

# Inventario de Emisiones Criterio del Estado de Querétaro, 2015.

Contrato: OM/DA/427/2016

## Memoria de Cálculo

Presentado a:

**Secretaría de Desarrollo Sustentable**

**Ing. Ricardo Javier Torres Hernández**  
Director de Control Ambiental



## Contenido

I. Introducción.....	4
II. Memorias de cálculo y control de calidad .....	5
II.1. Fuentes fijas.....	5
II.1.1. Metodología de estimación para fuentes fijas.....	7
II.1.2. Control de calidad fuentes fijas.....	9
II.2. Fuentes de área .....	10
II.2.1. Datos de actividad para fuentes de área .....	12
II.2.2. Metodología de estimación para fuentes de área.....	14
II.2.3. Control de calidad fuentes de área .....	15
II.3. Fuentes naturales.....	15
II.3.1 Metodología y cálculo de estimación de fuentes naturales.....	16
II.3.2 Control de calidad fuentes naturales .....	21
II.4. Fuentes móviles .....	22
II.4.1. Metodología para estimación de fuentes móviles.....	22
II.4.2. Modelación con MOVES-México .....	23
II.4.2.1. Datos de actividad .....	24
II.4.3. Control de calidad.....	29
Referencias.....	30

## Tablas

Tabla 1. División municipal del Estado de Querétaro .....	4
Tabla 2. Clasificación SCIAN de fuentes de fijas.....	6
Tabla 3. Lista de verificación de datos de actividad de fuentes de área por subcategoría.....	12
Tabla 4. Identificación de los tipos de vegetación y uso de suelo, con la clave (código) e icell .....	17
Tabla 5. Superficie de tipos de vegetación y usos de suelo en el Estado de Querétaro, km <sup>2</sup> .....	18
Tabla 6. Estaciones meteorológicas del Estado de Querétaro .....	19
Tabla 7. Tipo de vehículos y su homologación en MOVES .....	24
Tabla 8. Kilómetros recorridos por tipo de vehículo y año modelo .....	26
Tabla 9. Contaminantes tóxicos estimados con MOVES-México .....	29

## Graficas

Grafica 1. Distribución porcentual de fuentes fijas.....	7
Grafica 2. % de vehículos por año modelo, registrados en el Estado de Querétaro hasta el 2015.....	24
Grafica 3. Porcentaje de tipo de vehículos .....	25

## Figuras

Figura 1. Mapa del estado de Querétaro .....	4
Figura 2. Extracto de la base de datos de entrada .....	16
Figura 3. Extracto de la base de datos sobre tipos de uso de suelo y vegetación .....	18
Figura 4. Extracto de la base de datos de entrada de los datos de temperatura.....	20
Figura 5. Interfaz de inicio de GloBEIS.....	20
Figura 6. Inicio de la corrida en MOVES.....	27
Figura 7. Importación de datos en MOVES .....	28
Figura 8. Selección del script del Modelo MOVES .....	28

## Anexo

### I. Bases de datos

**Acrónimos**

<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>COA</b>	Cédula de Operación Anual
<b>CONAFOR</b>	Comisión Nacional Forestal
<b>COT</b>	Compuestos Orgánicos Totales
<b>COV</b>	Compuesto orgánico volátil
<b>FE</b>	Factores de Emisión
<b>GLP</b>	Gas Licuado del Petróleo
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoniaco
<b>NMHC</b>	Non-methane hydrocarbons ( <i>hidrocarburos no metano</i> )
<b>NO</b>	Monóxido de nitrógeno (óxido nítrico)
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dióxido de nitrógeno
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxidos de nitrógeno
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno
<b>PM</b>	Material particulado
<b>PM<sub>10</sub></b>	Partículas de diámetro inferior o igual a 10 micrómetros
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	Partículas de diámetro inferior o igual a 2.5 micrómetros
<b>SCIAN</b>	Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte
<b>SIAP</b>	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de azufre
<b>SO<sub>x</sub></b>	Óxidos de azufre
<b>SSG</b>	Secretaría de Salud
<b>t/a</b>	Toneladas por año

## I. Introducción

El inventario de emisiones criterio del estado de Querétaro, fue concebido para considerar como año base 2015, la delimitación territorial para la elaboración del presente inventario de emisiones es el estado de Querétaro, el cual está constituido por dieciocho municipios.



Figura 1. Mapa del estado de Querétaro

Tabla 1. División municipal del Estado de Querétaro

Clave INEGI	Municipio	Clave INEGI	Municipio
001	Amealco de Bonfil	010	Landa de Matamoros
002	Pinal de Amoles	011	El Marqués
003	Arroyo Seco	012	Pedro Escobedo
004	Cadereyta de Montes	013	Peñamiller
005	Colón	014	Querétaro
006	Corregidora	015	San Joaquín
007	Ezequiel Montes	016	San Juan del Río
008	Huimilpan	017	Tequisquiapan
009	Jalpan de Serra	018	Tolimán

Las fuentes de emisión inventariadas son:

- Fuentes fijas.- Establecimientos industriales.
- Fuentes de área.- Actividad comercial y de servicios.
- Fuentes naturales.- Emisiones biogénicas y erosivas.
- Fuentes móviles.- Vehículos en circulación.

