



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES PARA EL ESTADO DE
HIDALGO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:

ROSAS NAVA JOSELE



MÉXICO, D.F.

2011



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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: REYNALDO SANDOVAL GONZALEZ

VOCAL: Profesor: PEDRO ROQUERO TEJEDA

SECRETARIO: Profesor: OSCAR AUGUSTO PERALTA ROSALES

1er. SUPLENTE: Profesor: NESTOR NOE LOPEZ CASTILLO

2° SUPLENTE: Profesor: AIDEE VEGA RODRIGUEZ

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM

ASESOR DEL TEMA:

ÓSCAR AUGUSTO PERALTA ROSALES

SUSTENTANTE:

JOSELE ROSAS NAVA



Índice General

Índice	i
Índice de Tablas	iv
Índice de Gráficos y Figuras	v
Abreviaturas	vi
Objetivos	ix
Alcances	x
Capítulo 1. Introducción	1
Definición	2
Tipos de inventarios	2
Características de los inventarios de emisiones	3
Usos de los inventarios de emisiones	6
Fuentes de Emisión	6
Importancia social	8
Importancia en la salud	8
Importancia económica	9
Métodos para el cálculo de estimaciones de emisión	9
Muestreo en Fuente	9
Factores de emisión	10
Balance de Materiales	12
Extrapolación	12
Modelos de Emisión	13
Encuestas	15
Capítulo 2. Antecedentes	16
El estado de Hidalgo	17
Características poblaciones y económicas del estado	19
Empresas comprendidas en el inventario	19
Inventarios en el estado de Hidalgo	25
Contaminantes Considerados en el inventario	26
Archivos para el desarrollo del inventario de fuentes fijas	34
Información para elaborar el inventario de fuentes de área	36
Consumo de Combustibles y Variables presentes para el inventario de fuentes móviles	37
Capítulo 3. Metodología	40
Fuentes Puntuales	40
Fuentes de Área	40
Labranza Agrícola	41
Quema Agrícola	42
Tratamiento de Aguas Residuales	43
Manejo de Residuos, Quema a Cielo Abierto	44
Emisiones Domésticas de Amoniaco	47
Fuentes Móviles	49





Proyección	55
Capitulo 4. Resultados	56
Fuentes Fijas	56
Contaminantes criterio	57
Compuestos orgánicos totales (COT)	57
Monóxido de carbono (CO)	57
Óxidos de nitrógeno (NOx)	57
Óxidos de azufre (SO_x)	58
Dióxido de azufre (SO_2)	58
PM_{10}	58
Gases de Efecto Invernadero	60
Dióxido de carbono (CO_2)	60
Metano (CH_4)	60
Óxido nitroso (N_2O)	60
$CO_{2equivalente}$	61
Sectores	63
Compuestos orgánicos totales (COT)	63
Monóxido de carbono (CO)	63
Óxidos de nitrógeno (NOx)	63
Óxidos de azufre (SO_x)	64
Dióxido de azufre (SO_2)	64
PM_{10}	64
Dióxido de carbono (CO_2)	66
Metano (CH_4)	66
Óxido nitroso (N_2O)	67
$CO_{2equivalente}$	67
Fuentes de Área	69
Contaminantes Criterio	69
Compuestos orgánicos totales (COT)	69
Monóxido de carbono (CO)	70
Óxidos de nitrógeno (NO_x)	70
Óxidos de azufre (SO_x)	71
Dióxido de azufre (SO_2)	71
PM_{10}	71
Gases de efecto invernadero	73
Dióxido de carbono (CO_2)	73
Metano (CH_4)	73
$CO_{2equivalente}$	73
Fuentes Móviles	76
Contaminantes criterio	76
Gases de efecto invernadero	77
Impacto de las tres fuentes por gases de efecto invernadero	79
Proyección	80





Elaboración de un inventario de emisiones para el estado de Hidalgo



Estimación de Población	83
Emisiones para 2020	85
Capítulo 5. Conclusiones	90
Comparación con otros inventarios	90
Fuentes Fijas	90
Fuentes de Área	93
Fuentes Móviles	94
Emisiones Totales	95
Propuestas para mejora del inventario	97
Propuestas de Mitigación de Contaminantes	98
Anexo I Estimación de Fuentes Fijas	100
Anexo II Estimación de Fuentes de Área	111
Anexo III Estimación de las Emisiones Domésticas de Amoniaco	112
Anexo IV Parque Vehicular	113
Anexo V Estimación de Fuentes Móviles	119
Anexo VI Memoria de cálculo	120
Glosario	131
Bibliografía	135





Índice de Tablas

Tabla 1.	Municipios considerados para Inventario	19
Tabla 2.	PIB 2008 del estado de Hidalgo por actividad y relación con PIB nacional	23
Tabla 3.	Participación porcentual del PIB por concepto	24
Tabla 4.	Población Económicamente Activa PEA	25
Tabla 5.	Consumo estimado de energía en el Sector transporte para el estado de Hidalgo (petajoules)	37
Tabla 6.	Distribución por tipo de vehículo para el año 2008	38
Tabla 7.	Distancia promedio recorrida adaptada al inventario	39
Tabla 8.	Factores de emisión para quema agrícola y carga de combustible	43
Tabla 9.	Factores de emisión para quema a cielo abierto	46
Tabla 10.	Factores de emisión para emisiones domesticas de amoniaco	48
Tabla 11.	Factores de emisión de CO_2 en unidades de energía	51
Tabla 12.	Factores de emisión para CH_4 provenientes de fuentes móviles	53
Tabla 13.	Factores de emisión para N_2O provenientes de fuentes móviles para diferentes tipos de combustibles	54
Tabla 14.	Contaminantes para fuentes fijas 2008	62
Tabla 15.	Contaminantes para fuentes de área 2008	75
Tabla 16.	Contaminantes para fuentes móviles 2008	78
Tabla 17.	Población y estimación de la población	82
Tabla 18.	Estimación de población para 2015 y 2020	84
Tabla 19.	Emisiones para 2020 de fuentes fijas	86
Tabla 20.	Emisiones para 2020 de fuentes de área	87
Tabla 21.	Emisiones para 2020 de fuentes móviles	88
Tabla 22.	Comparación con otros inventarios de fuentes fijas, contaminantes criterio	90
Tabla 23.	Comparación con otros inventarios de fuentes fijas, GEI	92
Tabla 24.	Comparación con otros inventarios de fuentes de área, contaminantes criterio	93
Tabla 25.	Comparación con otros inventarios de fuentes móviles, contaminantes criterio	94
Tabla 26.	Comparación con otros inventarios, contaminantes criterio	95
Tabla 27.	Comparación con otros inventarios de fuentes fijas, GEI	96



Índice de Gráficos y Figuras

Gráficos

Gráfico 1.	Diagrama de aportación de combustibles en el área del inventario	38
Grafico 2.	Contaminantes criterio para fuentes fijas	59
Grafico 3.	Gases de Efecto Invernadero para fuentes fijas	61
Gráfico 4.	Aportación por sector de gases criterio	65
Gráfico 5.	Aportación por sector de PM_{10}	66
Gráfico 6.	Aportación por sector de gases de efecto invernadero	68
Gráfico 7.	Aportación por actividad de contaminantes criterio	72
Gráfico 8.	Aportación por actividad de Gases de Efecto Invernadero	74
Gráfico 9.	Aportación de Contaminantes Criterio para fuentes móviles	76
Gráfico 10.	Aportación de Gases de Efecto Invernadero para fuentes móviles	77
Gráfico 11.	Aportación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para los tres tipos de fuentes	79
Gráfico 12.	Población: estimación propia, CONAPO y población INEGI	83

Figuras.

Figura 1.	Diagrama de ejemplificación de fuentes de emisión	7
Figura 2.	Partes constitutivas de los monitores continuos de emisiones (MCEs)	10
Figura 3.	Pasos para el desarrollo de un modelo de variable múltiple	14
Figura 4	Proceso para el desarrollo del método de encuestas	15
Figura 5.	Mapa de localización de municipios contemplados en el inventario	18
Figura 6.	Formación de NO_x	28
Figura 7.	Clasificación de Partículas	29
Figura 8.	Rasgos Típicos de tamaños de partículas atmosféricas	30



Abreviaturas

AP-42	Contaminación al aire versión 42 (por sus siglas en inglés)
ARB	Manual de procedimiento de inventarios de emisiones (por sus siglas en inglés)
ART	Agua residual tratada
BNE	Balance Nacional de Energía
C_c	Consumo de combustible
CC	Contaminantes criterio
CFC	Clorofluorocarburos
CH₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CO_{2eq}	Dióxido de carbono equivalente
COA	Cedula de operación anual
COHB	Carboxihemoglobina
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONM	Contaminantes orgánicos no metano
COT	Compuestos orgánicos totales
COV	Carbono orgánico volátil
d_i	Distancia anual promedio recorrida para el vehículo que usa combustible del tipo i
E_i	Emisiones de contaminante i
EPA	Agencia de Protección Ambiental (por sus siglas en inglés)
FE	Factor de emisión
f_{ox}	fracción oxidada
g	Gramo
GEI	Gases de efecto invernadero
GLP	Gas licuado del petróleo
GOT	Gases orgánicos totales





h	Hora
HNO₃	Ácido nítrico
hp	Hectáreas Pase
hv	Luz solar
IC14MEH	Inventario de contaminación emitida a suelo, agua y aire en 14 municipios del estado de Hidalgo, México
IEEH	Inventario de emisiones del estado de Hidalgo
IEIMP	Inventario de emisiones del Instituto Mexicano del Petróleo
IERT-T	Inventario de emisiones para la región de Tula-Tepeji
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEM, 1999	Inventario Nacional de Emisiones de México 1999
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
k	Multiplicador de tamaño de partícula
kg	Kilogramos (SIU)
km	Kilometro
LAEEM	Modelo de emisiones al aire de rellenos sanitarios y estimación (por sus siglas en inglés)
LAU	Licencia Ambiental Única
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
m³	Metros cúbicos
MCE	Monitores continuos de emisiones
Mg	Mega gramos, tonelada (SIU)
mg	Miligramos
N₂O	Óxido nitroso
NH₃	Amoniaco
NO₂	Dióxido de nitrógeno
NOx	Óxidos de nitrógeno



O₂	Oxígeno
O₃	Ozono
OH⁻	Radical hidroxilo
Pb	Plomo
PC	Poder calorífico
PEA	Población económicamente activa
PIB	Producto interno bruto
PJ	Petajoules
PM₁₀	Partículas menores a 10 micras
PM_{2.5}	Partículas menores a 2.5 micras
PS	Partículas suspendidas
PST	Partículas suspendidas totales
R_E	Residuos eliminados
RETC	Registro de emisiones de transferencia de contaminantes
R_G	Residuos generados
s	Contenido de sedimento
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIU	Sistema Internacional de Unidades
SMA	Secretaría de Medio Ambiente
SOx	Óxidos de azufre
Ton	Tonelada (SIU)
UNFCCC	Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (según sus siglas en inglés)
V	Velocidad del vehículo
V_i	Número de vehículos que usan combustible del tipo i
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México





Objetivo General

Elaborar un inventario de emisiones que abarque los principales municipios que participan en la contaminación atmosférica dentro del estado de Hidalgo.

Objetivos particulares:

- Dar a conocer el reporte de emisiones de las fuentes.
- Estimar un escenario de contaminación futura en esta zona.
- Comparar la estimación de emisiones con inventarios anteriores.
- Identificar las fuentes de emisiones que más contaminen la atmósfera del estado de Hidalgo.





Alcances

Las actividades humanas emiten distintas cantidades de contaminantes, al clasificar las emisiones por actividades se pueden determinar cuáles son las de mayor impacto a la salud y medio ambiente.

Suposiciones de frontera:

- a) Las emisiones de contaminantes se pueden medir “in situ”; sin embargo, si no se cuenta con esta información se pueden estimar de manera indirecta mediante factores de emisión, tablas, reportes o información relacionada.
- b) El inventario de emisiones propone el estudio de 27 de los 84 municipios con mayor actividad económica e industrial de Hidalgo, dando a entender sus emisiones son representativas para todo el estado.



Capítulo 1. Introducción

El grado de contaminación ambiental ha variado con el tiempo, y la actividad humana también ha contribuido a este cambio. A partir de la segunda guerra mundial los niveles de contaminación ambiental en zonas industriales y áreas urbanas incrementaron drásticamente pero ha sido en los últimos años en los que se ha acumulado evidencia sustancial sobre los efectos de la contaminación en el aire, agua y suelo para la salud humana y el ambiente.

Esta tesis se enfoca en las emisiones de contaminantes al aire. La contaminación ambiental es la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes en cantidad y duración dentro del ambiente, los cuales son emitidos por humanos, vida animal o vegetal. Es debido a estos factores que se requieren los inventarios de emisiones para identificar las fuentes de emisión y su contribución en la problemática de la contaminación ambiental.

Un inventario de emisiones es una herramienta de gestión de la calidad del aire el cual debe desarrollarse teniendo en cuenta su propósito, dado que este es fundamental para su uso y la consideración de futuros inventarios que podrán ser utilizados para el desarrollo y refinamiento dentro de la gestión de la calidad del aire, al igual que estimación de emisiones cada vez más confiables.

Para desarrollar estrategias que mejoren la calidad del aire, debe recopilarse información sobre las emisiones y así determinar los tipos de fuentes y cantidades de contaminantes para una región, características temporales y espaciales de las fuentes, procesos y prácticas de control de emisiones que usan las fuentes en la región, con el propósito de cuantificarlas bajo condiciones normales de emisión, al igual que identificar los contaminantes que las conforman.





Definición

Un inventario de emisiones es un *instrumento estratégico de gestión ambiental* (entendiendo éste último como la estrategia mediante la cual se organizan las actividades antrópicas que afectan el medio ambiente, con el fin de mejorar la calidad de vida, al mitigar las emisiones) dado que permite relacionar las actividades mediante un sistema de información geográfica, y su aporte de contaminantes a la atmósfera, en un área determinada.

Tipos de inventarios

Existen varios tipos de inventarios en función de sus características, fines, objetivos y grado de precisión. Una clasificación general en función de su tipo y uso, se presenta a continuación:

Inventarios de promedios anuales. Este tipo de inventarios establecen la cantidad de un contaminante específico emitido en un año y un área determinada, al igual que aporta conocimiento sobre las tendencias mediante estimaciones de las emisiones.

Inventarios para modelación. Están formados por un conjunto de datos, que describen las emisiones en función del tiempo y de la zonificación del dominio del inventario y su proyección a futuro. Se requiere una malla de modelación.

Microinventarios. Se relacionan en un área de estudio pequeña en la cual son reducidas las fuentes de emisión, obteniendo una mejor exactitud en la influencia de las fuentes y su aporte.

Inventarios especializados. Enfocados en determinar las emisiones de un solo contaminante, siendo de interés en modelos químicos o en la gestión con todas sus características resaltando su impacto ambiental.



Características de los inventarios de emisiones

Cada inventario de emisiones tiene varias características algunos pueden requerir del desarrollo de otras. Las características principales que definen su naturaleza fundamental son:

Contaminantes. Un contaminante del aire se define como cualquier sustancia emitida a la atmósfera que altere su composición natural y pueda ocasionar efectos adversos en seres humanos, animales, vegetación o materiales. En este sentido, el propósito u objetivos de un inventario de emisiones determinan los contaminantes que deben ser incluidos por su prioridad en impacto ambiental y a la salud. Para este inventario se tomarán como base los contaminantes que se denominan criterio dado que estos se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. También los gases de efecto invernadero que tienen una influencia en el calentamiento global. En el siguiente capítulo se explicarán cada uno de estos.

Fuentes de emisión. Es toda actividad, proceso u operación, realizada por la naturaleza o los seres humanos, susceptible de emitir contaminantes al aire.

Año base. Es el año para el cual se han de estimar las emisiones y establece el inventario en el tiempo para que todas las estimaciones tengan una base común y representen las actividades que ocurrieron durante el mismo periodo. Esto constituye una base de comparación con otros inventarios previos y posteriores. El año base se fija por el propósito del inventario.

Escala temporal. Se refiere a las características temporales que se deben de considerar para un inventario de emisiones estas son el periodo de tiempo y la variabilidad temporal. Entendiéndose como el periodo de tiempo el lapso representado por el inventario y la variabilidad temporal se describe como la fluctuación de las emisiones en el tiempo. Si las emisiones son constantes, la variabilidad no es de gran interés; sin embargo, la mayoría de las emisiones cambian con el tiempo.





Características espaciales. Las principales son el dominio del inventario y la resolución espacial. La primera representa el área para la cual las fuentes de contaminantes atmosféricos serán inventariadas (principalmente políticas o geográficas) es posible que algunas fuentes externas ejerzan influencia sobre la calidad del aire debido al transporte meteorológico, La resolución espacial por su parte describe el nivel específico de la ubicación geográfica de las fuentes de contaminación.

Resolución de especies químicas (Especiación). Es la desagregación de un contaminante del inventario en sus componentes químicos individuales, o en grupos químicos específicos. La necesidad de la resolución de especies, así como la metodología a seguir son determinadas por el propósito del inventario.

Aseguramiento de la calidad. El aseguramiento de la calidad es el esfuerzo para poder controlar la calidad de la información y este debe ser efectuado durante todo el desarrollo del inventario. Algunos ejemplos de las actividades de aseguramiento de la calidad incluyen:

- El uso de una lista de verificación de las categorías de fuente (ver figura 1) permitirá asegurar que todas las categorías necesarias han sido incluidas en el inventario y en su respectiva clasificación.
- Revisar los resultados de las muestras y datos de actividad para las fuentes externas a la zona dominio del inventario previo al cálculo de las emisiones.
- Confirmar que todos los cálculos de emisión han sido realizados correctamente.

Manejo de datos. El manejo de los datos se analiza y realiza a través de una aplicación de tipo hoja de cálculo o de base de datos. Las primeras tienden a ser más fáciles de usar, pero las bases de datos son mucho más poderosas dado que manejan una mayor cantidad de datos.

Proyecciones. El uso de las proyecciones es determinado principalmente por el propósito del inventario. Las proyecciones son utilizadas principalmente para identificar las tendencias pasadas y futuras de las emisiones debido al incremento en la actividad y las estrategias de control instrumentadas, las proyecciones son





ampliamente utilizadas en los análisis teóricos de estrategias de control. En general, las proyecciones de crecimiento de las emisiones se basan en las proyecciones de crecimiento de otros parámetros (como población, actividad económica, etc).

Estimación de la incertidumbre. La incertidumbre puede ser estimada cuantitativa o cualitativamente. Las estimaciones cuantitativas de la incertidumbre son poco frecuentes, principalmente debido a que no existen métodos estandarizados para ello. Por otro lado, la derivación de la incertidumbre cuantitativa puede ser un proceso estadísticamente complejo que requiere varias suposiciones.

Continuidad del proceso de inventario. Los inventarios pasados se caracterizarán por tener información faltante y otras imperfecciones, pero la calidad de inventarios posteriores y actualizados mejorará gradualmente. La meta final es desarrollar inventarios de emisiones más precisos y que representen los datos más actuales de las emisiones de contaminantes atmosféricos y datos asociados de las fuentes, dentro de un área geográfica determinada en un intervalo de tiempo específico. Algunas aplicaciones del inventario deberán ser actualizadas cada año y requerirán información específica para ese año en particular. Estos inventarios podrán ser actualizados anualmente para realizar el seguimiento de las emisiones debido al crecimiento en la actividad generadora de emisiones, o su reducción debida a la instrumentación de diversas estrategias de control.



Usos de los inventarios de emisiones

El inventario de emisiones se usa para identificar fuentes de emisión de contaminantes, para predecir futuros niveles de calidad del aire a través de cierta técnica. Existen varias técnicas para el desarrollo de un inventario de emisiones las cuales pueden ser modelos matemáticos o software especializados basados en datos experimentales. El propósito de un inventario de emisiones definirá sus características, así como la recopilación de datos y su modelación,

Los usos principales de los inventarios de emisiones incluyen:

- Identificar las medidas para la reducción de emisiones a considerarse en los programas de gestión de la calidad del aire.
- Estimar la calidad del aire a través de modelación y datos sobre distribución espacial y temporal de las emisiones.
- Determinar tendencias en los niveles de emisiones.
- Determinar los efectos de las medidas de control en las tasas de emisiones de una región así como licencias y otros requerimientos regulatorios.
- Apoyar el establecimiento de programas de intercambio de emisiones.
- Dar a conocer el reporte de emisiones de las fuentes.

Los inventarios de emisiones a largo plazo contribuyen en el proceso de mejorar la calidad del aire.

Fuentes de emisión

La contaminación del aire tiene demasiadas fuentes de emisión las cuales se encuentran en diferentes clasificaciones en función de sus características. Primordialmente se pueden clasificar con base en su origen:

Fuentes antropogénicas. Son aquellas que provienen de actividades del ser humano como la quema de combustibles, actividades comerciales e industriales, actividades domésticas, transporte, etc.





Fuentes naturales. Emisiones que a partir de procesos naturales tienen influencia en la atmósfera sin intervención del ser humano. Por ejemplo: relámpagos, procesos biológicos en suelos y mares, emisiones de la vegetación, erupciones volcánicas, etc.

Otra clasificación propone para las fuentes antropogénicas una separación en:

Fuentes puntuales: Representan aquellas fuentes que se encuentran instaladas en un sector industrial y en un lugar específico, y dado a sus actividades generan emisiones contaminantes a la atmósfera.

Fuentes móviles: Obtenidas de todos los medios de transporte que utilice algún tipo de combustible.

Fuentes de área: Fuentes de lugares y establecimientos en los cuales se desarrollan actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas, pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte significativo. Este tipo de fuentes son demasiado numerosas o dispersas para ser incluidas como fuentes puntuales.

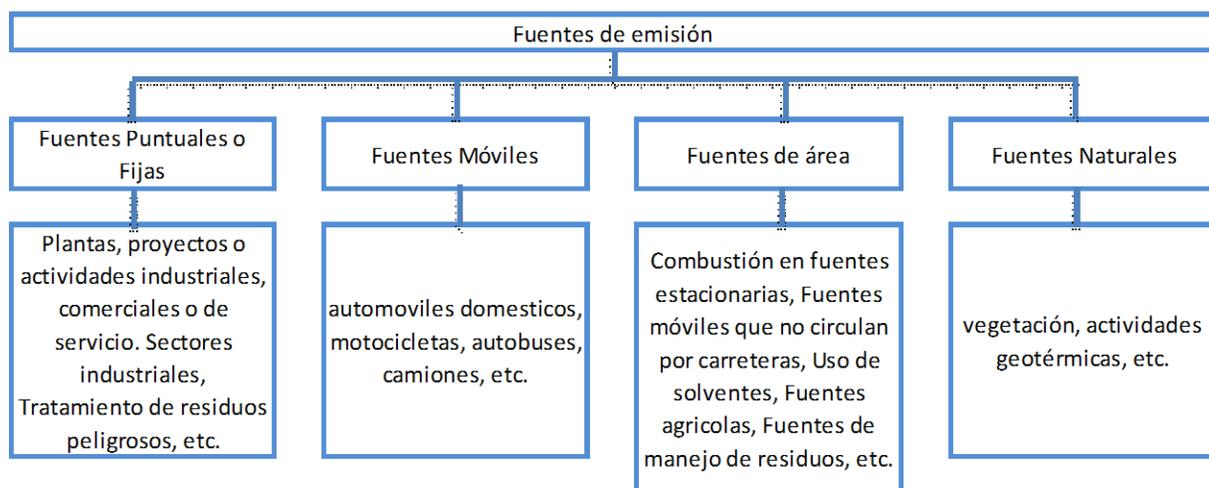


Figura 1. Diagrama de ejemplificación de fuentes de emisión.

Fuente: VELASCO S. H. E., *Inventario de Emisiones Biogénicas a la Atmósfera en la Zona Metropolitana del Valle de México*, Dirigida por: Juan Rubén Varela Ham, para obtener el título de M. en Ingeniería Ambiental, UNAM, Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, México, 2001.



Importancia social

Los inventarios de emisiones tienen una gran importancia en el impacto social dado que impactan la urbanización de las ciudades mostrando los puntos de alta densidad de emisiones, para poder tomar precauciones en la construcción de nuevas fuentes de emisión, al igual que su uso para el diseño del crecimiento futuro de áreas industriales altamente contaminantes, aumentando la posibilidad de mejorar la calidad del aire en zonas residenciales y reducir las áreas altamente pobladas existentes.

La degradación del medio ambiente es un indicador del nivel de contaminación en un área específica, produciendo daños y efectos en las plantas y animales. Para poder predecir y prevenir los daños son utilizados los inventarios de emisión. Los niveles de suciedad y visibilidad también son indicadores del nivel de contaminación en un lugar, los inventarios de emisiones son útiles para poder prevenirlos.

Los contaminantes emitidos a la atmósfera por los diferentes tipos de fuentes contribuyen al calentamiento global del planeta. Para que los daños sean mínimos se requiere cuantificar las emisiones de estos gases.

Importancia en la salud

Uno de los principales motivos o el principal motivo para un estudio de contaminación atmosférica es el riesgo a la salud de la población y el ambiente, por esta razón también es de gran importancia para un inventario de emisiones. El interés del efecto de los contaminantes en la salud varía en función de su toxicidad y morbilidad a largo o corto plazo. Para esto se debe cuantificar la exposición de la población a los contaminantes.





Importancia económica

Los inventarios de emisiones son herramientas que tienen una relación costo-beneficio, para poder reducir la contaminación atmosférica al relacionar el costo con la reducción de contaminantes. La reducción de contaminantes se basa principalmente en el decremento de las fuentes de emisión las cuales afectan tanto en tiempo actual como en los objetivos futuros de su producción, al igual que también es sensible al objetivo de estabilización de las concentraciones de contaminantes atmosféricos.

En los casos donde se utilicen combustibles fósiles el costo de estos también impacta sobre el costo de reducción de contaminantes sin embargo las nuevas tecnologías pueden ayudar al decremento de estos costos.

Métodos para el cálculo de estimaciones de emisión

Muestreo en fuente

Entre los diferentes métodos para el cálculo de emisión encontramos el muestreo en fuente, esta técnica son mediciones directas de la concentración en chimenea. Sin embargo, requiere de tiempo y equipo para obtener datos de emisión exactos, en consecuencia el costo de realizar muestreos de este tipo puede ser muy alto. No obstante, si se aplica adecuadamente, este puede proporcionar una mejor estimación que otras técnicas.

Los muestreos en la fuente se integran con mediciones a corto plazo que por lo general se realizan en una a cuatro horas. Para una muestra representativa deben realizarse tres muestreos en chimenea o escape para cada contaminante de interés a las condiciones de operación definidas. La recopilación de datos del proceso también es importante para relacionar las emisiones con la actividad del proceso y así poder desarrollar factores de emisión.

Una alternativa para los muestreos manuales es el monitoreo continuo que por lo general se utiliza instrumentos o monitores continuos de emisiones (MCE). Los MCE





pueden instalarse en la fuente de manera permanente para generar datos las 24 horas del día o durante un periodo definido.

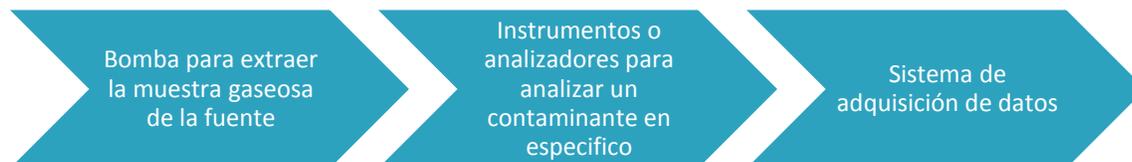


Figura 2. Partes constitutivas de los monitores continuos de emisiones (MCE).

Los datos presentados en un informe de muestreo en fuente, en su mayoría resumen las emisiones de cada contaminante expresándolas en términos de:

Una tasa de carga de masa o tasa de emisión. $\left(\frac{\text{masa de contaminante}}{\text{tiempo}}\right)$

Un factor de emisión $\left(\frac{\text{masa de contaminante}}{\text{unidad de actividad del proceso}}\right)$

Un factor empírico o factores F (convierte los datos de tasa de uso de combustible en tasas de consumo de calor o de flujo de gas)

Factores de emisión

Se define como la relación entre la cantidad de un contaminante y una unidad de actividad. La actividad puede basarse en procesos tales como la producción, horas de operación, área superficial, etc. Se usan para calcular emisiones cuando los datos de monitoreo no están disponibles. Existen dos clasificaciones de Factores de emisiones, los basados en procesos y los basados en censos.





Factores de emisión basados en procesos

Dado que con frecuencia no es factible hacer muestreos por cada fuente emisora, los resultados de muestreos de “fuentes representativas” se usan para desarrollar factores de emisión. Estos factores se expresan generalmente en forma de masa de contaminante emitido por unidad de proceso.

Factores de emisión basados en censos

Este es un método eficiente para fuentes emisoras dispersas y numerosas (fuentes de área). La estimación de emisiones con el uso de factores de emisión basados en censos comparada con otras técnicas es una opción adecuada y efectiva, dado que los datos pueden ser más fácilmente extraídos.

Son útiles para estimaciones de fuentes de área y se pueden encontrar en fuentes bibliográficas como bases de datos de la EPA.

Los factores de emisión basados en censos son más exactos cuando se aplican a una región para la que el factor de emisión fue desarrollado. Entre los factores de emisión basados en censos se pueden encontrar los siguientes factores.

Factores de emisión per cápita: al usar estos, las emisiones en un área pueden asociarse con la población de manera razonable, sin embargo, estos no deben ser utilizados de manera indiscriminada para fuentes cuyas emisiones no tenga una buena correlación con la población,

Factores de emisión por empleado: utiliza datos de empleo más que de población como el indicador de nivel de la actividad sustituta, En la mayoría de los casos una fracción de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) se calculan usando procedimientos de fuentes puntuales, por esta razón se pueden considerar como secundarios para cubrir emisiones de fuentes que están por debajo del límite inferior de corte para fuentes puntuales.



Factor empírico o factores *F*: los factores *F* son usados para cálculos de la tasa de flujo de gas en chimenea. Es la relación del volumen gaseoso de los productos de combustión con el contenido de calor del combustible e incluye los componentes de la combustión exceptuando el agua.

Balance de materiales

Este método es utilizado para estimar emisiones de muchas categorías de fuentes. El cual puede ser usado cuando no existan datos disponibles de muestreos en la fuente, factores de emisión u otros métodos. Para poder desarrollar este método se necesita de un análisis del proceso para poder determinar si las emisiones pueden ser estimadas con los parámetros específicos de operación y las composiciones de los materiales. Es necesario conocer la concentración o cantidad del material en cada punto a lo largo del proceso.

El balance de materiales o balance de masa puede ser utilizado para fuentes puntuales o fuentes de área, siendo para el primero a nivel de planta o proceso y para las fuentes de área a nivel nacional o regional. Se obtienen datos de todos los componentes dentro de un proceso, exceptuando el aire para determinar las emisiones al aire. En general el uso de un balance de masa es un proceso sencillo y costeable.

Extrapolación

Se define como el método desarrollado por el escalamiento de las emisiones de una fuente a otra base en un parámetro de escalamiento conocido para ambas fuentes.

Puede usarse para calcular emisiones directamente y verificar las estimaciones de emisiones realizadas por otros métodos. Se considera como el enfoque menos deseable para estimar emisiones (por tener una probabilidad de inexactitud al no tomar en cuenta de manera apropiada diferencias importantes entre dos regiones).





Sin embargo, este método combinado con un marco de modelado se vuelve un camino práctico, efectivo y costeable para el desarrollo de estimación de emisiones, la extrapolación puede ser utilizada en un proceso o planta para tipos de fuente o plantas similares, otro caso de uso es argumentando las condiciones socioeconómicas entre dos regiones geográficas comparables, esta extrapolación puede obtenerse basándose en datos de población y empleo.

