisiones de estos compuestos generados por más de 5 millones de vehículos (5,024, 618) automotores que circulan por las vialidades de la ZMVM.⁸⁴



Gráfico 10. Flota vehicular y contribución porcentual a las emisiones de GEI.

2014_Flota vehicular: En este inventario de emisiones se registraron 5.3 millones de vehículos, predominando los de uso particular, 80% (autos/SUV/motos). En contraste, el transporte de pasajeros representa sólo el 7 % del parque vehicular y puede transportar entre 40, 80 y 200 pasajeros por unidad llevando a cabo casi dos terceras partes de los viajes totales, como se puede observar en la figura 11.⁸⁵

⁸⁴ Inventario de Emisiones de la ZMVM, contaminantes criterio 2010. Pág. 29

⁸⁵ Inventario de Emisiones de contaminantes criterio, tóxicos y de efecto invernadero, 2014. Pág. 22

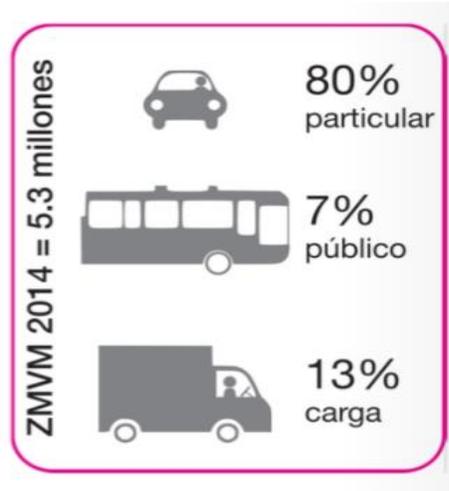


Figura 11. Distribución de la Flota vehicular de la ZMVM en cuanto a su uso.

3.9 Inventario de Emisiones para fuentes vehiculares de la ZMVM 1994 actualizados con datos de 1996⁸⁶

El objetivo del inventario de 1996 fue actualizar el inventario de emisiones a la atmósfera de 1994 como herramienta de apoyo para la evaluación de las medidas y estrategias del Programa para Mejorar la Calidad de Aire en el Valle de México 1995-2000.

3.9.1 Parque vehicular

Se tomó una muestra de 1.5 millones de vehículos que cumplieron con el Programa de verificación vehicular durante el primer trimestre del año 1997, en donde los vehículos modelo 1993 y posteriores representaron alrededor del 30 % del parque vehicular, mientras que los vehículos con una edad mayor a 15 años representaron aproximadamente el 15 % de este parque.

Las emisiones reportadas en el presente inventario correspondieron a hidrocarburos totales (HC), monóxido carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), bióxido de azufre (SO₂) y partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀). La estimación de las PM₁₀ se agregó al actual inventario, en sustitución del cálculo de las partículas totales, porque los estudios realizados indican que el 98 % de las

⁸⁶ *Inventario de Emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de la Ciudad de México*, 1996. Comisión Ambiental Metropolitana. Agosto 1999.

partículas emitidas por el escape de los vehículos de diesel y gasolina son de tamaño menores a 10 micrómetros.

3.9.2 Homologación vehicular

En el presente inventario se hizo una homologación entre la clasificación de la flota vehicular que circulaba en la ZMVM y la establecida por el modelo M5MCMA.a3, la cual se llevó a cabo considerando el peso vehicular y los límites de emisión permisibles vigentes para esta zona (Tabla 9).

3.9.3 Estimación de emisiones contaminantes

La estimación de las emisiones contaminantes fue resultado del producto algebraico de un *factor de emisión* por su dato de actividad correspondiente. El *factor de emisión* es una razón que relaciona la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera por unidad de actividad. Por ejemplo, para las fuentes móviles se tienen gramos de contaminante por kilómetro recorrido, gramos de contaminante por pasajero o carga transportada, kilogramos de contaminante por cantidad de combustible quemado, etc. El *dato de actividad* es una medida de una acción o actividad realizada, expresada como producción, uso de un material, número de obreros, cantidad de combustible quemado, o bien gasolina vendida, si es que lo vamos a aplicar a fuentes móviles.

El inventario de 1996 incorporó en gran medida las técnicas de estimación que el Instituto Nacional de Ecología señala en el Programa de Inventario de Emisiones para México. A partir de este año se inician los procesos de homogeneización de los métodos de estimación de las emisiones que se emplearán en adelante en la ZMVM.

Categoría de vehículo utilizado en el modelo M5MCMA.a3	Correspondencia con la clasificación del Programa de verificación
Ligth Duty Gasoline Vehicles (LDGV)	Autos particulares y taxis a gasolina
Ligth Duty Gasoline Trucks 1 (LDGT1)	Pick-Up a gasolina
Ligth Duty Gasoline Trucks 2 (LDGT2)	Combis, microbuses, y carga a gasolina
Ligth Duty Gasoline Vehicles (LDGV)	Camionetas de carga a gasolina
Ligth Duty Diesel Vehicles (LDDV)	Vehículos particulares a diesel
Ligth Duty Diesel Trucks (LDDT)	Camionetas de carga a diesel
Heavy Duty Diesel Vehicles (HDDV)	Autobuses, autobuses urbanos (RUTA-100), Carga de más de dos ejes
Motorcycles (MC)	Motocicletas

Tabla 9. Homologación vehicular.

3.9.4 Actividad vehicular

Para la estimación de emisiones de origen vehicular se consideraron dos elementos fundamentales que reflejan la actividad vehicular: la distancia, la forma en la cual ésta fue recorrida (dato de actividad) y la tasa promedio de contaminantes emitidos durante el transcurso del viaje (factor de emisión). La actividad vehicular se expresó en términos del kilometraje recorrido por los vehículos y los factores de emisión se expresaron en unidades de gramo de contaminante emitido por kilómetro recorrido.

El dato de actividad representativo de una zona de estudio se estimó mediante la contabilización del número de vehículos que pasan por una calle, avenida o carretera de longitud conocida. La estimación de los factores de emisión se realizó siguiendo la metodología desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental (APA) de los Estados Unidos de Norteamérica, quien ha desarrollado modelos de factores de emisión diseñados para considerar los efectos de numerosos parámetros vehiculares que influyen en la determinación del volumen total de contaminantes emitidos por los vehículos.

El dato de actividad (kilometraje recorrido por día) es uno de los elementos fundamentales en el proceso de estimación de las emisiones totales, reflejando la intensidad con la cual son empleados cada tipo de vehículos (Tabla 10).

Clasificación vehicular	Recorrido promedio (km/día)
Autos particulares	33
Taxis	200
Combis y micros	150
Pick-Up	40
Camiones de Carga	50
RUTA-100	150
Autobuses	150
Cargas de más de dos ejes	70

Tabla 10. Promedio de kilometraje recorrido por día.

3.9.5 Factores de emisión

Los factores de emisión HC, CO y NO_x empleados en el inventario de 1994 para la ZMVM fueron obtenidos a través de la aplicación del modelo MOBILE4.3 adaptado para la Ciudad de México. En 1996 los factores de emisión de estos contaminantes fueron determinados mediante el modelo MOBILE5 en su versión para México, que es conocido como el modelo M5MCMA.a3, desarrollado por RADIANT Internacional. Esta versión del modelo incorporó adicionalmente información relacionada con las emisiones evaporativas, obtenidas en pruebas de laboratorio. Para el cálculo de los factores de emisión se consideraron las siguientes condiciones de modelación:

- 7) Distribución vehicular por año-modelo.
- 8) Kilometraje promedio anual recorrido por tipo de vehículo.
- 9) Temperatura ambiente.
- 10) Velocidad promedio de circulación.
- 11) Presión de Vapor Reid (PVR).
- 12) Altitud.

En el caso particular de las PM₁₀, se consideraron los factores de emisión reportados en el estudio *Measurement of Exhaust Particulate Matter Emissions from In-Use Light Duty in the Denver, Colorado Area*, mientras que, en el caso de bióxido de azufre, los factores de emisión se obtuvieron a través de la metodología propuesta por el modelo PART5, considerando el contenido de azufre de las gasolinas y del diesel que se vende en la ZMVM. En la tabla 10 se detallan los factores de emisión por contaminante y tipo de vehículo considerados para este estudio. Estos factores consideraron una velocidad promedio de 36 km/h.

Clasificación vehicular	HC	CO	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
Autos particulares	2.92	34.60	1.38	0.029	0.0907
Taxis	2.92	34.60	1.38	0.029	0.0907
Combis y micros	7.78	85.14	2.65	0.029	0.1150
Pick-Up	4.62	54.45	2.10	0.029	0.1194
Camiones de carga	7.78	85.14	2.65	0.029	0.2067
RUTA-100	4.85	11.70	14.57	1.500	0.2225
Autobuses	4.85	11.70	14.57	1.500	0.3157
Cargas de más de dos ejes	4.85	11.70	14.57	1.500	0.2672

Tabla 10. Factores de emisión por tipo de vehículo (gr/km).

3.9.6 Resultados: Emisión de contaminantes de origen vehicular: HC, CO, NOx, PM₁₀, SO₂

El resultado de la aplicación de los factores de emisión y el dato de actividad se muestra en la Tabla 11, la cual presenta las emisiones estimadas del parque vehicular de 1996. La emisión anual se estimó considerando que el número promedio de días de circulación vehicular es de 313 días al año. Como se puede observar el total de emisiones generadas por los vehículos automotores que circulan en la ZMVM es de alrededor de 2,270,000 toneladas anuales, de las cuales 8.2 % son emisiones de HCT, 85 % son de CO y el 6 % son emisiones de NOx. En cuanto a las emisiones de PM₁₀ y SO₂ no exceden el 1 %.

Clasificación vehicular	HC	CO	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
Autos particulares	69,413	822,498	32,805	689	2,155
Taxis	16,774	198,759	7,927	167	521
Combis y micros	19,052	208,492	6,489	71	282
Pick-Up	2,806	33,068	1,221	18	73
Camiones de carga	56,491	618,202	19,242	211	1,501
RUTA-100	636	1,535	1,911	197	29
Autobuses	1,206	2,910	3,623	373	79
Cargas de más de dos ejes	20,397	49,205	61,275	6,308	1,124
Total	186,774	1,934,669	134,493	8,033	5,762

Tabla 11. Emisión de contaminantes de origen vehicular en la ZMVM en 1996 (ton/año).

Por la importancia que representan los HCT y NOx en la formación de ozono, destaca la contribución a las emisiones de estos contaminantes, los de autos particulares y los camiones de carga, así como los de taxis, combis y micros, ya que a pesar de representar sólo un 3 % de la flota vehicular, sus emisiones son del orden de la cantidad de los autos particulares. Con relación a las emisiones PM₁₀, sobresale la contribución de los vehículos que usan diesel y en particular los de carga de más de dos ejes.

3.10 Inventario de Emisiones de fuentes vehiculares para la ZMVM 1998⁸⁷

3.10.1 Parque vehicular

Para calcular el inventario de emisiones de fuentes móviles se determinó primero el número de vehículos existentes en la ZMVM, el cual corresponde a 3,260,919 vehículos. Estos vehículos se clasificaron tomando en cuenta el tipo de combustible, el peso del vehículo y la actividad o uso de éste. En la Tabla 12 se muestra la distribución del parque vehicular y el porcentaje de cada sector.

Clasificación vehicular	# de unidades	%
Autos particulares	2,341,731	71.81
Taxis	109,407	3.36
Combis	5,499	0.17
Microbuses	32,029	0.98
Pick-Up	336,080	10.31
Camiones de carga a gasolina	154,413	4.74
Vehículos a diesel < 3 toneladas	4,733	0.15
Tractocamiones a diesel	70,676	2.17
Autobuses a diesel	12,505	0.38
Autobuses a diesel > 3 toneladas	90,940	2.79
Camiones de carga a gas (LP)	30,102	0.92
Motocicletas	72,704	2.23
Total	3,260,919	100

Tabla 12. Distribución del parque vehicular en la ZMVM.

3.10.2 Estimación de emisiones contaminantes: Ecuaciones

Para la estimación de las emisiones de fuentes móviles se requirió de los datos de actividad vehicular y del factor de emisión asociado a dicha actividad. La estimación se realizó a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Emisiones de contaminantes móviles:

⁸⁷ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 1998.

$$E_i = (FE_i)(KRV)$$

E_i = Emisiones totales del contaminante x (g/año)

KRV = Kilómetros Recorridos por Vehículo (km/año)

FE_i = Factor de Emisión del contaminante x (g/km)

Esta ecuación básica se aplicó en la valoración de HCT, CO, NO_x y PM₁₀. El cálculo de emisiones de SO₂ se desarrolló mediante la aplicación de un balance de combustible, suponiendo que se emite la totalidad del azufre contenido en el combustible como bióxido de azufre (SO₂).

Ecuación 2. Balance de combustible para SO₂

$$ESO_{2j} = (CC_j) (\rho C_j) (S_j) Z$$

ESO_{2j} = Emisiones de SO₂ del combustible_j (_j = gasolina, diesel y gas LP)

CC_j = Consumo Total de combustible_j

ρC_j = Densidad del combustible_j

S_j = Contenido de azufre (% fracción de masa) del combustible_j

Z = Factor de conversión de masa de azufre a masa de Sox (como SO₂)

3.10.3 Factores de emisión: HC, CO, NO_x, PM₁₀, SO₂

Para el cálculo de las emisiones de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) se utilizaron los factores de emisión reportados en el estudio Measurement of Exhaust Particulate Matter Emission from In-Use Light Duty Motor Vehicle in Denver Colorado Area, realizados por la Universidad del estado de Colorado en 1998.

Para estimar las emisiones de HC, CO, NO_x en vehículos que consumen gasolina se utilizaron los factores de emisión obtenidos de mediciones realizadas por el Instituto Mexicano del Petróleo para la ZMVM. Y para el cálculo de estos mismos contaminantes en motocicletas y vehículos que consumen diesel se utilizaron factores de emisión obtenidos de la aplicación del modelo MOBILE5a.3MCMA.

Los datos esenciales para el desarrollo del inventario de fuentes móviles fueron:

- 1) Datos de actividad vehicular de la ZMVM (kilómetros recorridos por vehículo o consumo de combustible).
- 2) Velocidades vehiculares promedio.
- 3) Factores de emisión por tipo de vehículo, tipo de combustible, y año-modelo.
- 4) Datos de los parámetros que definen la calidad de los combustibles vehiculares que se distribuye en la ZMVM (Contenido de azufre y presión de vapor Reid).
- 5) Distribución del parque vehicular por año-modelo.
- 6) Condiciones locales de altitud y temperatura ambiente.

3.10.4 Resultados: Emisión de contaminantes de origen vehicular: HC, CO, NOX, PM₁₀, SO₂

Las emisiones generadas en la ZMVM por las fuentes móviles en toneladas por año y porcentuales se pueden apreciar en la Tabla 13. La suma del porcentaje para cada uno de los contaminantes de los cuatro sectores que corresponden a: fuentes puntuales, fuentes móviles, fuentes de área, vegetación y suelos, corresponden al 100 % y la fracción porcentual que corresponde a las fuentes móviles.

Fuentes móviles	HC	CO	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
ton/año	187,773	1,733,663	165,838	7,133	4,670
%	40	98	80	36	21

Tabla 13. Inventario de emisiones anual y porcentual de la ZMVM, 1998.

En la tabla 14 se puede apreciar la emisión de contaminantes de manera desglosada de la clasificación del parque vehicular y en la tabla 15 se describe la fracción porcentual a la que corresponde cada tipo de unidad móvil.

Clasificación vehicular	HC	CO	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
Autos particulares	81,705	822,477	47,380	701	2,000
Taxis	15,310	131,452	11,093	199	567
Combis	1,945	20,448	930	10	28
Microbuses	19,761	216,740	9,524	59	166
Pick-Up	24,599	255,503	18,961	183	522
Camiones de carga a gasolina	18,683	216,865	15,297	84	240
Vehículos a diesel < 3 toneladas	168	249	150	133	24
Tractocamiones a diesel	7,587	16,675	22,678	1,990	363
Autobuses a diesel	3,853	9,270	11,640	1,174	214
Autobuses a diesel > 3 toneladas	9,205	20,956	27,662	2,562	468
Camiones de carga a gas (LP)	215	298	308	16	15
Motocicletas	4,742	22,729	215	22	63
Total (ton/año)	187,773	1,733,663	165,838	7,133	4,670

Tabla 14. Inventario de emisiones desagregado del parque vehicular de la ZMVM en 1998 (ton/año).

Clasificación vehicular	HC	CO	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
Autos particulares	17.20	46.50	23.01	3.52	8.90
Taxis	3.22	7.43	5.39	1.00	2.52
Combis	0.41	1.16	0.45	0.05	0.12
Microbuses	4.16	12.25	4.63	0.30	0.74
Pick-Up	5.18	14.44	9.21	0.92	2.32
Camiones de carga a gasolina	3.93	12.26	7.43	0.42	1.07
Vehículos a diesel < 3 toneladas	0.04	0.01	0.07	0.67	0.11
Tractocamiones a diesel	1.60	0.94	11.01	10.01	1.62
Autobuses a diesel	0.81	0.52	5.65	5.90	0.95
Autobuses a diesel > 3 toneladas	1.94	1.18	13.44	12.88	2.08
Camiones de carga a gas (LP)	0.05	0.02	0.15	0.08	0.07
Motocicletas	1.00	1.28	0.10	0.11	0.28
Total (%)	39.53	98.01	80.55	35.86	20.79

Tabla 15. Inventario de emisiones porcentual desagregado del parque vehicular de la ZMVM en 1998.

3.11 Comparación de los Inventarios de Emisiones para fuentes vehiculares 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002.

El inventario de 1994, actualizado con datos de 1996 es importante porque es el primer inventario publicado oficialmente y el que sirvió de base para los siguientes inventarios de emisiones que se realizaron, de manera bianual, posteriormente. Como puede verse en la tabla X, la clasificación vehicular sólo consistía en 8 categorías y el inventario sólo se realizó para 5 emisiones contaminantes: hidrocarburos totales (HC), monóxido carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), bióxido de azufre (SO₂) y partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀). Para el inventario de 1998, la clasificación vehicular consistió en 12 categorías y el inventario fue para los mismos contaminantes de 1994. El inventario de emisiones del año 200-2002 a diferencia de los anteriores se caracteriza por lo siguiente:

- a) Se incorpora por primera vez, además de las emisiones de los contaminantes criterio (CO, NO_x, PM₁₀ Y SO₂) las emisiones de PM_{2.5}, COT, COV, NH₃ y CH₄.
- b) Se presenta el inventario de manera espacial, por medio de la cual se pueden ubicar las diferentes zonas donde se está emitiendo un contaminante; y en forma temporal, es decir se permitirá conocer la cantidad de emisión generada en cada hora para que pueda utilizarse como insumo básico en la aplicación del modelo de calidad del aire Multiscale Climate Chemistry Model-MCCM.
- c) Finalmente, se anexan las recomendaciones hechas al inventario del año 1998, así como el recálculo de los inventarios de emisiones de los años 1994, 1996 y 1998, lo cual se puede apreciar en los gráficos 11 y 12 donde las fuentes móviles son las que más contribuyen a las emisiones contaminantes con respecto a las otras fuentes de emisión, y el monóxido de carbono ocupa el primer lugar en contribución de emisiones contaminantes. Todo esto en concordancia con el incremento de la flota vehicular desde 1994 hasta el año 2004 (Gráfico 13).