Los contaminantes estimados son:

- Partículas menores a 10 micrómetros, PM<sub>10</sub>.
- Partículas menores a 2.5 micrómetros, PM<sub>2.5</sub>.
- Óxidos de azufre, SO<sub>x</sub>.
- Óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>.
- Monóxido de carbono, CO.
- Compuestos orgánicos volátiles, COV.
- Amoníaco, NH<sub>3</sub>.
- Carbono Negro CN

## II. Memorias de cálculo y control de calidad

Las metodologías que se utilizaron para la elaboración de este inventario, se basaron en los “Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México”<sup>1</sup>, la “Guía de elaboración y uso de inventarios de emisiones”<sup>2</sup>, el “Manual para la elaboración de inventario de emisiones de fuentes de área”<sup>3</sup> y los procedimientos utilizados para la elaboración del “Inventario nacional de emisiones para México-1999 y 2005”. También se consideran metodologías e información actualizada de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (USEPA) para la elaboración de inventarios de emisiones. A continuación se menciona de manera más específica la metodología usada por tipo de fuente.

### II.1. Fuentes fijas

Se define como fuente fija a toda instalación establecida en un solo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen puedan generar emisiones contaminantes a la atmosfera<sup>4</sup>. Son reguladas dependiendo de su proceso y/o actividad por la autoridad federal, estatal o municipal.

---

<sup>1</sup>Radian International LLC, INE-SEMARNAP, USEPA, Western Governors' Association. *Manuales del programa de inventarios de emisiones de México*. Diciembre de 1997.

<sup>2</sup>INE-SEMARNAT, Western Governors' Association. *Guía de elaboración y uso de inventarios de emisiones*. Mayo de 2005.

<sup>3</sup>SEMARNAT. *Manual para la elaboración y uso de inventarios de emisiones*. Mayo de 2008.

<sup>4</sup>Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera. DOF 25 noviembre 1988, última reforma 31 de octubre de 2014.

Las emisiones que generan a la atmósfera estas fuentes, son debidas principalmente a procesos de combustión de combustibles fósiles, procesos de manufactura y por almacenamiento y transporte de materiales y productos. Conforme al Reglamento de la LGEEPA en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica, cada fuente debe obtener su licencia de funcionamiento para operar, además de tener la obligación de manera anual de presentar la Cedula de Operación Anual (COA's) a través de la cual se actualiza la información y se contabilizan la emisiones.

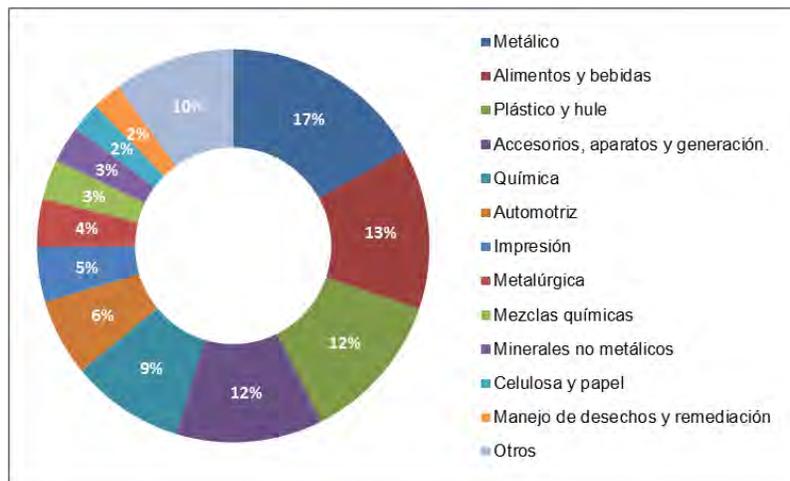
Se clasificaron los establecimientos de acuerdo a su actividad industrial con el código SCIAN (INEGI, Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), 2008) el cual se utiliza para clasificar las actividades industriales de manera comparable en los tres países de América del Norte.