Modelos de emisión

Los modelos de emisión requieren cálculos complejos o grandes volúmenes de datos para alimentarlos. Es probable que sean por medio de simulación computacional. Los modelos están diseñados de tal manera que producen estimaciones más exactas que las obtenidas por medio de factores de emisión, la exactitud de estas siempre dependerá de la calidad de los datos y las suposiciones en las cuales se basa el inventario.

Se pueden clasificar los modelos de emisión en tres tipos:

Modelos adaptativos: se basan en un paquete computacional que integra redes nucleares, lógica confusa (“fuzzy”) y sistemas caóticos en un solo paquete (Collins and Terhune, 1994). Durante la primera etapa se carga el programa con los datos históricos y datos de emisiones, después los parámetros de operación se monitorean y son utilizados por el sistema del programa para poder predecir las emisiones.

Modelos mecánicos: se fundamentan en ecuaciones que han sido desarrolladas utilizando fundamentos físico-químico-biológicos para poder describir la tasa de emisión de un tipo de fuente. Para este tipo de modelos se requieren de muchas variables para calcular las emisiones. La EPA ha desarrollado modelos para estimar las emisiones en las siguientes categorías de fuente: tanques de almacenamiento, tanques de techo fijo, tanques de techo flotante, operaciones de carga de derivados del petróleo y rellenos sanitarios

Modelos de emisiones al aire de agua y aguas residuales: cada modelo de emisiones de residuos y de aguas residuales requiere de diferentes parámetros.





Volatilización. Adsorción. Migración, Esgurrimiento, Descomposición biológica, Descomposición fotoquímica, Oxidación y reducción, Hidrólisis, Reacciones de radical hidroxilo:

Polvos fungitivos: surge de las perturbaciones mecánicas del material en polvo expuesto al aire. Se denomina fungitivo al polvo generado por fuentes abiertas debido a que no se descarga a la atmósfera en una corriente de flujo confinado. (Incluye caminos pavimentados y no pavimentados, pilas de almacenamiento de agregados y operaciones agrícolas).

Variable múltiple: un modelo de variable múltiple presenta las emisiones en término de varias variables que ayudan a caracterizar el sistema que se modela, para regiones donde se tienen registros y estadísticas de la aplicación de técnicas tradicionales que resultan limitados.

En la figura 3 se muestran los pasos a seguir cuando se usa el modelo de variable múltiple.



Figura 3. Pasos para el desarrollo de un modelo de variable múltiple.





Encuestas

Este método se basa en cuestionarios diseñados para recabar datos de emisión. Principalmente son utilizados para fuentes puntuales a nivel de establecimiento o bien fuentes de área en un muestreo representativo dentro de una categoría.

Los pasos para el método de encuestas se puede observar en la figura 4, la cual muestra de una manera llana del proceso de elaboración de este método.

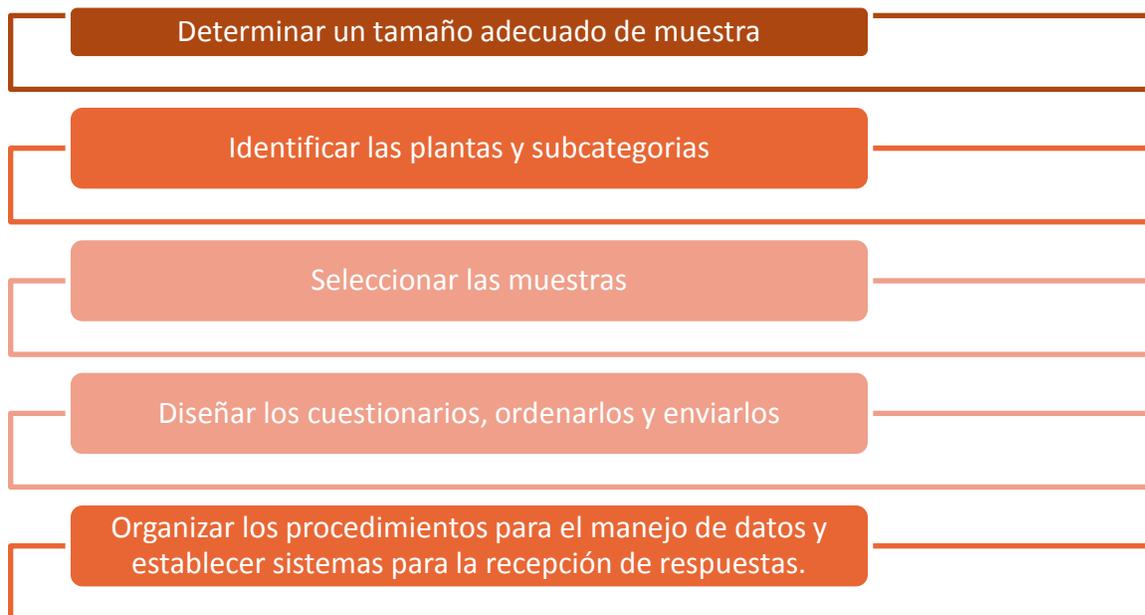


Figura 4. Proceso para el desarrollo del método de encuestas

Las respuestas deben estar sujetas a revisión para asegurar la calidad de los datos obtenidos y poder desechar datos inválidos, se tiene que obtener un escalamiento de los datos al igual que una frecuente actualización de la base de contactos para futuras encuestas.

Fuente: RADIAN INTERNATIONAL LLC, *Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México*, capítulos II, III, IV, V, 1996- 1997.





Capítulo 2. Antecedentes

El inventario de emisiones se basa en estimaciones de fuentes fijas, de área y móviles, intentando englobar en estas las emisiones principales que impactan la salud humana y promueven el cambio climático.

Las fuentes fijas que se cuantifican en el inventario son principalmente las emitidas por las industrias de ámbito federal. Las fuentes de área abarcan principalmente las actividades agrícolas y la quema de residuos y las móviles son realizadas por vehículos automotores de registro estatal.

Debido a la compleja naturaleza de la contaminación atmosférica se han requerido planes detallados para identificar las fuentes de emisión, así como el desarrollo de métodos para la reducción del impacto a la salud ocasionado por la exposición a contaminantes.

Existen diferentes métodos para estimar las emisiones los cuales requieren un desarrollo y refinamiento continuo. La exactitud en la estimación de emisiones depende de cada componente del inventario, si se introducen errores en algún componente este afectará la estimación final de las emisiones.

Las metodologías empleadas para las fuentes contempladas en el inventario son las siguientes:

- a) *Estimación de emisiones por medio de factores de emisión.* Factores de emisión: indican una relación entre la cantidad de un contaminante y una unidad de actividad. Se usan para calcular emisiones cuando los datos de monitoreo no está disponible. Existen dos clasificaciones de factores de emisiones, basados en procesos y basados en censos. Los factores de emisión basados en procesos: son los resultados de muestreos de “fuentes representativas” se usan para desarrollar factores de emisión y los factores de emisión per cápita: muestra las emisiones en un área que pueden asociarse con la población de manera razonable.





b) *Extrapolación*: método desarrollado por el escalamiento de las emisiones de una fuente a otra base en un parámetro de escalamiento conocido para ambas fuentes. Puede usarse para calcular emisiones directamente y verificar las estimaciones de emisiones realizadas por otros métodos. La extrapolación puede ser utilizada en un proceso o planta para tipos de fuente o plantas similares, otro caso de uso es argumentando las condiciones socioeconómicas entre dos regiones geográficas comparables, esta extrapolación puede obtenerse basándose en datos de población y empleo.

El estado de Hidalgo

El estado de Hidalgo cuenta con 20 813 km² de superficie, con una ubicación geografía al centro de país entre los estados de México, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, San Luis Potosí y Querétaro, el estado cuenta con 2,665,018 habitantes repartidos en sus 84 municipios (INEGI 2010). Los municipios que integran al estado de Hidalgo son los siguientes:

Pachuca de Soto	Tepehuacán de Guerrero	Ajacuba	Villa de Tezontepec
Tulancingo de Bravo	San Agustín Tlaxiaca	Cardonal	Almoloya
Huejutla de Reyes	Atotonilco de Tula	Calnali	Molango de Escamilla
Tula de Allende	Zacualtipán de Ángeles	Tenango de Doria	Jaltocán
Ixmiquilpan	Atitalaquia	Tasquillo	La Misión
Tepeji del Río de Ocampo	Tlaxcoapan	Tlahuelilpan	Tetepango
Mineral de la Reforma	Atotonilco el Grande	Chilcuautla	Lolotla
Tizayuca	Huehuetla	Huasca de Ocampo	Metepec
Tepeapulco	Huautla	Nopala de Villagrán	Tlahuiltepa
Actopan	Yahualica	El Arenal	Tepetitlán
Cuautepec de Hinojosa	Chapulhuacán	Santiago de Anaya	Tlanalapa San Agustín Metzquititlán
Tezontepec de Aldama	Metztitlán	Tianguistengo	Agua Blanca de Iturbide
Huichapan	Progreso de Obregón	Singuilucan	Omitlán de Juárez
Apan	Atlapexco	Emiliano Zapata	Xochicoatlán
San Felipe Orizatlán	Xochiatipan	Jacala de Ledezma	Mineral del Chico
Mixquiahuala de Juárez	Acatlán	Mineral del Monte	Nicolás Flores
Acaxochitlán	San Bartolo Tutotepec	Huazalingo	Pacula
Zimapán	Pisaflores	Tolcayuca	Juárez Hidalgo
Tlanchinol	Alfajayucan	Epazoyucan	Eloxochitlán
Tecoautla	Zapotlán de Juárez	Chapantongo	
Francisco I. Madero	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero	San Salvador	Zempoala





En Hidalgo durante la última mitad del siglo XX y principios de este siglo el crecimiento demográfico más significativo se desarrolla en la parte sur de la entidad donde podemos encontrar los municipios metropolitanos de la entidad. La dinámica demográfica más vigorosa y relevante se encuentra en el sur, mientras que el resto del estado muestra un crecimiento lento o mínimo. En este inventario de emisiones se redujeron la cantidad de municipios dando prioridad a los más poblados, los que se supone tendrán un crecimiento mayor comparado con los demás, así como los municipios colindantes con otros estados.

El área del inventario se limita a 27 municipios de Hidalgo.

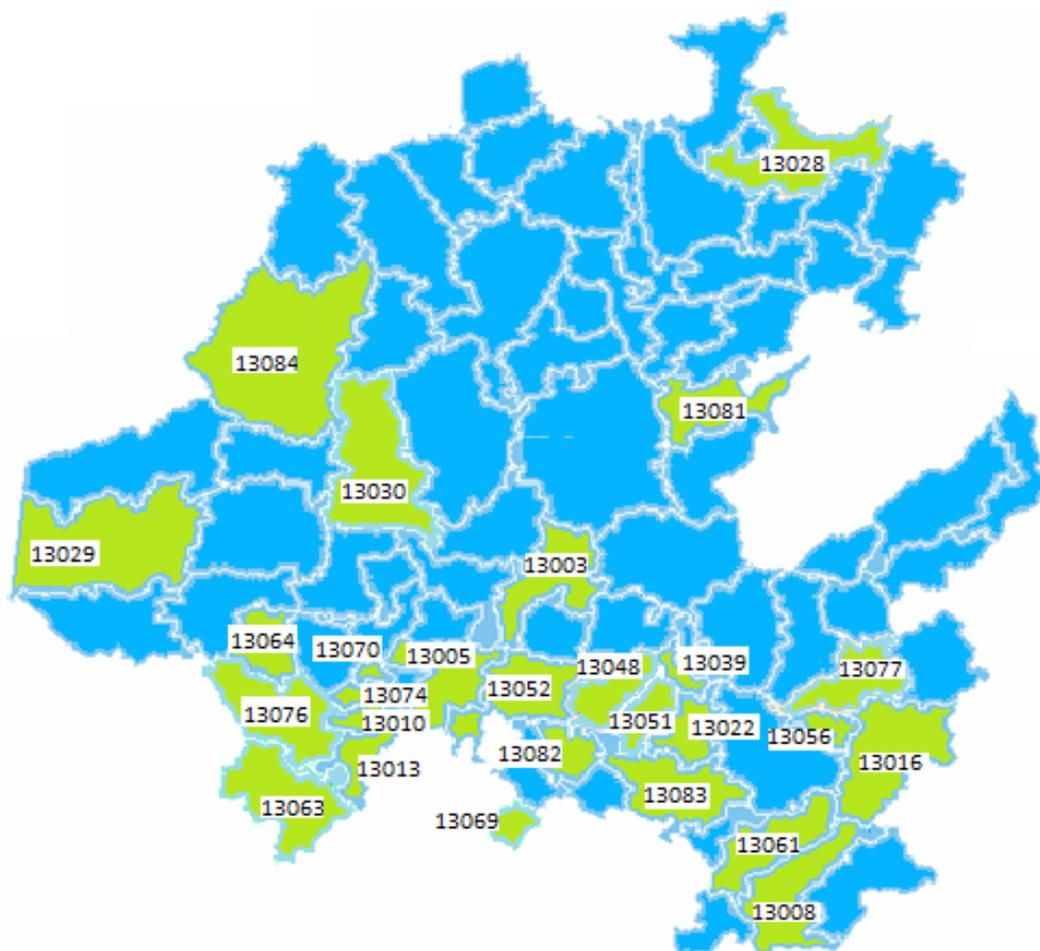


Figura 5. Mapa de localización de municipios contemplados en el inventario.



En la siguiente tabla se encuentran los municipios tomados para el análisis de emisiones. Esta reducción de municipios anteriormente descrita, muestra 27 de los 84 municipios que cuenta el Hidalgo, Los 27 municipios se listan en la tabla 1.

Características poblaciones y económicas del estado

Empresas comprendidas en el inventario

Tabla 1. *Municipios considerados para Inventario.*

Clave del municipio	Municipio	Empresas	Sector
13003	Actopan	Comercial Roshfrans SA de CV	Automotriz
13005	Ajacuba		
13008	Apan		
13010	Atitalaquia	Cerillera la central SA de CV	Química
		Cargill de México SA de CV	Química
		Clarimex SA de CV	Química
		Industrias de hule Galgo SA de C V	Química
		Pemex refinación refinería Miguel Hidalgo	Petróleo y Petroquímica
		Praxair México S de RL de CV	Química
		Pisa agropecuaria SA de CV	Química
		Sigma Alimentos Centro S A de CV	Alimentos
13013	Atotonilco de Tula	Caleras Bertran SA de CV	Cemento y Cal
		Cemex México SA de CV Planta Atotonilco	Cemento y Cal
		Lafarge Cementos SA de CV	Cemento y Cal
		Oxical SA de CV	Cemento y Cal
		Sociedad Cooperativa trabajadores Cal el Tigre SC de RL	Cemento y Cal
		Sociedad Cooperativa Cal el Pilar SCL	Cemento y Cal
		Lafarge Cementos S.A. DE C.V. planta Tula	Cemento y Cal
		Ejido progreso planta hidratadora de cal Procal 2000	Cemento y Cal
13016	Cuautepec de Hinojosa		
13022	Epazoyucan		
13028	Huejutla de Reyes		
13029	Huichapan	Cemex México S.A. de C.V. Planta Huichapan	Cemento y Cal
13030	Ixmiquilpan		





Elaboración de un inventario de emisiones para el estado de Hidalgo



13051	Mineral de la Reforma	Alimentos Byd S.A. de C.V.	Alimentos
		Embotelladora Las Margaritas SA de CV	Alimentos
		Flusell de Hidalgo SA de CV	Química
13039	Mineral del Monte		
13048	Pachuca de Soto	Flusell de Hidalgo SA de CV	Química
		Herramientas Cleveland SA de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
		Industrias Arturcon SA de CV	Química
		La Lavandera	Química
		Pemex Refinación terminal de almacenamiento y distribución de Pachuca	Petróleo y Petroquímica
		Química Manufacturera de Hidalgo SA de CV	Química
		Santa Clara productos lácteos SA de CV	Alimentos
13052	San Agustín Tlaxiaca	Productos básicos SA de CV	Química
13056	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero		
13061	Tepeapulco	Bombardier transportation SA de CV	Automotriz
		Dina Komatsu Mexicana SA de CV	Automotriz
		Asfk de México S de RL de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
		Plásticos automotrices de Sahagun SA DE CV	Automotriz
13063	Tepeji del Río de Ocampo	Sistemas integrales en el manejo de residuos industriales S de RL	Tratamiento de Residuos peligrosos
		Cales y morteros Porter & Porter	Cemento y Cal
		Sanity International SA de CV	Tratamiento de Residuos peligrosos
		Cristal laminado o templado SA de CV	Química
		Procter & Gamble manufactura S de RL	Química
		Compañía industrial de Tepeji SA de CV	Textil
		Inmobiliaria Hadamex SA de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
		Lesato SA de CV	Textil
		Alcusi SA de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
		PEMEX gas y petroquímica básica terminal de distribución de gas licuado Tepeji	Petróleo y Petroquímica
		Cal de Apasco SA unidad II	Cemento y Cal
Transformadores y tecnología SA de CV	Equipos y artículos electrónicos, eléctricos y domésticos		
13064	Tepetitlán		
13069	Tizayuca	Auto manufacturas Brake SA de CV	Asbesto



Elaboración de un inventario de emisiones para el estado de Hidalgo



Alfa procesos SA de CV	Tratamiento de Residuos peligrosos
Cartonajes Estrella SA de CV planta Tizayuca	Celulosa y papel
Eureka SA de CV	Asbesto
Infu SA	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
Laminados de Hidalgo SA de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
Tizaquim SA de CV	Tratamiento de Residuos peligrosos
Textiles y acabados de México SA de CV	Textil
Tizayuca textil Vuva SA de CV	Textil
Feno resinas SA de CV	Química
Laminadora de angulos y perfiles SA de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
Lete SA de CV	Química
Manufacturas metálicas Tizayuca SA de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
Nutrimientos minerales de Hidalgo SA de CV	Química
Nutrimientos minerales SA de CV planta 2	Química
Nutrimientos minerales SA de CV	Química
Pinturas Alven SA de CV	Pinturas y tintas
Productos Rio SA de CV	Química
Producción y especialidades en aluminio SA de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
Fenoresinas SA de CV terminal ferroviaria Tizayuca	Otros
Grupo industrial Leijer SA de CV	Química
Novolan SA de CV	Otros
Metalúrgica Balfé SA de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
Metalúrgica Delta SA de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
Química Nobleza SA de CV	Química
TIZAQUIM S.A. DE C.V.	Tratamiento de Residuos peligrosos
Texsa SA de CV	Química
Trapla SA de CV	Química
Mexilac SA de CV	Alimentos
Insumos de Hidalgo SA de CV	Química
Industrial Ebro Quimex SA de CV	Química
Swissacero SA de CV	Metalúrgica (incluye siderúrgica)
Empresas Titán, SA de CV	Celulosa y papel





Elaboración de un inventario de emisiones para el estado de Hidalgo



		Gama emulsiones SA de CV	Química
		Procesos primarios Miasi SA de CV	Química
		Puratos de México	Alimentos
		Pilgrim's Pride SA de CV	Alimentos
		Valchem industrial	Química
		Industrial de espumas plásticas SA de CV	Química
13070	Tlahuelilpan		
13074	Tlaxcoapan	Colorantes y óxidos SA de CV	Química
13076	Tula de Allende	Cooperativa La Cruz Azul SCL	Cemento y Cal
		Comisión Federal de Electricidad C. T. Francisco Pérez Ríos tula hidalgo	Generación de energía eléctrica
		Hospital general de Tula Petróleos Mexicanos	Tratamiento de Residuos peligrosos
		Petroquímica Tula SA de CV	Petróleo y Petroquímica
		Central termoeléctrica ciclo combinado Tula	Generación de energía eléctrica
		Colomer SA de CV	Química
		Complejo Petroquímico Tula (Refinería Miguel Hidalgo)	Petróleo y Petroquímica
		Pemex gas y petroquímica básica terminal de distribución de gas licuado Tula	Petróleo y Petroquímica
13077	Tulancingo de Bravo	Novotex SA de CV	Química
		Industrias Néstor SA de CV	Textil
		Santa Blanca SA de CV	Química
		Madylan SA de CV	Otros
		Textiles técnicos SA de CV	Textil
13081	Zacualtipán de Ángeles		
13082	Zapotlán de Juárez	Transmisiones para la industria mexicana SA de CV	Automotriz
13083	Zempoala		
13084	Zimapan	Compañía Minera Nuevo Monte	Metalúrgica (incluye siderúrgica)

Fuente: Tabla propia con datos obtenidos de Estimaciones de CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo 2005 (IV Trimestre), Registro de Transmisión de Contaminantes, SEMARNAT.

Existen diferentes indicadores económicos entre los que podemos ver el desarrollo de Hidalgo. El producto interno bruto (PIB) es el valor monetario de los bienes y servicios finales producidos por una economía en un período determinado. El PIB es un indicador representativo que ayuda a medir el crecimiento de la producción de





bienes y servicios de las empresas de cada país. Este indicador es un reflejo de la competitividad de las empresas (Fuente:

http://www.economia.com.mx/producto_interno_bruto.htm).

Para el estado de Hidalgo se tiene un PIB que representa un porcentaje del PIB emitido por el país. Este al 2008 es presentado en la tabla 2.

Tabla 2. PIB 2008 del estado de Hidalgo por actividad y relación con PIB nacional.

PIB 2008	Total	relación % PIB estatal/ PIB nacional
Total	180,197	1.50%
Actividades Primarias	8,449	2.10%
<i>Agricultura, ganadería, y pesca</i>	8,449	2.10%
Actividades Secundarias	79,661	1.80%
<i>Minería</i>	3,012	0.30%
<i>Electricidad, agua y gas</i>	4,704	2.60%
<i>Construcción</i>	20,130	2.40%
<i>Industrias manufactureras</i>	51,815	2.50%
Actividades Terciarias	92,087	1.30%
<i>Comerico</i>	19,700	1.10%
<i>Transportes, correo y almacenamiento</i>	13,292	1.70%
<i>Información en medios masivos</i>	3,200	0.90%
<i>Servicios financieros y de seguros</i>	2,196	0.50%
<i>Servicios inmobiliarios y de alquiler</i>	23,262	1.90%
<i>Servicios profesionales, científicos y técnicos</i>	1,356	0.40%
<i>Dirección de corporativos y empresas</i>	1	0.00%
<i>Serv. de apoyo a los negocios y manejo de desechos</i>	1,715	0.60%
<i>Servicios Educativos</i>	11,741	2.10%
<i>Servicios de salud y de asistencia social</i>	4,073	1.20%
<i>Servicios de esparcimiento culturales y deportivo</i>	334	0.80%
<i>Hoteles y restaurantes</i>	1,722	0.60%
<i>Otros servicios excepto actividades del gobierno</i>	3,407	1.20%
<i>Actividades del gobierno</i>	7,074	1.60%
<i>Intermediación financiera indirecta</i>	-986	0.40%

Fuente: http://mim.promexico.gob.mx/Documentos/PDF/mim/FE_HGO_vf.pdf





El PIB por concepto del estado de Hidalgo es representado en la tabla 3 a partir del año 1993 hasta 2003.

Tabla 3. Participación porcentual del PIB por concepto

Concepto	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
<i>Agropecuaria, silvicultura y pesca</i>	8.8	8.9	10.2	10.1	8.9	7.4	8.1	8.8	8.9	8.8	9.4
<i>Minería</i>	1.4	1.4	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.7	1.1	1.2	0.9
<i>Industria manufacturera</i>	26.3	25.7	23.1	24.6	25.9	28.2	26.8	26.8	24.8	24.2	23.9
<i>Construcción</i>	4.1	4.9	3	4.4	3.4	3.6	3.8	2.7	3.3	3.4	3.6
<i>Electricidad, gas y agua</i>	5.1	5.3	5.6	5.7	5.9	5.7	6.2	6.1	6.7	6.5	6.3
<i>Comercio, restaurantes y hoteles</i>	14.7	14.5	12.2	12.1	12.4	12.9	12.7	13.5	12.9	12.6	12.4
<i>Transporte, almacenaje y comunicaciones</i>	7.3	7.6	7.3	7.5	7.9	7.9	7.8	8.3	8.5	8.5	8.8
<i>Servicios financieros, seguros, inmobiliarias y de alquiler</i>	14.4	14.1	16.2	15.2	14.6	14	14.1	13.9	14.8	15.7	16
<i>Servicios comunales, sociales y personales</i>	18.8	18.3	21.2	19.7	19.9	19.2	19.6	18.9	19.7	20.1	19.7
<i>cargo por los servicios bancarios imputados</i>	0.9	-0.8	-0.7	-0.7	-0.6	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-1	-1.1
<i>Total</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Porcentajes estimados con base en datos disponibles: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=epib01&c=4746&e=13>. Precios constantes de 1993.

Al igual que el PIB existen otros tipos de indicadores como la Población Económicamente Activa (PEA), este indicador es la parte de la población que integra la producción económica, este concepto excluye a los pensionados y jubilados, al igual que a las amas de casa, estudiantes y menores de edad. Este indicador aporta una relación de la contaminación y la actividad productiva por industria o área como la contaminación por actividades agrícolas. La Población Económicamente Activa de Hidalgo se encuentra por edades en la tabla 4.





Tabla 4. *Población Económicamente Activa (PEA)*

Edad	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
12-14	20,541	16,898	11,739	6,896	3,263	0	0
15-19	105,914	100,216	99,671	89,867	80,012	75,943	73,655
20-24	137,457	143,553	150,644	152,213	138,985	124,945	119,621
25-29	130,674	139,347	149,935	157,986	160,386	147,261	133,015
30-34	114,424	128,145	137,873	147,591	154,294	155,982	142,905
35-39	104,610	117,103	128,310	137,839	147,360	153,947	155,831
40-44	89,545	103,982	117,430	128,459	137,947	147,358	153,912
45-49	67,683	85,148	101,047	113,960	124,804	134,169	143,401
50-54	49,771	63,054	79,748	94,857	107,169	117,697	126,789
55-59	34,980	44,553	56,568	71,673	85,492	96,958	106,862
60-64	27,931	30,406	37,037	47,124	59,820	71,560	82,387
65-69	21,169	19,477	23,293	28,499	36,336	46,239	55,446
70-74	12,389	11,672	13,687	16,273	19,945	25,472	32,449
75-79	5,858	5,904	7,008	8,235	9,755	11,924	15,178
80-84	2,427	2,414	2,886	3,475	4,105	4,886	6,002
85-89	949	667	826	997	1,207	1,432	1,711
Total	926,322	1,012,539	1,117,702	1,205,944	1,270,880	1,315,773	1,348,164

Fuente: Proyecciones de la población económicamente activa de México y de las entidades federativas. 2005-2050.

Inventarios en el estado de Hidalgo

Hidalgo necesita un sistema que pronostique los niveles de contaminación para reducir la exposición de la población a altos niveles y prevenir, disminuir y mitigar las contingencias ambientales atmosféricas.

Se tienen diferentes inventarios de emisiones para Hidalgo, como es el caso de: En balance 1999 Emisiones y transferencia de contaminantes en América del Norte, el inventario nacional de emisiones de México 1999, el inventario de emisiones de la Región Tula-Tepeji 2002 y el inventario de contaminación emitida a suelo, agua y aire en 14 municipios del estado de Hidalgo, México 2003.





Contaminantes considerados en el inventario

Dado que un contaminante es toda sustancia que al ser liberada en la atmósfera altera la composición natural del aire, dependiendo del tipo de inventario y los propósitos de este se eligen los contaminantes que deben ser incluidos.

Contaminantes Criterio

Compuestos orgánicos totales (COT)

Los COT son compuestos comprendidos en hidrocarburos y son emitidos por fuentes de combustión o de evaporación. Este concepto engloba a los compuestos carbónicos excepto carbonatos, carburos metálicos, CO, dióxido de carbono (CO_2) y ácido carbónico. En esta categoría de contaminantes se encuentran aldehídos como el formaldehído y el acetaldehído que son irritantes del tracto respiratorio y compuestos químicos carcinógenos como el benceno. Las exposiciones de corta duración a estos compuestos pueden ocasionar irritación del tracto respiratorio.

Existe un incremento en los casos de cáncer cuando hay exposiciones largas a algunas especies de Gases Orgánicos Totales. La EPA ha identificado varios compuestos cuya reactividad fotoquímica es nula o despreciable como es el caso del metano y el etano.

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro menos denso que el aire el cual se forma en las combustiones incompletas de material que contiene carbono (combustibles fósiles), aproximadamente 70% de las emisiones de CO son emitidas por vehículos automotores. Las concentraciones horarias de CO a menudo reflejan patrones de tráfico vehicular.

El monóxido de carbono es una molécula estable que no afecta directamente la vegetación. Su importancia recae en los daños que puede causar en seres humanos al permanecer expuestos por periodos prolongados a concentraciones elevadas, el monóxido de carbono tiene la capacidad de unirse a la hemoglobina





para formar carboxihemoglobina (COHB), lo cual indica una reducción significativa de oxigenación en el organismo (hipoxia) a niveles superiores de 15 a 20 ppm de monóxido de carbono la carboxihemoglobina en la sangre se eleva causando efectos adversos en el sistema nervioso y en el cardiovascular.

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El término óxidos de nitrógeno (NO_x) incluye al óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y otros óxidos de nitrógeno menos comunes. Estos compuestos son precursores de ozono y se obtienen durante los procesos de combustión. La formación de NO_x por combustión interna se muestra en la Figura 6.

El NO₂ es un agente sumamente oxidante, soluble en agua que constituye uno de los precursores básicos del smog fotoquímico y se distingue en grandes urbes por la coloración café-rojizo.

Muchos de los efectos al ambiente que son atribuidos al NO₂ se deben a productos de reacciones asociadas dado que en presencia de luz solar el NO₂ se disocia en NO y O que este último al reaccionar con oxígeno de la atmósfera para producir O₃ el cual es un contaminante altamente oxidante.

Por otra parte el NO₂ reacciona con el radical OH⁻ para producir partículas de ácido nítrico (HNO₃), el cual es causante de la lluvia ácida. La exposición al NO₂ produce efectos a la salud como irritación al tracto respiratorio y, si la exposición se prolonga puede causar daños en la función pulmonar.

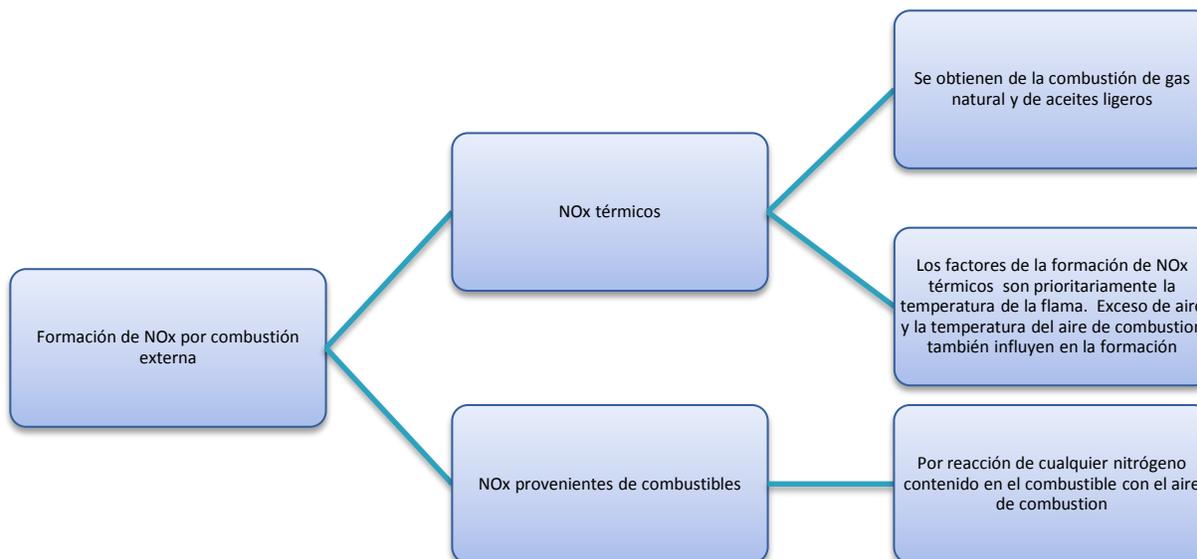


Figura 6. *Formación de NOx*

Óxidos de azufre (SOx)

Los óxidos de azufre son referidos al dióxido de azufre (SO_2) y otros óxidos de este elemento, siendo el SO_2 un gas incoloro de fuerte olor el cual se forma de la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre, En la salud estos compuestos pueden ocasionar irritaciones al sistema respiratorio, los síntomas a altas concentraciones pueden incluir tos, flujo nasal y falta de aliento.