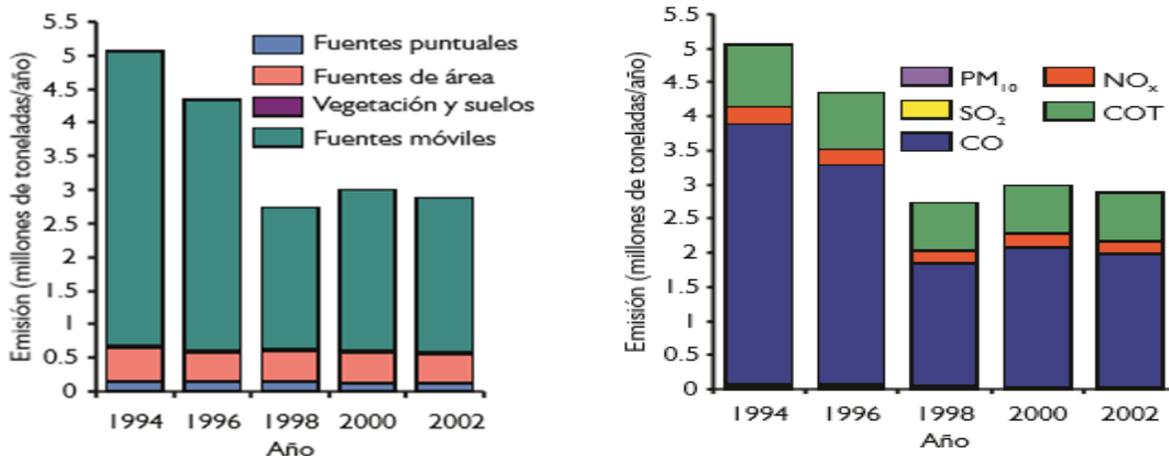


Gráfico 11. Emisiones contaminantes por año de fuentes puntuales, de área, vegetación y suelos, y móviles. Y Gráfico 12. Emisión de contaminantes Pm10, So2, CO, NOx y COT por año. Fuente: Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2005.

En el gráfico 14 se puede observar como las fuentes móviles ocupan el primer lugar en la producción de CO y NOx; las fuentes puntuales, el primer lugar en la emisión de SO₂; las fuentes de área, el primer lugar en PM₁₀ y COT; y finalmente, vegetación y suelos ocupa el primer lugar en PM₁₀.

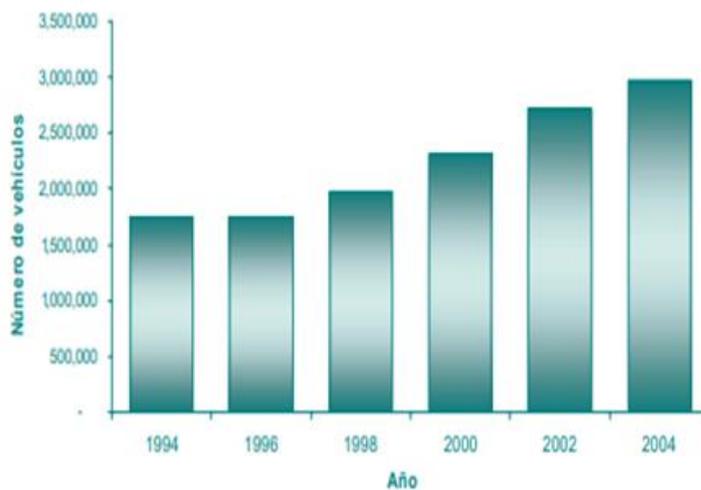


Gráfico 13. Crecimiento del número de autos particulares en circulación de la ZMVM, 1994- 2004

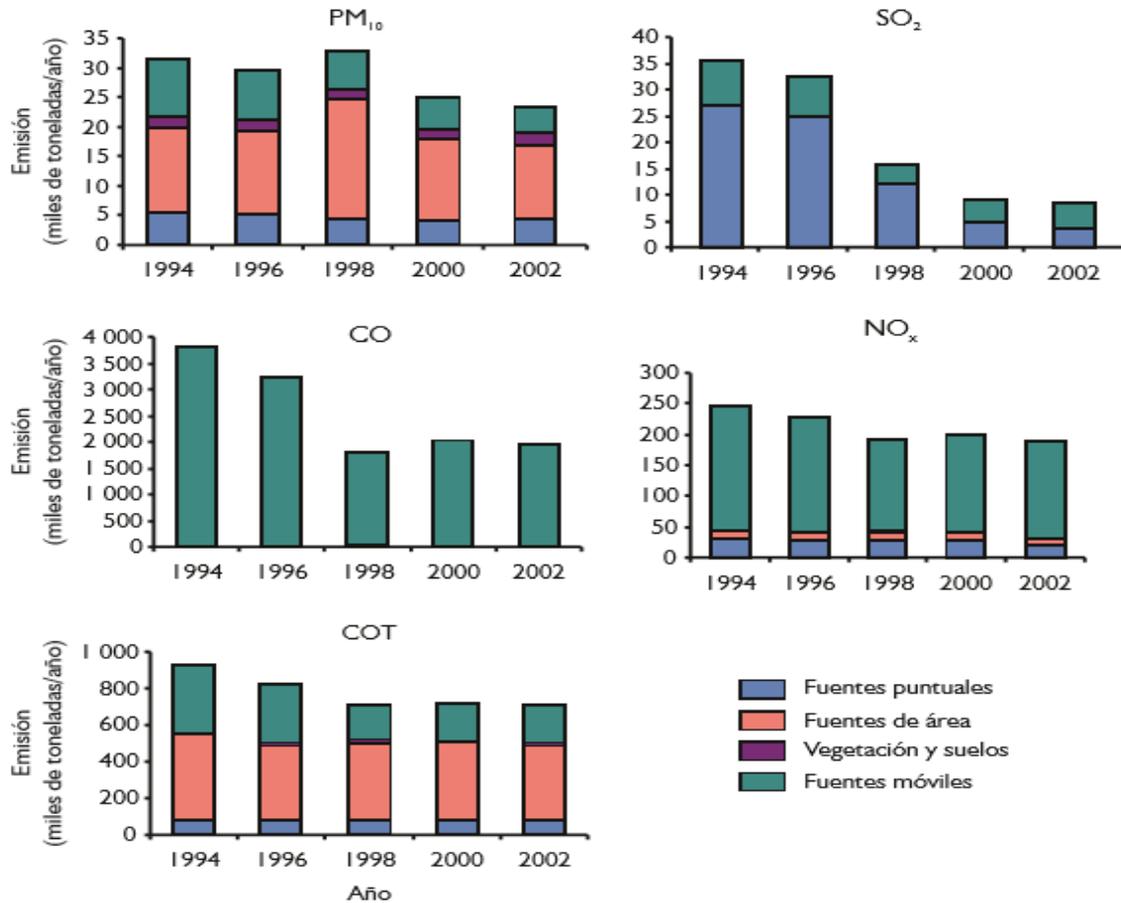


Gráfico 14. Emisión de contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de México, por contaminante y fuente, 1994, 1996, 1998, 2000 y 2002. Fuente: Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2005.

3.12 Emisiones contaminantes de los Inventarios de la ZMVM 2008-2014

Con respecto a los siguientes inventarios, posteriores a estos dos que se han analizado se puede decir que en el 2008 se estimaron 1.56 millones de toneladas de CO. Con respecto a los NO_x, se tienen más de 188 mil toneladas anuales y de éstas, el 82% es generado por las fuentes móviles. Referente a las PM₁₀, las cuales son uno de los contaminantes de mayor problema en la ZMVM, el 47% proviene de las vialidades no pavimentadas; además, del total de PM₁₀, el 23% se emiten como PM_{2.5}.⁸⁸

⁸⁸ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2008. Pág. 45

Al ampliar el análisis de emisiones y desagregando el inventario (ver tablas 3.3.2 y 3.3.3), tenemos que los autos particulares son una de las categorías más contaminantes, generan el 41% del CO, el 32% de NOx y el 25% de SO2; otra emisión importante en las fuentes móviles son los vehículos a diesel, en específico vehículos pesados de carga y autobuses, los cuales en conjunto generan el 36% de las PM2.5 y el 25% de NOx.⁸⁹

El principal aporte de emisiones en la ZMVM es generado por las fuentes móviles y cabe mencionar que éstas representaron el 99% del CO y el 82% de los NOx que se emiten en la zona. Los autos particulares por ser los más numerosos, generan las principales emisiones de las fuentes móviles; sin embargo, los tractocamiones que no son tan abundantes contribuyen en gran proporción a las emisiones de partículas, esto debido al consumo de diesel.⁹⁰

El inventario de 2010 reportó que las fuentes ubicadas dentro de la ZMVM generaron 54.7 millones de toneladas de CO2 equivalente y representaron el 7.7% de las emisiones nacionales de GEI reportadas por la federación en la Cuarta Comunicación de México ante la UNFCCC. En el año 2010, la ZMVM generó 43.6 millones de toneladas de dióxido de carbono, casi 4 mil toneladas de óxido nitroso y un poco más de 2 mil toneladas de carbono negro, las cuales provienen en su mayoría de la quema de combustibles fósiles del sector industrial y de las fuentes móviles.⁹¹

Emisiones anuales de CO2 equivalente Con la finalidad de conjuntar las emisiones de los gases de efecto invernadero, en la Tabla 2.3 se presentan las emisiones de estos gases en unidades de CO2 equivalente⁴, y se puede mencionar que las fuentes ubicadas dentro de la ZMVM generan anualmente 54.7 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono. Según estimaciones de la SEMARNAT, nuestro país emite 711.6 millones de toneladas de CO2 equivalente, lo que significa que la ZMVM aporta el 7.7% de estas emisiones.⁹²

El potencial de generación de emisiones de GEI depende del tipo de vehículo y del combustible que utiliza, como muestra de ello, se tiene que los autos particulares compactos que utilizan gasolina emiten en promedio 215 gramos de CO2 por kilómetro recorrido, en cambio los que

⁸⁹ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2008. Pág. 46

⁹⁰ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2008. Pág. 108

⁹¹ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2010. Pág. 16

⁹² Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2010. Pág. 18

utilizan diesel emiten 193 g/km. Las emisiones dependen del año modelo del vehículo, por ejemplo, un auto tipo sedán modelo 1990 emite 389 g/km y un modelo 2010 emite 174 g/km. Es importante mencionar que, aunque el convertidor catalítico genera emisiones de CO₂, los vehículos de modelos recientes que cuentan con este sistema de control son menos emisores, debido a que el consumo de combustible es más bajo.

De manera general, se puede concluir que la quema de combustibles fósiles, el consumo de energía eléctrica y la generación de residuos, son las principales actividades que generan las emisiones de GEI en la Zona Metropolitana del Valle de México ZMVM. Como subproducto de la quema de combustibles fósiles, se emitieron 2,010 toneladas de carbono negro; el 76% proviene de las fuentes móviles, principalmente de los tractocamiones y autobuses que utilizan diesel.⁹³

En la ZMVM están domiciliados más de 5 millones de vehículos, de los cuales 4.78 millones son a gasolina y poco más de 189 mil a diesel, en conjunto emiten anualmente 56,419 toneladas de contaminantes tóxicos, representando casi el 30% de las emisiones totales generadas por todos los sectores. Algunos compuestos tóxicos presentes en la gasolina se emiten al aire cuando ésta se evapora, ya sea del tanque de combustible o del cárter; otros provienen del escape, ya que son generados en el proceso de combustión interna del vehículo pag 31

Como se mencionó anteriormente, las emisiones de los vehículos automotores son generadas por el proceso de combustión (emisiones del escape) o por evaporación del combustible; y se ha estimado que las emisiones por escape son las que se generan en mayor cantidad, representando el 82% del total.⁹⁴

Para el inventario 2012, el sector móvil aportó el 98% del CO con 1.57 millones de toneladas y el 88% de los NO_x con cerca de 210 mil toneladas; respecto a los compuestos de efecto invernadero, contribuyó con el 79% de carbono negro (1,676 toneladas) y el 49% de gases de efecto invernadero (24.4 millones de toneladas de CO₂ equivalente).

⁹³ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2010. Pág. 43

⁹⁴ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2010. Pág. 31

El término “contaminantes tóxicos del aire”, es utilizado para referirse a un grupo de compuestos químicos identificados por ser altamente nocivos a la salud humana y cuyos efectos pueden presentarse a corto o a largo plazo (agudos o crónicos, respectivamente). En el año 2012 se generaron cerca de 196 mil toneladas de contaminantes tóxicos. Casi la totalidad de estas emisiones provienen de los compuestos orgánicos totales (COT) y menos del 1% en peso son metales tóxicos contenidos en las partículas suspendidas. Se estima que en la ZMVM en el año 2012, se emitieron 42.1 millones de toneladas de dióxido de carbono y 2,145 toneladas de óxido nitroso, las cuales provienen principalmente de la combustión de la gasolina y diesel en el transporte, y la quema de gas natural en el sector industrial. Por otra parte, y a manera de referencia, de acuerdo con estimaciones de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, nuestro país emite más de 748 millones de toneladas de CO₂ equivalente, considerando la estimación de emisiones de este inventario, significa que la ZMVM aporta el 7% de las emisiones nacionales, es decir 49.5 millones de toneladas de CO_{2e}. De las emisiones generadas en la ZMVM, el transporte contribuye con más de 24 millones de tCO_{2e}, lo que representa el 49% de las emisiones totales; es importante mencionar que tan sólo los autos y camionetas particulares junto con los taxis, aportan el 27% de la emisión total de GEI, los cuales utilizan básicamente gasolina como combustible.⁹⁵

En la Zona Metropolitana del Valle de México, al año 2014 se estimaron en 56.2 millones de toneladas de CO₂ equivalente y, las emisiones de la ZMVM representaron casi el 8% de las emisiones nacionales. De 56.2 millones de toneladas de CO_{2e}, el de mayor emisión es el CO₂ con 43.9 millones de toneladas anuales y representa el 78% de los GEI, sigue en abundancia el metano, el cual contribuye con el 21% y el óxido nitroso sólo representa el 1% de los GEI; los hidrofluorocarbonos no representan una participación significativa, ya que sólo se emitieron 153 toneladas, no obstante, debido a sus potenciales de calentamiento, son importantes en el cambio climático. Finalmente, el carbono negro se estimó en 1793 toneladas, en general, el transporte contribuye con el 84% y en específico, a las unidades pesadas se les atribuye el 64%, debido principalmente al uso de diésel como combustible. En términos de precursores de ozono en el año 2014, se emitieron 138 454 toneladas anuales de NO_x y 360,123 de COV. Respecto a las partículas, estas se estimaron en 31,431 toneladas anuales de PM₁₀ de las cuales, el 41 % corresponden a

⁹⁵ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2012. Pág. 52

PM_{2.5}. En lo que se refiere a los gases de efecto invernadero, se emitieron alrededor de 56.2 millones de toneladas de CO_{2e} y 1793 toneladas de carbono negro.⁹⁶

Es importante resaltar que en cada actualización de los inventarios se hace un recalcu de las emisiones contaminantes de los inventarios previos y se incorporan mejores prácticas para aumentar el aseguramiento y control de calidad de los resultados. Además, existe una revisión, evaluación e incorporación de actualizaciones metodológicas nacionales bajo los lineamientos internacionales y, constantemente se está recopilando información reciente y suficiente para mejorar y/o agregar nuevos sectores de importancia, o bien para mejorar las metodologías en la estimación de emisiones a futuro, como una herramienta fundamental en la planeación de medidas y políticas de calidad del aire y de mitigación de gases de efecto invernadero.

En el siguiente segmento se presenta una descripción a detalle del inventario más reciente que corresponde al año 2016

⁹⁶ Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2014. Pág. 62

3.13 Inventario de Emisiones de la ZMVM 2016⁹⁷

3.13.1 Objetivo

Actualizar de manera continua los inventarios de emisiones de la CdMx y la ZMVM, para identificar y caracterizar las principales fuentes contaminantes que afectan la calidad del aire dentro del territorio de la Ciudad de México, con la finalidad de implementar políticas públicas para reducir los impactos de la contaminación atmosférica en la salud de la población y del ambiente, así como hacer frente al cambio climático.

3.13.2 Generalidades

En este inventario de emisiones de la CDMX 2016, se consideraron las metodologías descritas en los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México, de la Agencia de Protección Ambiental de California (CAIEPA), de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) y del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). También, se incorporaron nuevas y mejores estimaciones con la adecuación de modelos de emisiones y datos locales. Además, se presentó un panorama general de las emisiones a nivel metropolitano, con la inclusión por primera vez del municipio de Tizayuca como parte de la Zona Metropolitana del Valle de México.

En este documento se reporta contaminantes criterio (PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_x , CO , COV y NH_3), compuestos tóxicos (benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, otros)), gases y de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC y Carbono Negro) de 93 categorías:

- 1) 25 fuentes puntuales.
- 2) 55 categorías de fuentes de área.
- 3) 11 tipos de vehículos.
- 4) 2 fuentes naturales.

⁹⁷ Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Programas de Calidad del Aire e Inventario de Emisiones. Ciudad de México. Septiembre, 2018.

Además, se incorporó la estimación de nuevas categorías y contaminantes:

- 1) Las quemas de residuos y ladrilleras.
- 2) Emisiones de dióxido de carbono por el consumo de cigarrillos.
- 3) Partículas por heces de mascotas y contaminantes criterio por el tratamiento de residuos orgánicos (composta).

Finalmente, se actualizaron las emisiones biogénicas con el modelo MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) y se redujo la incertidumbre en la estimación de emisiones de las fuentes móviles con el modelo MOVES-México adaptado a la CDMX. Debido a su importancia en la contribución de emisiones, el sector transporte se ha identificado como una de las principales fuentes de emisión, esto es por la gran demanda que tiene para satisfacer las necesidades de la población de la ZMVM. Esto ha provocado que el 95% de las emisiones de dióxido de carbono equivalente se deben al consumo de combustibles fósiles. Por lo tanto, para modificar la matriz energética de la CdMx y hacer un uso eficiente de la energía, se ha establecido como fundamental, en este inventario, priorizar acciones tendientes a la descarbonización del transporte.

3.13.3 Matriz energética de la Ciudad de México

La Ciudad de México consume en su mayor parte energía secundaria como la gasolina y el diésel, esto significa que el consumo de combustibles fósiles está directamente relacionado con la generación de contaminantes y de compuestos de efecto invernadero, es decir, a mayor consumo, mayores emisiones. En el año 2016 se consumió un total de 385.2 Petajoules⁹⁸ (PJ), de los cuales:

- 1) 356.4 PJ provinieron de energías secundarias que derivan del procesamiento de petrolíferos.
- 2) 28.8 PJ de energías primarias como el gas natural, la leña y el carbón.