Tabla 2. Clasificación SCIAN de fuentes de fijas

Subsector Industrial	Clave Scian	Número de fuentes	
		Estatal	Federal
Almacenamiento de combustibles	493	1	-
Accesorios, aparatos eléctricos, y equipos de generación eléctrica	335	40	-
Alimentos y bebidas	311	44	-
Automotriz	336	3	18
Celulosa y papel	322	-	8
Cemento y cal	327	-	4
Extracción/beneficio minerales no metálicos	212	4	-
Generación de energía eléctrica	221	-	2
Impresión	323	15	-
Industria textil	314	3	-
Madera	321	1	-
Manejo de desechos y remediación	562	6	2
Metálico	332	56	
Metalúrgica (incluye siderúrgica)	331	-	13
Mezclas químicas	325	11	-
Minerales no metálicos	327	10	-
Otros	339	9	
Papel y cartón	341	4	-
Petróleo y petroquímica	493	-	1
Pinturas y tintas	325		1
Plástico y hule	326	41	-
Química	325		31
Vidrio	327	-	3
<b>Total</b>		<b>248</b>	<b>83</b>

Se incorporaron las estimaciones de un total de 331 empresas, que tienen registrada la Cédula de Operación Anual, tanto a nivel estatal como Federal.

En la siguiente grafica se muestra la distribución porcentual de cada giro de empresas, respecto del total, para el estado de Querétaro.



Grafica 1. Distribución porcentual de subcategorías fuentes fijas

En esta se observa que el mayor número lo comprende la fabricación de productos o partes metálicas, seguida por la industria de alimentos y bebidas y la industria de manufactura de accesorios, aparatos y equipos de generación de energía eléctrica.

### II.1.1. Metodología de estimación para fuentes fijas

La metodología para la estimación de las emisiones de fuentes fijas utilizada es la establecida en el Programa de Manuales de Inventarios de Emisiones para México, AirChief-12 (USEPA, 2009) y métodos de cálculo de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) AP-42.

La información requerida para la estimación fue proporcionada de las Cédulas de Operación Anual tanto estatales como federales, en las cuales se obtuvo información referente a: tipo de proceso, equipos, consumo y tipo de combustibles, materias primas y cantidad y tipo de productos.

A esta información se le realiza un proceso de verificación y validación para el aseguramiento de control de calidad, conforme a las características del estado, variabilidad en los procesos, equipo, materias primas utilizadas puede reflejar ligeras variaciones en el cálculo de las emisiones.

Conforme a la información obtenida, los métodos usados para la estimación fueron los siguientes:

**Factor de Emisión (FE).**

Para la estimación con el método de factor de emisión se utilizaron los factores de emisión establecido por USEPA AP-42, considerando FIRE 6.25 y AirChief-12, usando la siguiente ecuación:

$$E = A \times EF \times \left( \frac{1 - ER}{100} \right)$$

E	=	Emisiones,
A	=	Actividad tasa,
EF	=	Factor de la emisión, y
ER	=	Eficiencia de la reducción de la emisión global, %.

Este método se aplicó en fuentes en las que no se contó con información de muestreo en fuente, o cuando la información no estaba completa o no era incongruente.

**Medición Directa (MD).**

Este método se usó para las fuentes en las cuales fue posible reproducir los datos reportados de muestreo sobre características de chimenea, concentración, operación del equipo, usando el siguiente procedimiento:

1. Se calcula el gasto volumétrico conforme a la siguiente ecuación:

$$Gv = 0.785 * \theta^2 * V * 60$$

Dónde:

Gv	=	Gasto volumétrico en m <sup>3</sup> /min.
0.785	=	Valor que resulta de dividir $\pi/4$
$\theta$	=	Diámetro de la chimenea en metros
60	=	Factor de conversión a minutos
V	=	Velocidad de salida de los gases en m/s

2. Teniendo el gasto volumétrico, se calcula la emisión:

$$E = \frac{Conc * Gv * 60 * \theta_{Operacion}}{10E^8}$$

Dónde:

E	=	Emisión calculada en Mg al año.
Gv	=	Gasto volumétrico obtenido en m <sup>3</sup> /min.
$\theta$	=	Tiempo de operación del equipo evaluado
60	=	Factor de conversión a horas
10E <sup>8</sup>	=	Factor de conversión de mg a Mg

### **Cálculos de Ingeniería (CI).**

Se realizó en los casos en los cuales no se contó con suficiente información para uso de los métodos anteriores. En estos casos, los cálculos se realizaron considerando las características técnicas y operativas del equipo y del proceso, especificando en las hojas de cálculo las consideraciones realizadas.

### **Balance de Materiales (BM).**

Este método se consideró para estimar compuestos orgánicos volátiles en actividades de proceso que implican el uso de solventes. Se realiza mediante el análisis un proceso específico para determinar las emisiones generadas al agua y suelo y con ello se calcula las emisiones generadas a la atmosfera.

### **Consideraciones Técnicas (CT).**

Estas se realizan cuando no se tiene información suficiente para la aplicación de los métodos descritos para la estimación de algún contaminante específico y siempre se especifican en las hojas cálculo.

En todos los inventarios se usan dos o más métodos de estimación, dependiendo de la información que se logró recabar, dada la necesidad de evaluar contaminantes específicos que dependen del tipo de proceso que se realice y características de equipos.