Los óxidos de azufre contribuyen al fenómeno de depósito ácido, este término se refiere a las formas en la que los compuestos ácidos se depositan en la atmósfera ya sea por vía húmeda (lluvia ácida, niebla o nieve) o por precipitación seca de partículas ácidas (aerosoles). Por lo general los componentes de la lluvia ácida incluyen ácidos nítricos y sulfúricos, que pueden formarse por la combinación de óxidos de azufre y nitrógeno con el vapor de agua en la atmósfera.



Partículas Suspendidas

Se refieren a cualquier sustancia en fase solida o liquida suspendidas en el aire y que, usualmente de forma individual es invisible al ojo humano. Colectivamente forman una neblina que disminuye la visibilidad las cuales se clasifican en la Figura 7.

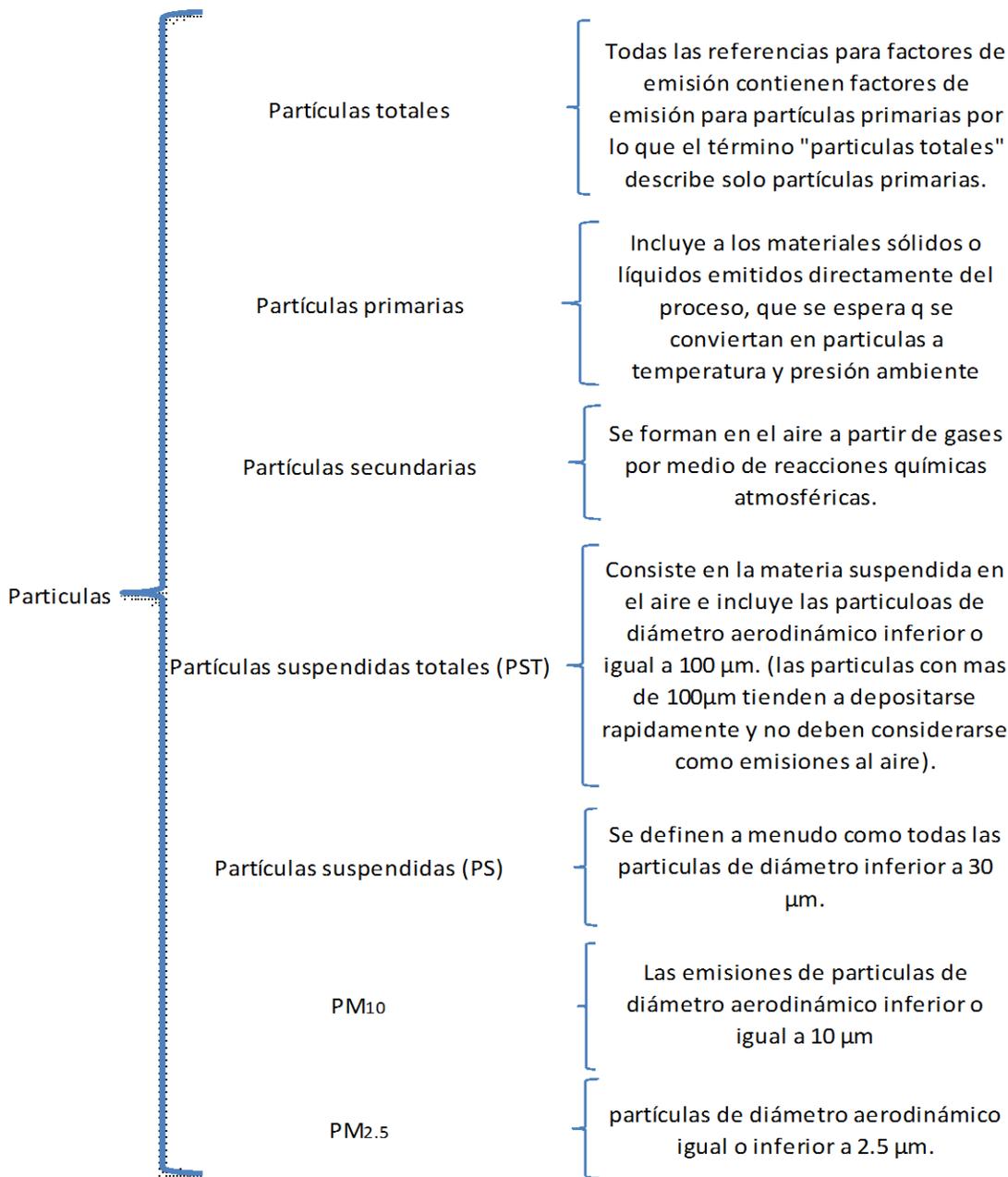


Figura 7. Clasificación de Partículas



Existen otras clasificaciones como partículas filtrantes y partículas condensables que se basan en su método analítico para su recolección. El pequeño tamaño de las PM_{10} o las $PM_{2.5}$ les permite entrar fácilmente a los alvéolos pulmonares donde se depositan causando efectos sobre la salud, provocando tos, jadeos y cambios en la función respiratoria y el pulmón. En la Figura 8 se muestran los rasgos de tamaños de partícula.

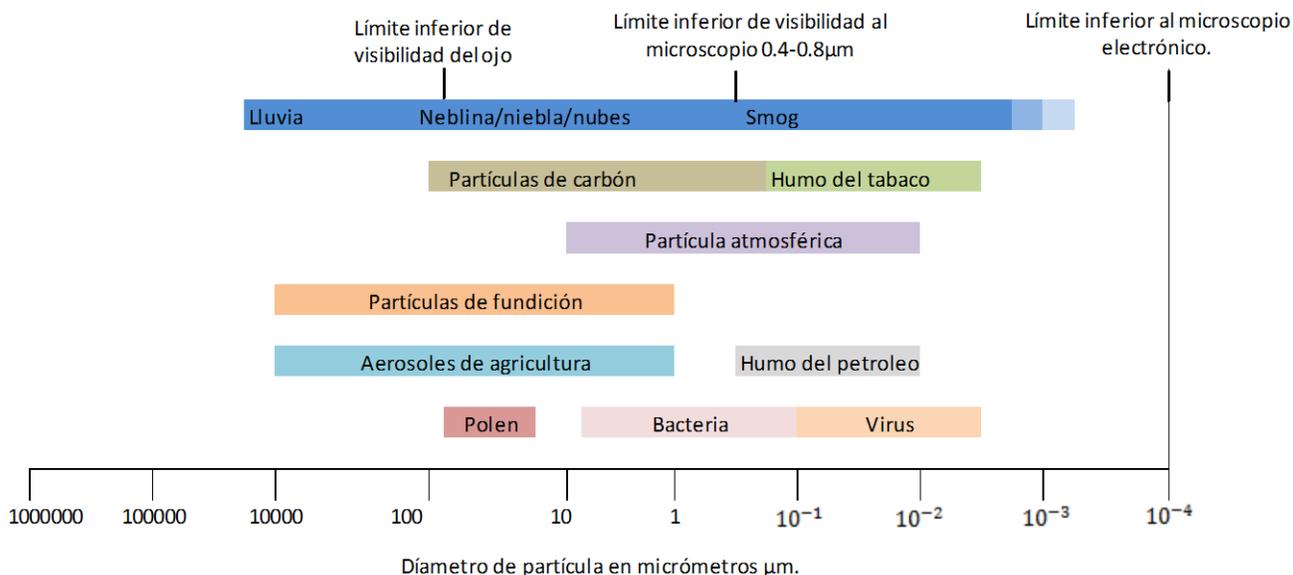


Figura 8. Rasgos típicos de tamaños de partículas atmosféricas.

Fuente: BAIRD C, *Química Ambiental*, Barcelona, España, Editorial Reverté SA, 2001. Adaptado de J.G. Henry y G. W. Heinke. *Environmental Science and Engineering*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.



Ozono (O_3)

Es un gas reactivo tóxico se caracteriza por un olor fuerte (picante), parecido al cloro que muchas personas detectan a partir de 0.02 ppm y de color azul pálido, este es el oxidante fotoquímico más abundante. El ozono se forma naturalmente durante tormentas por la aparición de rayos, se encuentra en la estratosfera (entre 12 y 50 km sobre la superficie terrestre) impidiendo el paso directo de la radiación solar. Al igual que en la Troposfera (entre 0 y 12 km sobre la superficie terrestre) donde su presencia es producto de contaminantes primarios.

El ozono no se emite directamente a la atmósfera sino que se forma de las reacciones químicas entre los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno en presencia de oxígeno atmosférico y luz solar por esta razón se considera un contaminante secundario y no se estima en los inventarios de emisiones pero si en sus precursores.

Gases de efecto invernadero

Son considerados gases de efecto invernadero aquellos que contribuyen en el calentamiento global. Este último ocurre cuando la radiación del sol que entra al planeta en una longitud de onda corta queda atrapada en una combinación de gases activos respecto a la radiación. Esto produce que sea reflejada en energía calorífica (longitud de onda larga) y crea una situación semejante a un invernadero.

La emisión de estos gases de efecto invernadero contribuye al calentamiento global y por consecuencia es importante su estudio. A continuación se listan los GEI considerados en este estudio.





Dióxido de carbono (CO_2)

Es un gas incoloro e inodoro el cual se encuentra naturalmente en la atmósfera aunque también se emiten cantidades significativas por la combustión de combustibles fósiles. También se emite por cambios del uso de suelo y de los bosques por esta razón la deforestación lleva a una reducción de la incorporación del bióxido de carbono.

Metano (CH_4)

De los hidrocarburos es el más abundante en estado gaseoso al igual que es estable en la atmósfera, este compuesto se forma principalmente por fuentes antropogénicas. Entre las reacciones químicas que presenta en la tropósfera pueden llevar a la producción de ozono, al igual que al reaccionar con radicales hidroxilo (OH^-) en la estratósfera produce vapor de agua. Su tiempo de vida en la atmósfera es de 11 años (IPCC, 1993).

Vapor de agua (H_2O)

Produce más calentamiento en la troposfera que cualquier otro gas. El calentamiento inducido por este gas no está bajo nuestro control y no se toman medidas para mitigar sus emisiones.

Óxido nitroso (N_2O)

Es el principal contribuidor a la formación de NO_x en la estratosfera lo que contribuye al agotamiento de ozono en esta capa, por molécula, el N_2O es 206 veces más efectiva que el CO_2 en originar un aumento inmediato del calentamiento global (Baird 2001). El uso de fertilizantes aumenta la emisión de N_2O tanto como los combustibles fósiles, la quema de biomasa y la producción de ácido adípico para la industria del nylon. Cuenta con una vida atmosférica de 100-168 años (WMO, 1992).



Clorofluorocarburos (CFC_S)

En los años ochenta se liberaron a la atmósfera cerca de 1 millón de toneladas métricas de CFC_S anualmente. Este término involucra las sustancias artificiales que contiene cloro, flúor y carbono en el mismo compuesto. Debido a su halogenación completa son sumamente estables, son compuestos no tóxicos, ni inflamables, ni reactivos, y tienen propiedades de condensación útiles. Por sus puntos de ebullición son apropiados para ser excelentes refrigerantes. Su baja viscosidad y tensión superficial son propiedades ideales para solventes limpiadores. Estos compuestos son inflamables y los riesgos a la salud no son primordiales dado que a dosis bajas no son tóxicos. Sin embargo son sustancias agotadoras de ozono y debido a esto se ha detenido su producción mundial.

Dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq})

El criterio internacional para expresar el potencial de calentamiento de los gases de efecto invernadero es el dióxido de carbono equivalente, el cual trata emisiones de otros gases de efecto invernadero para transformarlos en CO_{2eq} , un concepto muy útil para la explicación del impacto del cambio climático por actividades humanas en la composición atmosférica.

El CO_{2eq} es usado para comparar emisiones de gases de efecto invernadero en el cambio climático, perturbando el balance de radiación solar en la Tierra. El CO_{2eq} es una medida usada frecuentemente (IPCC, 2001, Hare y Meinshausen, 2006).



Archivos para el desarrollo del inventario de fuentes fijas **RETC (Registro de Emisiones de Transferencia de contaminantes)**

Es una base de datos nacional siendo este un registro de información de las emisiones y transferencia de contaminantes generados durante la producción de establecimientos industriales o actividades que realizan los diferentes establecimientos de servicio (por sector industrial).

RETC guarda información acerca de la ubicación del establecimiento, los contaminantes emitidos y a dónde es emitido (aire, agua, suelo y subsuelo).

La información que resguarda esta base de datos es:

Nombre del establecimiento

Ubicación

Cantidad emitida o transferida

El RETC cuenta con una lista de 104 sustancias, el registro de sustancias se obtiene a partir del artículo 109 bis de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. La información del RETC es actualizada anualmente y está disponible al público desde el segundo semestre de 2006. El instrumento para la recopilación de información del sector industrial de competencia federal es la Cédula de Operación Anual (COA).

La información del RETC permite proponer políticas para la preservación y conservación del medio ambiente, además de poder conocer la infraestructura ambiental que necesita el país.

Hoy en día, es posible instrumentar el RETC en entidades federativas y municipios, pretendiendo encontrar puntos de mayor o menor contaminación. El objetivo del RETC se basa en tener transparencia y objetividad de la información, el tener acceso público a esta base de datos, proporcionar información para identificar y evaluar posibles riesgos humanos y al medio ambiente, indicando las fuentes, sustancias y cantidad del contaminantes. Apoyar al sector privado en programas de responsabilidad integral, competitividad y mejora del desempeño ambiental, dar





soporte al gobierno para la aplicación y seguimiento de programas, objetivos, metas y estrategias.

El RETC se fundamenta gracias a el artículo 109 bis de la LGEEPA y el reglamento de esta ley en materia de Registro de Emisiones de Transferencia de Contaminantes.

La (COA) Cédula de Operación Anual

Es el mecanismo de reporte concerniente a emisiones, transferencia de manejo de contaminantes que derivan de las obligaciones fijadas en la Licencia Ambiental Única (LAU). Se debe presentar para actualizar su operación y facilitar su seguimiento por autoridades ambientales.

La cédula se debe en entregar en el primer cuatrimestre de cada año, su contenido debe contener la información acumulada del año anterior al solicitado, la COA apoya la toma de decisiones en materia de protección ambiental y contribuye a la toma de criterios y políticas ambientales.

La COA también promueve el uso de tecnologías limpias y detección de problemas ambientales ofreciendo la cantidad de emisión y la transferencia de sustancias al aire, agua y suelo), las cantidades de transferencia de sustancias fuera del establecimiento para su tratamiento ya sea reciclaje, reuso, disposición final o incineración.

Siguiendo el segundo párrafo del artículo 111 Bis de la LGEEPA, la COA es considerada para fuentes fijas de jurisdicción federal para los sectores: Químico, Petróleo y petroquímica, Pinturas y tintas, Automotriz, Celulosa y papel, Metalurgia, Vidrio, Generación de energía eléctrica, Asbesto, Cemento y cal, Tratamiento de Residuos Peligrosos, Otros (responsables de fuentes fijas de jurisdicción federal que cuente con Licencia ambiental única)

La COA debe ser también reportada por aquellas empresas que descarguen aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales siguiendo el artículo 9 del Reglamento de la LGEEPA en materia de RETC.





La generación de ≥ 10 toneladas de residuos peligrosos al año es considerado como un gran generador de residuos peligrosos y también necesita llenar la COA. (Reglamento de la LGPGIR, artículo 72). Los prestadores de servicios de manejos de residuos también reportan sus emisiones en las COA.

Información para elaborar el inventario de fuentes de área

El inventario de fuentes de área muestra emisiones principalmente para factores de emisión per cápita, por lo tanto sus emisiones son basadas en la población. (Emisiones de amoníaco también necesita la población menor a 3 años para las estimaciones de emisiones domésticas de amoníaco provenientes de pañales de tela y desechables).

Los métodos para la estimación de emisiones dependen de la actividad, por lo tanto la quema agrícola necesita del área de quema de cultivos, las emisiones por tratamiento de aguas residuales dependen del volumen de tratamiento del agua, generalizando los procesos de tratamiento y el Manejo de Residuos- Quema a cielo abierto exige valores de volumen de residuos emitidos en el estado de Hidalgo.

En el estado de Hidalgo se tienen diferentes cultivos en diferentes ciclos agrícolas, los ciclos agrícolas son primavera-verano (marzo-junio), otoño invierno (noviembre-febrero) y siembras tardías (agosto-octubre), aunque para la mayoría de cultivos solo se utilizan las dos primeras siembras, para los cultivos perennes este tipo de siembra es variado, se observan en la siguiente lista los cultivos según el Anuario Estadístico de Hidalgo 2009:

Aceituna	Calabacita	Ciruela	Lechuga	Nabo forrajero	Pera
Aguacate	Canola	Coliflor	Limón	Naranja	Rosa
Alcachofa	Caña de Azúcar	Durazno	Litchi	Nopalitos	Sorgo forrajero verde
Alfalfa verde	Cebada forrajera en verde	Frijol	Maguey pulquero	Nube	Sorgo grano
Arverjón	Cebada grano	Granada	Maíz forrajero	Nuez	Tomate rojo (jitomate)
Avena forrajera	Cebolla	Guayaba	Maíz grano	Papa	Tomate verde
Avena grano	Chile verde	Haba grano	Mandarina	Pastos	Trigo grano
Cacahuate	Cilantro	Haba verde	Mano de León	Pastos a/ *	Tuna
Café cereza	Cilantro semilla	Higo	Manzana	Pepino	Zempoalxochitl

*Los Pastos a/ son tipos de pastos diferentes al cultivo de pasto para jardín.





Los datos necesarios para las estimaciones de emisiones de fuentes de área son recopilados en el anuario estadístico del estado de Hidalgo, y otros documentos que el INEGI reporta contemplando el estado.

Consumo de combustibles y variables presentes para el inventario de fuentes móviles

Las estimaciones fuentes móviles necesitan de una cantidad de vehículos, su clasificación así como el uso de combustible, ya sea para contaminantes criterio o gases de efecto invernadero, se cuenta con un parque vehicular para diferentes años (Ver Anexo IV).

El Balance Nacional de Energía 2009 muestra el consumo de energía correspondiente para vehículos automotores en Mexico, el consumo de energía para este sector se obtuvo por medio de la fracción per cápita a la cual corresponde el área del inventario. En la tabla 5 se observa el consumo para el área del inventario.

La metodología seguida para estimar el consumo de energía dentro de Hidalgo se puede observar en la ecuación I.

Ecuación I.

$$\text{Consumo de energía nacional} \left(\frac{\text{Poblacion de 27 municipios de Hidalgo}}{\text{Población nacional}} \right) = \text{Consumo de energía en el área del inventario}$$

Tabla 5. Consumo estimado de energía en el sector transporte para el estado de Hidalgo (petajoules).

	2008	2009
Autotransporte	46.02	40.87
Gas licuado	0.86	0.77
Gasolinas	33.15	29.77
Diesel	11.99	10.31
Gas seco	0.01	0.01

Fuente: Estimación propia con base en el Balance Nacional de Energía 2009.





Siguiendo los valores reportados en la tabla 5 el porcentaje de combustibles para los 27 municipios para el año 2008.

Gas licuado 1.87%

Gasolina 72.04 %

Diesel 26.07 %

Gas seco 0.03%

Fuente: Estimación propia con base en el Balance Nacional de Energía 2009.

Se puede observar la aportación de los combustibles en el siguiente diagrama:

Porcentaje de combustibles en el área del inventario

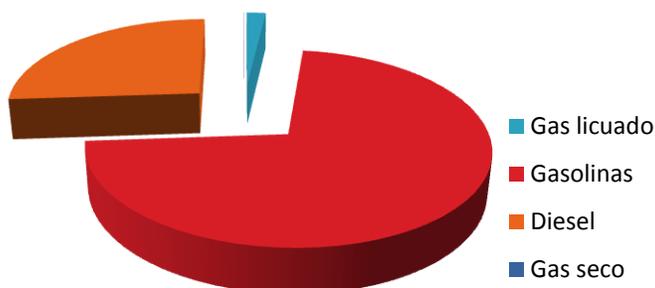


Grafico 1. Diagrama de aportación de combustibles en el área del inventario

Sobre este valor de energía se propone que para vehículos particulares y motocicletas usan solo combustible gasolina, los camiones para pasajeros se sigue la proporción de la tabla 6 (Consumo estimado de energía en el sector transporte para el estado de hidalgo (petajoules)) y el resto se representa en camiones y camionetas para carga.

Tabla 6. Distribución de combustibles por tipo de vehículo para el año 2008.

	Automóviles	Camiones para pasajeros	Camiones y camionetas para carga	Motocicletas
Total	364420	3047	233372	3575
Gas licuado		57	11240	
Gasolinas	364420	2195	65224	3575
Diesel		794	156752	
Gas seco		1	156	

Fuente: Estimación propia con base en el Balance Nacional de Energía 2009.





Mientras que para la distancia promedio no se cuenta con datos suficientes de Hidalgo y por lo tanto tomando la distancia promedio recorrida para la ZMVM (Zona Metropolitana del Valle de México), para el año 2006.

Tabla 7. Distancia promedio recorrida adaptada al inventario.

Tipo de vehículo	Distancia promedio recorrida km/día	Días por año	Distancia promedio recorrida km/año
Automóviles	31	365	11315
Camiones para pasajeros	200	365	73000
Camiones y camionetas para carga	223	365	81395
Motocicletas	79	313	24727

Fuente: Adecuado al inventario según (SMA 2008).



Capítulo 3. Metodología

Como anteriormente se ha descrito el inventario de emisiones que se muestra abarca 27 municipios escogidos por su dinámica económica, emisión de contaminantes y crecimiento poblacional principalmente. Este inventario engloba tres tipos de fuentes: puntuales, de área y móviles, y se utilizaron diferentes métodos para calcularse.

Fuentes Puntuales

La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y los gobiernos estatales llevan un registro de emisiones anuales de contaminantes emitidos por industrias federales hacia la atmósfera por medio de Cédulas de Operación Anual (COA). La recopilación de estas COA se encuentra en el Registro de Emisiones de Transferencia de Contaminantes (RETC) de la SEMARNAT. Este tipo de datos se clasifican por medio de encuestas dentro de las técnicas utilizadas para la elaboración del inventario de emisiones.

Esta y otras bases de datos como los inventarios de emisiones anteriores, también, fueron de gran utilidad para conformar la base de datos para las emisiones de fuentes fijas (Anexo I).

Fuentes de Área

Las fuentes de área representan toda aquella emisión de fuentes que son demasiado numerosas o dispersas para ser identificadas como fuentes puntuales. Estas emisiones son significativas por lo que deben ser incluidas en los inventarios para garantizar que esté completo.

Las emisiones de fuentes de área estimadas con factores de emisión también son función de una actividad. Esta puede ser basada en el proceso o en el censo. Las





emisiones relacionadas con censos son generalmente utilizadas para fuentes de área, dado que es un método eficiente para fuentes numerosas, sin embargo, gran parte de los factores de emisión son desarrollados a partir de datos estadounidenses (se espera que a futuro se pueda contar con factores de emisión a partir de datos mexicanos). A pesar de eso este método es eficiente para el cálculo de emisiones.

Para este inventario se tomaron en cuenta las siguientes fuentes de área:

- Labranza agrícola
- Quema de cultivos
- Tratamiento de aguas residuales
- Manejo de residuos, Quema a cielo abierto
- Emisiones Domésticas de Amoniaco

Cada fuente se estimó con diferente metodología, y se aporta un ejemplo de cálculo en el anexo VI. Memoria de cálculo, para mayor descripción de las mismas. Además, se integró información de fuentes, provenientes de otros inventarios que complementan las fuentes de área (Anexo II).

Labranza Agrícola

El polvo proveniente de las operaciones agrícolas contribuye a las emisiones de PM_{10} en las áreas rurales. Por lo general, las operaciones agrícolas se clasifican por la preparación, el mantenimiento del suelo y la cosecha. Por lo tanto, la labranza agrícola se ubica en la preparación de suelo e incluye operaciones como el arado, gradado, nivelado y cortado de la tierra.

Para el cálculo de emisiones por labranza agrícola se emplea la siguiente ecuación obtenida de los Manuales del Programa de Inventario de Emisiones de México, que proviene del Air Resources Board (AP-42): Emission Inventory Procedural Manual (ARB, 1995):





Ecuación 1.

$$Emisiones_c = 5.38(s)^{0.6} \times k \times HP_c \times Área_c$$

Donde:

$Emisiones_c$ = Emisiones anuales de PM₁₀ para cierto tipo de cultivo (c) [kg/año];

$5.38(s)^{0.6}$ = Factor de emisión de base (kg de partículas/ hectárea-pase), la ecuación es válida para contenido de sedimento (s) entre 1.7 y 88%;

k = Multiplicador del tamaño de partícula;

HP_c = Número de hectárea-pases por hectárea para el cultivo tipo c* [hectárea-pase/hectárea];

$Área_c$ = Área total cultivada del cultivo tipo c [hectárea].

*El número de hectáreas-pases por hectárea es la razón de las operaciones de labranza múltiple que se usan para algunos tipos de cultivos y se calcula multiplicando el número de operaciones de labranza por el porcentaje de suelo que es labrado (en la mayoría de los casos se labra el 100 % del terreno pero para cultivos de huerto solo se labra una fracción de este).

El multiplicador del tamaño de partícula se obtiene un valor de 0.21 para PM₁₀ del AP-42 y el valor por omisión para contenido de sedimento es 18% obtenido de Manuales del Programa de Inventario de Emisiones de México.

Quema Agrícola

Se refiere a la quema de cualquier tipo de vegetación con fines agrícolas, En México se limita a la quema de los restos de la cosecha para preparar los campos para nuevos cultivos. La quema agrícola se permite siempre y cuando se notifique a SEMARNAT o la SAGARPA.

Para el cálculo de quemas agrícolas se sigue la ecuación 2.





Ecuación 2.

$$Emisiones_c = \text{Área}_c \times \text{Carga de combustible}_c \times FE_c$$

Donde:

$Emisiones_c$ = emisiones totales del tipo de cultivo c [ton/año];

Área_c = área total del tipo de cultivo c [hectáreas];

$\text{Carga de combustible}_c$ = carga de combustible promedio para el tipo de cultivo c [Mg/hectárea] y

FE_c = factor de emisión correspondiente al tipo de cultivo c [kg/Mg].

Los valores de carga de combustible y factor de emisión se pueden encontrar en la AP-42 de la EPA Tabla 2.5-5 o de Manuales del Programa de Inventario de Emisiones de México.

Dado que los valores de quema controlada son para cultivos no específicos se toma solo una parte de la tabla 2.5-5 de la AP-42.

En la tabla 8, el factor de carga de combustible para cultivos no especificados son los siguientes.

Tabla 8. Factores de emisión para quema agrícola y carga de combustible

sin especificar	Partículas (PM ₁₀)	CO ₂	Metano	no- metano
FE i (kg/Mg)	8	42	1.5	4.5

Fuente: tabla 2.5-5 del AP-42 (EPA)

Tratamiento de Aguas Residuales

El tratamiento de aguas se da por la necesidad de reutilizar el agua ya que esta no se encuentra en abundancia y este tratamiento normalmente es para riego





agrícola o riego de áreas verdes. Así el efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben cumplir con normas de calidad federal, estatal y municipal antes de su descarga a un cuerpo receptor.

Durante algunos procesos del tratamiento de aguas residuales son expuestas al aire y pueden emitir compuestos orgánicos a la atmósfera, por esta razón es importante cuantificar la cantidad de emisiones que se aportan por esta actividad.

La metodología seguida para el cálculo de emisiones por tratamiento de aguas residuales es la siguiente:

Ecuación 3.

$$Emisiones_{GOT} = (V_{ART}) \times FE_{GOT}$$

Donde

$Emisiones_{GOT}$ = Emisiones de gases orgánicos totales [ton/año]

(V_{ART}) = Volumen de aguas residuales tratadas [litros]

FE_{GOT} = Factor de emisión para gases orgánicos totales [kg/l]

El volumen de aguas residuales tratadas se puede encontrar en el Anuario Estadístico de Hidalgo y en el INEGI, y el factor de emisión es de 0.000015 kg de GOT/litro.

Manejo de residuos, quema a cielo abierto

La quema a cielo abierto es un método para eliminar los residuos sólidos provenientes de basura en el municipio o lugar a tratar.

Para estimar las emisiones de quema de residuos a cielo abierto es necesario hacer un balance de materia para los residuos sólidos. En general este balance tiene la siguiente forma:

Ecuación 4.





$$\sum R_G = \sum R_E$$

Siendo:

$\sum R_G$ = La cantidad total de residuos generados y

$\sum R_E$ = La cantidad de residuos eliminados.

Por lo general, se puede calcular el total de residuos generados con una tasa de generación de residuos per cápita por la población del área del inventario, pero no fue necesario ya que se cuenta con el volumen de basura generada por el municipio.

La ecuación para la estimación de la cantidad de residuos eliminados es la siguiente:

Ecuación 5.

$$\sum R_E = R_{\text{Relleno Sanitario}} + R_{\text{Reciclados}} + R_{\text{Incineración}} + R_{\text{Quema a cielo abierto}} + R_{\text{Otros}}$$

Donde:

$R_{\text{Relleno Sanitario}}$ = Cantidad de residuos enviados a rellenos sanitarios;

$R_{\text{Reciclados}}$ = Cantidad de residuos reciclados;

$R_{\text{Incineración}}$ = Cantidad de residuos enviados a incineración

$R_{\text{Quema a cielo abierto}}$ = Cantidad de residuos consumidos por quema a aire libre y

R_{Otros} = Cantidad de residuos eliminados por otros medios (abandono, etc.).

Aproximadamente 70% de los residuos generados en las ciudades mexicanas terminan en rellenos sanitarios según el INE. Se tomó el valor de 1.3% reciclados del total de residuos generados, la estimación fue para Nogales, Sonora 1990 (Monroy, 1996). Las cantidades de residuos eliminados por incineración y por otros medios no se conocen y se supone un valor de 1 y 0.5 % respectivamente,





analizando que estos valores son menores a los reciclados y otros medios, es la menor cantidad de residuos comparados con los demás métodos de eliminación.

De la ecuación 5 se obtiene la cantidad de residuos eliminados por quema a cielo abierto.

Ecuación 6.

$$R_{\text{Quema a cielo abierto}} = \sum R_E - R_{\text{Relleno Sanitario}} - R_{\text{Reciclados}} - R_{\text{Incineración}} - R_{\text{Otros}}$$

Para la estimación de emisiones se sigue la siguiente ecuación.

Ecuación 7.

$$Emisiones_c = R_{\text{Quema a cielo abierto}} \times FE_c$$

Donde:

$Emisiones_c$ = Emisiones del contaminante c [kg/año];

$R_{\text{Quema a cielo abierto}}$ = Residuos eliminados por quema a cielo abierto [ton/año] y

FE_c = Factor de emisión del contaminante c [kg/ton].