En este inventario se estimó para la CdMx, un consumo per cápita anual de 43.6 Gigajoules (GJ), esto implica que cada persona utiliza anualmente, **el equivalente a 1,300 litros de gasolina.**

En la tabla 16 se presenta el consumo energético de la CdMx para el sector transporte durante el año 2016, en la cual se puede observar un consumo anual de 233.7 PJ, equivalente al 60.67% de

⁹⁸ Petajoule = 1 x 10¹⁵ joules, Gigajoule = 1 x 10⁹ joules, joule = 0.2388 calorías.

la energía total, Esto significa que el transporte es el de mayor demanda con respecto a las siguientes fuentes de emisión: sector industrial 64.3 PJ/año (16.67%), sector habitacional 51.5 PJ/año (13.36), sector comercial y de servicios 35.7 PJ/año (9.27%) y sector agropecuario 0.1 PJ/año (0.03%).

Tipo	Sector transporte	Consumo PJ/Año	%
Gasolina (m ³ /año)	4,831,616	163.04	42.33
Diésel (m ³ /año)	1,253,214	48.94	12.70
Gas LP (m ³ /año)	171,722	40.13	10.42
Gas natural (m ³ /año)	10,660,321	28.54	7.41
Turbosina (m ³ /año)	342,308	12.73	3.30
Combustóleo ligero (m ³ /año)	N/A	0.004	N/S
Leña (t/año)	N/A	0.173	0.04
Coque de petróleo (t/año)	N/A	0.0004	N/S
Carbón vegetal (t/año)	N/A	0.059	0.02
Energía eléctrica (MWh/año)	862,896	91.61	23.78
Consumo total (PJ/año)	233,7	385.2	100
%	60,67		

Tabla 16. Consumo energético del sector transporte en la Ciudad de México, 2016.

3.13.4 Metodología⁹⁹

3.13.5 Muestra y clasificación vehicular

El parque vehicular de los 59 municipios conurbados del Estado de México, se estimó a través de la proyección de información de la flota vehicular de inventarios anteriores, considerando que se contaba con información del año 2006 al 2014 por tipo de vehículo, así mismo se integró información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017) y para el caso del transporte público, se realizaron proyecciones con información de vehículos registrados de 2004 a 2014 del Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGCEM, 2016). La flota del transporte federal fue proporcionada por la Dirección General del Autotransporte Federal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2017c) y la información de la flota de Mexibús por la Subdirección de Control Operativo del Sistema de Transporte Masivo y Teleférico del Estado de México.

⁹⁹ Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. Inventario de Emisiones de la Ciudad de México. Memorias de Cálculo. Contaminantes Criterio, Tóxicos y compuestos de Efecto Invernadero, 2016. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Programas de Calidad del Aire e Inventario de Emisiones. Ciudad de México. Septiembre, 2018.

La flota vehicular del municipio de Tizayuca, fue proporcionada por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno del Estado de Hidalgo, a través de la Dirección General de Control de la Contaminación de dicha institución y corresponde a las unidades registradas en el año 2016 en la Secretaría de Finanzas y Administración del Estado de Hidalgo.

A continuación, se presenta la flota vehicular registrada por combustible y tipo de vehículo, la cual se obtuvo a partir de las bases de datos del Programa de Verificación Vehicular Obligatorio 2016, registros del transporte público, dependencias del Gobierno de la CDMX y de vehículos federales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). La flota vehicular está constituida por 2,322,423 automóviles y tiene una antigüedad de más de 35 años, sin embargo, se acotó la clasificación a 31 años modelo para la exigencia del modelo MOVES-CDMX (Tabla 17).

Clasificación vehicular	CdMx 2016	%	Gasolina	Diésel	Gas LP	Gas Natural
Total	2,322,423	Contribución	2,160,227 93.02%	148,584 6.40%	13,239 0.56%	373 0.02%
Autos particulares	1,302,591	56.09	1,300,350	2,100	15	126
SUV	351,180	15.12	346,407	4,725	40	8
Taxis	133,956	5.77	133,649	260	31	16
Combis	7,989	0.34	5,856	2,055	78	N/A
Microbuses	14,019	0.60	1,178	98	12,592	151
Pick-Up	73,657	3.17	72,236	1,292	129	N/A
Vehículos ≤ 3.8 t	13,576	0.58	9,057	4,462	57	N/A
Tractocamiones	67,386	2.90	N/A	67,386	N/A	N/A
Autobuses	38,465	1.66	137	38,220	36	72
Vehículos ≥ 3.8 t	51,578	2.22	23,916	27,401	261	N/A
Motocicletas	267,441	11.52	267,441	N/A	N/A	N/A
Metrobús	585	0.03	N/A	585	N/A	N/A

Tabla 17. Flota vehicular de la Ciudad de México, 2016.

Indicadores del potencial de generación de contaminantes:

- a) Edad de los vehículos.
- b) Tipo de tecnología de control de emisiones.

Con base a estos indicadores se considera que a mayor edad se presentan mayores emisiones debido al deterioro de los vehículos y a tecnología menos eficiente. La edad promedio de la flota a gasolina es de 6.5 años y la de los vehículos a diésel es de 13.2 años. Los Programas vehiculares

que se aplican en la CDMX han favorecido la renovación de la flota, y actualmente se considera la más nueva del país.

3.13.6 Homologación vehicular

En la siguiente tabla se presentan los tipos de vehículos y su homologación vehicular para la estimación de emisiones con el modelo MOVES-CDMX (Tabla 18).

Source Type Name	MOVESID	Tipo de Vehículo
Motorcycle	11	Motocicletas
Passenger Car	21	Autos particulares
Taxis	22	Taxis
Passenger Truck	31	Camionetas SUV Pick-Up Combis y vagonetas
Light Commercial Truck	32	Vehículos ≤ 3.8 t
Intercity Bus	41	Turismo Pasaje
Transit Bus	42	Autobuses RTP
School Bus	43	Autobuses escolares
Microbuses	44	Microbuses colectivos
Metrobus	45	Metrobús
Single Unit Short-haul Truck	52	Vehículos > 2.8 t locales
Single Unit Long-haul Truck	53	Vehículos > 2.8 t federales
Combination Short-haul Truck	61	Tractocamiones locales
Combination Long-haul Truck	62	Tractocamiones federales

Tabla 18. Homologación y clasificación vehicular.

3.13.7 Estimación de emisiones contaminantes

Las emisiones de las fuentes móviles de la ZMVM fueron estimadas por la SEDEMA, con el modelo MOVES-México (Motor Vehicle Emission Simulator). El cual es una versión del modelo para el cálculo de emisiones vehiculares MOVES2014a, desarrollado por la US-EPA (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos. Además, fue adecuado por el Eastern

Research Group Inc (ERG) para el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y liberado en 2016 para México, considerando los siguientes parámetros:

- 1) Combustible y calidad del combustible.
- 2) Kilómetros recorridos por tipo de vehículo, año modelo.
- 3) Parámetros meteorológicos.
- 4) Flotas de diferentes estados de la República Mexicana.
- 5) Mediciones provenientes del sensor remoto para el ajuste del factor de emisión.

En el año 2017, el ERG en coordinación con la SEDENA llevó a cabo el proyecto “Actualización de factores de emisión y datos de actividad para mejorar la estimación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero y contaminantes criterio de los vehículos de la Ciudad de México”, esto fue con la finalidad de mejorar la estimación de emisiones vehiculares. Para ello, se actualizaron las siguientes categorías:

- 1) Factores de emisión.
- 2) Distribuciones de actividad vehicular por mes, tipo de día y hora.
- 3) Perfiles de velocidad con condiciones locales de la Ciudad de México.
- 4) Se modelaron tres nuevos tipos de vehículos: taxis, microbuses y metrobuses con el software MOVES-México.
- 5) Se habilitaron en el modelo otros dos tipos de vehículos: los autobuses interurbanos (Intercity Bus) y los autobuses escolares (School Bus).
- 6) Además, se habilitó la estimación de emisiones para autobuses a Gas Natural (GN).

Las emisiones de las fuentes móviles se estimaron con la metodología establecida por SEMARNAT-INE en el Manual VI “Desarrollo de Inventario de Emisiones de Vehículos automotores” del Programa de Inventarios de Emisiones para México (SEMARNAT-INE-1997).

Las emisiones se estimaron a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Emisiones de contaminantes móviles:

$$E_{ijk} = (FE_{ijk})(KRV_{ij})$$

E_{ijk} = Emisiones del tipo de vehículo i , año modelo j del contaminante k (t/año).

KRV_{ij} = Kilómetros Recorridos por el tipo de vehículo i , año modelo j del contaminante k (km/año).

FE_{ijk} = Factor de Emisión del contaminante k (g/km).

3.13. 8 Actividad vehicular

La actividad para el cálculo de emisiones corresponde a los kilómetros recorridos (KRV) y se obtiene a partir de la flota vehicular y dos indicadores más (Tabla 19):

- 1) Kilómetros recorridos en un día.
- 2) Número de días que circulan al año.

Los kilómetros recorridos al año varían de acuerdo con el tipo de vehículo, al año modelo y al holograma de los vehículos.¹⁰⁰ Para el cálculo de la KRV se consideraron las restricciones vehiculares derivadas de los siguientes programas:

- 1) Programa Hoy No Circula (HNC). Los vehículos con holograma 1 descansan un día entre semana y dos sábados, y los vehículos con holograma 2 descansan un día entre semana y todos los sábados.
- 2) Programa para Contingencia Ambientales y Atmosféricas (PCAA).¹⁰¹ Se aplicó a los días en que se presentaron episodios de contingencia ambiental del 5 de abril al 30 de junio de 2016, por lo que los vehículos sin distinción de holograma descansaron un día entre semana y un sábado al mes.

Con base a estas consideraciones se realizó la siguiente clasificación:

- 1) Vehículos con holograma 0 y 00 circularon 349 días del año.
- 2) Vehículos con holograma 1 circularon 290 días al año.

¹⁰⁰ Este holograma se otorgó de acuerdo con el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO) vigente para el año de modelación en función del nivel de emisiones que presentan las unidades.

¹⁰¹ Este programa aplica en las 16 delegaciones de la Ciudad de México y en los 18 municipios conurbados del Estado de México que integran la ZMVM. La aplicación de este programa, según los índices de calidad de aire para niveles de O_3 y PM_{10} mayor a 150 puntos pueden consultarse a mayor detalle en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México. No. 44. 6-04-2016.

3) Vehículos con holograma 2 circularon 268 días al año.

Con los datos del recorrido diario, los días al año y el número de vehículos por año modelo, se calcularon los KRV por tipo de vehículo, año modelo y combustible con la siguiente ecuación:

$$KRV_{ij} = (KD_j) (NV_{ij}) (DT_i)$$

Dónde:

KRV_{ij} = Kilómetro recorridos por el tipo de vehículo i del año modelo j (km/año).

KD_j = Kilómetro recorridos por el tipo de vehículo i (km/día).

NV_{ij} = Número de vehículos del tipo i del año modelo j .

DT_i = Días por año en que circulan los vehículos del tipo i (días/año).

Tipo de vehículo	Km/día
Autobuses SMI y concesionados	194
Autobuses de turismo	42.8
Autobuses de pasaje	30.97
Combis y vagonetas	200
Microbuses	200
Vehículos > 3.8 t	62.8
Vehículos ≤ 3.8 t y pick Up intensivas	65.41
Motocicletas	79
Taxis	200
Microbuses día hábil	263.67
Microbuses día inhábil	273.48

Tabla 19. Actividad de la flota vehicular de la Ciudad de México.

Ejemplo: Cálculo de KRV para autos particulares a gasolina, año modelo 1986 con holograma 2 en la CdMx.

Auto particular año modelo 1986: $KD_j = 16$ km/día

Fracción vehicular de autos particulares a gasolina año modelo 1986: $NV_{ij} = 703$

Días totales de circulación al año para vehículos con holograma 2: $DT_i = 268$

$$KRV_{ij} = (KD_j) (NV_{ij}) (DT_i)$$

$KRV_{AP1986} = (16 \text{ km/día}) (703 \text{ vehículos}) (268 \text{ días/año}) = 3,014,464 \text{ km/año}$

Para vehículos menores 3.4 toneladas y pick-Up intensivas se tiene un recorrido de 65.41 km/día y las KRV por tipo de vehículo y año modelo para la CDMX, serían como se muestra en la tabla 20:

Año-Modelo	Millones de km recorridos/año
Vehículos ≤ 3.8 t	
1986 y anteriores	0.159
1990	0.216
1995	0.156
2000	1.769
2005	9.818
2010	16.888
2015	37.511
2016	32.018

Tabla 20. KRV por tipo de vehículo y año modelo para la CDMX, 2016.

3.13. 9 Factores de Emisión

Para el cálculo de los factores de emisión se hará a través del software MOVES-CDMX. Para las corridas de inventario se eligió la opción **Onroad** (en la carretera), la escala **County** (demarcación territorial) y tipo de cálculo **Inventory**.

La información que se le proporciona al MOVES es la siguiente:

- 1) Clasificación vehicular. Cantidad de vehículos, distribución de las edades según su año modelo, datos de actividad, distribución de los vehículos según el combustible utilizado.
- 2) Características de los combustibles. Características físicas y químicas.
- 3) Distribuciones horarias. Distribución horaria del tráfico vehicular, distribución diaria (día laboral/fin de semana) del tráfico vehicular y distribución mensual del tráfico vehicular.
- 4) Distribución por tipo de camino. Distribución vehicular por tipo de camino.
- 5) Distribución de la velocidad. Distribución de velocidad horaria por tipo de camino y tipo de vehículo.
- 6) Programa de verificación vehicular. Información del programa de verificación vehicular.

7) Meteorología. Promedios horarios mensuales de temperatura y humedad relativa.

De los resultados que arroja el software se actualizaron los factores de emisión de hidrocarburos (HC) para procesos evaporativos y de escape, de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas (PM) y dióxido de carbono (CO₂) de escape de vehículos ligeros con datos de medición de sensor remoto y con datos de prueba del PVVO (Tabla 21).¹⁰²

Factor de emisión(g/km)	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃	CN	Tóxicos	CO ₂ eq.	CH ₄	N ₂ O
Vehículos ≤ 3.8 t	0.072	0.016	0.007	4.315	0.820	0.619	0.590	0.021	0.002	0.194	434.389	0.021	0.011

Tabla 21. Factores de emisión ponderados para vehículos ligeros a gasolina ≤ 3,8 t (g/km) en la CDMX.

3.13.10 Resultados

En la Ciudad de México se producen más de 34 millones de viajes diarios, por lo tanto, la emisión de contaminantes que alteran la calidad del aire está directamente asociada a las actividades de la población, al alto consumo de combustibles fósiles y a la movilidad de bienes y personas. De la siguiente tabla se deduce que las fuentes móviles constituyen una de las principales áreas generadoras de partículas PM₁₀ Y PM_{2.5} y precursores de ozono.

Emisión de contaminantes criterio y compuestos de efecto de invernadero de la ZMVM, 2016

Fuente contaminante	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	3,055.5	2,255.7	877.7	9,849.9	12,603.3	27,719.9	26,130.0	125.9
Fuentes de área	21,859.3	7,255.1	1,215.8	72,277.6	12,224.1	535,964.2	267,995.9	45,568.1
Vegetación y suelos	1,930.1	424.5	N/A	N/A	504.9	44,911.6	44,911.6	N/A
Fuentes móviles	11,122.5	5,497.5	568.4	646,433.9	115,275.2	82,852.5	77,051.3	2,023.0
Total (t/año)	37,967	15,433	2,662	728,561	140,607	691,448	416,089	47,717

Tabla 22. Emisión de contaminantes criterio y compuestos de efecto de invernadero de la ZMVM, 2016 (t/año).

¹⁰² Para mayores detalles sobre los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en la ZMVM y Morelos, Puebla y Tlaxcala, véase la Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017. Diario Oficial de la Federación 5 de septiembre del 2017.

El total de cada uno de estos resultados corresponde a la sumatoria de los contaminantes criterio y compuestos de efecto invernadero de las cuatro áreas: Fuentes puntuales, fuentes de área, vegetación y suelos, y fuentes móviles (Tabla 22) para la ZMVM.

En las siguientes tablas se muestran los inventarios de emisión de contaminantes criterio y compuestos de efecto invernadero (Tabla 23), compuestos tóxicos (Tabla 24) y emisión de gases y compuestos de efecto invernadero (Tabla 25) para fuentes móviles de la ZMVM.

Emisión de contaminantes criterio y compuestos de efecto de invernadero de la ZMVM, 2016 (t/año).

Clasificación vehicular	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	C0	NO _x	COT	COV	NH ₃
Autos particulares	2,902.44	976.63	199.90	206,971.90	31,889.87	34,217.67	33,010.18	768.82
Camionetas SUV	656.62	216.03	59.29	62,001.67	11,655.04	9,613.21	9,211.81	177.81
Taxis	891.57	228.93	61.26	106,127.04	8,464.32	1,819.19	1,304.06	243.4
Vagonetas y Combis	338.53	139.09	24.60	20,093.24	2,856.99	2,488.23	2,324.10	73.73
Microbuses	160.39	97.22	67.92	38,803.60	6,552.49	7,932.52	7,199.27	118.02
Pick-Up y vehículos ≤ 3.8 t	596.76	275.01	40.42	55,601.21	8,646.55	7,612.91	7,221.36	119.59
Tractocamiones	2,064.31	1,372.20	14.96	7,540.76	13,942.06	1,584.30	1,122.19	30.00
Autobuses	1,815.31	1,288.39	15.61	13,731.77	14,045.19	2,575.03	2,143.87	38.59
Vehículos ≥ 3.8t	1,307.23	714.10	36.10	50,092.11	12,114.77	5,818.65	4,976.44	75.15
Motocicletas	337.54	159.37	47.94	85,328.93	4,826.82	9,144.97	8,513.04	376.62
Metrobús/Mexibus	51.83	30.49	0.38	141.71	281.08	45.80	24.95	1.24
Total	11,122.5	5,497.5	568.4	646,433.9	115,275.2	82,852.5	77,051.3	2,023.0

Tabla 23. Emisión de contaminantes criterio y compuestos de efecto de invernadero de la ZMVM, 2016 (t/año). Pág. 119.

Principales compuestos tóxicos emitidos por las fuentes móviles, en la ZMVM, 2016

Compuesto	ZMVM
Tolueno	6,276
Xileno	4,901
Metil ter-butil éter (MTBE)	3,878
2,2,4-Trimetilpentano	1,506
Benceno	1,458
Etilbenceno	1,439
Hexano	1,231
Formaldehído	962
1,3-Butadieno	176
Naftaleno	116
Otros (incluye metales)	168
Total	22,474

Tabla 24. Principales compuestos tóxicos emitidos por las fuentes móviles, en la ZMVM, 2016 (t/año). Pág. 150

Emisión de gases y compuestos de efecto invernadero de la ZMVM, 2016 (t/año).