## **II.1.2. Control de calidad fuentes fijas**

Para asegurar la calidad de la información obtenida se realizó el análisis y revisión, aplicando diferentes criterios entre los cuales se destacan los siguientes:

- Si el consumo de combustible reportado es congruente la capacidad de los equipos de combustión utilizados. En caso de identificar que el dato no es correcto se revisa la capacidad del equipo y la cantidad de combustible, así como el comportamiento histórico que se tenga, con lo cual se podrá hacer la corrección del dato.
- Si se reportan combustibles alternos de los cuales no se cuente con factor de emisión se realiza la estimación considerando como medición directa.
- Para los casos en los cuales no existen factores de emisión por proceso o combustión se usaron los establecidos por EPA y la CARB (California Air Resources Board)
- Cuando no se especifica el tipo de quemador con el que se cuenta, se considera como quemador normal.

- En caso que se especifique que las emisiones reportadas fueron calculadas por balance de materia, se verifica que éste sea congruente con las características de los equipos y cantidad de combustible utilizado.
- Respecto a la calidad de los combustibles, se tomó el porcentaje de azufre reportado por PEMEX, así como el contenido de cenizas para coque de petróleo.
- Si se reportan sistemas de control, se verifica que realmente se tenga la eficiencia del equipo, si no se tiene la eficiencia, se realiza la consulta bibliográfica. En caso de que se reporte una eficiencia mayor a la encontrada, se debe tomar la bibliográfica.
- Para los sistemas de control de techos flotantes en terminales de almacenamiento de PEMEX se consideró una eficiencias del 95% para COV.
- En caso de que se reporten emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), siempre se verifica el dato, realizando la estimación con factor de emisión o balance de materia según aplique.
- Para la estimación de compuestos orgánicos totales (COT), estos se calculan considerando las emisiones de orgánicos volátiles y metano, si no se cuenta con el dato de metano las emisiones de COT serán las mismas que las emisiones de COT reportadas.
- Cuando se tienen equipos de combustión interna, se debe verificar de que tipo es si de turbina o reciprocante, en caso de no contar con información considera como turbina y se realiza la estimación por factor de emisión para cualquier caso.
- Si se identifican emisiones por combustión y por proceso, se realiza la estimación por combustión y por proceso.

## II.2. Fuentes de área

Las fuentes de área están definidas como aquellas que son demasiado numerosas y dispersas para ser incluidas de manera eficiente dentro de un inventario de fuentes puntuales, pero que en conjunto, emiten contaminantes al aire de manera significativa<sup>5</sup>.

Los inventarios de fuentes de área integran a las emisiones de fuentes similares dentro de categorías y cada una de estas categorías está integrada por subcategorías de fuente más específicas y que son definidas por un proceso de emisión similar, o bien por la similitud de los métodos para una mejor estimación de las emisiones. Para este caso se agruparon en 9 Categorías y 46 Subcategorías, las cuales fueron desagregadas en función del combustible utilizado o alguna característica común.

A continuación se hace una descripción de cada una de las categorías y se mencionan las subcategoría evaluadas en cada una de ellas.

---

<sup>5</sup> SEMARNAT INEM 2005 (Radian 1997).

1. *Combustión en fuentes estacionarias*

Incluye el uso de combustibles derivados del petróleo (gas L P, gas natural, diésel) de los sectores industrial, comercial, agropecuario y residencial.

2. *Uso de solventes*

En esta categoría se integran actividades en las cuales se utilizan solventes en sus procesos como: artes gráficas, aplicación de asfalto, lavado en seco, pintura automotriz y señalización vial, recubrimiento de superficies industriales y de superficies arquitectónicas, limpieza de superficies industriales.

3. *Uso comercial y domestico de solventes*

Esta subcategoría incluye: productos en aerosol, domésticos, de cuidado personal, automotriz, adhesivos y selladores, pesticidas comerciales y domésticos y productos misceláneos.

4. *Almacenamiento y transporte de derivados del petróleo*

En esta categoría se consideran las emisiones evaporativas asociadas al almacenamiento y transporte de productos del petróleo como: Manejo y distribución de gas licuado de petróleo, manejo y distribución de gasolinas y diésel.

5. *Fuentes industriales ligeras y comerciales*

Incluye actividades de construcción, asados al carbón, ladrilleras y panificación.

6. *Agropecuaria*

Esta categoría incluye, para las actividades agrarias aplicación de fertilizantes, plaguicidas y labranza, así como actividades ganaderas.

7. *Manejo de residuos*

Se incluye emisiones provenientes del tratamiento de aguas residuales, calculándose COV generados por las aguas residuales sin tratar y quema de tiraderos.

8. *Fuentes misceláneas*

En esta categoría se incluyen las emisiones originadas por incendios de construcciones, incendios forestales, quemas agrícolas, emisiones domésticas de amoniaco, esterilización de material hospitalario, polvos de caminos pavimentados y no pavimentados y bancos de materiales.