Los factores de emisión para el cálculo esta dado en la siguiente Tabla 9.

Tabla 9. Factores de emisión para quema a cielo abierto

Fuente	GOT (kg/Mg)	CO (kg/Mg)	NOx (kg/Mg)	Partículas* (kg/Mg)	SO2 (kg/Mg)
	Metano No				
	Metano				
Desechos Municipales	6.5	15	42	3	8
					0.5

*Se asume que las Partículas son referentes a PM10.

Fuente: Manuales del Programa de Inventario de Emisiones de México, Capítulo V, que a su vez fue tomado de la tabla 2.5-1 del AP-42.





Emisiones Domésticas de Amoniaco

El amoniaco no está incluido entre los Gases de Efecto Invernadero, ni en los Contaminantes Criterio pero su incorporación como un contaminante dañino se basa en que este gas es irritante y corrosivo.

Al ser inhalado irrita y quema el tracto respiratorio produciendo, dificultad para respirar, tos, dolor de pecho y laringitis. En casos graves puede ser fatal, se ha reportado que a concentraciones de 1200 mg/m^3 , se produce tos; a 1700 mg/m^3 a una concentración entre 3500 y 7000 mg/m^3 existe riesgo de muerte.

Pero por su peligrosidad se toma en cuenta en un apartado diferente que puede encontrar datos de las emisiones estimadas de amoniaco por emisiones domésticas en el Anexo III.

Para las emisiones domésticas de amoniaco se tomaron en cuenta diferentes fuentes:

- ✓ Transpiración humana
- ✓ Respiración humana
- ✓ Uso doméstico de amoniaco
- ✓ Pañales de tela
- ✓ Pañales desechables.

Para este tipo de emisiones se sigue la siguiente ecuación:

Ecuación 8.

$$Emisiones_c = Población_c \times FE_c$$

Donde:

$Emisiones_c$ = Emisiones de la fuente c anuales [kg/año];

$Población_c$ = Población aplicable para el tipo de fuente c y

FE_c = Factor de emisión para la fuente c [kg/persona].





Los factores de emisión se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Factores de emisión para emisiones domésticas de amoníaco.

Fuente	Factor de Emisión
Transpiración Humana	0.25 <i>kg/persona – año</i>
Respiración Humana	0.0016 <i>kg/persona – año</i>
Uso Doméstico de Amoníaco	0.023 <i>kg/persona – año</i>
Pañales de Tela	3.13 <i>kg/infante – año</i>
Pañales Desechables	0.16 <i>kg/infante – año</i>

Fuente: Manuales del Programa de Inventario de Emisiones de México, Capítulo V.

El uso de pañales desechables aumenta significativamente en las áreas urbanas, mientras que en las rurales los pañales de tela tienen mayores emisiones. Se supone que la población de cada municipio tiene 60% de infantes con pañales de tela y el resto usa pañales desechables (estimación propia).



Fuentes móviles

Las emisiones de vehículos automotores son consideradas como fuentes móviles. La base de datos para el parque vehicular fue extraída principalmente por datos del INEGI, el cual proporciona el tipo de vehículo con el año y estado al que pertenece, dado que este inventario se limitó a algunos municipios del estado de Hidalgo se recopilaron los datos del anuario estadístico del estado de Hidalgo 2009 y 2010 obteniendo la cantidad de vehículos para cada municipio de los años 2008 y 2009.

Para años anteriores con la población por municipio y la total se obtiene la fracción de población por cada municipio y así se estima la cantidad de vehículos dentro de los municipios considerados. Esta técnica de escalamiento se adecua al inventario dado que la relación población-vehículos automotores está íntimamente ligada. Los resultado se encuentran en el Anexo IV.

El inventario se enfoca en el año 2008 porque cuenta con mayor información. Ejemplos de los cálculos realizados se pueden observar en el Anexo VI. Memoria de Cálculo.



Cálculo de emisiones de CO_2

El consumo de combustible de cada automóvil se estima con el Balance Nacional de Energía 2009. Enfocándonos para el año 2008 siguiendo la siguiente ecuación.

Ecuación 9.

$$C_c = V_i \times d_i \times \eta_i \times PC_i$$

Donde:

C_c = Consumo de combustible del transporte por tipo de combustible [TJ/año];

V_i = Número de vehículos que usan combustible del tipo i;

d_i = Distancia anual promedio recorrida para el vehículo que usa combustible del tipo i [km/año].

η_i = Eficiencia del vehículo que usa combustible del tipo i [m^3/km].

PC_i = Poder Calorífico del combustible tipo i [TJ/m^3].

Las Emisiones de CO_2 se calculan en función del consumo de combustible, siguiendo la siguiente ecuación:

Ecuación 10.

$$E_{CO_2} = C_c \times FE_i \times f_{ox\ i} \times \left(\frac{44}{12}\right)$$

Donde:

E_{CO_2} = Emisiones de CO_2 [ton /año];

C_c = Consumo de combustible del transporte por tipo de combustible [TJ/año];

FE_i = Factor de emisión según tipo de combustible (kg/TJ);

$f_{ox\ i}$ = fracción de carbono oxidado





El número de vehículos que usan cierto tipo de combustible se estimó con base en el Balance Nacional de Energía 2009 al tomar solo una parte del consumo de energía en el sector transporte para diferentes combustibles de autotransportes. La porción que aportan los 27 municipios de Hidalgo correspondientes a este inventario de emisiones fue obtenido de la fracción de población como se muestra en la siguiente ecuación 10.

Ecuación 11.

Fracción de energía proporcional al área del inventario = Población de los 27 municipios contemplados/Población Nacional .

La eficiencia vehicular fue generalizada en la siguiente ecuación, (INE, 2007) para un valor de velocidad de 50 km/h.

Ecuación 12.

Eficiencia vehicular [l/km] = (-0.001448 V² + 0.1829 V + 2.7274)⁻¹

Donde:

V= velocidad del vehículo [km/h].

El factor de emisión para las emisiones de CO₂ se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 11. Factores de emisión de CO₂ en unidades de energía.

Factores de emisión de CO ₂ [tCO ₂ /TJ]	
GLP	63.1
Gasolinas	69.3
Diesel	74.1
Gas natural	53.1

Fuente: IPCC 2006





Cálculo de emisiones de CH_4 y N_2O

El CH_4 y N_2O siguen la misma metodología.

Ecuación 13.

$$E_i = V_i \times d_i \times FE_i$$

Donde:

E_i = Emisiones de contaminante i [ton/año].

V_i = Número de vehículos que usan combustible del tipo i;

d_i = Distancia anual promedio recorrida para el vehículo que usa combustible del tipo i [km/año] y

FE_i = Factor de emisión para el contaminante i [g/km].

Para las emisiones de CH_4 y N_2O los factores de emisión se pueden consultar en la siguientes tablas.



Tabla 12. Factores de emisión para CH₄ provenientes de fuentes móviles para diferentes tipos de combustibles.

Tipo	Combustible	Año de incorporación		Factor de emisión (g/km)
Auto privado	Gasolina	Convertidor catalítico de tres vías	1993 en adelante	0.03
		Convertidores por oxidación	1991-1992	0.07
		Sin control	anteriores a 1991	0.135
Camiones para pasajeros	Gas Licuado	Control avanzado	1998 en adelante	0.03
		Sin control	anteriores a 1998	0.18
	Gasolina	Convertidor catalítico de tres vías	1993 en adelante	0.035
		Convertidores por oxidación	1991-1992	0.09
		Sin control	anteriores a 1991	0.135
	Diesel	Control avanzado	1998 en adelante	0.01
		Sin control	anteriores a 1998	0.01
	Gas Seco	Control avanzado	1993 en adelante	0.7
		Sin control	anteriores a 1991	3.5
Camiones y camionetas de carga	Gas Licuado	Control avanzado	1998 en adelante	0.03
		Sin control	anteriores a 1998	0.18
	Gasolina	Convertidor catalítico de tres vías	1993 en adelante	0.035
		Convertidores por oxidación	1991-1992	0.09
		Sin control	anteriores a 1991	0.135
	Diesel	Control avanzado	1998 en adelante	0.01
		Sin control	anteriores a 1998	0.01
	Gas Seco	Control avanzado	1993 en adelante	0.7
		Sin control	anteriores a 1991	3.5
Motocicletas	Gasolina	Con control	Todos los años	0.13

Fuente: Tabla propia acoplada al inventario según IPCC, 1996.



Tabla 13. Factores de emisión para N₂O provenientes de fuentes móviles para diferentes tipos de combustibles.

Tipo	Combustible	Año de incorporación		Factor de emisión g/km
Auto privado	Gasolina	Convertidor catalítico de tres vías	1993 en adelante	0.17
		Convertidores por oxidación	1991-1992	0.075
		Sin control	anteriores a 1991	0.02
Camiones para pasajeros	Gasolina	Convertidor catalítico de tres vías	1993 en adelante	0.236
		Convertidores por oxidación	1991-1992	0.097
		Sin control	anteriores a 1991	0.024
	Diesel	Control avanzado	1998 en adelante	0.024
		Sin control	1994-1997	0.063
		Sin control	anteriores a 1994	0.031
Camiones y camionetas de carga	Gasolina	Convertidor catalítico de tres vías	1993 en adelante	0.236
		Convertidores por oxidación	1991-1992	0.097
		Sin control	anteriores a 1991	0.024
	Diesel	Control avanzado	1998 en adelante	0.024
		Sin control	1994-1997	0.063
		Sin control	anteriores a 1994	0.031
Motocicletas	Gasolina	Con control	Todos los años	0.002

Fuente: Tabla propia acoplada al inventario según IPCC, 1996.

Las emisiones de fuentes móviles para este tipo de contaminantes y complementados con otros contaminantes abarcan las emisiones estimadas para fuentes móviles del área del inventario (Anexo V).



Proyección

El objetivo de la proyección es pronosticar el comportamiento de un inventario en el año base hacia adelante, identificando tendencias futuras de las emisiones debido al incremento en la actividad y las estrategias de control. Puede ser utilizada para dar un seguimiento a las reducciones en las emisiones por la entrada en vigor de regulaciones o acciones específicas nacionales o estatales.

La población para el año 2010 de los 27 municipios contemplados en el inventario muestra una población con un valor de 1,635,655 (INEGI, 2010). Sin embargo, el CONAPO presenta una estimación para 2010 de 1,501,475 pobladores en estos 27 municipios. La diferencia en la estimación hecha por la CONAPO es de más de 134 mil habitantes.

La CONAPO estima una población para estos municipios de 1,637,289 habitantes para el año 2020. Siendo este valor muy bajo ya que es apenas está a 1,634 habitantes arriba del valor reportado para 2010 por el INEGI.

La estimación de la CONAPO queda a valores relativamente bajos pero la pendiente de crecimiento poblacional tiene un comportamiento similar para la población emitida por el INEGI.

Tomando en cuenta que la población estimada por el INEGI es mucho mayor que la predicha por la CONAPO, se basa la estimación empleando la proyección de crecimiento demográfico de dicha Comisión, pero partiendo de los datos emitidos por el INEGI.

La estimación realizada por la CONAPO como se ha descrito tiene niveles bajos de población, sin embargo, es probable que las tasas de crecimiento para fines de este estudio sean aceptables si se actualizan a niveles de población actuales.

Para la proyección del inventario se presenta el crecimiento estimado por la CONAPO con valores de población reportados por el INEGI, es decir, siguiendo las tasas de crecimiento se predice la estimación futura per cápita, los valores reportados por las dos instituciones se encuentran en el capítulo siguiente.





Capítulo 4. Resultados

Fuentes fijas

El CO_2 es el contaminante más emitido en el estado de Hidalgo y las mayores emisiones se encuentran en la región Tula-Tepeji (incluye los municipios Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tepeji del Rio y Tula de Allende).

La mayoría de las emisiones tienen un decremento en el año 2005, esto se puede explicar suponiendo que hubo en ese año un problema en el llenado de las Cédulas de Operación Anual (COA). Los datos manejados se basan en el RETC.

El año 2008 tiene una mayor cantidad de datos, porque se encontraron datos de otros inventarios que completaron a más empresas que los anteriores, por esta razón para presentar los resultados por sector industrial se toma solo el año 2008.



Contaminantes Criterio

Las mayores emisiones reportadas son principalmente en el 2002. Teniendo por entendido que los datos para este año son del inventario de emisiones de la región Tula-Tepeji y los demás principalmente del RETC.

Compuestos orgánicos totales (COT)

Las emisiones de compuestos orgánicos totales incluyen sustancias peligrosas para la salud humana por esta razón son considerados dentro de los contaminantes criterio. En el gráfico 2, se observa que las emisiones de COT, aumentaron 114 veces más del año 2008 al 2009, anteriormente estas emisiones habían sido relativamente del mismo orden.

El año 2005 muestra la menor cantidad de emisiones de COT, como anteriormente se ha descrito posiblemente se deba a un problema en el llenado de las COA, ya que las emisiones de otros contaminantes también tienen un decremento en el 2005.

La mayor concentración de compuestos orgánicos totales se reportan para el año 2002 y la menor en 2005.

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono solo tiene datos para 2002 de 11,145 toneladas por año. Por esta razón, no se puede dar un análisis del avance o decremento de emisiones para este gas. El municipio con más aporte de contaminante Tula de Allende, seguido por Tepeapulco y Pachuca de Soto.

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El inventario de Tula-Tepeji (2002) se enfoca en la zona Tula-Tepeji y estima mayor cantidad de emisiones de NO_x . Esta región concentra la mayor cantidad de fuentes puntuales (industrias) y es probable que el inventario de Tula-Tepeji



cuenta con diferente cantidad de datos de emisión que las emisiones reportadas en el RETC.

Hay datos de emisiones de NO_x para los años 2006 y 2007 ya que en los demás años el RETC no reporta emisiones de este contaminante. Las emisiones en 2006 y 2007 son similares con una mayor emisión para el año 2007, los valores de 2002 son 3 veces mayores que los demás años, en donde se puede concluir que es debido al aumento de la actividad industrial en el área metropolitana. Se observan las emisiones para NO_x en el gráfico 2.

Óxidos de azufre (SO_x)

Los óxidos de azufre, para fuentes fijas solo tienen registros de 2002 (59 toneladas por año). Por esta razón no se puede dar un análisis del avance o decremento de emisiones para este gas. Aunque la mayor contribución es aportada por el municipio Ajacuba con 50 toneladas por año.

Dióxido de azufre (SO_2)

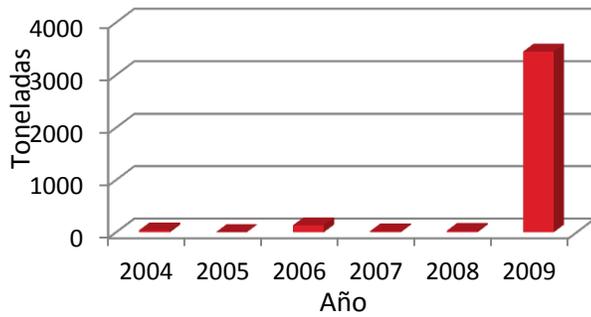
Las emisiones de SO_2 para fuentes fijas solo tiene datos del 2002 (346,664) toneladas por año. Por esta razón no se puede dar un análisis del avance o decremento de emisiones para este gas. El mayor aporte es dado respectivamente por Tula de Allende y Atotonilco de Tula.

PM_{10}

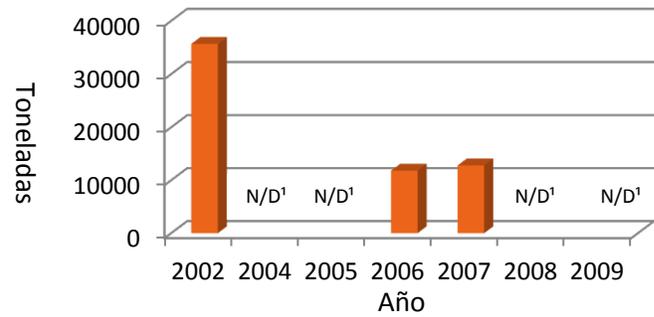
Se supone que todas las partículas encontradas en el RETC corresponden a un tamaño de partícula menor a 10 micras. Las emisiones de PM_{10} se observan con un punto más alto en el año 2002 que se puede observar en la Gráfico 2, A partir del 2004 bajan las emisiones y en el año 2005 (donde se encuentran las emisiones mínimas) a un valor de 8.19 toneladas, para aumentar al 2006 a 4,908 teniendo una caída a valores casi constantes acercándose a 0.



Carbono Orgánico Total



Óxidos de Nitrógeno



¹N/D: No disponible

PM₁₀

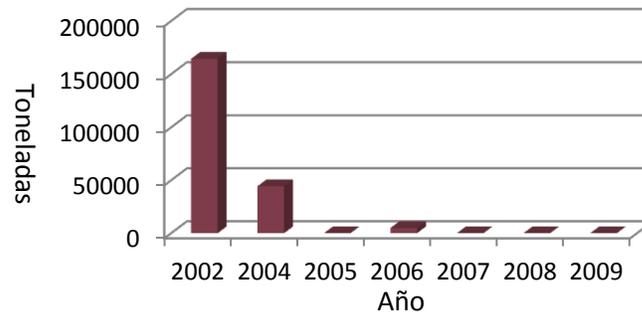


Gráfico 2. Contaminantes criterio para fuentes fijas.



Gases de Efecto Invernadero

El RETC reporta valores de gases de efecto invernadero en los cuales se puede observar que la mayoría de las emisiones son en 2006 para CO_2 y N_2O , siendo para metano las mayores emisiones en 2009.

Dióxido de carbono (CO_2)

En el año 2006 se tiene la mayor emisión de CO_2 , comparado con los años anteriores, sin embargo el año 2005 muestra una minoría en cuanto a la cantidad de emisiones esto se ve repercutido en varios contaminantes, por lo que se supone que hubo un problema en el llenado de las COA como anteriormente se ha descrito.

Las emisiones disminuyen del año 2007 a 2008 y se incrementan para 2009 (Ver gráfico 3).

Metano (CH_4)

El metano es un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático, las emisiones de metano son del orden de miles de toneladas anuales a partir del año 2008.

A partir del año 2008 las emisiones de metano han aumentado drásticamente con un comportamiento similar para 2009, en el año 2006 las emisiones aumentaron comparadas con 2005 y 2007, este comportamiento se puede observar mejor en el gráfico 3.

Óxido nitroso (N_2O)

No se tienen emisiones de N_2O para fuentes fijas. (Ver anexo I)



CO₂ equivalente

El CO₂_{eq}, engloba los gases de efecto invernadero en un solo contaminante, con esto podemos medir que tanto impactan estos gases en el fenómeno de cambio climático.

Se obtienen un incremento mayor que para el resto de los años en 2006 y el punto con menores emisiones de gases de efecto invernadero se sitúa en el año 2005, con una atribución de 288,239 toneladas. Las emisiones oscilan en el orden de 10,000 a 30,000 toneladas al año exceptuando el año 2005 que se supone que tuvo problemas para la captura de información en las COA.

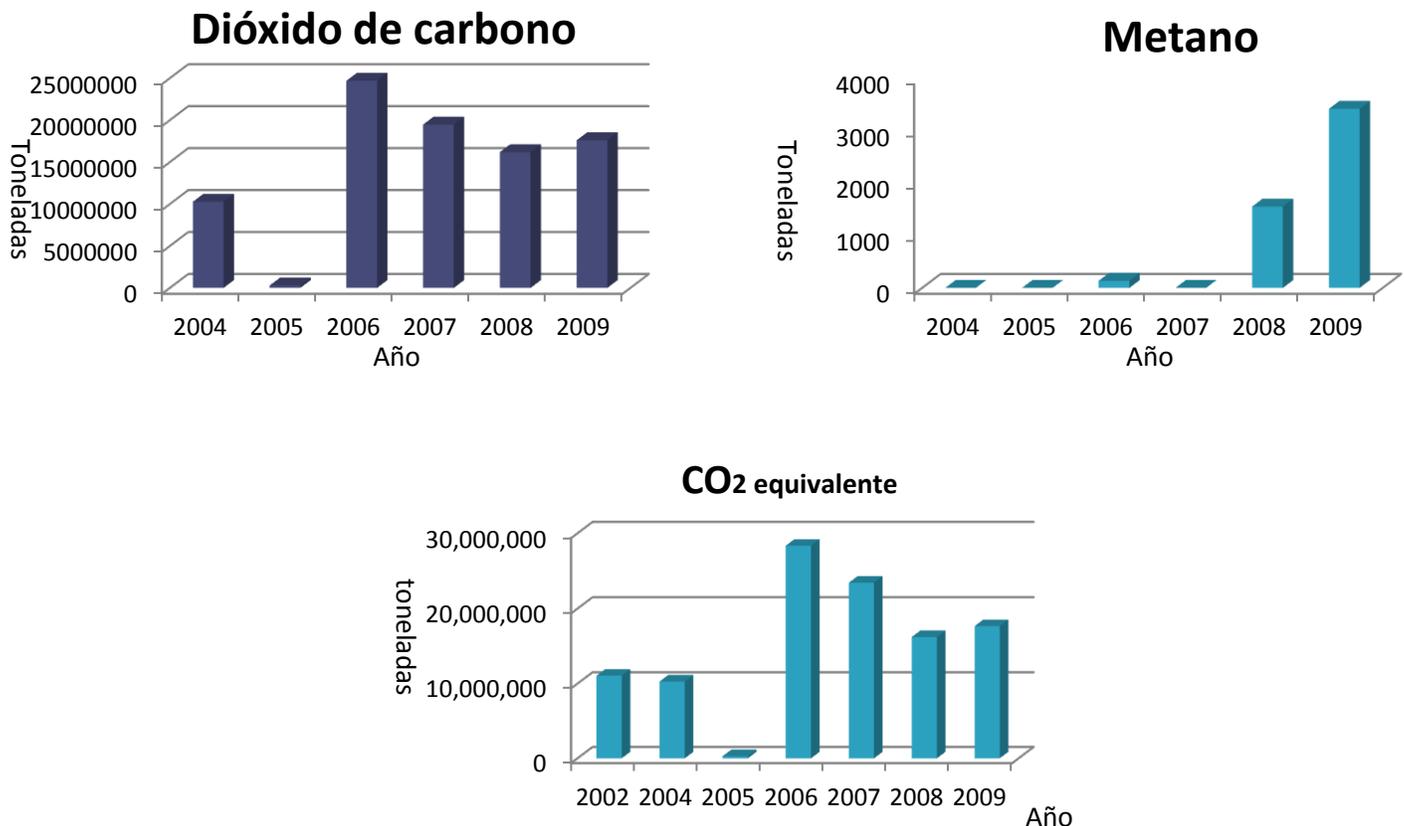


Gráfico 3. Gases de Efecto Invernadero para fuentes fijas



Tabla 14. Contaminantes para fuentes fijas 2008*

Fuentes Puntuales 2008										
Municipios	Contaminantes Criterio						Gases de efecto invernadero			
	COT	CO	NO _x	N ₂ O	SO _x	SO ₂	CO ₂	CH ₄	PS	CO ₂ eq
Actopan										
Ajacuba										
Apan										
Atitalaquia	1,401						3,129,168	1398	7	3,158,525
Atotonilco de Tula							1,931,488	7		1,931,629
Cuautepec de Hinojosa										
Epazoyucan										
Huejutla de Reyes										
Huichapan							1,892,719	5		1,892,822
Ixmiquilpan										
Mineral de la Reforma							6			6
Mineral del Monte										
Pachuca de Soto	0	0	0	0	0	0	5.5	0	0	5.5
San Agustín Tlaxiaca			0				8.36			8.36
Santiago Tulantepec Guerrero										0
Tepeapulco							1,778			1,778
Tepeji del Río de Ocampo							375			375
Tepetitlán										
Tizayuca							242,149		1	242,150
Tlahuelilpan										0
Tlaxcoapan							2,387			2,387
Tula de Allende							1E+07	246		1E+07
Tulancingo de Bravo de Lugo										
Zacualtipán de Ángeles										
Zapotlán de Juárez										
Zempoala										
Zimapan										
TOTAL	1401						1.7E+07	1,655	8	1.7E+07

*Los valores pueden no coincidir debido al redondeo.



Sectores

Los sectores que se analizaron son los descritos por el RETC y de otros inventarios, siendo los sectores a tratar: Alimentos, Asbesto, Automotriz, Celulosa y papel, Cemento y cal, Generación de Energía Eléctrica, Metalurgia (incluye siderúrgica), Petróleo y Petroquímica, Pinturas y tintas, Química, Textil, Tratamiento de residuos peligrosos y Otros.

Compuestos orgánicos totales (COT)

La mayor cantidad de emisiones de COT proviene del sector petróleo y petroquímica con 61% de las emisiones totales. Los sectores que cuentan con un menor aporte de emisiones para COT son asbesto y el sector textil

El sector Celulosa y Papel carece de emisiones de COT. Se puede observar con mayor claridad el aporte de cada uno de los sectores en el Gráfico 4.

Monóxido de carbono (CO)

Las emisiones de monóxido de carbono son pertenecientes principalmente a la Generación de Energía Eléctrica, con un aporte de 79% del total de emisiones para el año 2008, seguida de las emisiones del sector cemento y cal.

El sector celulosa y papel carece de emisiones de monóxido de carbono. La aportación de cada uno de los sectores dentro del inventario se observan mejor en el Gráfico 4.

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El 80% de las emisiones de NO_x provienen de la Generación de Energía eléctrica, esta es una gran contribución de este contaminante a la atmósfera, seguido por Cemento y Cal con una aportación del 17 % del total de emisiones de NO_x y al igual que en los dos anteriores contaminantes el sector celulosa y papel no tiene emisiones de NO_x . El Gráfico 4 representa la aportación de cada sector en su emisión de NO_x .



Óxidos de azufre (SO_x)

El sector generación de energía eléctrica es el principal emisor de SO_x , con una aportación del 91% del total de las emisiones para 2008. El sector con menos aporte de emisiones son Pinturas y Tintas con un aporte del 0.00001% de las emisiones totales. Los sectores Asbesto, celulosa y papel, petróleo y petroquímica, Tratamiento de residuos peligrosos y otros no contemplan emisiones de SO_x .

La aportación de emisiones de cada sector se puede observar en el gráfico 4.

Dióxido de azufre (SO_2)

Las emisiones de SO_2 son principalmente emitidas por el sector generador de energía eléctrica con un aporte mucho mayor al de los demás sectores. El 91% de las emisiones son aportadas por este sector, seguido por cemento y cal con una aportación del 5% de las emisiones totales de SO_2 .

Se puede observar que las emisiones de SO_2 no son emitidas en los sectores Automotriz, celulosa y papel, petróleo y petroquímica, tratamiento de residuos peligrosos y otros. En el gráfico 4, se presenta el aporte de cada uno de los sectores.

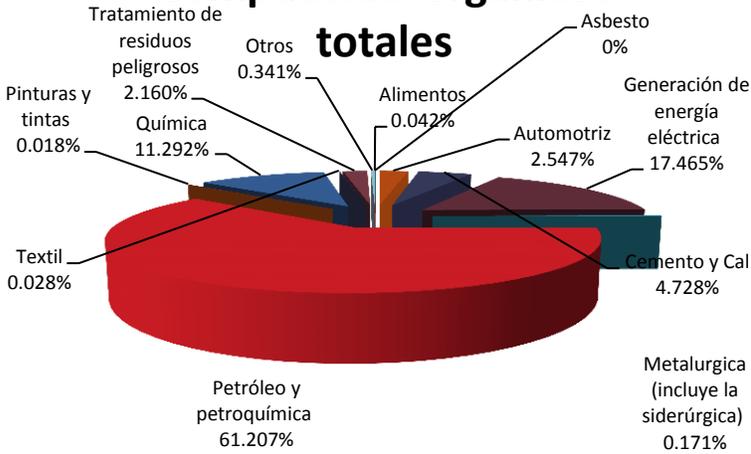
PM_{10}

Las PM_{10} contribuyen muchos tipos de contaminantes que son emitidos, ya que esta clasificación es por tamaño de partícula más no por tipo de contaminante, siendo el principal sector que emite estos contaminantes la generación de energía eléctrica con el 79% de las emisiones totales, seguido por las emisiones del sector cemento y cal con un aporte del 17%.

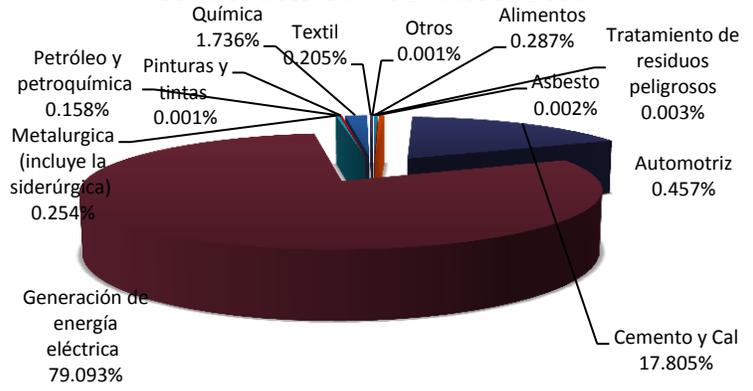
El sector celulosa y papel no contribuye en la emisión de este contaminante. El gráfico 5, muestra el aporte de cada sector en la emisión de PM_{10} .



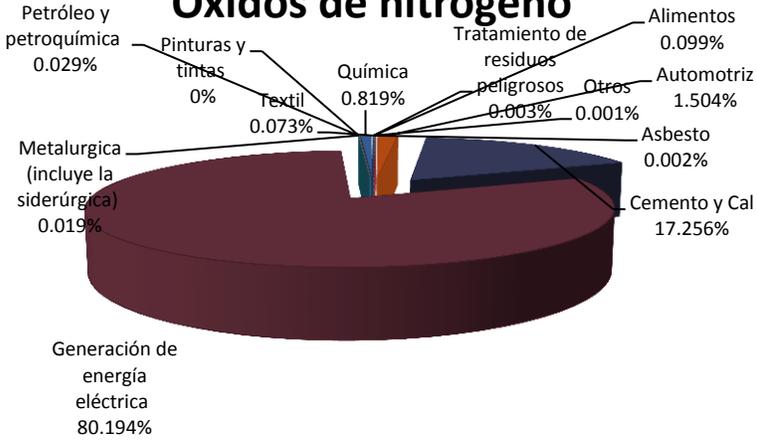
Compuestos orgánicos totales



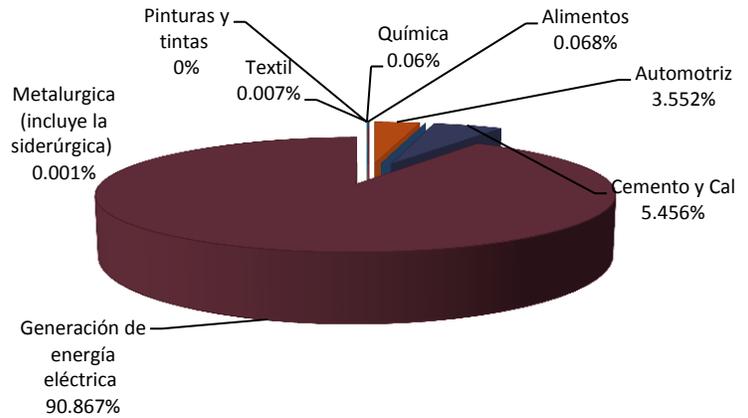
Monóxido de carbono



Óxidos de nitrógeno



Óxidos de azufre



Dióxido de azufre

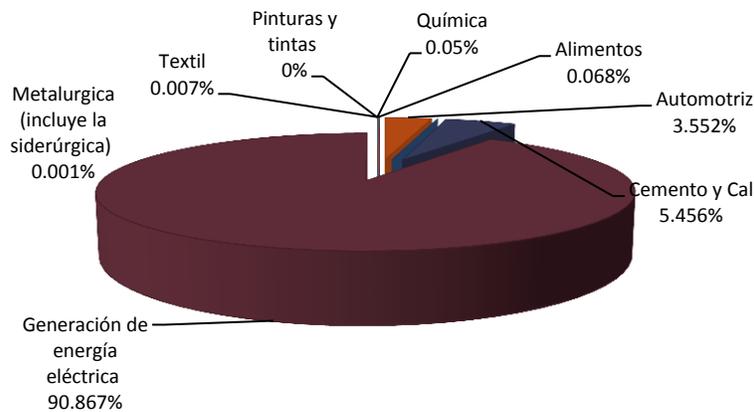


Gráfico 4. Aportación por sector de Gases Criterio¹.