Clasificación vehicular	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	CO ₂ e.	Carbono Negro
Autos particulares	11,853,602.93	104.97	721.31	450.78	12,129,722.19	158.07
Camionetas SUV	3,542,674.96	258.42	227.82	23.32	3,640,599.56	45.06
Taxis	3,617,205.68	396.43	30.21	3.27	3,640,556.75	19.42
Vagonetas y Combis	1,534,250.44	128.52	46.13	0.47	1,550,687.86	38.93
Microbuses	1,264,430.24	212.66	89.69	0.02	1,294,178.07	14.17
Pick-Up y vehículos ≤ 3.8 t	2,536,894.53	276.54	207.52	10.16	2,612,839.58	80.31
Tractocamiones	2,176,374.03	437.03	5.92	0.51	2,190,838.76	704.93
Autobuses	1,880,258.06	374.96	13.64	0.62	1,895,176.46	590.02
Vehículos ≥ 3.8t	2,663,324.62	681.19	92.16	1.07	2,708,213.91	212.16
Motocicletas	2,838,965.78	198.74	26.66	N/A	2,851,596.36	19.78
Metrobús/Mexibus	56,270.80	20.19	0.25	0.01	56,920.73	13.73
Total (t/año)	33,964,252.1	3,706.0	1,190.8	144.4	34,571,330.2	1,896.6

Tabla 25. Emisión de gases y compuestos de efecto invernadero de la ZMVM, 2016 (t/año). Pág.153

De manera general, las fuentes móviles contribuyen con respecto a las emisiones totales para cada contaminante de la siguiente manera:

86% de las emisiones totales de óxidos de nitrógeno (60,907 toneladas).

87% de emisiones de carbono negro con respecto al total (1,263 toneladas).

74% de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero con respecto al total (22,005,070 toneladas).

56% de las emisiones totales de PM_{2.5} (5,142 toneladas).

53% de las emisiones totales de PM₁₀ (10,745 toneladas).

17% de las emisiones totales de precursores de ozono COV (169,959 toneladas).

14% de emisiones de compuestos tóxicos con respecto al total (49,581 toneladas).

Capítulo 4

METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL FACTOR DE EMISIÓN VOLUMÉTRICO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES PRODUCIDAS POR LOS MOTORES DE CONBUSTIÓN INTERNA.

4.1 Metodología para obtener un inventario de emisiones vehiculares

La metodología propuesta para generar un inventario de emisiones contaminantes ocasionadas por fuentes móviles tiene una parte de simulación numérica, pero dicha simulación está respaldada por datos experimentales, obtenidos en banco de motores y pruebas de corroboración en dinamómetro de chasis, como se explicará en el transcurso de este capítulo.

En primer lugar, se debe acotar o determinar la fracción de la flota de transporte donde se va a hacer el estudio y definir el área que abarcará dicho estudio. En el gráfico 15 se muestran los 3 grandes sectores de que se compone el transporte en nuestro país.



Gráfico 15. Parque vehicular, compuesto de vehículos ligeros, pesados y motocicletas.

En este caso se elige el sector de los **VEHÍCULOS LIGEROS (VL)** que comprenden autos y camionetas que no excedan de un peso bruto vehicular de 2,800 kg. Así, en este contexto, no se tomarán en cuenta las motocicletas ni los vehículos pesados como son los camiones de carga pesada y los autobuses. No obstante, de reducir el universo del transporte, se debe tomar una muestra representativa para que con dicha muestra se trabaje en campo y en el laboratorio.

Los vehículos ligeros, en su gran mayoría cuentan con un Motor de Encendido Provocado (MEP), el cual requiere de una bujía para iniciar la combustión en el interior de los cilindros y otros, pero muy pocos cuentan con un Motor de Encendido por Compresión (MEC) y así se les denomina a

los motores Diesel por la forma de provocar la combustión. ¿Por qué esta aclaración?, porque todos deberán someterse a la verificación de emisiones contaminantes que se realiza en los Centros de Verificación, también llamados Verificentros y eso ¿por qué compete a este estudio?, porque la oficina de Gestión del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México lleva un registro de las marcas, modelos, año de fabricación, tipos de vehículos, etc. que tienen que medir los niveles de emisiones contaminantes. De esta manera, dicho registro llamado TABLA MAESTRA (TM) es ya un estupendo filtro para conocer una muestra vehicular de toda la diversidad de tamaños y tecnologías de motores que tienen estos vehículos.

4.2 Etapas de la metodología: Etapa 1. Elección de la muestra

4.2.1 Conceptos de estadística.

No se pretende repetir conceptos y ecuaciones que hay en la literatura especializada, lo que se busca es claridad en el proceso de obtener la muestra vehicular de todo el universo de vehículos que circula en la Ciudad de México, y por ello se requiere de dichos conceptos y ecuaciones de estadística, como los siguientes:

1. Población estadística: es el conjunto de elementos del cual se extrae una o varias muestras
2. Conjunto muestral: es un subconjunto de la población que contiene los resultados observados de un experimento. La muestra debe cumplir con tres requisitos; que sea aleatoria (que todos los elementos de la población tengan la misma posibilidad de ser seleccionados), que ésta tenga un tamaño mínimo adecuado y finalmente que la muestra sea representativa.
3. Variable estadística: es cualquier característica que presenta dos o más valores en una población.

4.2.2 Indicadores estadísticos

Son modelos matemáticos cuya interpretación describe cualidades probabilísticas útiles en el análisis de datos de una población. Los más usados son:

- **Valor medio:** se considera el valor más representativo de un conjunto de datos. Y se calcula como el cociente de la suma de todos los valores y su cantidad total.

$$\bar{R}_N = \frac{\sum_i^N [R_i]}{N} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_N}{N} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

\bar{R}_N = *valor medio*

R_i = *variable*

N = *tamaño de la muestra*

- **Rango:** es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de un conjunto de datos.
- **Desviación normal:** indica el rango aceptable de separación que tienen los datos de una muestra respecto a su valor medio tanto positiva como negativamente.

$$Z [R_N] = \sqrt{\frac{\sum_i^N (\bar{R}_N - R_i)^2}{L [R_N]}} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

$Z [R_N]$ = *desviación normal*

$L [R_N]$ = *libertad*

\bar{R}_N = *valor medio poblacional*

- **Confiability:** es la proporción de resultados válidos que pueden obtenerse en la repetición de una medición o procedimiento.
- **Error normal:** es el estimador de la dispersión de la media, es la variabilidad de resultados respecto al valor medio de la muestra.
- **Inferencia estadística** es el proceso para obtener conclusiones de una población de estudio, a partir de la información que proporciona una muestra representativa de esa población.

Para realizar inferencia estadística es necesario tener una población de estudio, una muestra de dicha población y variables estadísticas. Dentro de la teoría de la inferencia, se estudia la población, pero también su variable estadística asociada, mediante una **distribución de probabilidad muestral**, que generalmente se presenta como distribución normal, en que los valores se concentran con mayor probabilidad en torno al valor medio de la muestra (Gráfico 16).

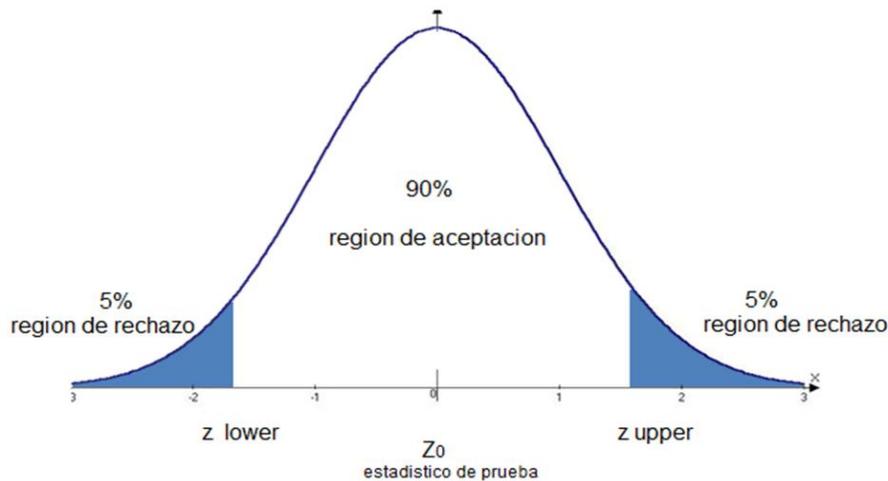


Gráfico 16. Curva característica de una distribución normal

4.2.3 Conjunto muestral representativo

Como se menciona en párrafos anteriores, para obtener una muestra representativa de los vehículos (automóviles) que circulan dentro de la ZMVM, nos apoyamos en la **Tabla Maestra 2018**, que contiene información del parque vehicular existente en la Ciudad de México (Tabla 26). Dentro de los datos que contiene el documento destacan: marca, submarca, tipo de combustible, tipo de carrocería, tipo de alimentación, cilindros, cilindrada, convertidor catalítico, OBD, año, entre otros.

Este documento tiene registrados 5895 modelos de vehículos (1564 autobuses y camiones, y 4331 automóviles).¹⁰³

MARCA	MARCA_PANTALLA	IDSUBMARCA	submarca_PANTALLA	COMBUSTIBLE	CARROCERIA	ALIM_COMB	CILINDROS	CILINDRADA	Conv_Catal	Obd	ANO_DESDE	ANO_HASTA
109	MERCEDES	327	S 65	GASOLINA	AUTOMOVIL SEDAN	Inyeccion - Turbocargado	12	5980	3 Vias	E_OBD	2018	2019
101	CHRYSLER / DODGE	193	GRAND CARAVAN	GASOLINA	MINIVAN	Inyeccion - Aspiracion nautar	6	3605	3 Vias	OBD II	2016	2019
152	GMC	4	SAYANA VAN	GASOLINA	MINIVAN	Inyeccion - Aspiracion nautar	8	3500	3 Vias	OBD II	2006	2006
137	PIAGGIO	9	QUARGO_CHASIS_CABINA	DIESEL	PANEL, VAN O ESTAQUITA	Inyeccion - Aspiracion nautar	2	686	3 Vias	No tiene	2005	2007
153	GML	1	GF-8	GASOLINA	PANEL, VAN O ESTAQUITA	Inyeccion - Aspiracion nautar	4	970	3 Vias	OBD II	2007	2010
102	FORD	243	FUSION_PHEV_2L	GASOLINA	PICKUP	Inyeccion - Aspiracion nautar	8	5400	3 Vias	OBD I	2005	2007
101	CHRYSLER / DODGE	32	RAM_V10_PICK_UP	GASOLINA	PICKUP	Inyeccion - Aspiracion nautar	10	8000	3 Vias	No tiene	1900	2007
101	CHRYSLER / DODGE	120	RAM_SRT_10	GASOLINA	PICKUP	Inyeccion - Aspiracion nautar	10	8277	3 Vias	OBD I	2005	2010
216	FREIGHTLINER	2	FL_106	DIESEL	TRACTOCAMION	Inyeccion - Turbocargado	4	8500	No tiene	No tiene	1994	2007
225	STERLING	3	M8500	DIESEL	TRACTOCAMION	Inyeccion - Turbocargado	4	4300	No tiene	No tiene	2000	2011
133	AUDI	108	AUDI_A6_18T	GASOLINA	VEHICULO UTILITARIO	Inyeccion - Turbocargado	4	1798	3 Vias	E_OBD	2015	2019
104	NISSAN	109	PATHFINDER HIBRID 4X2	GASOLINA	VEHICULO UTILITARIO	Inyeccion - Aspiracion nautar	4	2488	3 Vias	OBD II	2014	2017
104	NISSAN	114	X_TRAIL_4X2 2ROW	GASOLINA	VEHICULO UTILITARIO	Inyeccion - Aspiracion nautar	4	2488	3 Vias	E_OBD	2014	2016

Tabla 26. Fragmento de la Tabla Maestra 2018.

De todos los datos de la Tabla Maestra, se identificaron las siguientes categorías relevantes:

- **Cilindros y cilindrada (desplazamiento):** con estos datos se obtiene información de la potencia, velocidad y consumo de combustible del vehículo.
- **Año del vehículo:** la tecnología ha evolucionado y en un vehículo es muy notorio el cambio.

El desplazamiento o **cilindrada del motor** se seleccionó por considerarse el parámetro medible más representativo de la potencia efectiva a partir de las ecuaciones que describen los principales parámetros del motor, como se muestra a continuación (Figura 12):

¹⁰³

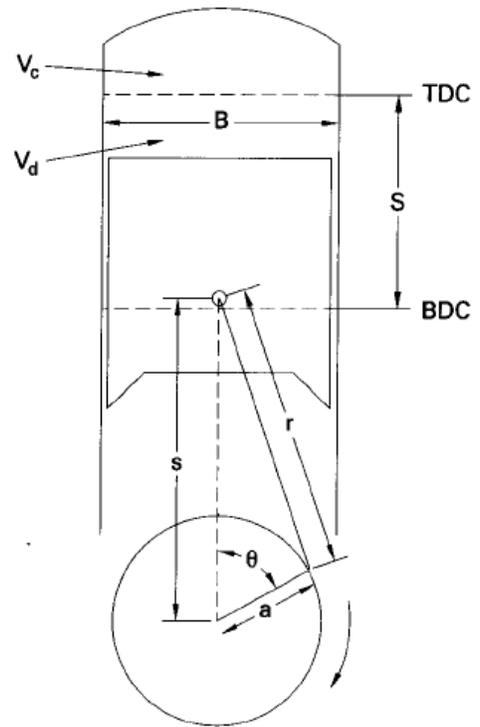
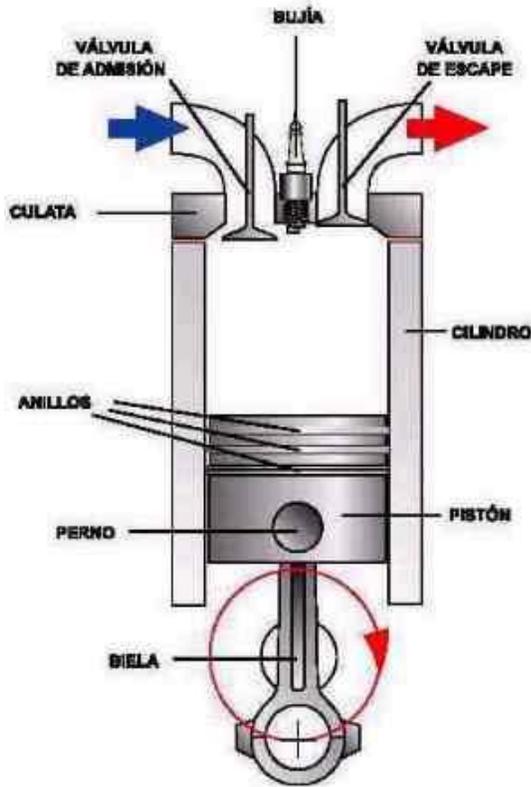


Figura 12. Parámetros geométricos del conjunto cilindro-pistón, biela-manivela.

$$W_i = P_{mi} V_d$$

W_i = Trabajo indicado

P_{mi} = Presión media indicada

$$P_{mi} = \frac{W_i}{V_d}$$

V_d = Volumen desplazado unitario

$$V_d = A_p S$$

V_t = Volumen desplazado total o cilindrada

$$V_t = A_p S Z$$

N_i = Potencia indicada

S = Carrera del pistón

$$N_i = P_{mi} V_d n j$$

A_p = Área del pistón

n = régimen de giro (rpm)

Z = Numero de cilindros

$j = 1$ para 2 tiempos o carreras

$$N_e = P_{me} V_d n j$$

$j = \frac{1}{2}$ para 4 tiempos o carrera

$$N_e = N_i - N_{pm}$$

N_e = Potencia efectiva del motor

N_e = Potencia efectiva del motor

N_i = Potencia indicada del motor

En el caso del consumo de combustible, su comportamiento está relacionado con la **cantidad de cilindros** del motor, como se observa en el desarrollo del siguiente modelo:

$$g_{ec} = \frac{\dot{m}_c}{N_e}$$

g_{ec} = Consumo específico de combustible

C_m = Velocidad lineal media del pistón

$$N_e = \frac{1}{2} P_{me} A_p z C_m j$$

\dot{m}_c = gasto másico de combustible

$$C_m = 2 n S$$

$$g_{ec} = \frac{\dot{m}_c}{\frac{1}{2} P_{me} A_p z 2 n S j} = \frac{\dot{m}_c}{P_{me} A_p z n S j}$$

Posterior a la identificación de las **categorías**, se trabajó individualmente con cada una, obteniendo tres tablas con una propia clasificación y un porcentaje proporcional al total de automóviles por categoría. Aunque la cantidad de grupos se redujo, el resultado seguía siendo muy grande, por lo que se decidió crear conjuntos a partir de **iteraciones**; finalmente se tomaron como referencia los conjuntos con mayor porcentaje.

Para el caso de la categoría “**cilindros**” (Tabla 27) se obtuvieron 3 conjuntos {4,6 y 8}. El conjunto “4 cilindros” incluye los registros de 2, 3 y 4 cilindros; el conjunto “6 cilindros” incluye automóviles con 5 y 6 cilindros; mientras que el conjunto “8 cilindros” incluye registros de 8, 10 y hasta 12 cilindros.

Para el caso de la categoría “**cilindrada**” (Tabla 28) igualmente se obtuvieron los porcentajes dependiendo del registro de vehículos, después se ubicaron los grupos que la tesis de Hernández,

Sánchez y Sandoval propuso; ambos datos sirvieron de referencia para comparar y empezar a crear conjuntos, que de igual forma se obtuvieron a partir de los porcentajes mayores. Se realizaron 2 iteraciones con el fin de obtener un número pequeño de conjuntos, por “facilidad” para el trabajo; al final se obtuvieron 7 conjuntos {1600, 2000, 3000, 3500, 4000, 5000, 5400}.

El procedimiento para categoría “años” (Tabla 29) fue el mismo que se utilizó para la categoría “cilindrada” y al final se obtuvieron igualmente 7 conjuntos {1949 (1993), 2000, 2006, 2007, 2011, 2016, 2017}.

	Cilindros	Registros	Porcentaje	Primer iteración	Segunda iteración
"4"	2	2	0.05	1.27	42.32
	3	53	1.22		
	4	1778	41.05	41.05	
"6"	5	99	2.29	31.36	31.36
	6	1259	29.07		
"8"	8	1016	23.46	23.46	26.32
	10	33	0.76	2.86	
	12	91	2.10		
		4331	TOTAL		100

Tabla 27. N° de Cilindros en donde se muestra el proceso realizado hasta obtener las 3 categorías (segunda columna de iteración).