9. *Fuentes no carreteras*

Esta categoría comprende todos aquellos vehículos de combustión interna que para su funcionamiento utilizan combustibles fósiles o biogénicos como el etanol, sin embargo, no circulan por vialidades y sus emisiones son más puntuales. Los tomados para este inventario fueron los siguientes: Aeronaves, locomotoras y terminales de autobuses.

## II.2.1. Datos de actividad para fuentes de área

La información requerida para cada una de las categorías se solicitó a las dependencias correspondientes de manera oficial a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Querétaro, a continuación se enlista la información solicitada.

Tabla 3. Lista de verificación de datos de actividad de fuentes de área por subcategoría

Categoría	Información solicitada	Dependencias
<b>Consumo de combustibles en fuentes estacionarias</b>		
Combustión agrícola, comercial, doméstica e industrial.	Venta de combustibles (Gas Lp, Gas Natural y Diésel) en el estado desglosada por sector.	PEMEX, Secretaría de Energía SENER, Comisión reguladora de Energía CRE.
<b>Almacenamiento y distribución de combustibles</b>		
Almacenamiento y distribución de gas LP	Volumen distribuido de gas LP en el estado de Querétaro	Secretaría de Energía (SENER) y Comisión Reguladora de Energía (CRE)
Distribución de combustibles (gasolinas y diésel)	Estaciones de distribución y autoconsumo	Petróleos Mexicanos (Centrales de distribución en el Estado)
<b>Agropecuarias</b>		
Aplicación de fertilizantes y plaguicidas	Fertilizantes y plaguicidas aplicados	Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Querétaro (SEDEA). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
Corrales de engorda de ganado y Emisiones de amoníaco	Número de cabezas producidos y en corrales	
Labranza y cosecha agrícola	Superficie sembrada y cosechada por tipo de cultivo en el estado de Querétaro.	
<b>Consumo de solventes</b>		
Artes gráficas	Número de empleados y venta de productos	Censo económico, INEGI 2014
Lavado en seco de ropa	Padrón de establecimientos comerciales y de servicio. Número de establecimientos y empleados.	Dirección de desarrollo económico municipal. Censo económico, INEGI 2014
Limpieza de superficies industriales		
Talleres de hojalatería y pintura		
Pintura para la señalización vial	Volumen de pintura de señalización vial utilizada	Servicios públicos municipales, Secretaría de Comunicación y transporte (SCT)
Asfaltado	Cantidad y tipo de emulsión y carpeta asfáltica	
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	Cantidad y tipo de sustancias utilizadas	Dirección de Obras Públicas
Recubrimiento de superficies industriales	Número de empleados del sector y unidades económicas	Censo económico, INEGI 2014
Uso comercial y doméstico de solventes	Población del estado y municipios de Querétaro para el año 2015	Censo económico, INEGI 2014
<b>Residuos</b>		
Tratamiento de aguas residuales	Volumen de agua residual generada, colectada y tratada.	Comisión Estatal de Aguas (CEA) Querétaro
Residuos sólidos Urbanos	Rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto.	Secretaría de Desarrollo Sustentable (SEDESU)
<b>Fuentes Industriales, comerciales ligeras</b>		
Actividades de Construcción	Número de licencias de construcción expedidas.	Dependencias municipales.
Asados al carbón	Padrón de establecimientos comerciales y de servicios. Num. establecimientos y empleados.	Dirección de desarrollo económico Censos económicos INEGI 2014
Panaderías		
Ladrilleras	Número de hornos y combustibles usados.	Investigación de campo

Continuación tabla 3. Lista de verificación de datos de actividad de fuentes de área por subcategoría

<b>Misceláneas</b>		
Emisiones domésticas de amoníaco	Población del estado y municipios de Querétaro para el año 2015	Encuesta Intercenal INEGI, 2015.
Continúa Tabla 3. Lista de verificación de datos de actividad de fuente de área por subcategoría		
Esterilización en hospitales	Padrón de hospitales con el número de camas censables.	Dirección municipal de Salud. Secretaría de Salud del Estado
Incendios a casa habitación	Número de incendios y superficie siniestrada.	Protección Civil Estatal y municipal.
Incendios forestales y quemas agrícolas	Incendios ocurridos y área siniestrada.	SIAP-SAGARPA/CONAFOR
Polvos en caminos	Superficie de caminos no pavimentados	Dirección de movilidad y transporte municipal. Secretaría de Comunicación y Transporte SCT
Banco de materiales	Número de bancos de material y volumen extraído.	Secretaría de Desarrollo Sustentable (SEDESU)
<b>Fuentes no carreteras</b>		
Terminales de autobuses	Distribución de la flota estatal por tipo de vehículo y tipo de combustible.	Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT)
Locomotoras	Número de locomotoras de patio y km de vías, cantidad de combustible consumido	Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT)
Aeronaves	Ubicación, número de aeronaves y número de operaciones anuales	Aeropuerto Intercontinental de Querétaro

La información de población utilizada fue la reportada por el INEGI en la encuesta intercesal 2015.