¹Las cifras pueden no coincidir debido al redondeo.

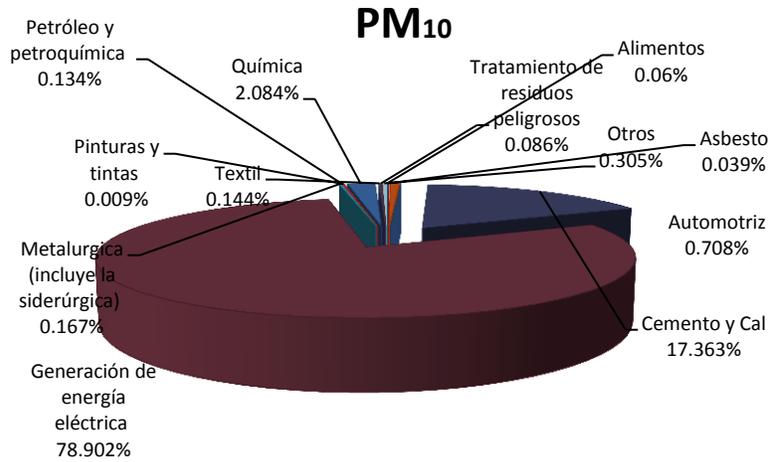


Gráfico 5. Aportación por sector de PM_{10} ¹.

¹Las cifras pueden no coincidir debido al redondeo.

Dióxido de carbono (CO_2)

El dióxido de carbono contiene emisiones de los sectores que engloba el inventario, estas emisiones son principalmente emitidas por la generación de energía eléctrica con un aporte de 46% de las emisiones totales emitidas en el año 2008. Las emisiones del sector cemento y cal forman 34% de las emisiones poniendo a este como el segundo con mayor emisión de dióxido de carbono.

Las emisiones de cada sector se muestran en el gráfico 6.

Metano (CH_4)

El metano es un gas de efecto invernadero con su principal emisión en el sector petróleo y petroquímica con un aporte de 84% de las emisiones totales de este gas a la atmósfera, el sector generador de energía eléctrica contribuye con 13% de las emisiones totales para el año 2008 siendo así el segundo sector con más emisiones de metano.



Los sectores Asbesto, Celulosa y papel, Pinturas y tintes, tratamiento de residuos peligrosos y otros, no emiten metano. En el gráfico 6 se puede observar mejor la contribución porcentual de cada uno de los sectores.

Óxido nitroso (N_2O)

Las emisiones de N_2O son emitidas principalmente por el sector generador de energía eléctrica seguido por el sector de cemento y cal, estos dos sectores involucran 91% de las emisiones totales de N_2O emitidos a la atmósfera de los 27 municipios contemplados en el inventario del estado de Hidalgo.

Los sectores celulosa y papel, pinturas y tintas y otros no tienen emisiones de N_2O , para ver más claramente el aporte de emisiones por cada sector se puede observar en el gráfico 6.

CO_2 equivalente

El CO_2 equivalente muestra el impacto de los gases de efecto invernadero en el cambio climático, las principales emisiones de gases de efecto invernadero es el sector generador de energía eléctrica, seguido por el sector cemento y cal.

Las menores emisiones de estos gases que incrementan el calentamiento global son los sectores pinturas y tintas y otros. El gráfico 6, muestra la aportación de cada sector en la emisión de CO_2 equivalente.

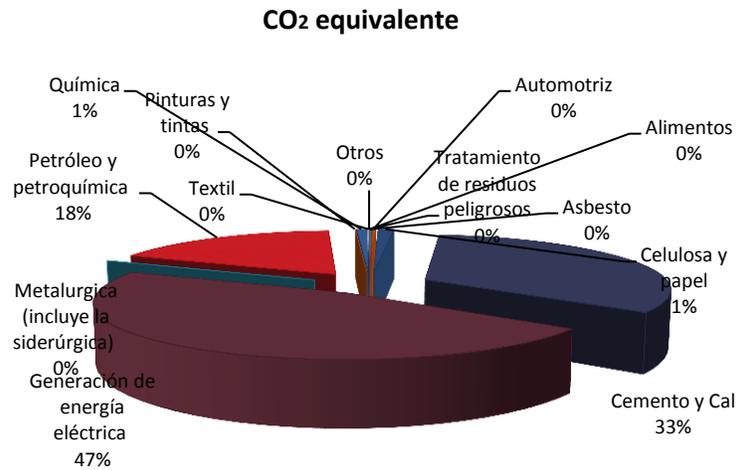
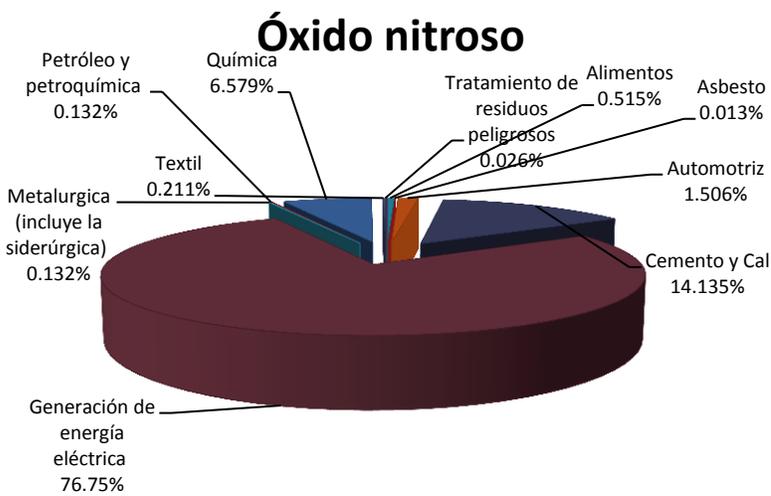
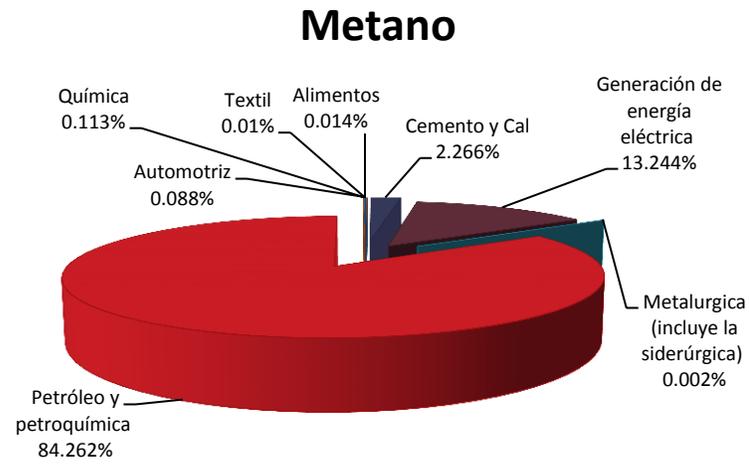
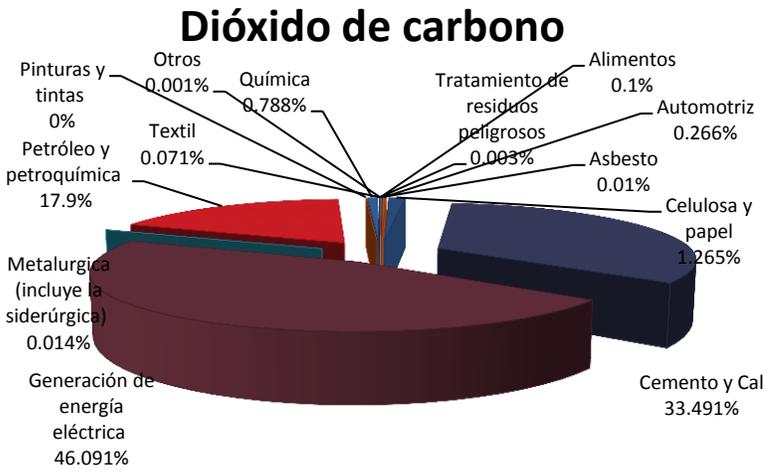


Gráfico 6. Aportación por sector de Gases de Efecto Invernadero¹.

¹Las cifras pueden no coincidir debido al redondeo.



Fuentes de área

Las fuentes de área fueron calculadas principalmente para el año 2008, dado que este año cuenta con más información y se pretende con esto poder cuantificar las actividades que emiten contaminante.

Las fuentes de área están formadas por diferentes actividades dentro de las cuales no se pueden cuantificar como fuentes fijas. Estas actividades son: Almacenamiento y Distribución de GLP, Artes Gráficas, Asfalto, Biogénicas, Diesel de combustión Agrícola, Incendio de estructuras arquitectónicas, Labranza Agrícola, Lavado en seco, Manejo de residuos-Quema a cielo abierto, Panificación (Industrial y Tradicional), Quema de cultivos, Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas, Repintado de carrocerías, Señalización Vial, Tratamiento de Aguas Residuales, Uso Doméstico de solventes y Venta de Ambulantes

La mayor cantidad de emisiones son hechas por los contaminantes orgánicos totales, dado que estos son los que tienen principal influencia en los procesos que se trataron en el inventario.

Contaminantes Criterio

Las principales emisiones son aportadas por Pachuca de Soto, aunque también se tienen mayores emisiones de contaminantes criterio para los municipios de Zacualtipán de Ángeles, Ixmiquilpan y Apan.

Compuestos orgánicos totales (COT)

Las principales emisiones de COT son en los municipios de Zacualtipán de Ángeles y Pachuca de Soto. Dado que el primero se basan en un incremento en las emisiones biogénicas, el municipio de Pachuca de Soto aporta sus emisiones de COT principalmente por el uso doméstico de solventes y almacenamiento y distribución de GLP. Estos municipios se encuentran alejados, pero por la fuente de emisión es comprensible sus emisiones ya que la fuente que aporta el contaminante es diferente.





Las actividades que más aportan a las emisiones de COT son: almacenamiento y distribución de GLP, biogénicas, y el uso doméstico de solventes. La labranza agrícola no aporta emisiones de COT. El gráfico 7, muestra el porcentaje que aportan las actividades en la emisión de COT.

Monóxido de carbono (CO)

Las emisiones de CO son principalmente emitidas en el municipio de Pachuca de Soto y Tulancingo de Bravo de Lugo, respectivamente. La mayor emisión de CO en los dos municipios se debe al Manejo de Residuos-Quema a cielo abierto.

Siendo Manejo de Residuos-Quema a cielo abierto la principal actividad en emitir CO con 96% de las emisiones totales de este contaminante. Las actividades de Almacenamiento y distribución de GLP, artes graficas, asfaltado, biogénicas, labranza agrícola, lavado en seco, panificación (industrial y tradicional), quema de cultivos, recubrimiento de superficies arquitectónicas, repintado de carrocerías, señalización vial, Tratamiento de aguas residuales y uso domestico de solventes no emiten monóxido de carbono, el gráfico 7 muestra la aportación de cada una de las actividades que emiten monóxido de carbono.

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Ixmiquilpan es el municipio que más emite NO_x . Principalmente por actividades biogénicas, seguido por el municipio de Huichapan.

Las actividades biogénicas son las principales emisoras de NO_x con 95% de las emisiones totales de este contaminante, seguidas por la quema a cielo abierto con casi el 5% de las emisiones. Manejo de residuos-Quema a cielo abierto, Diesel de combustión agrícola, Venta de ambulantes e incendio de estructuras arquitectónicas emiten una menor cantidad de contaminante.

El gráfico 7, muestra el aporte de cada actividad en las emisiones totales de NO_x .



Óxidos de azufre (SO_x)

Los SO_x son emitidos principalmente por el uso de diesel de combustión agrícola, siendo los municipios que emiten mayor cantidad de este contaminante Zempoala, Atotonilco de Tula y Cuautepec de Hinojosa.

Dióxido de azufre (SO_2)

Las emisiones de SO_2 son debidos al Manejo de Residuos por Quema a cielo abierto siendo los municipios que más emite este contaminante Pachuca de Soto y Tulancingo de Bravo de Lugo emite menos de la mitad de contaminante. La Quema a cielo abierto contribuye en su totalidad de las emisiones de SO_2 .

PM_{10}

Las emisiones de partículas menores a 10 micras son principalmente debidas a la labranza agrícola el municipio con mayor contaminante es Apan el cual debe su mayoría de emisiones a la venta de ambulantes, seguido por emisiones causadas por labranza agrícola.

Después de Apan las principales emisiones de PM_{10} se deben a Zempoala y Cuautepec de Hinojosa los cuales basan sus emisiones principalmente en Labranza agrícola y Manejo de Residuos-Quema a cielo abierto.

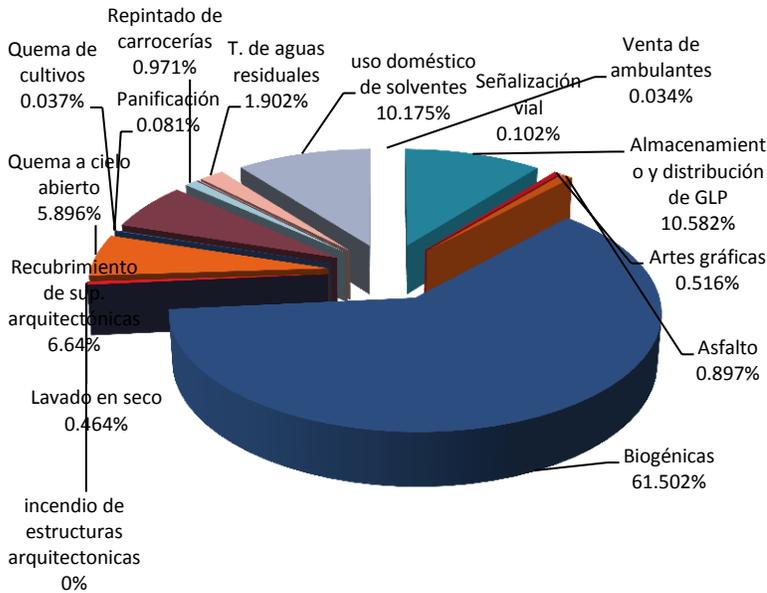
La labranza agrícola es la principal actividad que emite PM_{10} con 64% de las emisiones totales, seguida de Manejo de residuos, Quema a cielo abierto con 17%. Las actividades que no contemplan este contaminante son: almacenamiento y distribución de GLP, artes graficas, asfaltado, lavado en seco, panificación (industrial y tradicional), recubrimiento de superficies arquitectónicas, repintado de carrocerías, señalización vial, tratamiento de aguas residuales y uso domestico de solventes.

Las actividades que emiten PM_{10} y su contribución en el total de emisiones se pueden observar en el gráfico 7.

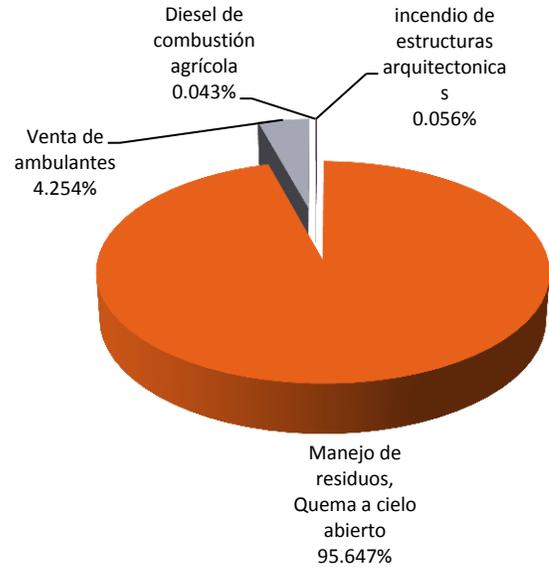




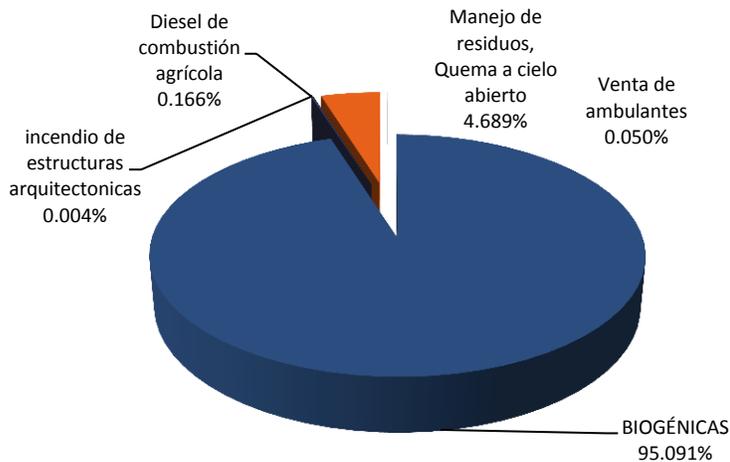
Compuestos orgánicos totales



Monóxido de carbono



Óxidos de nitrógeno



PM₁₀

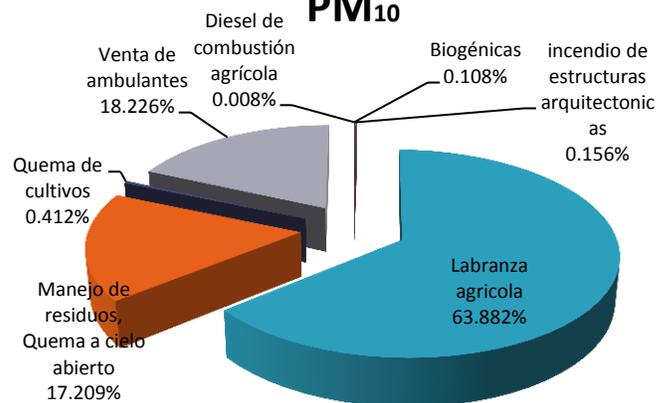


Gráfico 7. Aportación por actividad de contaminantes criterio¹.

¹Las cifras pueden no coincidir debido al redondeo.



Gases de efecto invernadero

Las emisiones de GEI son en su mayoría aportadas por Pachuca de Soto y Huejutla de Reyes.

Dióxido de carbono (CO_2)

Las emisiones de CO_2 se producen en la quema de cultivos, estas emisiones son principalmente aportadas por los municipios de Huejutla de Reyes, Tepeapulco y Zempoala.

Los municipios con menos aporte de emisiones de CO_2 son Mineral de la Reforma, Mineral del Monte y Santiago Tulantepec Guerrero, estos municipios se encuentran relativamente cercanos y puede ser esta aproximación y la minimización de las actividades emisoras de CO_2 las que hacen a estos municipios tengan la menor emisión.

Metano (CH_4)

Las emisiones de CH_4 tienen un impacto en la actividad de Quema a cielo abierto-Quema de cultivo, Los municipios que mas emisiones de CH_4 aportan son Pachuca de Soto y Tulancingo de Bravo de Lugo.

El metano es un contaminante producto de la quema de ciertos combustibles y la descomposición de materia, por esta razón las actividades que emiten este contaminante son la quema de cultivos y el Manejo de Residuos-Quema a cielo abierto. En el gráfico 8, podemos observar las emisiones de CH_4 y el aporte de estas dos actividades en el año 2008.

CO_2 equivalente

Las emisiones biogénicas son las principales causantes de emisiones de CO_2 equivalente con un 94% del total de emisiones para el año 2008, la quema a



cielo abierto de residuos aporta 5% de estas emisiones siendo estas dos las principales actividades que aportan estos contaminantes.

Las actividades que no emiten gases de efecto invernadero son: almacenamiento y distribución de GLP, artes graficas, asfalto, labranza agrícola, lavado en seco, panificación (industrial y tradicional), recubrimiento de superficies arquitectónicas, repintado de carrocerías, señalización vial, tratamiento de aguas residuales y uso domestico de solventes.

Los municipios de Ixmiquilpan y Huichapan son los principales emisores de CO_2 equivalente respectivamente. En el gráfico 8 se muestra un gráfico con el aporte de cada una de las actividades que emiten CO_2 equivalente

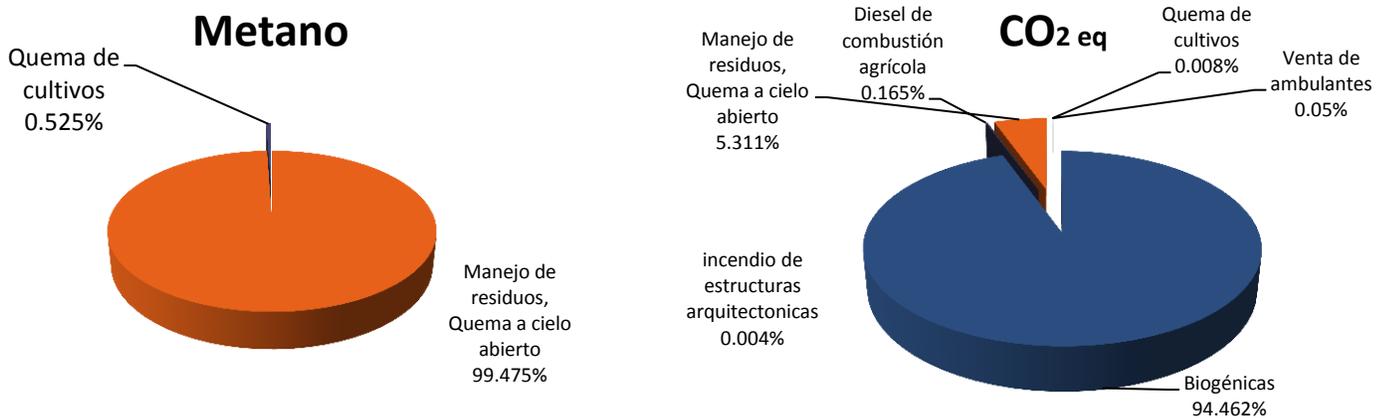


Gráfico 8. Aportación por actividad de Gases de Efecto Invernadero.¹.

¹Las cifras pueden no coincidir debido al redondeo.



Tabla 15. Contaminantes para fuentes de área 2008*

Municipios	Emisiones [ton/año]								
	Contaminantes criterio							GEI	
	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	CO _{2 eq}
Actopan	1,331	251	263	0	3	237	3	38	82,336
Ajacuba	732	13	208	0	0	278	6	2	64,402
Apan	1,397	119	351	0	1	984	1	17	109,197
Atitalaquia	988	82	121	0	1	100	2	12	37,656
Atotonilco de Tula	813	76	201	0	1	94	3	11	62,543
Cuautepec de Hinojosa	1,797	208	471	0	2	638	10	31	146,832
Epazoyucan	572	28	161	0	0	354	0	4	50,120
Huejutla de Reyes	2,071	171	299	0	2	385	16	26	93,139
Huichapan	2,217	111	645	0	1	474	6	16	200,364
Ixmiquilpan	2,883	49	762	0	0	500	6	6	236,319
Mineral de la Reforma	1,334	428	201	0	5	290	0	65	63,600
Mineral del Monte	679	70	4	0	1	115	0	9	1,548
Pachuca de Soto	4,044	1,193	308	0	14	347	1	177	99,229
San Agustín Tlaxiaca	1,292	46	384	0	0	280	1	6	119,264
Santiago Tulantepec Guerrero	599	80	102	0	1	133	0	12	31,788
Tepeapulco	1,602	66	411	0	1	367	14	18	127,938
Tepeji del Río de Ocampo	1,417	80	252	0	1	271	1	11	78,225
Tepetitlán	570	5	174	0	0	89	1	1	53,881
Tizayuca	1,181	301	128	0	3	255	1	45	40,738
Tlahuelilpan	292	44	48	0	0	91	1	6	15,021
Tlaxcoapan	488	121	79	0	1	177	10	18	24,852
Tula de Allende	2,744	321	496	0	4	393	6	50	154,918
Tulancingo de Bravo de Lugo	2,670	751	369	0	9	575	4	113	116,624
Zacualtipán de Ángeles	4,673	109	247	0	1	65	2	16	76,908
Zapotlán de Juárez	525	45	130	0	0	265	2	7	40,584
Zempoala	1,579	88	457	0	1	706	14	13	141,840
Zimapán	2,275	159	469	0	2	109	0	24	145,948
TOTAL	42,766	5,017	7,741	1	58	8,569	111	756	2,415,815

*Los valores pueden no coincidir debido al redondeo



Fuentes móviles

Las tablas completas de emisiones de fuentes móviles se pueden encontrar en el anexo V. en el capítulo anterior se muestra la metodología para los gases de efecto invernadero, y los demás contaminantes son obtenidos de otros inventarios.

Las fuentes móviles se basan en las emisiones terrestres hechas por vehículos automotrices, camiones para pasajeros, camiones y camionetas de carga y motocicletas.

Contaminantes criterio

Las emisiones de monóxido de carbono son las que más aporte tienen al parque vehicular de 2008 de los gases criterio, seguido por el carbono orgánico total. Las emisiones de SO_2 son las emisiones que menos aportan a las fuentes móviles.

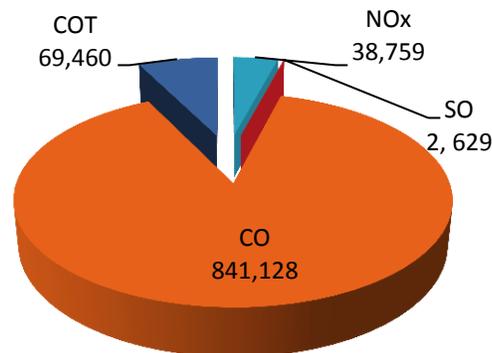


Gráfico 9. Aportación de Contaminantes Criterio para fuentes móviles¹.

¹Las cifras pueden no coincidir debido al redondeo.

Las partículas suspendidas se consideran contaminantes criterio pero no se incluyen en el mismo gráfico ya que no son gases.

Como se puede observar en el anexo V. las emisiones de partículas son de 445 toneladas al año de las cuales corresponden a un tamaño de partícula menor a 10 micras, y las $PM_{2.5}$ son 301 toneladas anuales.



Gases de efecto invernadero

Las principales emisiones de gases de efecto invernadero son producto de la combustión de combustible por el uso del transporte, siendo el CO_2 el principal gas emitido con más de 9 millones de toneladas al año.

Los demás gases de efecto invernadero tienen una aportación mucho menor que el CO_2 , siendo el N_2O el segundo GEI con mayores emisiones y por último el metano.

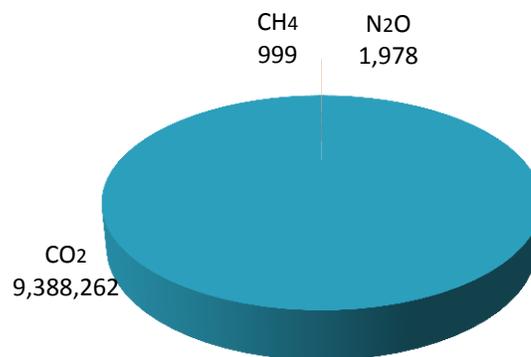


Gráfico 10. Aportación de Gases de Efecto Invernadero para fuentes móviles [ton/año]¹.

¹Las cifras pueden no coincidir debido al redondeo.



Tabla 16. Contaminantes para fuentes móviles 2008*

Municipios	Contaminantes criterio						GEI			
	COT	COV	CO	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2 eq}
Actopan	2,706	2,654	32,547	1,463	24	17	348,040	40	78	372,970
Ajacuba	522	512	6,276	287	5	3	66,686	8	15	71,506
Apan	1,580	1,547	19,165	875	14	10	209,412	22	44	223,651
Atitalaquia	1,099	1,075	13,445	599	10	7	151,149	15	30	160,855
Atotonilco de Tula	1,220	1,194	14,800	655	11	8	162,498	17	34	173,526
Cuautepec de Hinojosa	1,899	1,863	22,835	961	16	11	246,247	28	55	263,877
Epazoyucan	557	546	6,713	270	5	3	246,247	28	55	263,877
Huejutla de Reyes	2,040	2,001	24,472	1,157	18	13	258,200	30	59	276,971
Huichapan	2,023	1,986	24,198	996	17	12	258,248	31	59	277,268
Ixmiquilpan	3,591	3,524	43,012	1,817	31	22	457,470	54	105	491,173
Mineral de la Reforma	2,187	2,137	26,703	1,117	19	13	309,689	30	59	328,587
Mineral del Monte	428	418	5,237	265	4	3	58,235	6	12	61,921
Pachuca de Soto	15,037	14,684	184,106	9,079	143	101	2,092,855	196	397	2,220,038
San Agustín Tlaxiaca	991	972	11,938	537	9	6	128,195	14	28	137,292
Santiago Tulantepec Guerrero	1,064	1,042	12,853	602	10	7	139,340	15	30	148,919
Tepeapulco	2,830	2,768	34,500	1,493	25	17	385,285	39	79	410,607
Tepeji del Río de Ocampo	3,984	3,906	47,949	2,018	34	24	517,876	59	115	554,822
Tepetitlán	320	314	3,837	154	3	2	41,280	5	9	44,284
Tizayuca	6,662	6,532	80,216	3,279	56	39	872,711	99	193	934,465
Tlahuelipan	592	580	7,176	306	5	4	78,594	9	17	84,011
Tlaxcoapan	772	756	9,355	386	7	5	102,966	11	22	110,046
Tula de Allende	4,840	4,730	58,984	3,574	51	38	631,195	62	127	672,010
Tulancingo de Bravo de Lugo	7,663	7,506	92,486	4,491	71	51	996,162	109	214	1,064,887
Zacualtipán de Ángeles	1,114	1,093	13,419	569	10	7	144,685	16	32	155,021
Zapotlán de Juárez	707	693	8,557	385	6	4	93,187	10	20	99,598
Zempoala	1,153	1,130	13,931	561	10	7	153,407	17	33	164,017
Zimapán	1,877	1,843	22,419	865	15	11	238,400	29	56	256,353
Total	69,460	68,006	841,128	38,759	629	445	9,388,262	999	1,978	10,022,552

*Los valores pueden no coincidir debido al redondeo.



Impacto de las tres fuentes por gases de efecto invernadero

Las tres fuentes emiten gases de efecto invernadero siendo las fuentes fijas las que más gases de efecto invernadero generan en los 27 municipios contemplados en el inventario. Las emisiones de fuentes fijas son más de 17 millones de toneladas anuales.

Las fuentes móviles aportan 33% de las emisiones totales de CO_2 equivalente con más de 9 millones de toneladas y las fuentes de área aportan el resto de las emisiones con aproximadamente 2.5 millones de toneladas de CO_2 equivalente.

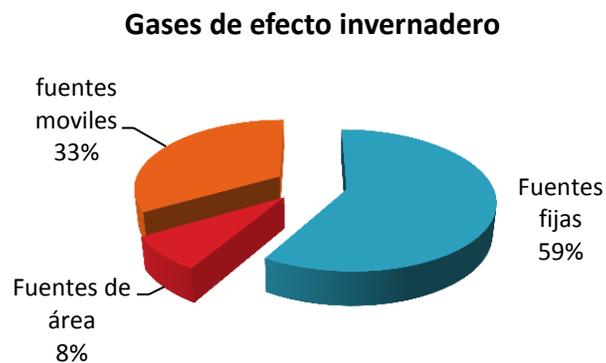


Gráfico 11. Aportación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para los tres tipos de fuentes.