	Cilindrada	Registros	Porcentaje	Tesis 2014	Primer iteración	Segunda iteración
"1600"	600	4	0.09		14.82	19.70
	700	10	0.23			
	800	1	0.02			
	900	12	0.28			
	1000	34	0.79			
	1100	10	0.23			
	1200	44	1.02			
	1300	31	0.72			
	1400	92	2.12			
	1500	87	2.01			
	1600	317	7.32	1600		
	1700	9	0.21			
	1800	170	3.93	1800		
	1900	32	0.74			
2000	498	11.50	2000	16.37	11.50	
"3000"	2100	1	0.02		13.85	23.90
	2200	60	1.39			
	2300	78	1.80			
	2400	184	4.25			
	2500	277	6.40	2500		
	2600	2	0.05			
	2700	26	0.60			
	2800	52	1.20			
	2900	23	0.53			
	3000	332	7.67	3000		
"3500"	3100	15	0.35		12.01	12.01
	3200	90	2.08			
	3300	38	0.88			
	3400	22	0.51			
	3500	220	5.08	3500		
	3600	135	3.12			
"4000"	3700	79	1.82		10.62	10.62
	3800	87	2.01			
	3900	18	0.42			
	4000	134	3.09			
	4100	14	0.32			
	4200	95	2.19	4200		
	4300	33	0.76			

	Cilindrada	Registros	Porcentaje	Tesis 2014	Primer iteración	Segunda iteración
"5000"	4400	38	0.88		10.23	10.23
	4500	7	0.16			
	4600	77	1.78			
	4700	65	1.50			
	4800	28	0.65			
	4900	4	0.09			
	5000	118	2.72	5000		
	5200	26	0.60			
	5300	80	1.85			
	5400	91	2.10			
"5400"	5500	73	1.69		9.14	12.05
	5700	85	1.96	5700		
	5800	18	0.42			
	5900	51	1.18	5900		
	6000	70	1.62			
	6100	8	0.18			
	6200	68	1.57			
	6300	5	0.12			
	6400	11	0.25			
	6500	7	0.16			
	6600	4	0.09			
	6700	8	0.18			
	6800	13	0.30			
	7300	1	0.02			
8000	2	0.05				
8200	1	0.02				
8300	3	0.07				
8400	3	0.07				
		4331	TOTAL			100

Tabla 28. Categoría "Cilindrada" en donde se muestra el proceso realizado hasta obtener las 7 categorías (columna Segunda iteración).

	Año	Registros	Porcentaje	Tesis 2014	Primer Iteración	Segunda Iteración
* 1 9 4 9 (1 9 9 3 (*)	<1949	292	6.74	1900	6.74	16.67
	50's	1	0.02		12.05	
	60's	5	0.12			
	70's	6	0.14			
	80-85	19	0.44			
	1986	4	0.09			
	1987	4	0.09			
	1988	2	0.05			
	1989	6	0.14			
	1990	11	0.25			
	1991	27	0.62			
	1992	23	0.53			
	1993	124	2.86	1993		
	1994	29	0.67			
	1995	20	0.46			
	1996	26	0.60			
	1997	48	1.11			
	1998	75	1.73			
	1999	92	2.12			
2 0 0 0	2000	131	3.02			8.38
	2001	127	2.93		13.05	13.05
	2002	105	2.42			
2003	136	3.14	2003			
2 0 0 6	2004	105	2.42		18.22	18.22
	2005	136	3.14	2005		
	2006	188	4.34	2006		
2 0 0 7	2007	321	7.41	2007	11.13	11.13
	2008	150	3.46	2008		
	2009	161	3.72	2009		
	2010	157	3.63	2010		
	2011	482	11.13	2011	18.96	18.96
2 0 1 6	2012	155	3.58			
	2013	110	2.54			
	2014	184	4.25			
	2015	176	4.06			
2016	196	4.53		11.48	11.48	
2 0 1 7	2017	282	6.51			
	2018	140	3.23			
	2019	75	1.73			
		4331	TOTAL			100

Tabla 29: Conjuntos de la categoría "años".

A partir de la ecuación 2.3, expresión de estimación de proporción de una población infinita¹⁰⁴ (debido a que la muestra representativa supone menos del 5% de la población total) se factorizó el error normal (ecuación 2.4) y, con una confianza del 90% (1.645 es el valor equivalente a partir de la distribución normal),¹⁰⁵ se propusieron varios tamaños de muestra (Tabla 30). Finalmente se decidió que fuesen 28 grupos representativos de la población (tamaño de muestra) y que serían la prioridad a la hora de obtener la muestra.

N	η	% η
78	0.0931	9.3130
68	0.0997	9.9743
58	0.1080	10.8000
48	0.1187	11.8718
38	0.1334	13.3427
28	0.1554	15.5438
18	0.1939	19.3865
8	0.2908	29.0798

Tabla 30. Errores, en naranja el resultado elegido.

$$N = \left(\frac{N_z[c]Z[R_N]}{\eta} \right)^2 \quad ec (2.3)$$

$$\eta = \frac{N_z[c]Z[R_N]}{\sqrt{N}} \quad ec(2.4)$$

$$\eta = \frac{(1.645)(0.5)}{\sqrt{28}} = 0.1554$$

Donde:

$Z[R_N]$: desviación normal

N : tamaño muestral

$N_z[c]$: rango de confiabilidad

η : error normal

c : confiabilidad

R_N : conjunto poblacional

¹⁰⁴ 2014MX Hernández, Sánchez y Sandoval: Capítulo 2. Pág. 31.

¹⁰⁵ 2005MX Aguilar: Salud en Tabasco. Vol. 11. Núm. 1-2. Enero-agosto. Páginas: 335 y 336.

El **porcentaje de error** fue de 15.54% aproximadamente, lo cual se cree adecuado en comparación a trabajos anteriores en donde el error rondaba entre el 35 y 40%; además dicho porcentaje se puede disminuir si se amplía el número de muestreos o si se aumenta la confianza.

Para definir la muestra buscada, se creó una **Tabla conjunta** (Tabla 31) en la que se cruzaron los resultados de las 3 tablas de las categorías propuestas y en la que se obtuvieron 78 conjuntos finales.

	1600			2000			3000			3500			4000			5000			5400			
	4	6	6	4	6	6	4	6	6	4	6	6	4	6	6	4	6	6	4	6	6	
{1949}	136			28	2		93	74		1	55	3	92	31		2	94				111	722
{2000}	102	1		26	3		23	91		1	57	11	21	20			42		1	44		443
{2006}	106			22			66	67			85	2	29	16			83				84	560
{2007}	186			23	1		109	111			102		41	21		1	90	1			103	789
{2011}	100			14			63	70			73		37	4		1	63				56	481
{2016}	357			20	1		94	83			100		27	30			36				73	821
{2017}	221			7			30	55			48		24	47			25				49	506
	1208	1	0	140	7	0	478	551	0	2	520	16	0	271	169	0	4	433	1	1	520	4322
	1209			147			1029			538			440			437			522			
	900			99			490			360			217			330			371			2767
	0.74			0.67			0.48			0.67			0.49			0.76			0.71			0.6402

Tabla 31. Tabla conjunta en la que se cruzó la información de las tablas de categorías propuestas.

A partir de esos 78 conjuntos se seleccionaron los 4 grupos con mayor cantidad de vehículos, 4 por categoría conjunta de cilindros y cilindrada, mostrados en amarillo en la Tabla 2.6 obteniendo así los **28 grupos representativos**. Dichos grupos representan la mayor cantidad y variedad del total del conjunto.

4.3 Etapa 2. En ensayos experimentales en un banco dinamométrico.

De los 28 vehículos que tiene la muestra representativa, se escoge 1 motor por cada conjunto {N^o cilindros, cilindrada} y que además sea afín con la categoría {años} para que pueda “construirse”

un vehículo en AVISOR (software de simulación de vehículos) que represente ese conjunto de la muestra.

Ejemplo 1: para el primer conjunto {No. cilindros, cilindrada} de la tabla 2.6, **se selecciona un motor de 1.6 litros de desplazamiento y 4 cilindros** que representará a vehículos fabricados desde antes del año 2000 hasta 2017.

Ejemplo 2: para el cuarto conjunto {Nº cilindros, cilindrada} de la tabla 2.6, se selecciona un motor de 3.5 litros de desplazamiento y 6 cilindros que representará a vehículos fabricados desde antes del año 2000 hasta 2017.

Así como los ejemplos anteriores, deberá seleccionarse un motor que represente a cada conjunto y se montarán uno a uno esos 7 motores en banco dinamométrico para que, una vez instalado se reproduzca su curva de PAR, tal como aparece en la ficha técnica de cada motor. Cuando se estén realizando las pruebas a cada motor, no sólo se medirá el PAR, también se registrará **potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes (CO, CO₂, HC, NO_x)** todos estos parámetros en relación al **régimen de giro** del motor n (rpm). También simultáneamente se registran la velocidad y la temperatura de los gases de escape, para calcular el caudal de dichos gases. Esto último nos permitirá calcular el gasto másico de los gases de escape, y con ello, la masa de contaminantes que se arroja por cada litro de combustible consumido. Se generan bases de datos para cada motor como se ve en la tabla 32:

Motor de 1.6 litros, 4 cilindros representativo de los años 2000 a 2017, de la muestra calculada	
Me	Par efectivo (N.m)
Ne	Potencia efectiva (kW)
\overline{C}_{ge}	Velocidad de los gases de escape (m/s)
T_{ge}	Temperatura de los gases de escape (K)
\dot{m}_{ge}	Gasto másico de gases de escape (g/s)
\dot{m}_c	Consumo de combustible (g/s)
g_{ec}	Consumo específico de combustible (g/kWh)
NO_x	Óxidos de Nitrógeno (ppm)
HC	Hidrocarburos no quemados (ppm)
CO₂	Bióxido de Carbono (%)
CO	Monóxido de Carbono (%)
n Régimen de giro (rpm)	

Tabla 32. Parámetros de funcionamiento del Motor de 1.6 litros.

La mayoría de estos parámetros se pueden medir directamente y otros más se calculan, tal es el caso de la masa de cada uno de los contaminantes como se describe en la etapa siguiente.

Debe decirse que toda esta información se capturará para ser alimentada al software ADVISOR, y que en su conjunto formará mapas de funcionamiento del motor y consecuentemente de los vehículos virtuales que se conformen y que serán la muestra estadística que representa a toda la flota vehicular que circula en la Ciudad de México (Figura 13).

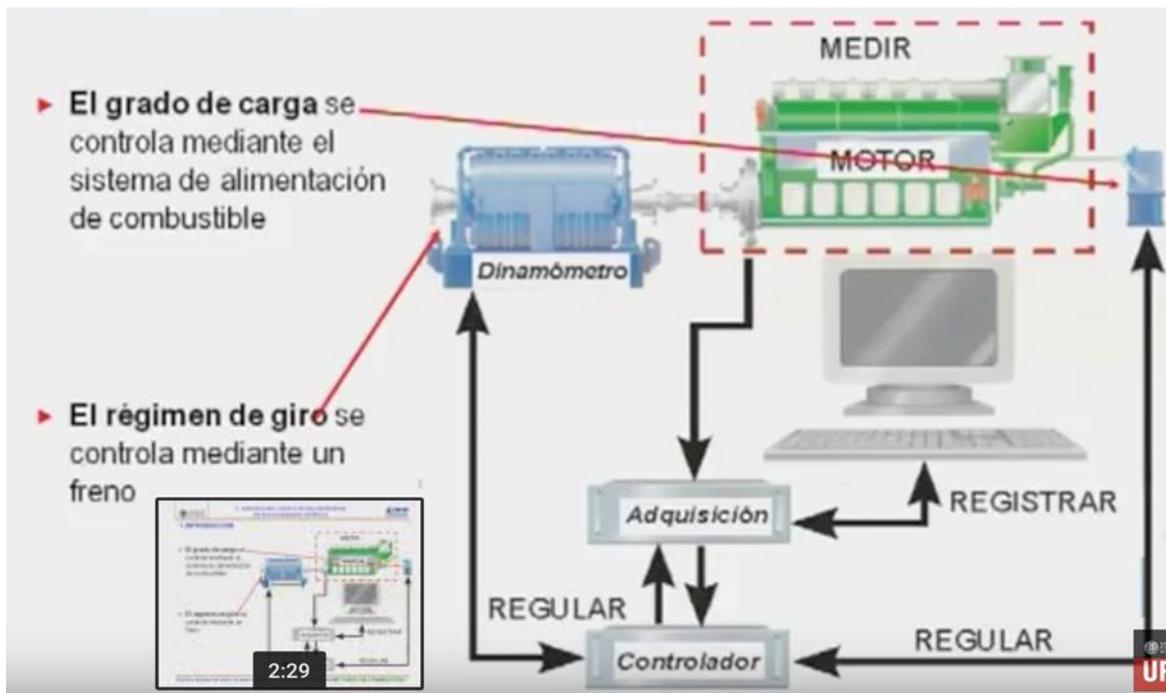


Figura 13. Instalación para generar mapas de funcionamiento de los motores.

4.4 Etapa 3. Algoritmo para el cálculo de la masa de contaminante y determinación de factor de emisión volumétrica.

En primer lugar, debe decirse que se considera a los gases de escape como una mezcla de gases ideales. Los componentes de esta mezcla se limitaron a oxígeno, monóxido de carbono, bióxido de carbono, monóxido de nitrógeno, bióxido de nitrógeno, hidrocarburos no quemados y nitrógeno.

Existen otros productos resultados de la combustión, pero no son considerados en los cálculos debido a que representan un valor menor al 1% del total de los gases de escape.

Partiendo de la ecuación de estado de gas ideal, se tiene la siguiente ecuación:

$$PV = mRT \quad \text{ec (2.5)}$$

La constante del gas R es distinta para cada gas y se determina a partir de la ec 2.6

$$R = \frac{R_u}{M} \quad \text{ec (2.6)}$$

Donde:

R_u : Constante universal de los gases

M : masa molecular de cada gas

Aplicando la ecuación 2.5 para cualquier gas producto de la combustión, se reescribe de la siguiente manera:

$$P_i V_i = m_i R_i T_i \quad \text{ec (2.7)}$$

Donde i es igual a CO, CO₂, NO_x y HC.

De forma similar, aplicando la ecuación de estado, pero ahora para la mezcla de gases de escape originados por la combustión, se obtiene la ecuación 2.8

$$P_{ge} V_{ge} = m_{ge} R_{ge} T_{ge} \quad \text{ec (2.8)}$$

Dividiendo la ecuación 2.7 entre 2.8, obtenemos la ecuación 2.9:

$$\frac{P_i V_i}{P_{ge} V_{ge}} = \frac{m_i R_i T_i}{m_{ge} R_{ge} T_{ge}} \quad \text{ec (2.9)}$$

Sustituyendo 2.6 en 2.9, obtenemos:

$$\frac{P_i V_i}{P_{ge} V_{ge}} = \frac{m_i T_i \frac{R_u}{M_i}}{m_{ge} T_{ge} \frac{R_u}{M_{ge}}} \quad \text{ec (2.10)}$$

Considerando que la temperatura de cada gas es la misma que la temperatura de toda la mezcla, la ecuación 2.10 se simplifica de la siguiente manera:

$$\frac{P_i}{P_{ge}} \frac{V_i}{V_{ge}} = \frac{m_i M_{ge}}{m_{ge} M_i} \quad ec (2.11)$$

En una mezcla de gases ideales, las moléculas de gas se comportan como si estuvieran solas, ocupan todo el volumen y contribuyen con su presión a la presión total ejercida. La predicción del comportamiento P-v-T de mezcla de gases suele basarse en dos modelos: ley de Dalton de las presiones aditivas y la ley de Amagat de volúmenes aditivos.

4.4.1 Ley de Dalton de presiones aditivas: La presión de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones que cada gas ejercería si existiera sólo a la temperatura y volumen de la mezcla. [36]

$$P_m = \sum_{i=1}^k P_i(T_m, V_m) \quad ec (2.12)$$

La presión del componente, ejercida por un gas en una mezcla de gases ideales aplicando la ley de Dalton, puede expresarse como:

$$P_i = \frac{N_i R_u T_m}{V_m} \quad ec (2.13)$$

Donde T_m y V_m son la temperatura y el volumen de la mezcla. La presión total de la mezcla de gases ideales está dada por la expresión 2.14.

$$P_m = \frac{N_m R_u T_m}{V_m} \quad ec (2.14)$$

Dividiendo la ecuación 2.13 entre la ecuación 2.14 se obtiene una relación entre la presión P_i y su fracción molar y_i .

$$\frac{P_i}{P_m} = \frac{\frac{N_i R_u T_m}{V_m}}{\frac{N_m R_u T_m}{V_m}} = \frac{N_i}{N_m} = y_i \quad ec (2.15)$$

4.4.2 Ley de Amagat de volúmenes aditivos: El volumen de una mezcla de gases es igual a la suma de los volúmenes que cada gas ocuparía si existiera sólo a la temperatura y presión de la mezcla. [36]

$$V_m = \sum_{i=1}^k V_i(T_m, P_m) \quad \text{ec (2.16)}$$

El volumen ocupado por un gas ideal en una mezcla de gases está dado por la ec 2.17

$$V_i = \frac{N_i R_u T_m}{P_m} \quad \text{ec (2.17)}$$

Donde T_m y P_m son la temperatura y la presión de la mezcla. El volumen total de la mezcla de gases ideales se obtiene mediante la expresión 2.18

$$V_m = \frac{N_m R_u T_m}{P_m} \quad \text{ec (2.18)}$$

Dividiendo la ecuación 2.17 entre la ecuación 2.18, se obtiene:

$$\frac{V_i}{V_m} = \frac{\frac{N_i R_u T_m}{P_m}}{\frac{N_m R_u T_m}{P_m}} = \frac{N_i}{N_m} = y_i \quad \text{ec (2.19)}$$

Claramente se puede deducir de las ecuaciones 2.15 y 2.19 que:

$$\frac{V_i}{V_m} = \frac{P_i}{P_m} = \frac{N_i}{N_m} = y_i \quad \text{ec (2.20)}$$

Para mezclas de gases ideales la fracción molar, la fracción volumétrica y la fracción de presión total, son iguales para un estado determinado.

Por lo tanto, sustituyendo la fracción volumétrica en la ecuación 2.11 se tiene:

$$\frac{V_i}{V_{ge}} \frac{V_i}{V_{ge}} = \frac{m_i M_{ge}}{m_{ge} M_i} \rightarrow \left(\frac{V_i}{V_{ge}} \right)^2 = \frac{m_i M_{ge}}{m_{ge} M_i} \quad \text{ec (2.21)}$$

Despejando m_i de la ecuación 17 se obtiene la expresión para el cálculo de la masa de cada contaminante.

$$\dot{m}_i = \left(\frac{V_i}{V_{ge}} \right)^2 * \frac{M_i}{M_{ge}} * \dot{m}_{ge} \quad \text{ec (2.22)}$$

Donde \dot{m}_i y \dot{m}_{ge} están en g/s .

La fracción volumétrica de la ecuación 2.22 es la concentración de gas medida por el analizador de gases, el resto de los elementos que componen la ecuación tienen que ser calculados.

$$\dot{m}_i = Y_i^2 * \frac{M_i}{M_{ge}} * \dot{m}_{ge} \quad ec (2.23)$$

4.4.3 Composición Gases de Escape

Para estimar la composición de los gases de escape, así como su masa molecular o masa molar que será usada en la ecuación 2.23, primero se comentará como se determinó la composición de la gasolina.

La composición de la molécula HC y el valor de la masa molar de la gasolina PEMEX Magna, que es la de mayor uso, se calculó haciendo una aproximación con base en el valor del número de octano de la gasolina PEMEX Magna y la composición de las moléculas de los combustibles iso-octano y n-heptano, combustibles de referencia para asignar el octanaje de las gasolinas.