En el caso del consumo de combustibles, se obtuvo el consumo durante el año 2015, por combustible y por sector, de parte de la Secretaría de Energía y de la Comisión Reguladora de Energía, para el estado. Por su parte PEMEX proporcionó además la ubicación de estaciones de servicio.

Para el gas natural, se reportó consumo global de éste en las zonas metropolitanas del estado, así como del municipio de Pedro Escobedo, lo que presupone no hay consumo del mismo en el resto de los municipios. Respecto del gas LP se reporta el consumo de este para todo el estado. En ambos casos no se obtuvo desagregado por municipio. El consumo de diésel industrial se consideró sólo en las zonas metropolitanas del Estado.

Para el consumo de leña<sup>6</sup>, fue tomado el balance energético reportado por la CRE, la cantidad de energía emitida, como referencia para el cálculo de la masa consumida de la misma en el estado.

<sup>6</sup> INEGI Tabulados de la encuesta Intercenal 2015

Un aspecto importante de mencionar, es la información sobre el padrón de establecimientos comerciales y de servicios, que en varios municipios no se proporcionó, por lo que las estimaciones fueron realizadas en base a datos estadísticos del censo económico 2014, del INEGI.

Respecto de pinturas y recubrimientos, los consumos considerados fueron obtenidos de los datos reportados del Censo económico 2014 INEGI, de la Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas (ANAFAPYT) y para uso de solventes en lavado en seco de la Cámara Nacional de la Industria de Lavanderías (CANALAVA).

La información correspondiente a ladrilleras se obtuvo mediante un muestreo. En este muestreo, el combustible de mayor uso registrado, fue la madera, la cual desplazó casi en su totalidad al combustóleo anteriormente usado, sin embargo se registró también el uso de residuos plásticos, textiles y basura en cantidades bastante considerables y en algunos casos desechos industriales no conocidos.

En el caso de Residuos Sólidos Urbanos, la información proporcionada por la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SEDESU) y por las direcciones de servicios públicos municipales, reportando que no se tuvieron quemas registradas en ninguno de los sitios de disposición final durante el año 2015.

De la misma manera no se obtuvieron reportes por parte de protección civil sobre quema a tiraderos.

### II.2.2. Metodología de estimación para fuentes de área

Las emisiones de cada una de estas fuentes se presentan en una gran variedad de formas, sin embargo, el método de estimación de emisiones es el mismo en general, este sigue el método de factor de emisión dado por tipo de actividad y el tipo de contaminante. La ecuación general para la estimación de emisiones es:

$$E = A * EF$$

Donde:

$E$  = Emisiones

$A$  = Datos de actividad

$EF$  = Factor de emisión específico para cada actividad y para cada contaminante

En su mayoría las emisiones se estimaron a partir de datos que describen la intensidad de la actividad y factor de emisión, otras se realizaron combinando factores de emisión y balances de combustibles y solventes.

Asimismo para algunas subcategorías, los factores de emisión se tomaron de referencia los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México, volumen V (Radian 1997), así como las metodologías aplicadas en INEM 1999 y 2005 (INE-SEMARNAT 2006, SEMARNAT 2012) y la establecida en el Manual de Estimación de Emisiones de Fuentes de Área (SEMARNAT 2010).

Sobre la información de datos de población, empleo y consumo, se obtuvo del Censo de población y vivienda INEGI 2015, la información sobre empleo se obtuvo de Censo Económico INEGI 2014. En cuanto a la información obtenida de cámaras o asociaciones, se menciona en cada base de datos por subcategoría de donde se obtuvo y el año de referencia.

Las consideraciones al manejo, aplicación, agrupamiento y clasificación de la información de padrones y estadísticas se detallan en los documentos de hojas de cálculo respectivos de cada subcategoría.

### **II.2.3. Control de calidad fuentes de área**

Es importante hacer mención de algunas de las consideraciones y criterios tomadas como parte del control de calidad para realizar las estimaciones.

- La información se recopiló impresa, en formatos electrónicos pdf y Excel, por lo que se procedió a la integración de bases de datos, después se llevó a cabo una verificación de integridad de la misma comparando con el original y analizando la congruencia de la misma.
- Los datos de actividad recopilados de las dependencias e instituciones de gobierno, fueron analizados para verificar la congruencia de cada uno de ellos, y se realizó el contacto directo vía telefónica con los responsables de la información para especificar qué información era la requerida y validar que la información proporcionada era la que se solicitó.
- En los casos en los cuales no fue posible tener una precisión de la información proporcionada por las dependencias, se usaron datos estadísticos. En cada una de las hojas de cálculo se precisan las referencias de los datos de actividad y en su caso las consideraciones que se realizaron.