Proyección

La proyección de emisiones es la extrapolación de las emisiones de línea base para estimar la contaminación futura. Un inventario de emisiones de línea base es importante dado que presenta una imagen instantánea de las emisiones para el año base determinado, en este caso 2008.

En un inventario de emisiones la proyección es un esfuerzo por cuantificar los efectos de crecimiento de las fuentes y la población, sin embargo, siempre existe una incertidumbre relacionada con el estimado de emisiones por las medidas de control futuras y el uso de nuevas tecnologías.

Las proyecciones se pueden utilizar para analizar el impacto de nuevas fuentes de emisión, planear medidas de control de la contaminación del aire y evaluar la efectividad de las estrategias de gestión de la calidad del aire.

La proyección de emisiones es la extrapolación de las emisiones de línea base para predecir la contaminación futura, a partir de los niveles de actividad y controles de emisión esperados en el futuro. Un inventario de emisiones de línea base es importante dado que presenta una imagen instantánea de las emisiones para un año base determinado, en este caso 2008.

El inventario basa su proyección hacia el año 2020, con base en el crecimiento poblacional. La estimación per cápita de las emisiones supone que la generación de contaminantes seguirá la misma tendencia de comportamiento que el crecimiento de la población.



El censo de población 2010 reporta que para el año 2010 los municipios más poblados son Pachuca de Soto, Tulancingo de Bravo de Lugo, Mineral de la Reforma, Huejutla de Reyes y Tula de Allende, sin embargo, para el año 2000 al municipio de Mineral de la Reforma no se le atribuía el tercer lugar del municipio más poblado en el área del inventario.

Mineral de la Reforma creció en población debido a su posición, en el sur del estado y por ser parte de zona metropolitana su crecimiento es acelerado.

Las estimaciones del INEGI y la CONAPO son importantes en este inventario ya que el uso de datos que el INEGI indica para el censo de población y la CONAPO muestra la estimación del crecimiento de la región. La tabla 17 muestra los censos de población y el crecimiento poblacional



Tabla 17. Población y estimación de la población.

Municipios	Censado INEGI			Estimación CONAPO		
	2000	2005	2010	2010	2015	2020
Actopan	46,010	48,518	54,299	48,346	46,899	45,043
Ajacuba	14,507	16,111	17,055	17,024	17,589	17,966
Apan	39,513	39,247	42,563	38,940	37,749	36,343
Atitalaquia	21,636	24,749	26,904	28,314	31,840	35,174
Atotonilco de Tula	24,848	26,500	31,078	28,735	30,625	32,272
Cuautepec de Hinojosa	45,110	45,527	54,500	44,750	42,881	40,792
Epazoyucan	11,054	11,522	13,830	10,960	10,152	9,368
Huejutla de Reyes	108,239	115,786	122,905	128,200	139,702	150,388
Huichapan	38,044	39,734	44,253	37,967	35,312	32,665
Ixmiquilpan	75,833	73,903	86,363	67,389	60,363	54,538
Mineral de la Reforma	42,223	68,704	127,404	95,160	122,983	149,859
Mineral del Monte	12,885	11,944	13,864	10,950	9,729	8,595
Pachuca de Soto	245,208	275,578	267,862	303,990	327,113	345,451
San Agustín Tlaxiaca	24,248	27,118	32,057	30,090	32,715	35,066
Santiago Tulantepec Guerrero	26,254	29,246	33,495	31,543	33,425	34,919
Tepeapulco	49,539	49,850	51,664	48,650	46,328	43,853
Tepeji del Río de Ocampo	67,858	69,755	80,612	71,909	72,702	72,864
Tepetitlán	8,498	8,893	9,940	9,042	8,982	8,845
Tizayuca	46,344	56,573	97,461	66,750	76,781	86,148
Tlahuelilpan	13,936	15,412	17,153	17,059	18,483	19,718
Tlaxcoapan	22,641	24,734	26,758	27,608	30,254	32,710
Tula de Allende	86,840	93,296	103,919	99,384	103,750	107,107
Tulancingo de Bravo de Lugo	122,274	129,935	151,584	133,723	134,339	133,354
Zacualtipán de Ángeles	24,933	25,987	32,437	26,250	25,883	25,297
Zapotlán de Juárez	14,888	16,493	18,036	17,897	19,030	19,981
Zempoala	24,516	27,333	39,143	30,199	32,532	34,458
Zimapán	37,435	34,476	38,516	30,646	27,083	24,515
TOTAL	1,295,314	1,406,924	1,635,655	1,501,475	1,575,224	1,637,289



Estimación de población

En la gráfico 12 se puede observar el comportamiento de la población a partir del año 2000 por el INEGI, la estimación de la CONAPO, y la estimación basada en la población reportada por el INEGO y el crecimiento poblacional de la CONAPO.

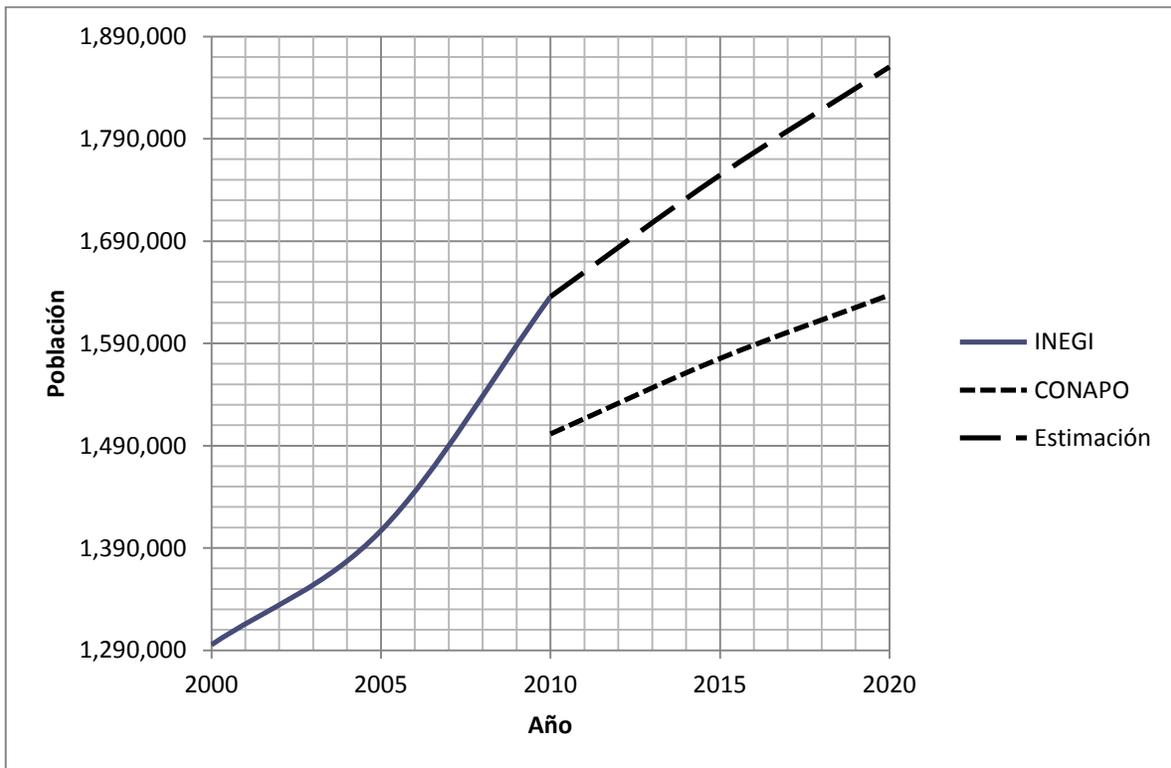


Gráfico 12, Población: estimación propia, CONAPO y población INEGI.

Fuente: CONAPO e INEGI

La estimación obtenida a 2020 para los 27 municipios contemplados en el inventario obtiene una población de 1,860,279, siendo este valor mayor por 224,624 pobladores en los municipios que los emitidos por el INEGI, 2010.

El escenario a 2020 muestra un incremento de la población con un crecimiento población no constante para cada municipio, ya que la tasa de crecimiento



poblacional para cada municipio es diferente, el crecimiento población se basa en los datos de la CONAPO para cada municipio acoplado a la población registrada por el INEGI. En la 18 se puede observar la población estimada para el año 2015 y 2020.

Tabla 18. Estimación de población para 2015 y 2020.

Municipios	2015	2020
Actopan	55,746	57,602
Ajacuba	17,620	17,997
Apan	43,754	45,160
Atitalaquia	30,430	33,764
Atotonilco de Tula	32,968	34,615
Cuautepec de Hinojosa	56,369	58,458
Epazoyucan	14,638	15,422
Huejutla de Reyes	134,407	145,093
Huichapan	46,908	49,555
Ixmiquilpan	93,389	99,214
Mineral de la Reforma	155,227	182,103
Mineral del Monte	15,085	16,219
Pachuca de Soto	290,985	309,323
San Agustín Tlaxiaca	34,682	37,033
Santiago Tulantepec Guerrero	35,377	36,871
Tepeapulco	53,986	56,461
Tepeji del Río de Ocampo	81,405	81,567
Tepetitlán	10,000	10,137
Tizayuca	107,492	116,859
Tlahuelilpan	18,577	19,812
Tlaxcoapan	29,404	31,860
Tula de Allende	108,285	111,642
Tulancingo de Bravo de Lugo	152,200	151,953
Zacualtipán de Ángeles	32,804	33,390
Zapotlán de Juárez	19,169	20,120
Zempoala	41,476	43,402
Zimapán	42,079	44,647
TOTAL	1,754,462	1,860,279

Fuente: Elaboración propia

El municipio de Mineral de la Reforma tiene la tasa de crecimiento más alta y entre los municipios con posible mayor crecimiento tenemos a Atitalaquia, Tizayuca y



Tlaxcoapan. Siguiendo con el postulado que al sur del estado el crecimiento es más acelerado.

Emisiones para 2020

Cada cinco años se estima una población mayor a cien mil habitantes, como se puede notar en la estimación de la tabla 18. El incremento de población incrementa las emisiones dado que aumenta las actividades económicas impactando en el ambiente, emitiendo más gases de efecto invernadero, así como los contaminantes criterio.

El desarrollo de nuevas tecnologías para mitigar la contaminación no se establece en este escenario ya que solo establece crecimiento per cápita, desarrollado por tasas de crecimiento poblacional emitidas por la CONAPO.

Las emisiones estimadas para el año 2020 por crecimiento de población se pueden observar en la tabla 19, para fuentes fijas.

Las fuentes de área observan un crecimiento similar a la población ya que se va poblando más el estado y esto repercute en las actividades estimadas en el inventario. En la tabla 20 se pueden observar las emisiones de contaminantes para fuentes de área al año 2020.

En lo que respecta a las fuentes móviles se tiene el mismo comportamiento que las dos fuentes anteriores ya que al crecer la población esta adquiere más vehículos que consuman combustible ya sea para el transporte de personas o carga en general, en la tabla 21 se observa la estimación de contaminantes para fuentes móviles.

Tabla 19. Emisiones para 2020 de Fuentes Fijas

Municipios	Contaminantes Criterio						Gases de Efecto Invernadero			
	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2 eq}
Actopan	1	1	1			1	670	1	1	989
Ajacuba										
Apan										
Atitalaquia	2,094	41	55	12	12	175	3,987,308	1,755	1	4,041,170
Atotonilco de Tula	20	101	1,357	3,727	3,727	1,790	2,151,312	7	5	2,572,090
Cuautepec de Hinojosa										
Epazoyucan										
Huejutla de Reyes										
Huichapan	12	63	1,107	3,127	3,127	229	2,119,488	5	3	2,462,856
Ixmiquilpan										
Mineral de la Reforma			1				8			13
Mineral del Monte										
Pachuca de Soto	402	1	3	32	32	2	1,866	1	1	2,858
San Agustín Tlaxiaca			1				10			13
Santiago Tulantepec Guerrero										
Tepeapulco	74	1	2	1	1	3	1,943		1	2,499
Tepeji del Río de Ocampo	13	7	73	180	180	71	76,126	1	1	98,675
Tepetitlán										
Tizayuca	147	42	154	153	153	166	387,196	1	5	434,890
Tlahuelilpan										
Tlaxcoapan	1	1	3	1	1	1	2,843	1	1	3,917
Tula de Allende	662	2,948	18,045	151,297	151,297	10,233	10,797,261	264	66	16,396,812
Tulancingo de Bravo de Lugo	1	1	1	1	1	48	682		1	1,037
Zacualtipán de Ángeles										
Zapotlán de Juárez	5	15	325	6,052	6,052	91	49,293	2	1	150,127
Zempoala										
Zimapán										
TOTAL	3,432	3,220	21,128	164,583	164,583	12,810	19,576,006	2,038	87	26,167,946

Tabla 20. Emisiones para 2020 de Fuentes de Área.

Municipios	Contaminantes Criterio						Gases de Efecto Invernadero		
	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	CO _{2 eq}
Actopan	1,412	266	279	1	3	251	3	40	87,345
Ajacuba	773	14	219	1	1	293	7	2	67,959
Apan	1,483	126	372	1	1	1,044	1	19	115,860
Atitalaquia	1,240	103	151	1	1	125	2	15	47,257
Atotonilco de Tula	905	84	224	1	1	104	3	12	69,661
Cuautepec de Hinojosa	1,927	223	506	1	3	684	11	34	157,495
Epazoyucan	637	32	180	1	1	395	0	5	55,889
Huejutla de Reyes	2,445	202	353	1	2	454	18	31	109,954
Huichapan	2,482	124	723	1	1	530	6	18	224,370
Ixmiquilpan	3,312	56	875	1	1	575	7	7	271,483
Mineral de la Reforma	1,907	612	287	1	7	415	1	92	90,906
Mineral del Monte	794	82	5	1	1	134	1	11	1,811
Pachuca de Soto	4,670	1,378	356	1	16	401	1	205	114,588
San Agustín Tlaxiaca	1,493	53	444	1	1	324	1	8	137,776
Santiago Tulantepec Guerrero	660	88	112	1	1	146	1	13	34,992
Tepeapulco	1,751	72	450	1	1	401	16	20	139,817
Tepeji del Río de Ocampo	1,434	81	255	1	1	274	1	11	79,152
Tepetitlán	581	5	177	1	1	90	1	1	54,949
Tizayuca	1,416	361	154	1	4	306	1	54	48,847
Tlahuelilpan	337	51	55	1	1	105	1	7	17,349
Tlaxcoapan	582	144	94	1	2	210	12	22	29,590
Tula de Allende	2,948	345	533	1	4	422	7	54	166,431
Tulancingo de Bravo de Lugo	2,677	752	369	1	9	577	4	113	116,908
Zacualtipán de Ángeles	4,811	112	254	1	1	66	2	17	79,167
Zapotlán de Juárez	586	50	146	1	1	295	2	7	45,273
Zempoala	1,751	98	506	1	1	782	16	15	157,273
Zimapán	2,637	185	544	1	2	126	1	27	169,180
TOTAL	47,651	5,699	8,623	27	69	9,529	127	860	2,691,282

Tabla 21. Emisiones para 2020 de Fuentes Móviles

Municipios	Contaminantes Criterio							Gases de Efecto Invernadero			
	COT	COV	CO	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
Actopan	2,871	2,815	34,527	1,552	25	18	12	369,212	42	82	395,658
Ajacuba	551	540	6,623	303	5	4	2	70,369	8	16	75,456
Apan	1,677	1,642	20,334	928	15	11	7	222,190	24	47	237,298
Atitalaquia	1,379	1,349	16,873	751	12	9	6	189,689	19	38	201,870
Atotonilco de Tula	1,359	1,330	16,484	730	12	8	6	180,992	19	38	193,275
Cuautepec de Hinojosa	2,037	1,998	24,493	1,031	17	12	8	264,131	30	59	283,041
Epazoyucan	621	609	7,486	301	5	4	2	274,593	31	61	294,253
Huejutla de Reyes	2,408	2,362	28,890	1,366	22	16	11	304,812	35	69	326,972
Huichapan	2,265	2,224	27,098	1,115	19	13	9	289,189	35	66	310,488
Ixmiquilpan	4,125	4,049	49,412	2,087	35	25	17	525,543	62	121	564,261
Mineral de la Reforma	3,126	3,055	38,167	1,596	27	19	12	442,649	43	84	469,661
Mineral del Monte	501	489	6,126	310	5	3	2	68,127	7	13	72,439
Pachuca de Soto	17,364	16,956	212,602	10,484	166	117	78	2,416,798	226	458	2,563,667
San Agustín Tlaxiaca	1,145	1,123	13,791	621	10	7	5	148,094	17	33	158,603
Santiago Tulantepec Guerrero	1,171	1,147	14,149	662	11	8	5	153,384	17	33	163,929
Tepeapulco	3,092	3,025	37,703	1,632	27	19	13	421,059	43	86	448,731
Tepeji del Río de Ocampo	4,031	3,952	48,517	2,042	35	24	16	524,011	60	117	561,394
Tepetitlán	326	320	3,913	158	3	2	1	42,098	5	10	45,162
Tizayuca	7,988	7,832	96,182	3,932	68	47	32	1,046,410	118	231	1,120,455
Tlahuelilpan	684	670	8,288	353	6	4	3	90,778	10	20	97,034
Tlaxcoapan	919	901	11,138	460	8	5	4	122,599	13	26	131,028
Tula de Allende	5,200	5,082	63,368	3,839	55	41	29	678,104	67	137	721,952
Tulancingo de Bravo de Lugo	7,682	7,525	92,711	4,502	71	51	35	998,587	109	215	1,067,479
Zacualtipán de Ángeles	1,147	1,125	13,813	586	10	7	5	148,936	17	33	159,576
Zapotlán de Juárez	789	773	9,546	430	7	5	3	103,954	11	22	111,107
Zempoala	1,278	1,253	15,447	622	11	7	5	170,099	19	37	181,863
Zimapán	2,175	2,137	25,987	1,002	18	12	8	276,348	34	65	297,160
TOTAL	77,915	76,281	943,669	43,393	705	498	336	10,542,755	1,120	2,218	11,253,809



En el escenario a 2020 se observa que los municipios de Tula de Allende, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Huichapan y Pachuca de Soto emitirán la mayor cantidad de contaminantes de efecto invernadero en la región del inventario.

Los primeros municipios son influenciados gracias a las fuentes fijas, y principalmente a los sectores petróleo y petroquímica y generación de energía eléctrica. Estos dos sectores involucran la mayor cantidad de contaminantes para el estado.

La Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos es la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero, en la región del inventario, seguida por la Refinería Miguel Hidalgo y las cementeras.

La Refinería Miguel Hidalgo aporta la mayor cantidad de contaminantes criterio, siendo estas dos industrias más perjudiciales para el ambiente y la salud humana, se deben tomar medidas para la mitigación de su contaminación.

Las cementeras emiten grandes cantidades de contaminantes principalmente partículas suspendidas, aunque también gases de efecto invernadero y otros contaminantes criterio.

Estos tres sectores industriales son la principal causa de contaminación en el estado y deben ser controlados con diferentes medidas para prevenir este escenario.

La Quema a cielo abierto de residuos es la principal fuente de emisión para fuentes de área. El desarrollo de nuevas leyes que permitan un mejor control de residuos agrícolas, al igual que llevar reportes de las quemas realizadas en el estado ayudarán a mitigar la contaminación aportada por esta actividad.

El parque vehicular crece con la población y la principal cantidad de vehículos se observará para los municipios de Pachuca de Soto y Tizayuca.



Capítulo 5. Conclusiones

Las estimaciones fueron clasificadas para diferentes fuentes (fijas, de área y móviles), y actividades o sectores dentro de la región del inventario, intentando abarcar todas las emisiones que impactan la salud humana y el medio ambiente en Hidalgo.

Se cuantificaron los contaminantes clasificando por su impacto a la salud y medio ambiente por este hecho se reportan los contaminantes criterios y gases de efecto invernadero con aportación de $CO_{2equivalente}$, se tienen valores parecidos a otros inventarios pensando que al estar dentro del inventario tiene una estimación pertinente. Al igual que entendiendo que el área del inventario propuesto tiene el mayor aporte de emisiones.

Se pudo hacer una estimación per cápita para el año 2020 tomando en cuenta el crecimiento poblacional y dando un escenario aceptable de emisiones para éste año.

Con objeto de resumir todas las emisiones que impactan la atmósfera del estado de Hidalgo y principalmente en el área que abarca el inventario se tomaron en cuenta las fuentes fijas, de área y móviles,

Comparación con otros inventarios

Fuentes fijas

Tabla 22. Comparación con otros inventarios de fuentes fijas, contaminantes criterio.

Año	Inventario	municipios	COT	CO	NO_x	SO_x	SO_2	Pb	PM_{10}
1999	INEM	84	3,265	7,254	37,834	356,966			18,862
2002	IERT-T	4	173	60,455	35,644	346,205			16,565
2003	IC14MEH	14	1,839,697	6,647	1,872		448	229	163,878
2006	IEIMP	15	10,410	6,920	26,441		306,156		11,919
2008	IEEH	27	2,871	2,981	19,549	152,739	152,739	1	11,817





El inventario de contaminación emitida a suelo, agua y aire en 14 municipios del estado de Hidalgo, México (IC14MEH) reporta una gran concentración de contaminantes, mucho mayor a los demás inventarios en emisiones de COT. El inventario de emisiones del Instituto Mexicano del Petróleo (IEIMP) reportó en el año 2006 una cantidad mayor de COT a la estimada en el inventario propio, por más del triple, al igual el inventario nacional de emisiones 1999 (INEM 1999) reporta un valor similar a la estimación propia, con un incremento de 400 toneladas. Esto se debe a que el INEM 1999 reporta los 84 municipios del estado de Hidalgo para el año 1999 y el IMP toma en cuenta solamente fuentes fijas para su estudio, teniendo una mejor estimación para éstas ya que su análisis se basa principalmente en el sector petróleo y petroquímica. El IC14MEH da valores que no son comparables con ningún otro inventario siendo que sus valores son muy apartados.

El inventario de emisiones para la región de Tula-Tepeji (IERT-T) reporta una cantidad mayor de monóxido de carbono (CO) comparada con los demás inventarios, con cifras diez veces mayor, sin embargo en la estimación propia la cantidad de CO reportada es menor, ya que esta información se basa en los inventarios anteriores para 2008 y bases de datos diferentes al RETC. El RETC no reporta datos relevantes para la base de datos emitida para nuestro inventario.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x), son reportados por todos los inventarios en números similares, siendo el INEM 1999 el inventario con la mayor cantidad de NO_x . El inventario elaborado para los 27 municipios de Hidalgo ("inventario de emisiones para el estado de hidalgo IEEH) cuenta con una menor cantidad de NO_x , descartando el inventario que contempla 14 municipios, estos valores del máximo y mínimo son de una diferencia de casi el doble de las emisiones entre ellas. Se cree que esta diferencia se basa en el tipo de método para la recolección de datos. Se tiene el mismo comportamiento para los óxidos de azufre SO_x .





Las emisiones de plomo tienen valores mayores para el inventario de contaminación en 14 municipios que en el inventario propio, esto se debe a que el inventario propio da valores extraídos del RETC y no se adicionaron más.

Las PM_{10} son emitidas en valores similares en todos los inventarios (exceptuando el IC14MEH), la mayor cantidad reportada corresponde al inventario de emisiones para la región Tula-Tepeji, y las menores emisiones son dadas por la estimación propia con una diferencia aproximada de menos de 60%, sin embargo, estos valores no están muy apartados.

Tabla 23. Comparación con otros inventarios de fuentes fijas, GEI

Año	Inventario	municipios	CO_2	CH_4	N_2O	$CO_{2equivalente}$
1999	INEM	84				
2002	IERT-T	4				
2003	IC14MEH	14				
2006	IEIMP	15	13,880,995	563	124	15,209,402
2008	IEEH	27	17,501,192	1,659	76	17,559,501

Los gases de efecto invernadero solo se contemplan en los inventarios elaborados por el IMP y el propio, los valores de las emisiones de estos gases son de orden similar teniendo una mayor emisión por la estimación propia en casi todos los gases de efecto invernadero. Esto se debe principalmente a que el IMP cuenta con valores para estos gases de solo 15 municipios y toma su metodología de factores de emisión per cápita siendo esta metodología menos exacta que la encuesta para este tipo de contaminantes.



Fuentes de área

Tabla 24. Comparación con otros inventarios de fuentes de área, contaminantes criterio.

Año	Inventario	municipios	COT	CO	NO_x	SO_x	SO_2	PM_{10}
1999	INEM	84	99,361	92,338	3,668	18,648		21,875
2002	IERT-T	4	4,117	2,024	240	25		390
2003	IC14MEH	14	1,443	23,769	844,008		1,943	21,369
2006	IEIMP	15						
2008	IEEH	27	42,766	5,017	7,741	1	58	8,569

Las mayores emisiones de COT, CO, SO_x y PM_{10} son reportadas en el INEM 1999, ya que este inventario muestra los 84 municipios correspondientes a Hidalgo, ésta es la principal razón por la cual las emisiones son mayores, ya que varias metodologías para fuentes de área están en función del área (extensión territorial) o de la población. El inventario elaborado para los 27 municipios más representativos muestra la segunda mayor emisión.

No se observan datos parecidos para ningún inventario sin embargo el inventario propio se encuentra en valores en su mayoría dentro de los valores de otros inventarios.

Los datos propios estimados cuentan con valores mayores a los reportados en el INEM 1999 para óxidos de nitrógeno, sin embargo el inventario de contaminación a 14 municipios del estado de Hidalgo muestra valores alejados de los demás inventarios, se pueden explicar el incremento de emisiones dado que las fuentes de área en las estimaciones propias cuentan con emisiones biogénicas que otros inventarios no consideran o clasifican como fuentes naturales.

Los valores de partículas suspendidas son similares para el INEM y el IC14MEH y teniendo valores menores para el inventario propio, puede ser causa de esto la contemplación de actividades o la metodología seguida en los inventarios.

Los gases de efecto invernadero de fuentes de área sólo se reportan en este inventario, con emisiones de más de 2 millones de toneladas de CO_{2eq} por año.





Fuentes Móviles

Tabla 25. Comparación con otros inventarios de fuentes móviles, contaminantes criterio.

Año	Inventario	municipios	Parque Vehicular	COT	CO	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
1999	INEM	84	325,429	6,909	58,314	5,428		269
2002	IERT-T	4	468,833	5,743	60,455	4,407		150
2003	IC14MEH	14	514,220	3,919	98,843	3,944	134	799
2006	IEIMP	15	683,753					
2008	IEEH	27	806,457	69,460	841,128	38,759	629	445

Las emisiones de compuestos orgánicos totales reportados por el INEM 1999 son principalmente las emisiones más altas comparadas con el inventario de emisiones de la región Tula-Tepeji y el inventario de contaminación de 14 municipios; sin embargo la estimación propia muestra un crecimiento acelerado de estas emisiones, probablemente el parque vehicular aumentó drásticamente del año 1999 al año 2008.

El monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno muestran similitud en los compuestos orgánicos totales con emisiones del mismo orden para los inventarios de 1999, 2002 y 2003. Indicando un aumento en el año 2008.

Se presenta el mismo comportamiento para el SO₂ siendo el inventario comparativo el que abarca 14 municipios, principalmente la estimación de contaminantes para el año 2003 muestra un parque vehicular del estado de Hidalgo mucho menor al año 2008.

Las partículas suspendidas reportadas por el INEM 1999 corresponde con la mitad de las emisiones estimadas para el año 2008, y el inventario de emisiones para la región Tula-Tepeji muestra valores aun menores que el INEM 1999, la estimación propia calcula aproximadamente el doble de las emisiones que las reportadas por el INEM 1999.

Los gases de efecto invernadero solo se reportan en este inventario, sin emisiones para los inventarios anteriores, con una emisión de más de 10 millones de toneladas al año de dióxido de carbono equivalente.





Emisiones totales

Tabla 26. Comparación con otros inventarios, Contaminantes Criterio.

Año	Inventario	municipios	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	Pb	PM ₁₀
1999	INEM	27	30,624	73,140	52,281	354,436			24,413
2002	IERT-T	4	13,141	68,173	40,376	346,327			17,105
2003	IC14MEH	14	1,845,059	129,259	849,824		2,525	229	186,047
2006	IEIMP	15	10,410	6,920	26,441		306,156		11,919
2008	IEEH	27	115,098	849,125	66,049	152,741	153,426	1	20,831

Las emisiones de COT son mayores para el inventario que contempla 14 municipios dejando en segundo lugar la estimación propia. La estimación propia es del orden de 4 veces más que el INEM 1999 que comparado con los demás inventarios muestra un valor más alto de emisiones (el IC14MEH tiene valores muy altos y no se toman en la comparación), esto se basa por las emisiones de vehículos y el crecimiento del parque vehicular para el año 2008.

El monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, muestran en las estimaciones propias valores más altos que los citados en otras publicaciones, teniendo este aumento por el incremento de las fuentes móviles.

Las emisiones de SO_x y SO₂ muestran valores menores que las calculadas por otros inventarios, principalmente por la base de datos de fuentes fijas, ya que el INEM reporta valores mayores por considerar más industrias que las citadas por el inventario propio.

Las emisiones de plomo se cuantifican por estimaciones propias de las fuentes fijas y el inventario de contaminantes para 14 municipios muestra valores mucho mayores esto es debido a la metodología seguida para fuentes fijas.

Las partículas suspendidas se encuentran en rangos similares en todos los inventarios excepto el IC14MEH, teniendo una mayor cantidad sin tomar en cuenta el IC14MEH la publicada por el INEM 1999, sin embargo, la estimación propia muestra un valor aceptable en este intervalo.





Tabla 27. Comparación con otros inventarios de fuentes fijas, GEI.

Año	Inventario	municipios	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ equivalente
1999	INEM	27				
2002	IERT-T	4				
2003	IC14MEH	14				
2006	IEIMP	15	13,880,995	563	124	15,209,402
2008	IEEH	27	26,889,565	3,414	2,054	29,997,868

Las emisiones de GEI son principalmente valores aportados por el IMP 2008 y las emisiones estimadas por métodos propios, siendo los valores de GEI notablemente mayores en las estimaciones propias, este valor se debe a que se contemplan emisiones de GEI por las fuentes fijas, fuentes de área y fuentes móviles.

Esto puede ser el motivo por el cual las estimaciones propias tienen mayor valor para GEI y muestran valores de 10 millones de toneladas anuales de CO₂eq.



Propuestas de mejora del inventario

A medida que el RETC aumente su base de datos, y dé mejores capacitaciones en el llenado de las COA se tendrá una mayor cantidad de empresas de jurisdicción federal con datos confiables.

El problema de usar factores de emisión es principalmente que estos son emitidos por la EPA para su jurisdicción. México tiene muy pocos datos propios de factores de emisión y esto hace que los datos no sean muy confiables.

La obtención de datos para fuentes fijas deben ser extraída por fuentes estatales y nacionales; sin embargo varias empresas ubicadas en el estado no reportan emisiones, y un inventario de emisiones para el estado de Hidalgo debe de tener una base de datos completa porque cuenta con una termoeléctrica importante en cuanto a generación de energía eléctrica y una refinería que aporta más del 20% de la producción nacional.

El INEGI registra muchos datos, sería una propuesta útil para el inventario el incluir datos de consumo de diferentes productos como es pinturas y cigarros (pinturas con la intención de cuantificar el uso de solventes y los cigarros para cuantificar las emisiones domésticas de amoníaco).

Las fuentes móviles son las principales emisoras de contaminantes en diferentes inventarios; sin embargo en este estado por su zona industrial las fuentes móviles ocupan el segundo lugar, estas fuentes son muy importantes y se debe de contar con una buena metodología de sus emisiones.