El número de octano es un valor asignado a las gasolinas para indicar la capacidad antidetonante en los motores de combustión interna. Esta capacidad antidetonante se mide usando una escala arbitraria, donde el iso-octano (C₈H₁₈) tiene un índice de 100 (poco detonante) y el n-heptano (C₇H₁₆) un índice de 0 (muy detonante). Si una gasolina presenta propiedades antidetonantes similares a una mezcla de 95% de iso-octano y 5% de n-heptano, se considera que tiene un número de octano de 95.

El número de octano de la gasolina PEMEX Magna es de 87, lo cual implica que tiene propiedades similares a una mezcla de 87% de iso-octano y 13% n-heptano. Con lo anterior, se hizo la siguiente aproximación en la composición de la molécula:

$$C_{Mag} = 0.87(C_{oct}) + 0.13(C_{hept}) \quad ec (2.24)$$

Donde:

C_{oct}: Número de carbonos que componen la molécula de iso-octano.

C_{hept}: Número de carbonos que componen la molécula de n-heptano.

$$H_{Mag} = 0.87(H_{oct}) + 0.13(H_{hept}) \quad ec (2.25)$$

Donde:

H_{oct}: Número de hidrógenos que componen la molécula de iso-octano.

H_{hept} : Número de hidrógenos que componen la molécula de n-heptano.

$$C_{Mag} = 0.87(8) + 0.13(7) = 7.87$$

$$H_{Mag} = 0.87(18) + 0.13(16) = 17.74$$

por lo tanto, la composición aproximada de la molécula de la gasolina es $C_{7.87}H_{17.74}$

Una vez establecida la formulación del combustible, se encontró que referencias diversas (X1, X2, X3, X4) han estimado una composición muy similar de los gases que salen por el escape de los vehículos, de acuerdo como se ve en la siguiente figura, y aunque algunos autores difieren con estos porcentajes, dicha diferencia va de 1 a 2%. Por otra parte, considerando que los Óxidos de Nitrógeno están compuestos básicamente por NO y NO₂, se calculan las masas moleculares respectivamente como sigue:

$$M(C_{7.87}H_{17.74}) = M_{HC} = 12(7.87) + 1(17.74) = \mathbf{112.18 [g/mol]}$$

$$M(NO_x) = M(NO) + M(NO_2) = M_{NO_x} = M_{NO} + M_{NO_2} = 44 + 60 = \mathbf{104 [g/mol]}$$

De manera que, utilizando estos valores y considerando 1.5% de CO, 0.3% de HC y 0.2% de NO_x que son valores típicos que registran los Verificentros, se determina la masa molecular de los gases de escape de la siguiente manera (Gráfico 17):

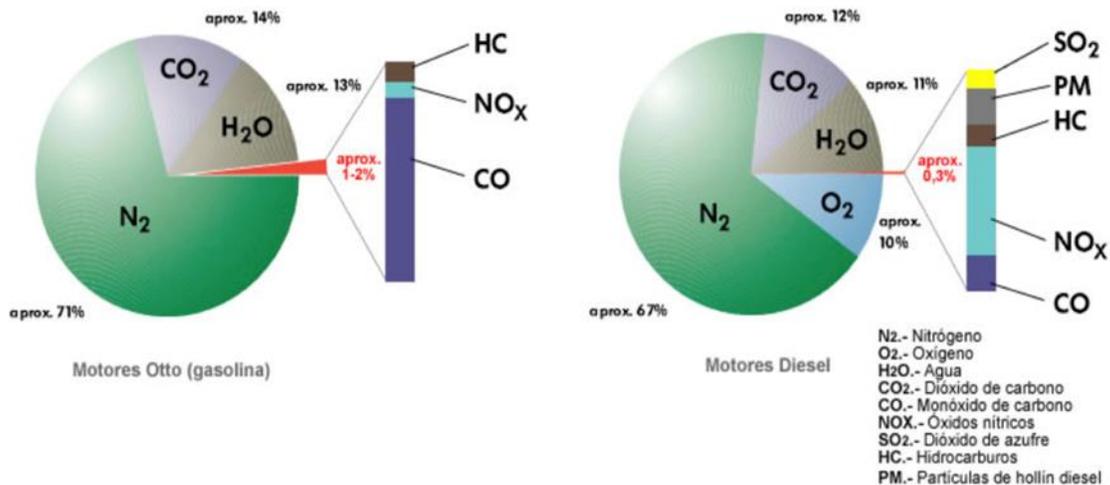


Gráfico 17. Composición de los gases de escape.

Figura

$$M_{ge} = 0.71 N_2 + 0.14 CO_2 + 0.13 H_2O + 0.015 CO + 0.003 HC + 0.002 NO_x$$

$$M_{ge} = 0.71 (28) + 0.14 (44) + 0.13 (18) + 0.015 (28) + 0.003 (112.18) + 0.002 (104) = \mathbf{29.3445 \text{ [g/mol]}}$$

$$M_{ge} = \mathbf{29.3445 \text{ [g/mol]}}$$

Calculando el gasto de los gases de escape, para unas condiciones de operación específicas:

$$T_{ge} = 50 \text{ }^\circ\text{C}, P_{ge} = 79 \text{ kpa}, \overline{C_{ge}} = 3.5 \text{ m/s} \quad \Phi_{es} = 4.7625 \text{ cm}$$

$$\rho_{ge} = \frac{P_{ge}}{R_{ge} T_{ge}} = \frac{79}{0.2833 \times 323} = 0.8633 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$R_{ge} = \frac{R_u}{M_{ge}} = \frac{8.314}{29.3445} = 0.2833 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$A_{ge} = \frac{\pi (\phi_{ge})^2}{4} = 17.8139 \text{ cm}^2 = 17.8139 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\dot{m}_{ge} = \overline{C_{ge}} A_{ge} \rho_{ge} = 3.5 \times 17.8139 \times 0.8633 \times 10^{-4} = 53.8256 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{ge} = 5.3825 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

Una vez obtenido un gasto de gases saliendo por el escape, bajo ciertas condiciones de operación, y usando los datos del analizador de gases, se calcula la masa de cada contaminante. En este caso como ejemplo se calcula la masa de bióxido de carbono (CO₂) que arroja el motor en un segundo.

$$Y_{CO_2} = 14.3 \% \quad \dot{m}_{CO_2} = (0.142)^2 \frac{44}{29.3445} 5.3826 = 0.165 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

El software ADVISOR hace seguir al vehículo virtual, que tiene el motor que se ha ensayado, por el Ciclo De Manejo Mexicano que se ha desarrollado en UNICE en 2019, y que representa la forma

típica de conducción por el Valle de México y consecuentemente por la Ciudad de México, para realizar un muestreo de emisiones típico en esta zona, con datos de emisiones reales.

El software calculará el rendimiento que son los kilómetros recorridos por cada litro de combustible consumido (km/l) y los factores de emisión de NO_x, CO, CO₂ y HC en (g/km) de tal forma que si se multiplica cada factor de emisión por el rendimiento:

4.4.4 Factor de emisión volumétrica (El factor de emisión se define como un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de **contaminante** emitido a la atmósfera con respecto al consumo de combustible)

$$fe_v = \left[\frac{g}{km} \right] \left[\frac{km}{l} \right] = \left[\frac{g}{l} \right]$$

es decir, factores de emisión volumétricos, que indica la masa de contaminantes arrojados por el escape, por cada litro de combustible consumido.

4.5 Etapa 4. Uso del software ADVISOR para obtener el factor de emisión.

Simulador de vehículos ADVISOR

4.5.1 ADVISOR (ADvanced VehIcle SimulatOR)

Este simulador fue elaborado por Laboratorio de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL por sus siglas en ingles, National Renewable Energy Laboratory), desarrollado como una herramienta de análisis, que puede ser utilizada para evaluar y cuantificar el rendimiento de los componentes de la transmisión, el consumo de combustible y las emisiones de un vehículo, mediante un ciclo de manejo determinado.

Es un software de simulación formado por un conjunto de modelos, datos y scripts para usarse con Matlab y Simulink. Está diseñado para realizar análisis de vehículos convencionales, eléctricos e híbridos.

Algunas de las actividades que se pueden realizar con este software son:

- Estimar el gasto de combustible en vehículos reales y de los que aún no han sido creados.
- Conocer la forma en que los vehículos convencionales, eléctricos o híbridos utilizan la energía en sus trenes de potencia.
- Obtener el **factor de emisión** para el estimado de emisiones contaminante en el escape producidas durante un ciclo de manejo.
- Optimizar las relaciones de transmisión para minimizar el gasto de combustible o incrementar el rendimiento.

Es pertinente mencionar que, el software ADVISOR fue desarrollado, probado y liberado en la versión 12.1 de Mathworks (Matlab 6.1 y Simulink 4.1) trabajando en su momento, en múltiples plataformas incluyendo Macintosh, Unix y PCs. Sin embargo, esa versión que era de libre acceso dejó de ser gratuita y por tanto también de actualizarse. Ahora se tiene que pagar la licencia correspondiente.

El grupo UNICE, decidió hacer las adecuaciones con las librerías apropiadas para habilitar la versión gratuita, de manera que pudiera correr en las versiones actuales de las plataformas mencionadas, y esto mismo es ya en sí un objetivo de los trabajos que se han desarrollado en UNICE.

4.5.2 Estructura del ADVISOR

En la ventana de entrada del vehículo ADVISOR, que se muestra en la Fig. 2.5, el usuario " construye " el vehículo de interés. Los menús desplegables se utilizan para seleccionar una configuración de vehículo y los componentes del tren de potencia. Los mapas de rendimiento característicos para los distintos componentes se muestran en la parte inferior izquierda de la ventana y se puede acceder a ellos a través de los menús desplegables asociados. El tamaño de un componente se puede modificar editando el valor característico que se muestra en los cuadros en la parte derecha de la pantalla. Por último, cualquier parámetro escalar se puede modificar utilizando el menú editar variable en la parte inferior derecha de la ventana. Todos los parámetros de configuración del vehículo se pueden guardar para usar en el futuro. Una vez que el usuario

está satisfecho con las características de entrada del vehículo, el botón 'continuar' los lleva a la ventana de configuración de la simulación.

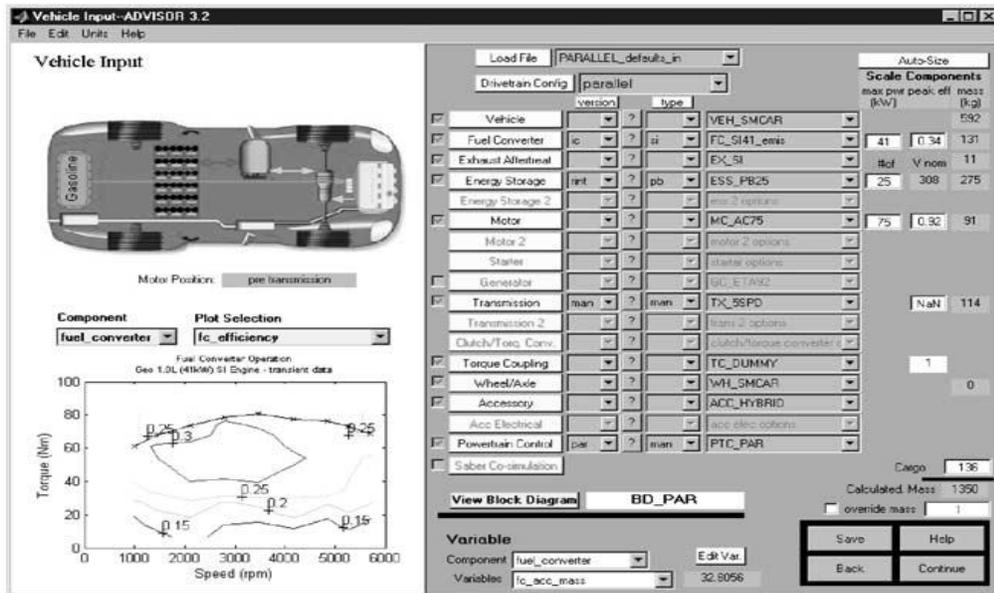


Figura 14. ADVISOR ventana de entrada al vehículo.

En la ventana de configuración de simulación de ADVISOR (Figura 14), el usuario define el evento sobre el que se simulará el vehículo. Algunos de los eventos que se pueden simular incluyen un solo ciclo de manejo, o bien ciclos múltiples y procedimientos de prueba especiales. El usuario selecciona algún ciclo o ciclos y define los parámetros de simulación, y se puede observar el perfil de velocidad contra el tiempo. Con los parámetros de simulación configurados, al hacer clic en "ejecutar" se ejecutará la simulación y se proporcionará una pantalla de resultados al finalizar.

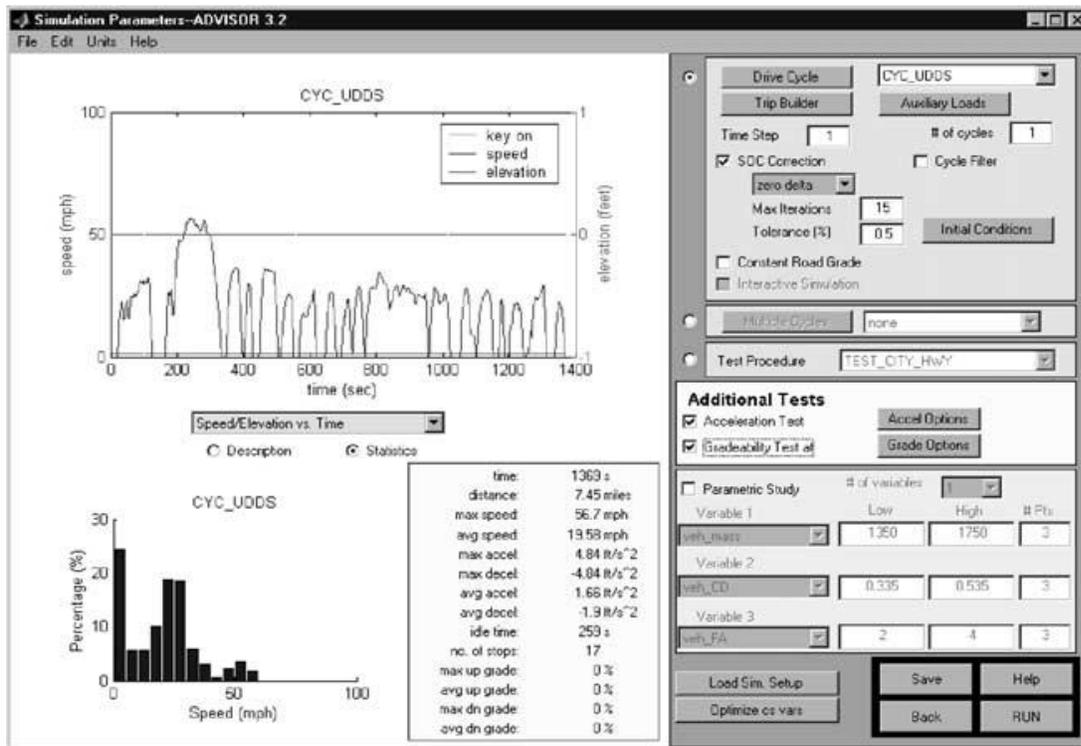


Figura 15. ADVISOR ventana de configuración de simulación.

La ventana de resultados de ADVISOR (Figura 15) proporciona la capacidad de revisar el comportamiento del vehículo, ya sea en todo el ciclo o instantáneamente en cualquier punto del ciclo. En la parte derecha de la ventana, se proporcionan resultados resumidos, como economía de combustible y emisiones. En la parte izquierda, se trazan los resultados detallados dependientes del tiempo. Los resultados mostrados a la izquierda pueden cambiarse dinámicamente para mostrar otros detalles (por ejemplo, velocidad del motor, par del motor, voltaje de la batería, etc.) usando los menús desplegables en la parte superior derecha de la ventana.

Finalmente, el modelo real del vehículo se compone de una colección de modelos de componentes. En las figuras 16 y 17, se puede ver que los modelos de componentes individuales se almacenan en una biblioteca. Los modelos de componentes pueden insertarse en un modelo de vehículo y luego conectarse para definir el flujo de par/velocidad y potencia de un componente al siguiente. El enfoque de la biblioteca modelo permite que el mismo modelo de componente se reutilice en múltiples configuraciones de vehículos.

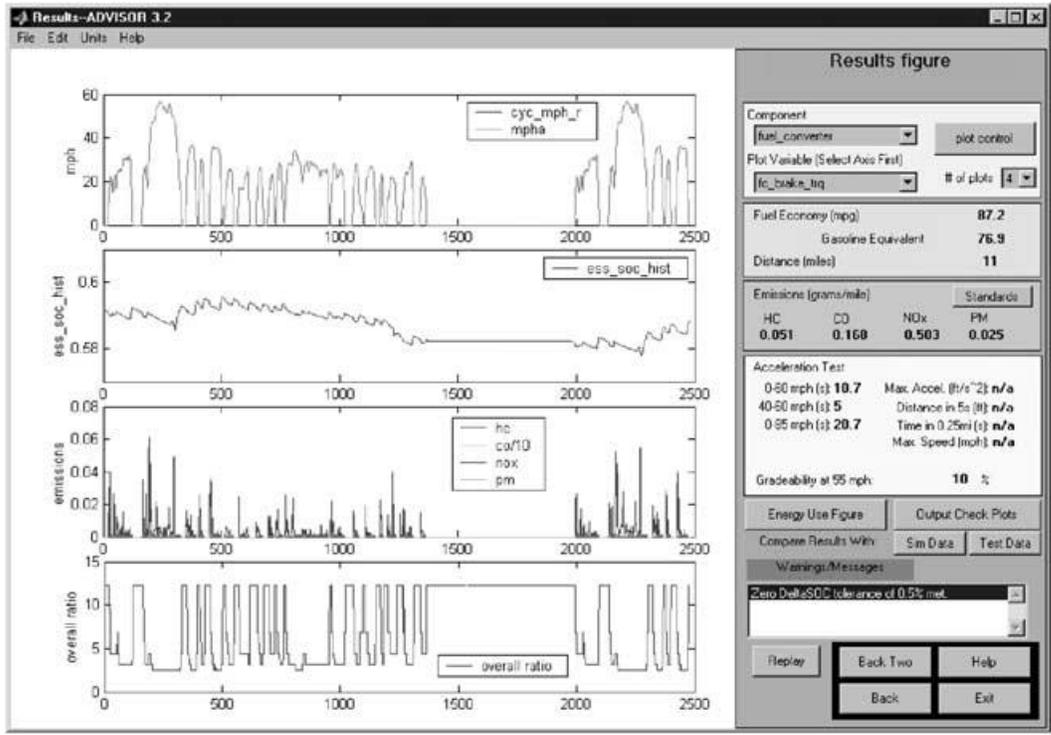


Figura 16. ADVISOR La definición del modelo emplea una arquitectura de biblioteca vinculada.