### **II.3. Fuentes naturales**

Como fuentes naturales, se consideran a aquellas que emiten contaminantes atmosféricos que no provienen directamente de actividades humanas. Las fuentes naturales se clasifican en biogénicas y geogénicas.

Las fuentes biogénicas incluyen las emisiones de COV producidas por los bosques o por los cultivos, así como las emisiones de NOx provenientes del suelo, las fuentes geogénicas son de origen geológico: volcanes, géisers, manantiales de aguas sulfurosas y filtraciones de aceite que suelen registrarse en ambientes marinos.

Es importante mencionar que la vegetación y el suelo, como componentes naturales, no son fuentes emisoras de contaminantes; sin embargo, en los bosques y en la agricultura se generan emisiones de

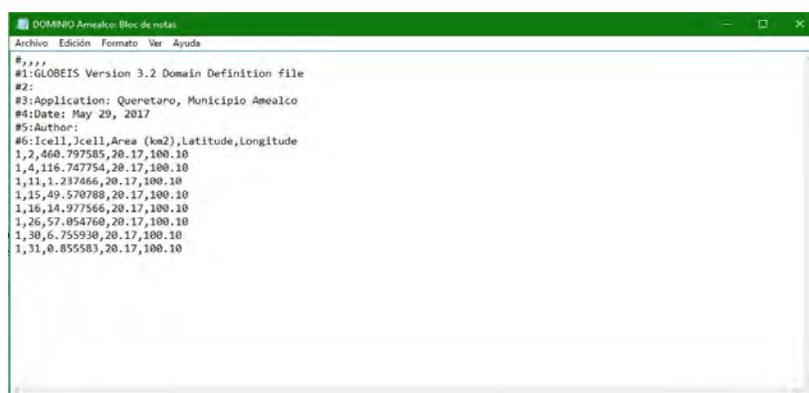
gases tales como el carbono y el nitrógeno provenientes de los procesos de decomposición de la biomasa en materia orgánica; del mismo modo, también contribuyen con emisiones que forman parte de los ciclos generadores de sustancias precursoras de estos, en este caso estamos hablando de los compuestos orgánicos volátiles. Sin embargo, la importancia de la estimación de estas emisiones estriba en que a nivel global pueden ser iguales o de mayor magnitud que las generadas por actividades antropogénicas<sup>7</sup>. Por lo que es importante cuantificar las emisiones de COV's de fuentes biogénicas para tener una perspectiva completa de la cantidad de compuestos precursores de contaminantes secundarios que son emitidos y establecer estrategias para un manejo integral de la calidad del aire.

### II.3.1 Metodología y cálculo de estimación de fuentes naturales.

Para la estimación de fuentes biogénicas, se usó el modelo GloBEIS (Global Biosphere Emissions and Interactions System, Sistema Global de Interacciones y Emisiones de la Biósfera) en su versión 3.2 modificado para México.

Se realizó el acopio de información sobre extensión de la cubierta vegetal, biomasa, variables meteorológicas, uso de suelo, y tipos de vegetación. De la cartografía de uso de suelo y vegetación escala 1:50 000 proporcionada por la SEDESU actualizada al año 2015. Se realizó además el cálculo de las áreas de cada tipo de vegetación y uso de suelo, así como el cálculo de las mismas áreas de los municipios y sus centroides geográficos.

Para la integración de los datos al modelo, es preciso nombrarlos en base a un "icell" "celda i", que es la variable de identificación dentro del software, de tal manera que "icell" define al municipio, que en este caso es Amealco, y "jcell" identifica a los distintos tipos de vegetación y uso de suelo de este municipio, como se observa en la siguiente:



```

DOMINIO Amealco: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
#####
#1:GLOBEIS Version 3.2 Domain Definition file
#2:
#3:Application: Queretaro, Municipio Amealco
#4:Date: May 29, 2017
#5:Author:
#6:Icell,Jcell,Area (km2),Latitude,Longitude
1,2,460.797585,20.17,100.10
1,4,116.747754,20.17,100.10
1,11,1.237466,20.17,100.10
1,15,49.570788,20.17,100.10
1,16,14.977566,20.17,100.10
1,26,57.054760,20.17,100.10
1,30,6.755930,20.17,100.10
1,31,0.855583,20.17,100.10

```

Figura 2. Extracto de la base de datos de entrada.

<sup>7</sup>INEM 2005 (SEMARNAT 2012)

Con lo anterior, se generaron bases de datos a nivel municipal por tipo de usos de suelo y vegetación, para los cuales la versión modificada para México del Globeis 3.2 tiene asignados factores de emisión y biomasa.