El uso de modelaciones en computación es un buen camino para el desarrollo de escenarios de contaminación de fuentes móviles, sin embargo, hay que revisar su aplicación en México, pues la mayoría de los programas especializados en estas fuentes son hechos por la EPA teniendo las condiciones de operación y condiciones ambientales de los diferentes estados pertenecientes a los Estados Unidos de Norteamérica.





El inventario cuenta con fuentes móviles solo para el parque vehicular que se encuentra registrado dentro del gobierno del estado de Hidalgo, dejando afuera los vehículos adquiridos ilegalmente los autos chocolate y aquellos carros que circulan por el estado, pero están registrados en otros municipios o estados, en varios casos se pueden encontrar personas viviendo en el estado de Hidalgo con autos registrados en otro estado. En este caso, también estas fuentes influyen en un inventario de emisiones.

La SEMARNAT debe reportar factores de emisión para diferentes procesos industriales, según la producción anual o per cápita, así como factores en función de diferentes variables como la resistencia del equipo o del proceso con diferentes años de mantenimiento constante o sin el mantenimiento adecuado.

Los factores de emisión para fuentes de área deben ser datos estatales o municipales al igual que sus variables para la obtención de las emisiones como es el caso del tipo de vegetación para diferentes zonas del país para la quema de área forestal.

Poder medir “in situ” las fuentes de emisión es la forma más directa y precisa de estimar las emisiones de un punto, esta debe ser la principal metodología seguida para futuros inventarios.

Propuestas de mitigación de contaminantes

El mayor crecimiento poblacional se ubica principalmente en la zona sur del estado, donde encontramos la zona metropolitana, Huejutla de Reyes crece en una manera mayor que otros municipios, por su colindancia con el estado de Veracruz.

El estado debe de tomar medidas para mitigar sus emisiones de contaminantes a la atmósfera tomando en cuenta los sectores y las actividades que propician dicha contaminación, enfocándose principalmente a los contaminantes más peligrosos para la salud humana y el calentamiento global.





El inventario de emisiones cuenta con información a partir del año 2002 para fuentes fijas, donde se tomó como año base el año 2008 por la cantidad de datos disponibles obtenidos. Un año base es el fundamento para una proyección, siendo la proyección una estimación hacia un escenario futuro que contempla crecimientos de las fuentes para poder mitigar estas con diferentes acciones.

Las acciones que puede tomar el estado para mitigar su contaminación son:

- Realizar procesos para mejorar las emisiones de la refinería Miguel Hidalgo (como por ejemplo equipos con base en cogeneración).
- Reglamento que establezca el mantenimiento de las emisiones máximas de contaminantes provenientes de la refinería.
- Intentar disminuir las emisiones de la termoeléctrica Francisco Pérez Ríos en el municipio de Tula de Allende usando procesos alternativos ya que este es el principal municipio que impacta en el cambio climático.
- Intentar disminuir las emisiones de las cementeras principalmente sus emisiones de CO_2 y PM_{10} .
- Mayor eficiencia vehicular, cambiando vehículos de años anteriores por nuevos modelos.
- Incremento en la eficiencia y seguridad en vehículos de transporte de pasajeros, esto con la intención de disminuir el parque vehicular a futuro.
- Poner vehículos de transporte escolar, esta medida con intención de disminuir la distancia promedio recorrida por vehículos particulares, aunque no disminuye el parque vehicular.
- Reemplazar vehículos de transporte público por metrobus o metro, esto con la intención de disminuir el parque vehicular y solo aumentan los autobuses.
- Intentar eliminar la quema a cielo abierto en el manejo de residuos, aumentando el reciclaje y la separación de desechos.
- Aumentar las áreas verdes o reservas ecológicas con el fin de disminuir la cantidad de CO_2 en la atmósfera.



Anexo I. Estimación de fuentes fijas

Fuentes Fijas por Municipio¹

Fuentes puntuales para el año 2002

Fuentes Puntuales 2002 [ton/año].										
Municipios	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2 eq}
Actopan										
Ajacuba	4			50						
Apan										
Atitalaquia	31	22	31		26	2				
Atotonilco de Tula	3	124	934		8,819	532				
Cuautepec de Hinojosa										
Epazoyucan										
Huejutla de Reyes										
Huichapan										
Ixmiquilpan										
Mineral de la Reforma						464				
Mineral del Monte										
Pachuca de Soto	219	870				6,035				
San Agustín Tlaxiaca										
Santiago Tulantepec Guerrero	2			0		5				
Tepeapulco	603	3,969		3		466				
Tepeji del Río de Ocampo	149	228	35	3	3	38,836				
Tepetitlán										
Tizayuca	304	533			448	11,623				
Tlahuelilpan										
Tlaxcoapan	1,838,410					1,476				
Tula de Allende	154	5,398	34,644		337,367	104,943				
Tulancingo de Bravo de Lugo	78			2		64				
Zacualtipán de Ángeles										
Zapotlán de Juárez										
Zempoala										
Zimapan										
TOTAL	1,839,957	11,145	35,644	59	346,664	164,446				

**Fuentes puntuales para el año 2004**

Fuentes Puntuales 2004										
Municipios	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2 eq}
Actopan										
Ajacuba										
Apan										
Atitalaquia	4					8	3,582	0		3,590
Atotonilco de Tula	8					0	1,293,685			1,293,685
Cuautepec de Hinojosa										
Epazoyucan										
Huejutla de Reyes										
Huichapan	18					0	1,843,170			1,843,170
Ixmiquilpan										
Mineral de la Reforma							2,002			2,002
Mineral del Monte										
Pachuca de Soto										
San Agustín Tlaxiaca										
Santiago Tulantepec Guerrero										
Tepeapulco							3,320			3,320
Tepeji del Río de Ocampo						0	2,877			2,877
Tepetitlán										
Tizayuca						0	5,062			5,062
Tlahuelilpan										
Tlaxcoapan										
Tula de Allende	11					44,400	7,119,586			7,119,586
Tulancingo de Bravo de Lugo						0				
Zacualtipán de Ángeles										
Zapotlán de Juárez										
Zempoala										
Zimapán										
TOTAL	40					44,408	10,273,284	0		10,273,292

**Fuentes puntuales para el año 2005**

Fuentes Puntuales 2005										
Municipios	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2 eq}
Actopan										
Ajacuba										
Apan										
Atitalaquia	4					8	3,582	0		3,590
Atotonilco de Tula						0	205,123			205,123
Cuautepec de Hinojosa										
Epazoyucan										
Huejutla de Reyes										
Huichapan										
Ixmiquilpan										
Mineral de la Reforma							2,002			2,002
Mineral del Monte										
Pachuca de Soto	0						87			87
San Agustin Tlaxiaca										
Santiago Tulantepec Guerrero										
Tepeapulco							23,374			23,374
Tepeji del Rio de Ocampo										
Tepetitlán										
Tizayuca	0					1	17,763			17,763
Tlahuelilpan										
Tlaxcoapan										
Tula de Allende							36,300			36,300
Tulancingo de Bravo de Lugo										
Zacualtipán de Ángeles										
Zapotlán de Juárez										
Zempoala										
Zimapán										
TOTAL	4					8	288,231	0		288,239

**Fuentes puntuales para el año 2006**

Fuentes Puntuales 2006										
Municipios	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2 eq}
Actopan										
Ajacuba										
Apan										
Atitalaquia			10,014				10,439,442			10,439,442
Atotonilco de Tula	0					0	1,056,201			1,056,201
Cuautepec de Hinojosa										
Epazoyucan										
Huejutla de Reyes										
Huichapan						0	1,513,520			1,513,520
Ixmiquilpan										
Mineral de la Reforma										
Mineral del Monte										
Pachuca de Soto							86			86
San Agustín Tlaxiaca										
Santiago Tulantepec Guerrero										
Tepeapulco										
Tepeji del Río de Ocampo							3,782			3,782
Tepetitlán										
Tizayuca						0	290,261			290,261
Tlahuelilpan										
Tlaxcoapan										
Tula de Allende	136		1,775			4,908	11,384,519	136		11,387,369
Tulancingo de Bravo de Lugo										
Zacualtipán de Ángeles										
Zapotlán de Juárez										
Zempoala										
Zimapán										
TOTAL	136		11,789			4,909	24,687,811	136		24,690,659

**Fuentes puntuales para el año 2007**

Fuentes Puntuales 2007										
Municipios	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2 eq}
Actopan							525			525
Ajacuba										
Apan										
Atitalaquia	0						3,068,037	0		3,068,037
Atotonilco de Tula						0	1,129,299			1,129,299
Cuatepec de Hinojosa										
Epazoyucan										
Huejutla de Reyes										
Huichapan	18					0	1,909,330			1,909,330
Ixmiquilpan										
Mineral de la Reforma										
Mineral del Monte										
Pachuca de Soto	0						6			6
San Agustín Tlaxiaca	3						0			0
Santiago Tulantepec Guerrero										
Tepeapulco							13,294			13,294
Tepeji del Río de Ocampo										
Tepetitlán										
Tizayuca			0			1	21,219			21,219
Tlahuelilpan										
Tlaxcoapan										
Tula de Allende			12,783			2	13,327,464			13,327,464
Tulancingo de Bravo de Lugo										
Zacualtipán de Ángeles										
Zapotlán de Juárez										
Zempoala										
Zimapan										
TOTAL	21		12,783			3	19,469,175	0		19,469,175

**Fuentes puntuales para el año 2008**

Fuentes Puntuales 2008										
Municipios	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2 eq}
Actopan	1	0	1			0	632	0	0	644
Ajacuba										
Apan										
Atitalaquia	1,668	33	44	9	9	139	3,177,187	1,399	1	3,206,874
Atotonilco de Tula	18	91	1,218	3,346	3,346	1,607	1,931,488	7	4	1,932,962
Cuautepec de Hinojosa										
Epazoyucan										
Huejutla de Reyes										
Huichapan	11	57	989	2,793	2,793	205	1,892,719	5	3	1,893,721
Ixmiquilpan										
Mineral de la Reforma			0				6			6
Mineral del Monte										
Pachuca de Soto	348	0	3	28	28	2	1,616	0	0	1,619
San Agustín Tlaxiaca			0				8			8
Santiago Tulantepec Guerrero										
Tepeapulco	68	0	2	0	0	2	1,778		0	1,787
Tepeji del Río de Ocampo	13	7	72	178	178	70	75,234	0	0	75,296
Tepetitlán										
Tizayuca	122	35	128	127	127	138	322,923	1	4	324,298
Tlahuelilpan										
Tlaxcoapan	0	0	3	0	0	0	2,387	0	0	2,406
Tula de Allende	617	2,744	16,797	140,831	140,831	9,525	10,050,345	246	62	10,074,645
Tulancingo de Bravo de Lugo	1	0	1	1	1	47	681		0	684
Zacualtipán de Ángeles										
Zapotlán de Juárez	5	13	291	5,425	5,425	81	44,188	1	1	44,550
Zempoala										
Zimapán										
TOTAL	2,871	2,981	19,549	152,739	152,739	11,817	17,501,192	1,659	76	17,559,501

**Fuentes puntuales para el año 2009**

Fuentes Puntuales 2009										
Municipios	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
Actopan							130,734			130,734
Ajacuba										
Apan										
Atitalaquia	3,335					0	3,098,884	3,332		3,168,849
Atotonilco de Tula	11					0	1,158,459			1,158,459
Cuautepec de Hinojosa										
Epazoyucan										
Huejutla de Reyes										
Huichapan	18					0	1,964,433			1,964,433
Ixmiquilpan										
Mineral de la Reforma										
Mineral del Monte										
Pachuca de Soto							5			5
San Agustín Tlaxiaca							0			0
Santiago Tulantepec Guerrero										
Tepeapulco							1,092,873			1,092,873
Tepeji del Río de Ocampo							65			65
Tepetitlán										
Tizayuca						0	1,840,320			1,840,320
Tlahuelilpan										
Tlaxcoapan										
Tula de Allende	83					0	8,310,892	83		8,312,640
Tulancingo de Bravo de Lugo										
Zacualtipán de Ángeles										
Zapotlán de Juárez										
Zempoala										
Zimapán										
TOTAL	3,447					1	17,596,665	3,415		17,668,378

*Fuentes Fijas por sector industrial¹***Fuentes puntuales para el año 2004**

<i>Sector</i>	<i>COT</i>	<i>CO</i>	<i>NO_x</i>	<i>SO_x</i>	<i>SO₂</i>	<i>PM₁₀</i>	<i>CO₂</i>	<i>CH₄</i>	<i>N₂O</i>	<i>CO₂ eq</i>
<i>Alimentos</i>							2,002			2,002
<i>Asbesto</i>						0	1,325			1,325
<i>Automotriz</i>							3,320			3,320
<i>Celulosa y papel</i>							928			928
<i>Cemento y Cal</i>	36					0	4,127,349			4,127,349
<i>Generacion de energia electrica</i>							6,129,092			6,129,092
<i>Metalurgica (incluye la siderurgica)</i>							793			793
<i>Petroleo y petroquimica</i>	4					8	3,312	0		3,320
<i>Quimica</i>							270			270
<i>Tratamiento de residuos peligrosos</i>						44,400	4,893			4,893
Total	40					44,408	10,273,284	0		10,273,292

Fuentes puntuales para el año 2005

<i>Sector</i>	<i>COT</i>	<i>CO</i>	<i>NO_x</i>	<i>SO_x</i>	<i>SO₂</i>	<i>PM₁₀</i>	<i>CO₂</i>	<i>CH₄</i>	<i>N₂O</i>	<i>CO₂ eq</i>
<i>Alimentos</i>							2,002			2,002
<i>Asbesto</i>						1	1,398			1,398
<i>Cemento y Cal</i>						0	205,123			205,123
<i>Metalurgica (incluye la siderurgica)</i>							24,071			24,071
<i>Petroleo y petroquimica</i>	4					8	39,607	0		39,615
<i>Pinturas y tintas</i>							48			48
<i>Quimica</i>							15,840			15,840
<i>Tratamiento de residuos peligrosos</i>	0						142			142
Total	4					8	288,231	0		288,239

**Fuentes puntuales para el año 2006**

Sector	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2 eq}
Asbesto						0	1,907			1,907
Cemento y Cal	0					3	3,438,015			3,438,015
Equipos y artículos electrónicos, eléctricos y domésticos							822			822
Generación de energía eléctrica	136		1,767				10,503,701	136		10,506,549
Metalurgica (incluye la siderurgica)							277,498			277,498
Petroleo y petroquímica			10,022			0	10,451,615			10,451,615
Pinturas y tintas							0			0
Química						4,905	12,974			12,974
Tratamiento de residuos peligrosos							1,278			1,278
Otros							1			1
Total	136		11,789			4,909	24,687,811	136		24,690,659

Fuentes puntuales para el año 2007

Sector	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2 eq}
Asbesto						1	2,642			2,642
Automotriz							2,450			2,450
Cemento y Cal	18					3	4,377,475			4,377,475
Generación de energía eléctrica			12,711				11,963,018			11,963,018
Metalurgica (incluye la siderurgica)			0				11,019			11,019
Petroleo y petroquímica	0		72				3,088,708			3,088,708
Química	3		3				16,049	0		16,049
Tratamiento de residuos peligrosos							1,031			1,031
Otros							6,783			6,783
Total	21		12,786			3	19,469,175	0		19,469,175

**Fuentes puntuales para el año 2008**

<i>Sector</i>	<i>COT</i>	<i>CO</i>	<i>NO_x</i>	<i>SO_x</i>	<i>SO₂</i>	<i>PM₁₀</i>	<i>CO₂</i>	<i>CH₄</i>	<i>N₂O</i>	<i>CO₂ eq</i>
<i>Alimentos</i>	1	9	19	103	103	7	17,454	0	0	17,725
<i>Asbesto</i>	0	0	0			5	1,796		0	1,896
<i>Automotriz</i>	73	14	294	5,426	5,426	84	46,555	1	1	48,665
<i>Celulosa y papel</i>							221,381			221,381
<i>Cemento y Cal</i>	136	531	3,373	8,333	8,333	2,052	5,861,349	38	11	5,907,756
<i>Generación de energía eléctrica</i>	502	2,358	15,677	138,789	138,789	9,324	8,066,522	220	58	8,280,341
<i>Metalúrgica (incluye la siderúrgica)</i>	5	8	4	1	1	20	2,368	0	0	2,814
<i>Petróleo y petroquímica</i>	1,758	5	6			16	3,132,761	1,398	0	3,133,124
<i>Pinturas y tintas</i>	1	0	0	0	0	1	72			95
<i>Química</i>	324	52	160	76	76	246	137,848	2	5	144,563
<i>Textil</i>	1	6	14	11	11	17	12,495	0	0	12,901
<i>Tratamiento de residuos peligrosos</i>	62	0	1			10	478		0	696
<i>Otros</i>	10	0	0			36	114			870
Total	2,871	2,981	19,549	152,739	152,739	11,818	17,501,192	1,659	76	17,772,827

**Fuentes puntuales para el año 2009**

Sector	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
Asbesto						0	768			768
Automotriz							1,092,855			1,092,855
Celulosa y papel							221,385			221,385
Cemento y Cal	29					0	4,374,783			4,374,783
Generacion de energia electrica	83						7,054,621	83		7,056,370
Metalurgica (incluye la siderurgica)							282			282
Petroleo y petroquimica	3,335					0	3,100,401	3,332		3,170,365
Pinturas y tintas							0			0
Quimica	0						147,002	0		147,002
Tratamiento de residuos peligrosos							1,604,105			1,604,105
Otros							464			464
Total	3,447	0	0	0	0	1	17,596,665	3,415	0	17,668,378

¹ El total puede no coincidir debido al redondeo.



Anexo II. Estimación de fuentes de área

Fuentes de Área por actividad para el año 2008¹

Actividad	Emisiones [ton/año]								
	COT	CO	NO _x	SO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	CO _{2 eq}
Almacenamiento y distribución de GLP	4,525								
Artes gráficas	221								
Asfaltado	384								
Biogénicas	26,302		7,361					6	2,282,018
Diesel de combustión agrícola	0	2	13	1				0	3,987
incendio de estructuras arquitectónicas	0	3	0					8	93
Labranza agrícola								3,282	
Lavado en seco	198								
Manejo de residuos, Quema a cielo abierto	2,522	4,798	363		58		752	884	128,313
Panificación (industrial y tradicional)	35								
Quema de cultivos	16					111	4	21	194
Recubrimiento de superficies arquitectónicas)	2,840								
Repintado de carrocerías	415								
Señalización vial	44								
Tratamiento de aguas residuales	814								
Uso doméstico de solventes	4,437								
Venta de ambulantes	15	213	4					936	1,209
Total	42,766	5,017	7,741	1	58	111	756	5,138	2,415,815

¹ El total puede no coincidir debido al redondeo.



Anexo III. Estimación de las emisiones domésticas de amoniaco

Emisiones Domésticas de Amoniaco¹

Municipio	Emisiones [ton/año]				
	transpiración humana	Respiración Humana	Uso domestico de amoniaco	Pañales de tela	Pañales desechables
Actopan	14	0	1	8	0
Ajacuba	4	0	0	2	0
Apan	11	0	1	6	0
Atitalaquia	7	0	1	4	0
Atotonilco de Tula	8	0	1	4	0
Cuatepec de Hinojosa	14	0	1	8	0
Epazoyucan	3	0	0	2	0
Huejutla de Reyes	31	0	3	19	1
Huichapan	11	0	1	6	0
Ixmiquilpan	22	0	2	12	0
Mineral de la Reforma	32	0	3	1	0
Mineral del Monte	3	0	0	2	0
Pachuca de Soto	67	0	6	31	1
San Agustin Tlaxiaca	8	0	1	5	0
Santiago Tulantepec Guerrero	8	0	1	5	0
Tepeapulco	13	0	1	6	0
Tepeji del Rio de Ocampo	20	0	2	12	0
Tepetitlán	2	0	0	1	0
Tizayuca	24	0	2	15	1
Tlahuelipan	4	0	0	2	0
Tlaxcoapan	7	0	1	4	0
Tula de Allende	26	0	2	13	0
Tulancingo de Bravo de Lugo	38	0	3	21	1
Zacualtipán de Ángeles	8	0	1	5	0
Zapotlán de Juarez	5	0	0	2	0
Zempoala	10	0	1	6	0
Zimapán	10	0	1	6	0
Total	409	3	38	209	7

¹ El total puede no coincidir debido al redondeo.



Anexo IV. Parque vehicular

Parque vehicular para el año 1980¹

Municipios	Automóviles	Camiones para pasajeros	Camiones y camionetas para carga	Motocicletas	Total
<i>Actopan</i>	948	50	537	44	1,579
<i>Ajacuba</i>	325	17	184	15	542
<i>Apan</i>	824	43	467	38	1,373
<i>Atitalaquia</i>	284	15	161	13	474
<i>Atotonilco de Tula</i>	398	21	225	19	662
<i>Cuautepec de Hinojosa</i>	837	44	474	39	1,393
<i>Epazoyucan</i>	230	12	130	11	383
<i>Huejutla de Reyes</i>	1,611	85	912	75	2,683
<i>Huichapan</i>	785	41	444	37	1,307
<i>Ixmiquilpan</i>	1,428	75	808	66	2,378
<i>Mineral de la Reforma</i>	196	10	111	9	326
<i>Mineral del Monte</i>	364	19	206	17	607
<i>Pachuca de Soto</i>	3,705	194	2,098	172	6,170
<i>San Agustín Tlaxiaca</i>	484	25	274	23	806
<i>Santiago Tulantepec Guerrero</i>	344	18	195	16	573
<i>Tepeapulco</i>	1,038	54	588	48	1,728
<i>Tepeji del Río de Ocampo</i>	1,035	54	586	48	1,723
<i>Tepetitlán</i>	187	10	106	9	311
<i>Tizayuca</i>	451	24	255	21	751
<i>Tlahuelipan</i>	250	13	142	12	417
<i>Tlaxcoapan</i>	415	22	235	19	691
<i>Tula de Allende</i>	1,578	83	893	73	2,628
<i>Tulancingo de Bravo de Lugo</i>	1,939	102	1,098	90	3,229
<i>Zacualtipán de Ángeles</i>	433	23	245	20	721
<i>Zapotlán de Juárez</i>	218	11	123	10	363
<i>Zempoala</i>	440	23	249	20	732
<i>Zimapán</i>	889	47	503	41	1,481
Total	21,637	1,136	12,249	1,007	36,028

*Parque vehicular para el año 1990¹*

<i>Municipios</i>	<i>Automóviles</i>	<i>Camiones para pasajeros</i>	<i>Camiones y camionetas para carga</i>	<i>Motocicletas</i>	<i>Total</i>
<i>Actopan</i>	1,694	63	1,204	67	3,028
<i>Ajacuba</i>	530	20	377	21	947
<i>Apan</i>	1,484	55	1,054	58	2,652
<i>Atitalaquia</i>	735	27	522	29	1,314
<i>Atotonilco de Tula</i>	806	30	573	32	1,441
<i>Cuautepec de Hinojosa</i>	1,523	57	1,082	60	2,722
<i>Epazoyucan</i>	388	15	276	15	693
<i>Huejutla de Reyes</i>	3,588	134	2,550	141	6,413
<i>Huichapan</i>	1,396	52	992	55	2,496
<i>Ixmiquilpan</i>	2,750	103	1,954	108	4,915
<i>Mineral de la Reforma</i>	868	32	617	34	1,552
<i>Mineral del Monte</i>	544	20	387	21	972
<i>Pachuca de Soto</i>	7,533	282	5,354	296	13,466
<i>San Agustín Tlaxiaca</i>	832	31	591	33	1,487
<i>Santiago Tulantepec Guerrero</i>	753	28	535	30	1,345
<i>Tepeapulco</i>	1,969	74	1,400	77	3,520
<i>Tepeji del Río de Ocampo</i>	2,135	80	1,518	84	3,817
<i>Tepetitlán</i>	310	12	220	12	554
<i>Tizayuca</i>	1,263	47	898	50	2,258
<i>Tlahuelipan</i>	480	18	341	19	858
<i>Tlaxcoapan</i>	762	28	541	30	1,362
<i>Tula de Allende</i>	3,074	115	2,185	121	5,495
<i>Tulancingo de Bravo de Lugo</i>	3,861	144	2,744	152	6,901
<i>Zacualtipán de Ángeles</i>	823	31	585	32	1,471
<i>Zapotlán de Juárez</i>	479	18	340	19	856
<i>Zempoala</i>	888	33	631	35	1,588
<i>Zimapan</i>	1,463	55	1,039	58	2,614
Total	42,930	1,605	30,512	1,689	76,736

*Parque vehicular para el año 2000¹*

<i>Municipios</i>	<i>Automóviles</i>	<i>Camiones para pasajeros</i>	<i>Camiones y camionetas para carga</i>	<i>Motocicletas</i>	<i>Total</i>
<i>Actopan</i>	4,174	57	3,252	14	7,496
<i>Ajacuba</i>	1,316	18	1,025	4	2,364
<i>Apan</i>	3,584	49	2,793	12	6,438
<i>Atitalaquia</i>	1,963	27	1,529	6	3,525
<i>Atotonilco de Tula</i>	2,254	31	1,756	7	4,049
<i>Cuautepec de Hinojosa</i>	4,092	56	3,189	13	7,350
<i>Epazoyucan</i>	1,003	14	781	3	1,801
<i>Huejutla de Reyes</i>	9,818	134	7,651	32	17,636
<i>Huichapan</i>	3,451	47	2,689	11	6,199
<i>Ixmiquilpan</i>	6,879	94	5,360	23	12,356
<i>Mineral de la Reforma</i>	3,830	52	2,985	13	6,879
<i>Mineral del Monte</i>	1,169	16	911	4	2,099
<i>Pachuca de Soto</i>	22,243	303	17,333	73	39,952
<i>San Agustín Tlaxiaca</i>	2,200	30	1,714	7	3,951
<i>Santiago Tulantepec Guerrero</i>	2,382	32	1,856	8	4,278
<i>Tepeapulco</i>	4,494	61	3,502	15	8,071
<i>Tepeji del Río de Ocampo</i>	6,155	84	4,797	20	11,056
<i>Tepetitlán</i>	771	10	601	3	1,385
<i>Tizayuca</i>	4,204	57	3,276	14	7,551
<i>Tlahuelipan</i>	1,264	17	985	4	2,271
<i>Tlaxcoapan</i>	2,054	28	1,600	7	3,689
<i>Tula de Allende</i>	7,877	107	6,139	26	14,149
<i>Tulancingo de Bravo de Lugo</i>	11,092	151	8,643	36	19,922
<i>Zacualtipán de Ángeles</i>	2,262	31	1,762	7	4,062
<i>Zapotlán de Juárez</i>	1,351	18	1,052	4	2,426
<i>Zempoala</i>	2,224	30	1,733	7	3,994
<i>Zimapan</i>	3,396	46	2,646	11	6,099
Total	117,499	1,600	91,563	385	211,048

*Parque vehicular para el año 2005¹*

<i>Municipios</i>	<i>Automóviles</i>	<i>Camiones para pasajeros</i>	<i>Camiones y camionetas para carga</i>	<i>Motocicletas</i>	<i>Total</i>
<i>Actopan</i>	6,707	73	5,864	38	12,681
<i>Ajacuba</i>	2,227	24	1,947	13	4,211
<i>Apan</i>	5,425	59	4,743	30	10,258
<i>Atitalaquia</i>	3,421	37	2,991	19	6,469
<i>Atotonilco de Tula</i>	3,663	40	3,203	21	6,926
<i>Cuautepec de Hinojosa</i>	6,294	68	5,502	35	11,899
<i>Epazoyucan</i>	1,593	17	1,393	9	3,011
<i>Huejutla de Reyes</i>	3,113	34	2,722	17	5,886
<i>Huichapan</i>	5,493	59	4,802	31	10,385
<i>Ixmiquilpan</i>	10,216	110	8,932	57	19,316
<i>Mineral de la Reforma</i>	9,497	103	8,304	53	17,957
<i>Mineral del Monte</i>	1,651	18	1,444	9	3,122
<i>Pachuca de Soto</i>	38,095	412	33,306	214	72,027
<i>San Agustín Tlaxiaca</i>	3,749	41	3,277	21	7,088
<i>Santiago Tulantepec Guerrero</i>	4,043	44	3,535	23	7,644
<i>Tepeapulco</i>	6,891	75	6,025	39	13,029
<i>Tepeji del Río de Ocampo</i>	9,643	104	8,431	54	18,232
<i>Tepetitlán</i>	1,229	13	1,075	7	2,324
<i>Tizayuca</i>	7,820	85	6,837	44	14,786
<i>Tlahuelipán</i>	2,131	23	1,863	12	4,028
<i>Tlaxcoapan</i>	3,419	37	2,989	19	6,465
<i>Tula de Allende</i>	12,897	139	11,276	72	24,385
<i>Tulancingo de Bravo de Lugo</i>	17,962	194	15,704	101	33,961
<i>Zacualtipán de Ángeles</i>	3,592	39	3,141	20	6,792
<i>Zapotlán de Juárez</i>	2,280	25	1,993	13	4,311
<i>Zempoala</i>	3,778	41	3,303	21	7,144
<i>Zimapan</i>	4,766	52	4,167	27	9,011
Total	181,596	1,964	158,769	1,019	343,349

*Parque vehicular para el año 2008¹*

<i>Municipios</i>	<i>Automóviles</i>	<i>Camiones para pasajeros</i>	<i>Camiones y camionetas para carga</i>	<i>Motocicletas</i>	<i>Total</i>
<i>Actopan</i>	10,906	107	10,338	50	21,401
<i>Ajacuba</i>	2,017	23	2,019	2	4,061
<i>Apan</i>	8,313	65	5,363	19	13,760
<i>Atitalaquia</i>	7,275	35	3,258	22	10,590
<i>Atotonilco de Tula</i>	6,524	40	4,149	15	10,728
<i>Cuautepec de Hinojosa</i>	7,743	43	7,359	52	15,197
<i>Epazoyucan</i>	2,431	6	2,137	12	4,586
<i>Huejutla de Reyes</i>	7,386	110	7,945	40	15,481
<i>Huichapan</i>	6,839	38	8,342	80	15,299
<i>Ixmiquilpan</i>	12,382	89	14,680	61	27,212
<i>Mineral de la Reforma</i>	15,802	33	5,969	379	22,183
<i>Mineral del Monte</i>	2,867	29	1,183	13	4,092
<i>Pachuca de Soto</i>	109,475	894	38,233	1,828	150,430
<i>San Agustín Tlaxiaca</i>	4,203	39	3,715	20	7,977
<i>Santiago Tulantepec Guerrero</i>	5,161	52	3,703	40	8,956
<i>Tepeapulco</i>	17,317	72	8,961	48	26,398
<i>Tepeji del Río de Ocampo</i>	16,724	89	15,297	76	32,186
<i>Tepetitlán</i>	1,209	4	1,288	6	2,507
<i>Tizayuca</i>	28,996	100	25,381	232	54,709
<i>Tlahuelipan</i>	2,999	14	2,101	3	5,117
<i>Tlaxcoapan</i>	3,965	12	2,745	8	6,730
<i>Tula de Allende</i>	28,483	623	13,415	122	42,643
<i>Tulancingo de Bravo de Lugo</i>	35,848	456	26,724	357	63,385
<i>Zacualtipán de Ángeles</i>	4,692	27	4,273	8	9,000
<i>Zapotlán de Juárez</i>	3,491	27	2,483	19	6,020
<i>Zempoala</i>	5,648	12	4,198	44	9,902
<i>Zimapan</i>	5,724	8	8,113	19	13,864
Total	364,420	3,047	233,372	3,575	604,414

*Parque vehicular para el año 2009¹*

Municipios	Automóviles	Camiones para pasajeros	Camiones y camionetas para carga	Motocicletas	Total
Actopan	11,067	112	10,432	58	21,669
Ajacuba	2,055	23	2,047	2	4,127
Apan	8,401	64	5,246	26	13,737
Atitalaquia	7,480	41	3,347	29	10,897
Atotonilco de Tula	6,700	39	4,195	18	10,952
Cuautepec de Hinojosa	8,093	41	7,641	98	15,873
Epazoyucan	2,495	7	2,163	15	4,680
Huejutla de Reyes	7,813	108	8,324	54	16,299
Huichapan	6,942	42	8,465	89	15,538
Ixmiquilpan	12,686	91	14,900	74	27,751
Mineral de la Reforma	17,188	36	6,381	424	24,029
Mineral del Monte	2,972	29	1,225	14	4,240
Pachuca de Soto	111,437	921	39,031	2,001	153,390
San Agustín Tlaxiaca	4,317	38	3,818	22	8,195
Santiago Tulantepec Guerrero	5,373	52	3,776	74	9,275
Tepeapulco	17,468	79	8,885	70	26,502
Tepeji del Río de Ocampo	16,429	89	14,746	83	31,347
Tepetitlán	1,231	4	1,297	7	2,539
Tizayuca	27,983	100	23,881	257	52,221
Tlahuelipán	3,034	14	2,141	5	5,194
Tlaxcoapan	4,047	12	2,833	12	6,904
Tula de Allende	29,102	670	13,532	136	43,440
Tulancingo de Bravo de Lugo	37,055	450	27,462	640	65,607
Zacualtipán de Ángeles	4,906	27	4,411	17	9,361
Zapotlán de Juárez	3,556	27	2,466	20	6,069
Zempoala	5,817	12	4,214	47	10,090
Zimapan	5,972	8	8,291	23	14,294
Total	371,619	3,136	235,150	4,315	614,220

¹ El total puede no coincidir debido al redondeo.