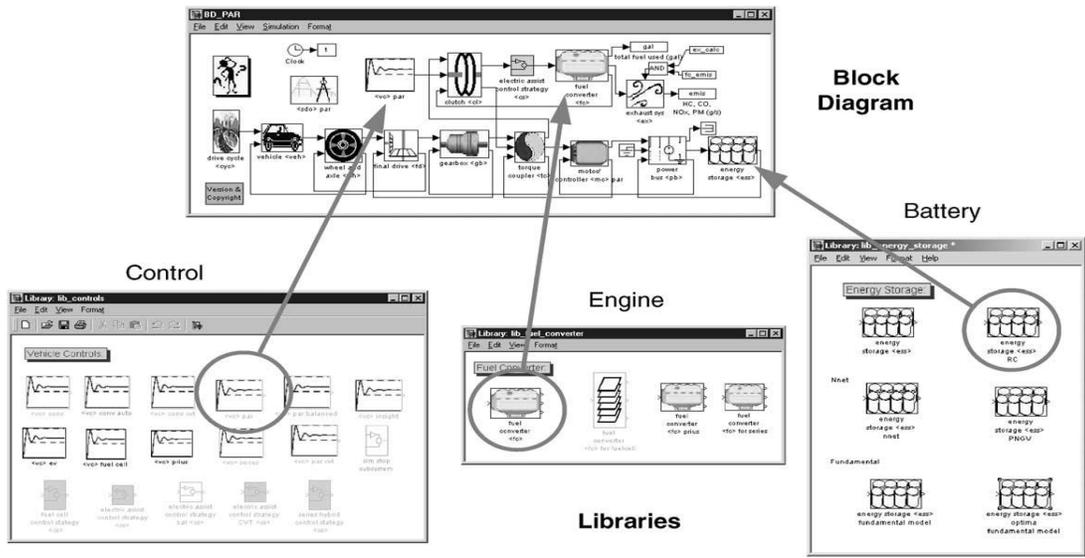


Figura 17. ADVISOR La definición del modelo emplea una arquitectura de biblioteca vinculada.

4.5. 3 Metodología de estimación de emisiones

Existen diversos criterios para contabilizar las emisiones de gases contaminantes: En los vehículos se suelen utilizar métodos basados en factores de emisión. Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido y una unidad de actividad, que bien puede ser consumo de combustible, energía o distancia recorrida. En el caso de los vehículos ligeros, la normativa europea limita las emisiones contaminantes en g/km. Sin embargo, para vehículos pesados y otro tipo de maquinaria (motores estacionarios, maquinaria no de carretera, etc.) se limitan las emisiones en g/kWh, ya que lo que se homologa es el motor en sí, y no un vehículo concreto.

En las pruebas experimentales para cuantificar las emisiones, los vehículos se montan en dinamómetros de rodillos para seguir ciclos de manejo típicos de una ciudad, país o región. Son ensayos dinámicos en los que se reflejen, en la medida de lo posible, condiciones estándar de conducción. Así se evita que los fabricantes de motores optimicen las emisiones para un tipo de ensayo. Para el caso de los vehículos ligeros, una vez colocado el vehículo en el dinamómetro se aplica una carga (freno) que simulen la resistencia al avance del vehículo e inercias que simulen el peso del mismo. Para medir las emisiones, se almacenan los gases de escape en una bolsa para su posterior análisis. También se pueden medir las concentraciones instantáneas e integrar el caudal instantáneo de emisión de cada contaminante durante un intervalo de tiempo determinado. Estos ensayos experimentales son caros, involucran personal especializado y conllevan mucho tiempo y esfuerzo, de manera que hacerlos con un simulador, con datos reales del motor del vehículo ahorra todo lo que se ha mencionado anteriormente.

Estos ciclos se cargan en el software (ADVISOR) previamente al igual que los mapas de funcionamiento del motor y, una vez que se configura un vehículo virtual, se hace seguir a éste por el ciclo de manejo elegido y así se podrán obtener los factores de emisión, el consumo de combustible y la distancia recorrida, de forma que dichos factores podrán manejarse en [g/km] o bien en [g/litro] para que nos sean útiles en la estimación del inventario de emisiones.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

Conclusiones.

1. Los primeros reportes de emisiones contaminantes e inventarios de emisiones para la Ciudad de México aparecen desde el año 1996.
2. De acuerdo, a la normatividad establecida por el IPCC, para la realización de los inventarios se tienen tres métodos:
 - a) El IPCC proporciona datos a los países que no cuentan con factores de emisiones (valores default) para hacer sus inventarios.
 - b) Realizar los inventarios con datos de factores de emisiones propios y con la adaptación parcial de software desarrollado por otros países.
 - c) Desarrollo de software propio a las condiciones ambientales y geográficas del país, además de la generación de factores de emisiones con infraestructura propia.
3. Los primeros reportes e inventarios de emisiones para la Ciudad de México se realizaron con datos proporcionados por el IPCC.
4. Para la realización de los inventarios de emisiones para la Zona Metropolitana del Valle de México, de 1996 hasta el 2012, se utilizó el software desarrollado por la EPA en Estados Unidos llamado MOBILE, adaptado parcialmente para México.
5. Se desarrollaron inventarios de emisiones para la Ciudad de Guadalajara, Ciudad de Monterrey, Ciudad de Toluca, Ciudad de Uruapan y para la Zona Metropolitana del Valle de México, utilizando el software MOBILE adaptado a México.
6. A partir de 1996 se realizan inventarios de emisiones contaminante para la Zona Metropolitana del Valle de México cada dos años.
7. De acuerdo, a la información que se presentan en los inventarios, cada dos años se hace el recálculo de la información presentada, es decir, en el inventario de emisiones de 1998, se hace el recálculo del inventario que se presentó en 1996. En el reporte del inventario de emisiones del año 2002, se hace el recálculo del inventario de emisiones del año 2000. En el reporte de inventario de emisiones de 2004, se hace el recálculo del inventario de emisiones del año 2002, y así sucesivamente. Por ejemplo: en el último inventario de emisiones presentado en 2018, que corresponde al inventario de 2016, se hizo el recálculo del inventario de emisiones presentado en 2014.

8. De acuerdo, a la normatividad del reglamento de la ley general del cambio climático en material del registro nacional de emisiones (RENE) establece tres metodologías para estimar las emisiones directas o indirectas de gases o compuestos de efecto invernadero:
 - a) Cálculo mediante factores de emisión
 - b) Cálculo mediante balance de materiales
 - c) Las que determine el IPCC
9. Los sectores de emisión (sector transporte) sujetos a reporte podrán presentar a consideración de la SEMARNAT metodologías alternativas para la medición, cálculo o estimación de sus emisiones cuando para garantizar la precisión en la información se requieran sistemas, instrumentos o cualquier otro elemento técnicamente análogo en función de la actividad generadora de gases de efecto invernadero.
10. En esta tesis se propone una nueva metodología para estimar las emisiones contaminantes emitidas por vehículos ligeros en la Zona Metropolitana del Valle de México.
11. La propuesta metodológica para generar un inventario de emisiones contaminantes ocasionadas por fuentes móviles tiene una parte de simulación numérica, pero dicha simulación está respaldada por datos experimentales, obtenidos en banco de motores y pruebas de corroboración en dinamómetro de chasis.
12. Para realizar la simulación numérica se utilizó el software ADVISOR para determinar el factor de emisión en (g/km).
13. Es importante comentar que el ciclo de manejo que se utilizó en el ADVISOR para realizar la simulación fue desarrollado por UNICE.
14. A partir de factor de emisión obtenido con el simulador ADVISOR en (g/km), y conociendo los kilómetros recorrido por litro, se puede obtener el factor de emisión volumétrica, fe_v (g/l).
15. Por cuestiones sanitarias que han afectado las actividades académicas a nivel nacional e internacional, fue literalmente imposible realizar los ensayos en el dinamómetro de banco. Hemos estado fuera de nuestras instalaciones casi todo el año y se tenía que concluir esta tesis, de manera que se utilizarán los factores de emisión de un vehículo que ya está cargado en ADVISOR, con un motor que cumple con las características de uno de los grupos de nuestra muestra representativa del parque vehicular que circula en la Ciudad de México.

- 16.** Sin embargo, se desarrolla el planteamiento metodológico para hacer el cálculo de los componentes contaminantes de los gases de escape, de acuerdo, a la composición de la gasolina.
- 17.** Por lo tanto, si se calcula la masa de los componentes de los gases de escape se tiene toda la información para realizar el inventario de emisiones de fuentes móviles de la categoría vehículos ligeros.
- 18.** Los gases que se van a calcular aplicado esta metodología son:
 - a. HC (hidrocarburos)
 - b. NO_x (óxidos de nitrógeno)
 - c. CO (monóxido de carbono)

Por último, en este capítulo, se debe comentar que, debido a la pandemia que se sufre en todo el mundo, fue literalmente imposible realizar los ensayos en el dinamómetro de banco. Hemos estado fuera de nuestras instalaciones casi todo el año y se tenía que concluir esta tesis, de manera que se utilizarán los factores de emisión de un vehículo que ya está cargado en ADVISOR, con un motor que cumple con las características de uno de los grupos de nuestra muestra representativa del parque vehicular que circula en la Ciudad de México.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Barojas, Saraí. (2005). *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. Salud en Tabasco*. Vol. 11. Núm. 1-2. Enero-agosto. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=487/48711206>

Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2018 and inventory report 2020.

Atmósfera, Capítulo 5, página 314.

Cambio Climático: Principales acciones de adaptación y mitigación en México. Marco Jurídico Nacional e Internacional, Iniciativas presentadas, Opiniones especializadas. (2019) Subdirección de Análisis de Política Interior (SAPI). Ciudad de México.

Comisión Europea (2019). Avances en la Acción Climática de América Latina: Contribuciones Nacionalmente Determinadas al 2019. Programa EUROCLIMA+, Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid, Comisión Europea, Bruselas, Bélgica. 171p.

Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. (2012). *Informe de Avances del Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*. 1ª ed. SEMARNAT. México.

ConexiónCOP para periodistas y líderes de opinión de América Latina, 1 de junio de 2016. *Infografía: Compromisos Climáticos en Latinoamérica y del Caribe*. Consultada (11-27-2020). Disponible en: <http://conexioncop.com/infografia-compromisos-climaticos-en-latinoamerica-y-el-caribe/>

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas, 1992.

DOF 28-10-2014. *Reglamento De la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones*.

DOF: 07/07/2020. *Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596232&fecha=07/07/2020

DOF: 14/10/2020. *Acuerdo por el que se aprueba el Programa Institucional de Ecología y Cambio Climático 2020-2024*. Disponible en: <https://docs.mexico.justia.com/recursos/covid-19/2020-10-14/secretaria-de-medio-ambiente-y-recursos-naturales-01.pdf>

DOF: 06/06/2012. *Ley General de Cambio Climático*. México. Disponible en: b.mx/cms/uploads/attachment/file/347021/LGCC_130718.pdf

DOF: 05/09/2017. Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017. Que establece los Límites Máximos Permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en la Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías y hologramas.

Emisión de Gases Contaminantes en China. La contaminación Sus causas y consecuencias; como así también sus soluciones. (2019). Rivas Nuria, Centurión Ludmila, Sousa Misael, Centurión Melina, Bodego Braian.

FCCC/CP/2015/L.9. Anexo. Acuerdo de París.

Hernández, Sánchez y Sandoval. 2014. Capítulo 2. MX

INECC, SEMARNAT. (2015). *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.* Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

INECC, SEMARNAT. (2018). *Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.* Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático/ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México.

INECC, SEMARNAT. (2018). *México y las Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.* Resumen Informativo. Ciudad de México.

INECC, SEMARNAT. (2018). *Elementos de inventario de fuentes móviles: Inventario de emisiones de fuentes móviles carreteras, 2016.* Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. Ciudad de México.

Inventario de Emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de la Ciudad de México, 1996. (1999). Comisión Ambiental Metropolitana. Disponible en : <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-1996/#p=1>

Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2017. Greenhouse Gas (GHG) Emissions. US EPA. Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2017>

IPCC 2015. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático.

IPCC 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.* Eggleston H.S., Buendía L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.

IPCC 2019. *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Calvo Buendía, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Disponible en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol2.html>

IPCC 1992. *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.* [Houghton, J.T., B.A. Callander, y S.K. Varney (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

IPCC 2013. *Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

IPCC, 2014. Resumen para responsables de políticas. En: Cambio climático 2014: *Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel y J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

IPCC 2020. *The IPCC and the Sixth Assessment cycle.* Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6_en.pdf

IPCC. 2006. Elección de la Metodología y Realización de nuevos Cálculos. Capítulo 7. Disponible en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/7_Methodological_ES.pdf

Managing the National Greenhouse Gas Inventory Process. 2005. National Communications Support Unit Global Environment Facility Energy and Environment Group, Bureau of Development Policy United Nations Development Programme. USA. Disponible en: https://www.transparency-partnership.net/sites/default/files/gpghandbook_eng_final.pdf

Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México, Vol. VI. Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Vehículos Automotores. Elaborado para: La Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado. Elaborado por: Radian International. 1997.

Noticias ONU. 8 de octubre de 2018. Reducir el calentamiento global de 0.5 °C, la diferencia entre la vida y la muerte. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443222>

Noticias, Parlamento Europeo. 7 de marzo de 2018. Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector (infografía). Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>

ONU. Programa para el medio ambiente. 26 de noviembre de 2019. El mundo debe reducir las emisiones 7,6% anual en la próxima década para lograr objetivo de 1.5°C. Disponible en: <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-debe-reducir-las-emisiones-76-anual-en-la>

Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2020. El IPCC actualiza la metodología para los inventarios de gases de efecto invernadero. Publicado el 13 de mayo de 2019. Consultado el 13 de octubre de 2010. Disponible en: <https://public.wmo.int/en/media/news/ipcc-updates-methodology-greenhouse-gas-inventories>

Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. (20-mayo-2013). Diario Oficial de la Federación. México. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013.

Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. Sanfandila, Queretaro, 2009.

Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas 1998. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 1998. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm1998/inventario-emisiones-zmvm1998.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones a la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2000. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm2000/inventario-emisiones-zmvm2000.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm2002/inventario-emisiones-zmvm2002.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. Inventario de Contaminantes tóxicos del aire de la ZMVM, 2004. Dirección General de Gestión Ambiental del Aire. Distrito Federal. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-toxicos2004/inventario-emisiones-zmvm-toxicos2004.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la ZMVM, 2006. Distrito Federal. 1ª ed. 2008. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-gei2006/inventario-emisiones-zmvm-gei2006.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio para la ZMVM, 2006. Distrito Federal. 1ª ed. 2008. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-criterio2006/inventario-emisiones-zmvm-criterio2006.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes Tóxicos de la ZMVM, 2008. Distrito Federal. 1ª ed. 2010. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-toxicos2008/inventario-emisiones-zmvm-toxicos2008.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio para la ZMVM, 2008. Distrito Federal. 1ª ed. 2010. Disponible en:

<http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-criterio2008/inventario-emisiones-zmvm-criterio2008.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Registro de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la ZMVM, 2010. Distrito Federal. 1ª ed. 2012. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/carbonn-registro-gei2010/carbonn-registro-gei2010.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México. Gases de Efecto Invernadero y Carbono Negro, 2010. Distrito Federal. 1ª ed. 2012. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-gei2010/inventario-emisiones-zmvm-gei2010.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. Inventario de emisiones de la CDMX. Contaminantes Criterio, Tóxicos y de Efecto Invernadero, 2014. Ciudad de México. 1ª ed. 2016. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx2014-2/mobile/IE-CDMX-2014.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. Inventario de emisiones de la CDMX. Contaminantes Criterio, Tóxicos y compuestos de Efecto Invernadero, 2014. Ciudad de México. 2016. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx2014-2/IE-CDMX-2014.pdf>

Semarnat. (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Edición 2015. Semarnat. México.

Sexta Comunicación Nacional, 2018.INECC-SEMARNAT.

Submission to the UNFCCC Secretariat 27 May 2020. European Environment Agency.

Semarnat. (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Edición 2015. Semarnat. México.

Anexo 1. Factores de emisión obtenidos con el simulador ADVISOR en función del ciclo de manejo desarrollado para la Ciudad de México.

Vehículo 1.

- Vehículo Nissan Tsuru 1995
- Con cilindrada de 1000 cm³ (1 litro)

Simulación.

Vehicle Input--ADVISOR 2002

Vehicle Input

Component: fuel_converter | Plot Selection: fc_efficiency

Torque (Nm) vs Speed (rpm) plot showing efficiency contours.

Component	version	type	Value
Vehicle	VEH_TSRURU		800
Fuel Converter	FC_NISSAN_TSRURU_19...		49 0.39 157
Exhaust Aftertreat	EX_SL_HONDA_AJD		13
Energy Storage	ess options		
Energy Storage 2	ess 2 options		
Motor	MC_AC124_EV1_draft		
Motor 2	motor 2 options		
Starter	starter options		
Generator	gc options		
Transmission	TX_SSPD_TSRURU		1 114
Transmission 2	trans 2 options		
Clutch/Torg. Conv.	clutch/torque converter...		
Torque Coupling	TC_DUMMY		
Wheel/Axle	WH_SMCAR		0
Accessory	ACC_SUV_CCA		
Acc Electrical	acc elec options		
Powertrain Control	PTC_CONV_TSRURU		

Variable List: fuel_converter, fc_acc_mass (39.3667)

Ciclo de manejo

Simulation Parameters--ADVISOR 2002

Drive Cycle: CYC_UNICE2019GV3

Time Step: 1 | # of cycles: 1

Speed/Elevation vs. Time graph showing speed (km/h) and elevation (meters) over 1400 seconds.

Speed/Elevation vs. Time: Description (selected) | Statistics

Speed Distribution Histogram: CYC_UNICE2019GV3

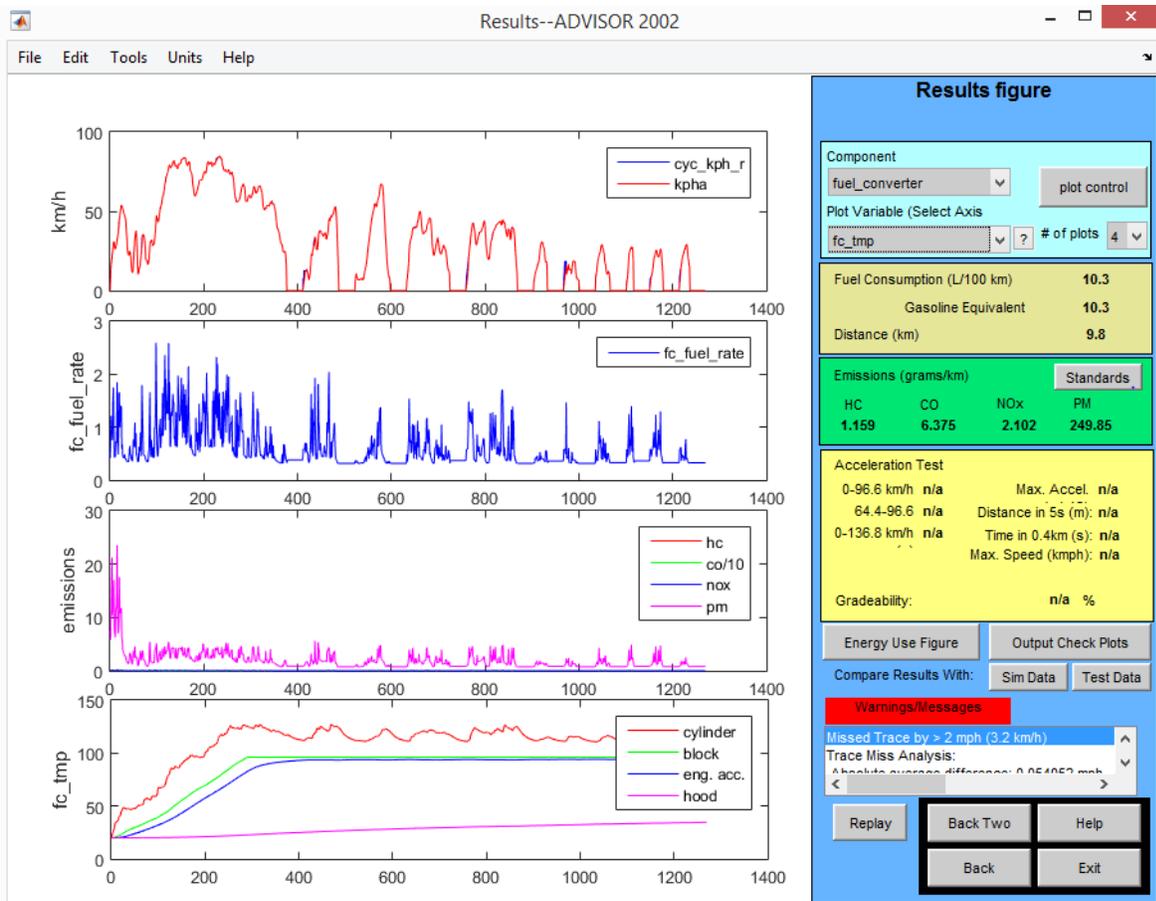
Parameter	Value
time:	1270 s
distance:	9.62 km
max speed:	64.85 km/h
avg speed:	27.82 km/h
max accel:	2.69 m/s ²
max decel:	-5.42 m/s ²
avg accel:	0.45 m/s ²
avg decel:	-0.58 m/s ²
idle time:	385 s
no. of stops:	11
max up grade:	17 %
avg up grade:	2 %
max dn grade:	12 %
avg dn grade:	2 %

Test Procedure: TEST_CITY_HWY

Parametric Study: veh_mass (1220 to 1620, 3 pts), veh_CD (0.44 to 0.64, 3 pts), veh_FA (2.66 to 4.66, 3 pts)

Buttons: Save, Help, Back, RUN

Resultados



Como se puede observar en la simulación los resultados obtenidos son:

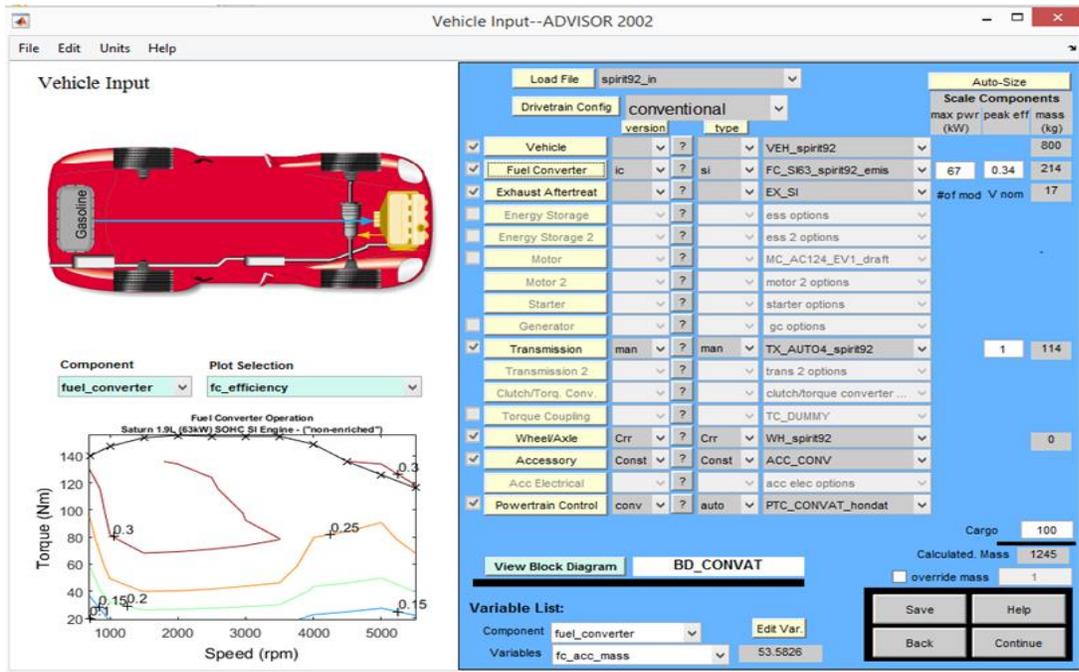
Factor de emission (g/km)				
Componente	HC	CO	NO _x	PM
(g/km)	1.159	6.375	2.102	249.85

Tabla 1. Resultados Vehículo 1 Nissan 1995, cilindrada 1 litro.

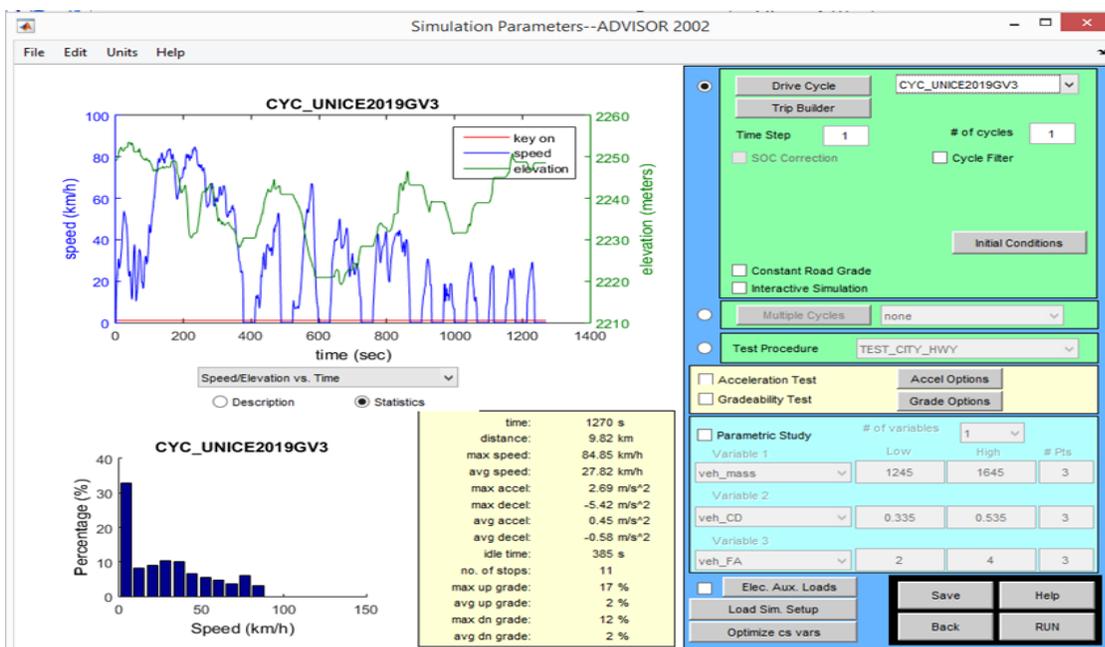
Vehículo 2

- Vehículo Spirit 1992
- Con cilindrada de 1900 cm³ (1.9 litros)

Simulación.



Ciclo de manejo



Resultados



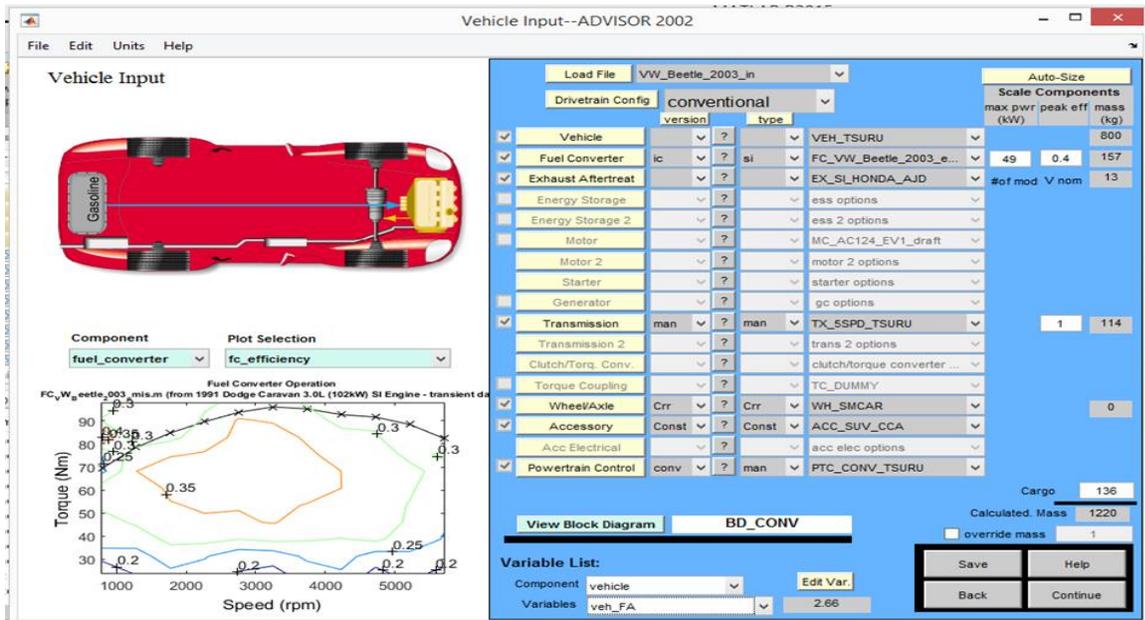
Factor de emision (g/km)				
Componente	HC	CO	NOx	PM
(g/km)	0.549	2.041	0.556	0

Tabla 2. Resultados Vehículo 2 Spirit 1992, cilindrada 1.9 litro.

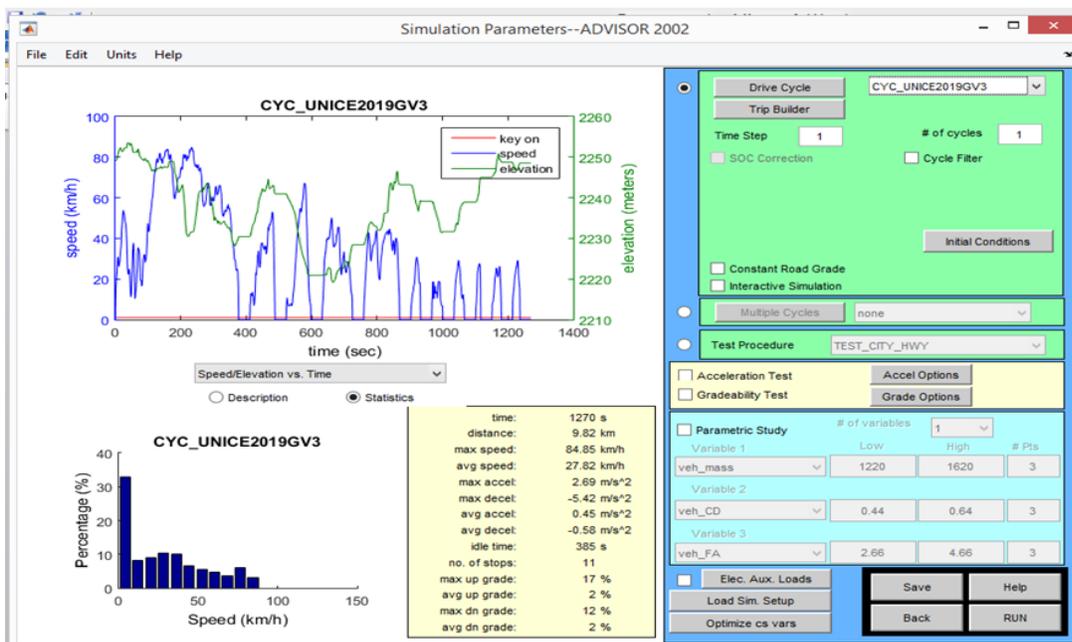
Vehículo 3

- Vehículo VW Beetle 2003
- Con cilindrada de 3000 cm³ (3 litros)

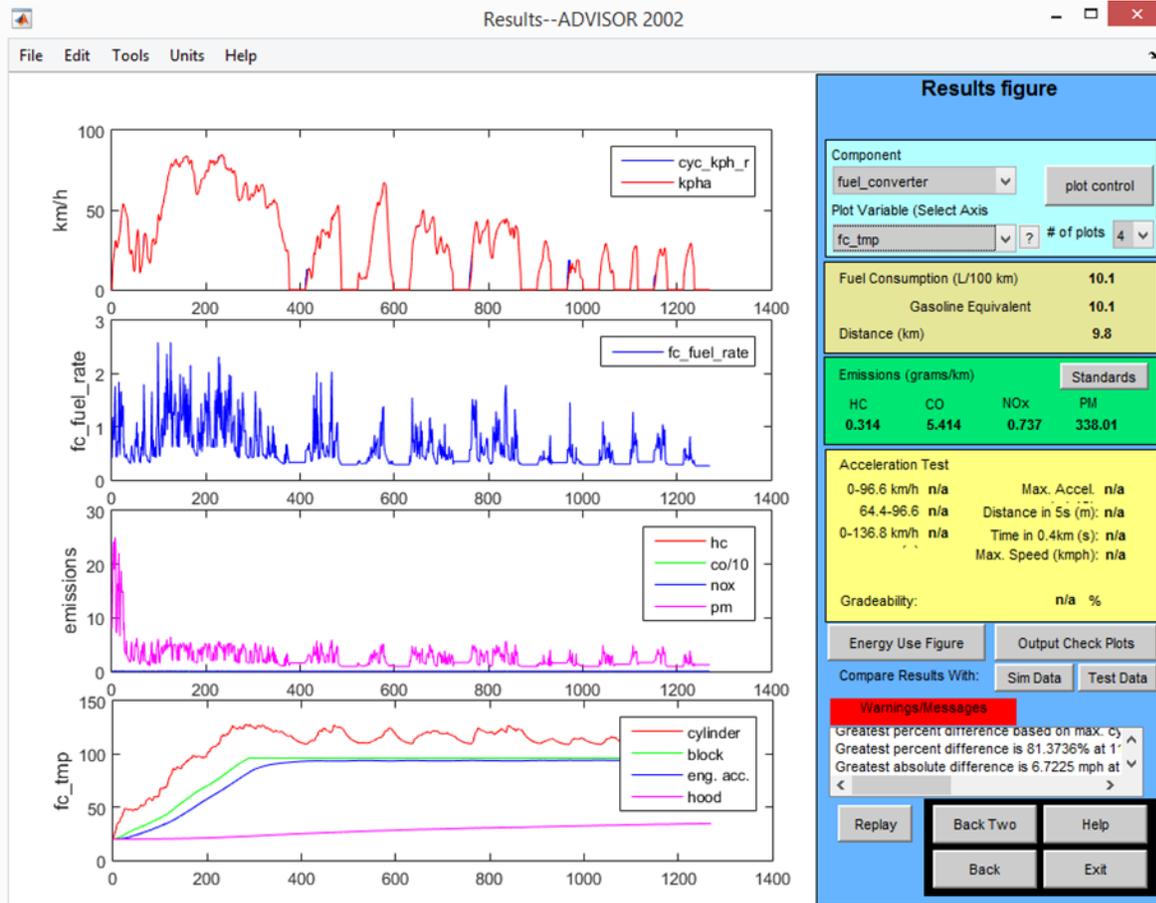
Simulación.



Ciclo de manejo



Resultados



Factor de emisión (g/km)				
Componente	HC	CO	NOx	PM
(g/km)	0.314	5.414	0.737	338.01

Tabla 3. Resultados para el Vehículo 3 Beetle 2003, cilindrada 3 litros.

Factor de emisión			
Vehículo	Nissa 1995, 1 litro	Spirit 1992, 1.9 litros	Beetle 2003, 3 litros
HC (g/km)	1.159	0.549	0.314
CO (g/km)	6.375	2.041	5.414
NOx (g/km)	2.102	0.556	0.737
PM	249.85	0.0	338.01

Tabla 4. Concentrado de resultados obtenidos con el software ADVISOR

Para obtener el factor de emisión volumétrico (fe_v) se determina multiplicando el componente contaminante (g/km) por el consumo de combustible del vehículo (km/litro).

Factor de emisión volumétrico (fe_v)			
Vehículo	Nissa 1995, 1 litro	Spirit 1992, 1.9 litros	Beetle 2003, 3 litros
HC (g/l)	11.251	2.483	3.108
CO (g/l)	61.888	9.233	53.598
NOx (g/l)	20.406	2.515	7.296
PM	249.85	0.0	338.01

Tabla 5. Factor de emisión volumétrico (g/l) (se determina por litro)

De la investigación realizada y de la información reportada en los inventarios de emisiones y por la institución AMIA, se estima que el consumo promedio ponderado para un auto ligero es 1120 litros de gasolina anuales, considerando este consumo podemos determinar las emisiones contaminantes anuales de estos vehículos.

Emisiones contaminantes producidas anualmente (toneladas)

$$Ec \text{ (ton)} = [\text{Contaminante (g/l)} * \text{Consumo de combustible anual (l)}] / 10^6$$

Ec = Emisiones contaminantes del compuesto (g/l)

Contaminante	Toneladas anuales (ton)
HC (g/l)	0.012601
CO (g/l)	0.069314
NOx	0.02285

Tabla 6. Resultados de contaminantes producidos anualmente del vehículo Nissan 1995, litro.

Contaminante	Toneladas anuales (ton)
HC (g/l)	0.002780
CO (g/l)	0.010340
NOx (g/l)	0.008160

Tabla 7. Resultados de contaminantes producidos anualmente del vehículo Spirit 1992, 1.9 litros.

Contaminante	Toneladas anuales (ton)
HC (g/l)	0.003480
CO (g/l)	0.060029
NOx (g/l)	0.008171

Tabla 8. Resultados de contaminantes producidos anualmente del vehículo Beetle 2003, 1.9 litros.

El ADVISOR es un simulador que nos permite obtener el factor de emisión en gramos por kilómetro recorrido (g/km) para los contaminantes HC, CO, NOx y PM.

Dentro de los objetivos planteados en este trabajo se buscó determinar el factor de emisión en gramos por litro (g/l). El cual se puede determinar a partir del factor de emisión en (g/km), conociendo el consumo de combustible en kilómetros por litro (km/l), como resultado tendremos el factor de emisión volumétrica (fe_v), en gramos por litro (g/l). De la información que se investigó se concluye que un vehículo ligero tiene un consumo promedio anual de 1120 litros. Con estos datos se pueden calcular las toneladas por año que producen estos vehículos.