Anexo V. Estimación de fuentes móviles

Fuentes móviles¹

	Arq. Vehicular	COT	CO	NOx	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
Automóvil	364,420	23,204	300,834	12,741	223	141	3,917,479	222	550	4,092,629
Camiones para pasajeros	3,047	2,573	30,600	7,379	73	64	152,325	10	31	162,217
Camiones y camionetas para carga	233,372	43,238	506,092	18,545	332	238	5,063,638	735	1,358	5,500,146
Motocicletas	3,575	445	3,603	94	2	2	81,647	11	0	81,943

¹ El total puede no coincidir debido al redondeo.



Anexo VI. Memoria de cálculo

Fuentes de área

- **Labranza agrícola**

Para el municipio de Actopan se tiene un cultivo de Frijol de 1,324 hectáreas para el año 2008 (Fuente: Anuario Estadístico de Hidalgo 2009), suponiendo que la tierra se labra al 100 % y es labrada en las dos temporadas (otoño-invierno y primavera-verano), se procede a calcular las emisiones de PM₁₀ en toneladas por año correspondientes a este cultivo.

Los pases hectárea por hectárea para el frijol son de $2 \times 100\% = 2$

Siguiendo la ecuación 1:

Ecuación 1.1.

$Emisiones_c =$

$$5.38(18)^{0.6} \left(\frac{kg PM_{10}}{pase-hectárea} \right) \times 0.21 \times 1 \left(\frac{pase-hectárea}{hectárea} \right) \times 1,324 \text{ hectáreas} =$$

25,419.93 kg PM₁₀ anuales de frijol

$$25,419.93 \text{ kg PM}_{10} \text{ anuales de frijol} * \left(\frac{1 \text{ tonelada}}{1000 \text{ kg}} \right) = 25.42 \text{ toneladas de PM}_{10}/\text{año}$$

- **Quema de cultivos**

Para el municipio de Ajacuba cuenta con un área de quema controlada de 21.3766 hectáreas y el tipo de cultivo no se especifica, se calcula las emisiones de PM₁₀, CO₂, CH₄, CONM y COT.

Y la carga de combustible [Mg/hectárea] es 7.2.

Siguiendo la ecuación 2 para partículas PM₁₀ tenemos:



Ecuación 2.1.

$$\begin{aligned} \text{Emisiones}_{PM_{10}} &= 21.3766 \text{ hectáreas} \times 7.2 \left(\frac{Mg}{\text{hectárea}} \right) \times 8 \frac{kg}{Mg} = \\ &1,231.29 \text{ kg } PM_{10} * \left(\frac{1 \text{ tonelada}}{1000kg} \right) = 1.23 \text{ ton/año} \end{aligned}$$

Para emisiones de CO_2

Ecuación 2.2.

$$\begin{aligned} \text{Emisiones}_{CO_2} &= 21.3766 \text{ hectáreas} \times 7.2 \left(\frac{Mg}{\text{hectárea}} \right) \times 42 \frac{kg}{Mg} = \\ &6,464.28 \text{ kg } PM_{10} * \left(\frac{1 \text{ tonelada}}{1000kg} \right) = 6.46 \text{ ton/año} \end{aligned}$$

Para emisiones de Metano

Ecuación 2.3.

$$\begin{aligned} \text{Emisiones}_{CH_4} &= 21.3766 \text{ hectáreas} \times 7.2 \left(\frac{Mg}{\text{hectárea}} \right) \times 1.5 \frac{kg}{Mg} = \\ &230.87 \text{ kg } PM_{10} * \left(\frac{1 \text{ tonelada}}{1000kg} \right) = 0.231 \text{ ton/año} \end{aligned}$$

Para contaminantes orgánicos no-metano.

Ecuación 2.4.

$$\begin{aligned} \text{Emisiones}_{CONM} &= 21.3766 \text{ hectáreas} \times 7.2 \left(\frac{Mg}{\text{hectárea}} \right) \times 4.5 \frac{kg}{Mg} = \\ &692.60 \text{ kg } PM_{10} * \left(\frac{1 \text{ tonelada}}{1000kg} \right) = 0.69 \text{ ton/año} \end{aligned}$$





Obteniendo las emisiones de Contaminantes Orgánicos Totales se suman las emisiones de metano con las emisiones de contaminantes orgánicos no-metano.

Ecuación 2.5.

$$Emisiones_{COT} = 0.693 + 0.231 = 0.924$$

- **Tratamiento de aguas residuales**

El municipio de Atitalaquia trató un volumen de 23.141 millones de metros cúbicos para el año 2008, se calculan las emisiones para este municipio de GOT.

Se convierten los 23.141 millones de metros cúbicos a litros por año.

Ecuación 3.1.

$$23.141 \text{ millones de } m^3 * \left(\frac{1x10^9 \text{ litros}}{1 \text{ millon de } m^3} \right) = 2.31x10^{10} \text{ litros}$$

De la Ecuación 3 se sustituyen los valores:

Ecuación 3.2.

$$\begin{aligned} Emisiones_{GOT} &= (2.31x10^{10} \text{ l}) x 1.5x10^{-5} \left(\frac{Kg \text{ de GOT}}{l} \right) \\ &= 347,115 \text{ kg de GOT} * \left(\frac{1 \text{ tonelada}}{1,000kg} \right) \\ &= 347.12 \text{ toneladas de GOT anuales} \end{aligned}$$





- **Manejo de residuos, Quema a cielo abierto**

En el municipio de Atotonilco de Tula se tiene un volumen de basura recolectada de 6.205 miles de toneladas para el año 2008, se procede a estimar las emisiones para CH_4 , GOT, CO, NO_x , PM_{10} , SO_2 .

La basura recolectada de 6.205 miles de toneladas corresponde a 6,205 toneladas siguiendo el siguiente calculo.

$$6.205 \text{ miles de toneladas} \times \left(\frac{1,000 \text{ toneladas}}{1 \text{ mil toneladas}} \right) = 6,205 \text{ toneladas}$$

Se calculan con la ecuación 6, la cantidad de Residuos destinados a la Quema a cielo abierto para cada uno de los Residuos.

$$R_{\text{Relleno Sanitario}} = 6,205 \text{ toneladas} \times 0.7 = 4,343.5 \text{ toneladas}$$

$$R_{\text{Reciclados}} = 6,205 \text{ toneladas} \times 0.013 = 80.665 \text{ toneladas}$$

$$R_{\text{Incineración}} = 6,205 \text{ toneladas} \times 0.01 = 62.05$$

$$R_{\text{Otros}} = 6,205 \times 0.005 = 31.025$$

Sustituyendo en la ecuación 6.

$$\begin{aligned} R_{\text{Quema a cielo abierto}} &= 6,205 \text{ ton} - 4,343.5 \text{ ton} - 80.67 \text{ ton} - 62.05 \text{ ton} - 31.03 \text{ ton} \\ &= 1,687.75 \text{ ton} \end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación 7 para CH_4 .

$$Emisiones_c = 1,687.76 \frac{\text{ton}}{\text{año}} \times 6.5 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} = 10,970.44 \frac{\text{kg}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 10.97 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$



Sustituyendo en la ecuación 7 para Compuestos Orgánicos No Metano.

$$Emisiones_c = 1,687.76 \frac{ton}{año} \times 15 \frac{kg}{ton} = 25,316.4 \frac{kg}{año} * \frac{1 ton}{1000 kg} = 25.31 \frac{ton}{año}$$

Para obtener COT.

$$10.97 \frac{ton}{año} + 25.31 \frac{ton}{año} = 36.29 \frac{ton}{año}$$

Sustituyendo en la ecuación 7 para CO.

$$Emisiones_c = 1,687.76 \frac{ton}{año} \times 42 \frac{kg}{ton} = 70,885.92 \frac{kg}{año} * \frac{1 ton}{1000 kg} = 70.89 \frac{ton}{año}$$

Sustituyendo en la ecuación 7 para NO_x .

$$Emisiones_c = 1,687.76 \frac{ton}{año} \times 3 \frac{kg}{ton} = 5,063.28 \frac{kg}{año} * \frac{1 ton}{1000 kg} = 5.06 \frac{ton}{año}$$

Sustituyendo en la ecuación 7 para PM_{10} .

$$Emisiones_c = 1687.76 \frac{ton}{año} \times 8 \frac{kg}{ton} = 13,502.08 \frac{kg}{año} * \frac{1 ton}{1000 kg} = 13.50 \frac{ton}{año}$$

Sustituyendo en la ecuación 7 para SO_2 .

$$Emisiones_c = 1687.76 \frac{ton}{año} \times 0.5 \frac{kg}{ton} = 843.88 \frac{kg}{año} * \frac{1 ton}{1000 kg} = 0.84 \frac{ton}{año}$$



- **Emisiones domésticas de amoniaco**

El municipio de Cuautepec de Hinojosa se tiene una población de 54,500 y de las cuales 4,448 tiene de 0 a 3 años de edad (INEGI 2010). Se procede a estimar las emisiones por Transpiración Humana, Respiración Humana, Uso doméstico de Amoniaco, Pañales de tela y Pañales Desechables.

- ✓ Transpiración humana

Sustituyendo la ecuación 8.

Ecuación 8.1

$$\begin{aligned} \text{Emisiones}_c &= 54,500 \text{ personas} - \text{año} \times 0.25 \text{ kg/persona} - \text{año} = \\ &13,625 \text{ kg de amoniaco} \times \left(\frac{1 \text{ tonelada de amoniaco}}{1000 \text{ kg de amoniaco}} \right) = 13.63 \text{ toneladas/año} \end{aligned}$$

- ✓ Respiración humana

Sustituyendo la ecuación 8.

Ecuación 8.2

$$\begin{aligned} \text{Emisiones}_c &= 54,500 \text{ personas} - \text{año} \times 0.0016 \text{ kg/persona} - \text{año} = \\ &87.2 \text{ kg de amoniaco} \times \left(\frac{1 \text{ tonelada de amoniaco}}{1000 \text{ kg de amoniaco}} \right) = 0.87 \text{ toneladas/año} \end{aligned}$$

- ✓ Uso doméstico de amoniaco

Sustituyendo la ecuación 8.

Ecuación 8.3

$$\begin{aligned} \text{Emisiones}_c &= 54,500 \text{ personas} - \text{año} \times 0.023 \text{ kg/persona} - \text{año} \\ &= 1,253.5 \text{ kg de amoniaco} \times \left(\frac{1 \text{ tonelada de amoniaco}}{1000 \text{ kg de amoniaco}} \right) \\ &= 1.25 \text{ toneladas/año} \end{aligned}$$





- ✓ Pañales de tela

Sustituyendo la ecuación 8.

Ecuación 8.4

$$\begin{aligned} Emisiones_c &= (4,448 \text{ personas} \times 0.6) - \text{año} \times 3.13 \text{ kg} / (\text{infante} - \text{año}) \\ &= 8,353.34 \text{ kg de amoniac} \times \left(\frac{1 \text{ tonelada de amoniac}}{1000 \text{ kg de amoniac}} \right) \\ &= 8.35 \text{ toneladas/año} \end{aligned}$$

- ✓ Pañales desechables.

Sustituyendo la ecuación 8.

Ecuación 8.5

$$\begin{aligned} Emisiones_c &= (4,448 \text{ personas} \times 0.4) - \text{año} \times 0.16 \text{ kg} / (\text{infante} - \text{año}) \\ &= 284.67 \text{ kg de amoniac} \times \left(\frac{1 \text{ tonelada de amoniac}}{1000 \text{ kg de amoniac}} \right) \\ &= 0.28 \text{ toneladas/año} \end{aligned}$$



Fuentes móviles

Cálculo de emisiones de CO_2 para fuentes móviles.

Para el municipio de Epazoyucan se tienen 2431 automóviles (anuario estadístico del estado de Hidalgo 2009), se supone que todo este tipo de vehículos usan gasolina, el poder calorífico de este combustible es de $31.17 \times 10^{-3} \text{ TJ}/\text{m}^3$.

Se estima la eficiencia del vehículo a una velocidad de $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Sustituyendo la ecuación 12.

Ecuación 12.1

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia vehicular} \left[\frac{\text{l}}{\text{km}} \right] &= (-0.001448 (50)^2 + 0.1829 (50) + 2.7274)^{-1} = \\ 12.12 \times 10^{-2} \frac{\text{l}}{\text{km}} \times \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \right) &= 12.12 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{km}} \end{aligned}$$

Se calcula el consumo de combustible:

Sustituyendo la ecuación 9.

Ecuación 9.1

$$\begin{aligned} C_c &= 2,431 \text{ vehiculos} \times 11,315 \frac{\text{km}}{\text{año}} \times 12.12 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{km}} \times 31.17 \times 10^{-3} \frac{\text{TJ}}{\text{m}^3} \\ &= 103.88 \frac{\text{TJ}}{\text{año}} \end{aligned}$$

Se calculan las emisiones de CO_2 .

Sustituyendo la ecuación 10.

La fracción oxidada para petróleo y productos es de 0.99 (IPCC. 1996).

Ecuación 10.1

$$E_{CO_2} = 108.88 \frac{\text{TJ}}{\text{año}} \times 69.3 \frac{\text{tCO}_2}{\text{TJ}} \times 0.99 \times \left(\frac{44}{12} \right) = 26,133.01 \frac{\text{ton CO}_2}{\text{año}}$$





$\left(\frac{44}{12}\right)$ = Factor de conversión de carbono a CO_2 .

Cálculo de emisiones de CH_4 para fuentes móviles

Para el municipio de Pachuca de Soto se tiene una cantidad de 894 camiones para pasajeros, se estiman las emisiones de CH_4 para vehículos con combustible gas licuado.

De los 894 camiones para pasajeros se tiene que 1.87 % de los vehículos usan gas licuado (estimación propia con base en el BNE 2009), Teniendo una cantidad de 17 camiones para pasajeros que usan este tipo de combustible. De los cuales el 73.23% de los vehículos son modelos 1993 o más recientes y el resto son modelos anteriores (SMA, 2008).

Se obtiene una cantidad de 12 camiones modelo 1993 o más reciente y 5 anteriores a 1993.

La distancia promedio es de $73,000 \frac{km}{año}$.

Sustituyendo en la ecuación 12 para vehículos con control avanzado (1993 o más recientes).

Ecuación 13.1

$$E_i = 12 \text{ camiones para pasajeros} \times 73,000 \frac{km}{año} \times 0.03 \frac{g}{km}$$

$$= 26,280 \frac{g}{año} \times \left(\frac{1 \text{ ton}}{1 \times 10^6 g}\right) = 2.63 \times 10^{-2} \frac{ton}{año}$$

Sustituyendo en la ecuación 12 para vehículos sin control (anteriores a 1993).

Ecuación 13.2

$$E_i = 5 \text{ camiones para pasajeros} \times 73,000 \frac{km}{año} \times 0.18 \frac{g}{km} = 65,700 \frac{g}{año} \times \left(\frac{1 \text{ ton}}{1 \times 10^6 g}\right)$$

$$= 6.57 \times 10^{-2} \frac{ton}{año}$$





Cálculo de emisiones de N_2O para fuentes móviles

Para el municipio de Pachuca de Soto se tiene una cantidad de 38,233 camiones y camionetas para carga, se estiman las emisiones de N_2O para vehículos con combustible diesel.

De los 38,233 camiones y camionetas para carga, se tiene que 67.17 % de los vehículos usan diesel (estimación propia con base en el BNE 2009), Teniendo una cantidad de 25,681 camiones y camionetas para carga que usan este tipo de combustible. De los cuales el 60.14% de los vehículos son modelos 1998 o más recientes, 9.82% son vehículos de 1994 a 1997 y 30.04 % son vehículos anteriores a 1994 (SMA, 2008).

Se obtiene una cantidad de 15,445 camiones modelo 1998 o más recientes, 2,521 de 1994 a 1997 y 7,715 anteriores a 1994.

La distancia promedio es de $81,395 \frac{km}{año}$.

Sustituyendo en la ecuación 13 para vehículos con control avanzado (1998 o más recientes).

Ecuación 13.3

$$\begin{aligned}
 E_i &= 15,445 \text{ camiones para pasajeros} \times 81,395 \frac{km}{año} \times 0.024 \frac{g}{km} \\
 &= 30,171,498.6 \frac{g}{año} \times \left(\frac{1 \text{ ton}}{1 \times 10^6 g} \right) = 30.17 \frac{ton}{año}
 \end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación 13 para vehículos sin control (1994-1997).

Ecuación 13.4

$$\begin{aligned}
 E_i &= 2,521 \text{ camiones para pasajeros} \times 81,395 \frac{km}{año} \times 0.063 \frac{g}{km} \\
 &= 12,927,398.09 \frac{g}{año} \times \left(\frac{1 \text{ ton}}{1 \times 10^6 g} \right) = 12.93 \frac{ton}{año}
 \end{aligned}$$





Sustituyendo en la ecuación 13 para vehículos sin control (anteriores a 1994).

Ecuación 13.5

$$\begin{aligned} E_i &= 7,715 \text{ camiones para pasajeros} \times 81,395 \frac{\text{km}}{\text{año}} \times 0.031 \frac{\text{g}}{\text{km}} \\ &= 19,466,835.18 \frac{\text{g}}{\text{año}} \times \left(\frac{1 \text{ ton}}{1 \times 10^6 \text{ g}} \right) = 19.47 \frac{\text{ton}}{\text{año}}. \end{aligned}$$



Glosario

Adsorción: Se presenta cuando las moléculas de una sustancia disuelta (sistema líquido-sólido) se adhieren físicamente a los elementos de la fase sólida.

Año base: El año para el cual se han de estimar las emisiones y establece el inventario en el tiempo para que todas las estimaciones tengan una base común.

Aseguramiento de la calidad: Esfuerzo para poder controlar la calidad de la información.

Balance de Materiales: Método de estimación de emisiones basado en Balances de materia.

Características espaciales: Características en el tiempo establecido para el inventario siendo las principales el dominio del inventario y la resolución espacial.

Cedulas de Operación Anual: encuestas de emisiones de industrias de ámbito federal.

Contaminación Ambiental: Presencia de uno o más contaminantes en cantidad y duración dentro del ambiente.

Contaminante: Cualquier sustancia que altere la composición natural del aire y puede tener efectos adversos en seres vivos o materiales.

Contaminantes criterio: contaminantes identificados como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos.

Descomposición biológica: Ocurre cuando los microbios presentan sus procesos metabólicos al fraccionar los compuestos orgánicos.



Descomposición fotoquímica. Tiene lugar en la fotólisis directa (cuando una sustancia química absorbe luz y reacciona) y en la fotólisis indirecta (cuando la sustancia reacciona debido a que los elementos que la rodean absorben la luz).

Dominio del inventario: el área para la cual las fuentes de contaminantes atmosféricos son inventariadas.

Emisiones Domésticas de Amoniaco: Emisiones de amoniaco provenientes de actividades domesticas.

Encuestas: Método basado en cuestionarios para recabar datos de emisión.

Escala temporal: Son las características temporales que se deben de considerar para un inventario de emisiones (estas son el periodo de tiempo y la variabilidad temporal).

Escurrimiento: Cuando las sustancias químicas en el suelo o cercanas son deslavadas por la lluvia.

Extrapolación: Escalamiento de las emisiones de una fuente a otra.

Factores de emisión: Relación entre la cantidad de un contaminante y una unidad de actividad.

Fuentes de área: Fuentes de lugares en los cuales se desarrollan actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas, pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte significativo.

Fuentes de emisión: Es toda actividad, proceso u operación susceptible de emitir contaminantes al aire.

Fuentes móviles: Obtenidas de todos los medios de transporte que utilice algún tipo de combustible.

Fuentes naturales: Aquellas que se dan por todos los fenómenos provenientes de la naturaleza.



Fuentes puntuales: Representan aquellas fuente en un sector industrial y en un lugar específico.

Gases de Efecto Invernadero: gases que en presencia de la atmósfera contribuyen al cambio climático.

Hidrólisis: Al reaccionar agua con otra sustancia se forma este fenómeno.

Labranza Agrícola: polvo proveniente de las operaciones agrícolas.

Licencia Ambiental Única (LAU): instrumento de regulación directa, para industrias de jurisdicción federal en materia de control y prevención de contaminación ambiental.

Manejo de datos: Realización y análisis de bases de datos.

Manejo de residuos: Quema a cielo abierto, método para eliminar los residuos sólidos provenientes de basura.

Migración: Ocurre en los suelos cuando las sustancias son transportadas hacia aguas subterráneas..

Modelos de Emisión: Método de estimación de emisiones basado principalmente por simulación computacional.

Muestreo en Fuente: Medición directa de concentración en chimenea.

Oxidación y reducción: En compuestos orgánicos en sistema acuoso pueden ser oxidados por el oxígeno u otros oxidantes al igual que en medios anaeróbicos pueden presentarse reacciones de reducción.

Proyecciones: Manejo de datos para predecir contaminación futura.

Quema de cultivos: quema de cualquier tipo de vegetación con fines agrícolas.

Reacciones de radical hidroxilo: Ocurren por la adición de un radical hidroxilo y el desprendimiento de un átomo de hidrógeno. (o por ambos mecanismos).



Registro de Emisiones de Transferencia de Contaminantes: base de datos basada en COA.

Resolución de especies químicas: desagregación de un contaminante del inventario en sus componentes químicos individuales, o en grupos químicos específicos.

Resolución Espacial: Describe el nivel específico de la ubicación geográfica de las fuentes de contaminación.

Tratamiento de Aguas residuales: procesos para realizar agua residual.

Variable múltiple: Emisiones en término de varias variables.

Volatilización: Se observa cuando las moléculas de una sustancia disuelta escapan a una fase gaseosa adyacente.



Bibliografía

BARKER R. J., TINGEY T. D., *Air Pollution Effects on Biodiversity*, New York USA, Van Nostiond Reinhold, 1992, p.3.

COCKERHAIN G.L., SHANE S.B., *Basic Environmental Toxicology*, USA, CRC Press. Inc, 1994, p. 287-312.

MARTINEZ C. J., *Guía de Elaboración y Usos de Inventarios de Emisiones*, SEMARNAT, INE, Western Governors´ Association, 1ª edición, México, 2005.

Publicaciones y artículos

HOUGHTON T.J., MEIRA FILHO L.G., GRIGGS D.J. MASKELL K., *Estabilización de los Gases Atmosféricos de Efecto Invernadero Implicaciones Físicas, Biológicas y Socioeconómicas*, IPCC, Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, Documento técnico III, Febrero de 1997.

ODUYEMI K. O. K., DAVIDSON B., *The Impacts of Road Traffic Management on Urban Air Quality*, Elsevier, The Science of Total Environment, University of Avertay Dundee, UK, 1998.

CABRERA C. R. B. E., GORDILLO M.A.J., CERÓN B.A., *Inventario de Contaminación Emitida a Suelo, Agua y Aire en 14 Municipios del Estado de Hidalgo, México*, Centro de Investigaciones Químicas, UAEH, Octubre de 2003.

SEMARNAT et al, *Inventario de Emisiones de la Región Tula Tepeji*, 2002, Consejo Estatal de Ecología-Hidalgo, Gobierno del estado de Hidalgo.

SBARATO, D. et al. *Teoría General del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos*, Universidad Nacional de Cordoba.





Elaboración de un inventario de emisiones para el estado de Hidalgo

MAGDALENO M. M., MELGAREJO F. L. A., PALMERIN R. M. E., GASCA R. J., *Estudio de las Emisiones de la Zona Industrial de Tula y su Impacto en la Calidad del Aire Regional*, IMP, 2006.

INEGI, *Población, Perfil Sociodemográfico Hidalgo XII*, Censo General de Vivienda 2000.

NAVARRO B. A., *Labranza de Conservación*, Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural, Subsecretaría de Desarrollo Rural, SAGARPA.

INEGI, *Boletín de los Sistemas Nacional Estadístico y de Información Geográfica*, Vol, 2, Núm. 2, Mayo-Agosto 2006.

INEGI, *Resumen de los Resultados Económicos 2009*, México 2010.

RADIAN INTERNATIONAL LLC, *Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México*, capítulos II, III, IV, V, 1996- 1997.

SEMARNAT, INE, *Inventario de Emisiones de los Estados de la Frontera Norte de México*, México, 2005.

SEMARNAT, INE, *Inventario Nacional de Emisiones de México*, 1999, 1ª edición, México, 2006.

CEC, CCA, CCE, *En Balance 1999 Emisiones y Transferencia de Contaminantes en América del Norte*, América del Norte, 2002.

DAVIES W. C et al. *Chapter 3 Mobile Combustion, Volume 2 : Energy, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, IPCC , 2006.

TORO G. M. V., CREMANDES O. L. V., RAMIREZ B. J. J., *Inventario de Emisiones Biogénicas en el Valle de Aburrá*, Revista Ingeniería y Gestión Ambiental, Vol. 17, No. 32-33, Universidad Pontificia Boliviana, Colombia, 2001.

SEKIYA A. OKAMOTO S., *Evaluation of carbon dioxide equivalent values for greenhouse gases: CEWN as a new indicator replacing GWP*, Elsevier Journal of Fluorine Chemistry, Japan, 2010.





Elaboración de un inventario de emisiones para el estado de Hidalgo

EPA, *Emission Facts*, Office of Transportation and Air Quality, USA, 2005.

GOHAR L. K., SHINE K. P., *Equivalent CO₂ and its use in understanding the climate effects of increased greenhouse gas concentrations*, WEATHER, Vol. 62, No. 11, The University of Reading, Reading, 2007.





Tesis

MONTIEL P. S., *Análisis de la Calidad del Aire en el Valle de México a Partir del Año 1986*, Dirigida por: M. C. Vicente Fuentes G., para obtener el Título de Maestra en Ingeniería Ambiental , UNAM, FQ, México, 2006.

RAMIREZ H. E., *Análisis Regional del Inventario de Emisiones para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, Dirigida por: Dra. María Elba Ortiz Vargas, para obtener el título de Licenciado en Geografía, UNAM, FFyL, México, 2001.

FLORES S. J. L., LÓPEZ M. J. L., *Determinación de Sitios para Monitorear Aire en las Refinerías de PEMEX*, Dirigida por: Emmanuel González Ortiz, Asesor: Germán Calva Vásquez, para obtener el título de Biólogo, UNAM, FES “Zaragoza”, México, 2007.

VELASCO S. H. E., *Inventario de Emisiones Biogénicas a la Atmósfera en la Zona Metropolitana del Valle de México*, Dirigida por: Juan Rubén Varela Ham, para obtener el título de M. en Ingeniería Ambiental, UNAM, Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, México, 2001.

MAR, J. E., *Tendencias y Perspectivas del Consumo de Gasolina y Emisiones de Gases Contaminantes de los Automóviles*, Dirigida por: Claudia Sheinbaum, para obtener el título de Doctora en Ingeniería Energética, UNAM, Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, México, 2001.

BARRERA, H. H. A., *Evaluación de las concentraciones ambientales en Tula Hidalgo*, Mediante Mediciones Pasivas, Activas y un Modelo de Calidad del Aire, Dirigida por: José Agustín García Reynoso, para obtener el título de Maestro en Ciencias de la Tierra, UNAM, Posgrado de Ciencias de la Tierra, México, 2010.





Documentos Electrónicos

Norma de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos producidos por Fuentes Fijas [en línea], Subsecretaría de Gestión Ambiental, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Santo Domingo, República Dominicana, Elaborado: Abril 2001, [Disponible en Web: http://www.usaid.gov/dr/docs/resources/normas_aire_emisiones_fuentes_fijas.pdf].

Producto Interno Bruto [en línea], [Disponible en Web: http://www.economia.com.mx/producto_interno_bruto.htm].

Lead (Pb) [En línea], An introduction to indoor Air Quality (IAQ), EPA,USA, [Disponible en Web: <http://www.epa.gov/iaq/lead.html>].

Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes RETC [En línea], Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, [Disponible en Web: <http://app1.semarnat.gob.mx/retc/>].

Registro de Emisiones de Transferencia de Contaminantes (RETC) [En línea], Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, [Disponible en Web: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/retc.aspx>].

Cedula de Operación Anual [En línea], Secretaría del Medio Ambiente, Plan verde cd de México, Cd. de México, [Disponible en Web: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=167>].

Cédula de Operación Anual (COA) [En línea], Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Actualización: 8 de julio de 2010, [Disponible en Web: http://tramites.semarnat.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=175:semarnat-05-001-cedula-de-operacion-anual-coa&catid=106:cedula-de-operacion-anual&Itemid=192].





Elaboración de un inventario de emisiones para el estado de Hidalgo

Contexto Socioeconómico y Demográfico de la Megalópolis del Centro del País [En línea], Gobierno del estado de Hidalgo, México, [Disponible en Web: http://poblacion.hidalgo.gob.mx/descargables/Dx_Mega/Contexto%20socioeconomico%20y%20demografico%20de%20la%20megalopolis%20%20del%20centro%20del%20pais.pdf].

Amoniaco [En línea], Hoja de Seguridad XVIII, Facultad de Química, UNAM, México, [Disponible en Web: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/18amoniaco.pdf>].

Producción Anual [En línea], Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Gobierno Mexicano, México, Disponible en Web: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=15].

Inventario de Emisiones del Estado de Hidalgo (Presentación en línea), Consejo Estatal de Ecología, estado de Hidalgo, México, [Disponible en Web: http://www.ine.gob.mx/descargas/calairt3_gob_edo_hgo.pdf].

Panorama Internacional de Metodologías para Determinar el Inventario de Emisiones de Vehículos Automotores en Circulación, Trafalgar, Instituto Nacional de Ecología, México. [Disponible en Web: http://www.ine.gob.mx/descargas/calairt/panorama_int_final.pdf].

PROMÉXICO [en línea], Inversión y Comercio, Hidalgo, [Disponible en Web: http://mim.promexico.gob.mx/Documentos/PDF/mim/FE_HGO_vf.pdf].

Sistema de Cuentas Nacionales de México [En línea], Porcentajes estimados con base en datos, INEGI, [Disponible en Web: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=epib01&c=4746&e=13>]. Precios constantes de 1993].

Emissions: Energy, Road Transport, Energy Sector, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, [Disponible en Web: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_3_Road_Transport.pdf].