Tabla 4. Identificación de los tipos de vegetación y uso de suelo, con la clave (código) e icell

CLAVE INEM	jcell	Tipo de vegetación y uso de suelo
77772	2	Agricultura
77774	4	Pastizal Inducido (PZI)
77776	6	Selva Caducifolia (SVC)
77777	7	Bosque Cultivado (BC)
77780	10	Bosque de Oyamel (BA)
77781	11	Bosque de Pino (BP)
77782	12	Bosque de Pino-Encino (BPQ)
77783	13	Bosque de Táscate (BJ)
77785	15	Bosque de Encino (BQ)
77786	16	Bosque de Encino-Pino (BQP)
77787	17	Bosque Mesófilo de Montaña (BOM)
77789	19	Matorral Xerófilo (MX)
77790	20	Vegetación Hidrófila (OVH)
77791	21	Vegetación de Galería (OVG)
77796	26	Vegetación Secundaria de Bosque (VS/BO)
77797	27	Vegetación Secundaria de Selva (VS/SV)
77798	28	Vegetación Secundaria de Matorral Xerófilo (VS/MX)
77799	29	Vegetación Secundaria de Otros Tipos de Vegetación (VS/OV)
77800	30	Cuerpos de Agua (H2O)
77801	31	Áreas Urbanas (AU)
77802	32	Selva Perennifolia (SVP)

La siguiente figura muestra un extracto de la base de datos de entrada que contiene esta información para el Municipio de Amealco de Bonfil.

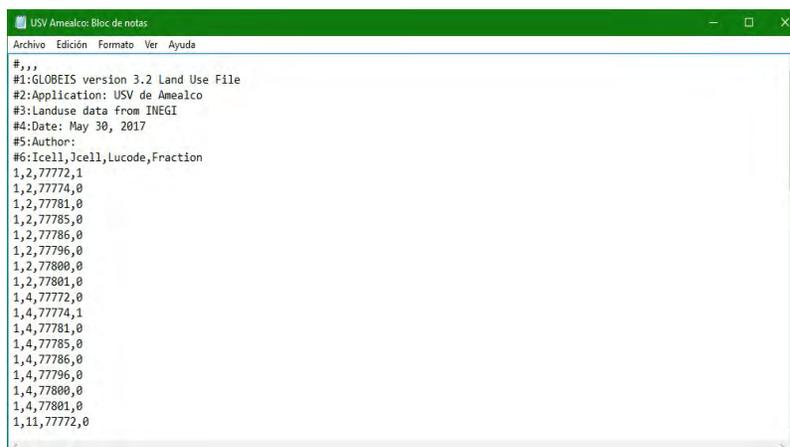


Figura 3. Extracto de la base de datos sobre tipos de uso de suelo y vegetación.

En la tabla siguiente se hace relación de los distintos tipos de vegetación y uso de suelo existentes en el Estado de Querétaro, así como sus correspondientes superficies en kilómetros cuadrados. Se resalta que se homologaron los distintos tipos de vegetación que reportan INEGI con aquellas categorías consideradas por el Inventario Nacional de Emisiones, que es la clasificación requerida para trabajar en el software de cálculos de emisiones.

Tabla 5. Superficie de tipos de vegetación y usos de suelo en el Estado de Querétaro.

Uso de Suelo Forestal	Superficie (Ha)	
Pastizal Inducido (PZI)	78,498.41	304,261.02
Selva Caducifolia (SVC)	48,028.02	
Bosque Cultivado (BC)	0.00	
Bosque de Oyamel (BA)	470.08	
Bosque de Pino (BP)	48,764.45	
Bosque de Pino-Encino (BPQ)	23,742.88	
Bosque de Táscate (BJ)	6,205.40	
Bosque de Encino (BQ)	87,157.14	
Bosque de Encino-Pino (BQP)	3,273.90	
Bosque Mesófilo de Montaña (BOM)	4,911.27	
Selva Perennifolia (SVP)	3,209.47	

Continuación tabla 5. Superficie de tipos de vegetación y usos de suelo en el Estado de Querétaro.

Uso de suelo asociado a tipos de vegetación no forestal	Superficie (Ha)	
Matorral Xerófilo (MX)	320,358.54	498,700.64
Vegetación Hidrófila (OVH)	0.00	
Vegetación de Galería (OVG)	0.00	
Vegetación Secundaria de Bosque (VS/BO)	52,837.55	
Vegetación Secundaria de Selva (VS/SV)	35,187.55	
Vegetación Secundaria de Matorral Xerófilo (VS/MX)	89,127.57	
Vegetación Secundaria de Otros Tipos de Vegetación (VS/OV)	1,189.44	
Otros usos de suelo	Superficie (Ha)	
Agricultura	322,955.11	368,743.79
Cuerpos de Agua (H2O)	2,055.15	
Áreas Urbanas (AU)	43,733.53	
<b>TOTAL</b>	<b>1,171,705.45</b>	

Así también se recopiló información meteorológica del estado proporcionada por la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro de las estaciones meteorológicas que a continuación se enlistan.

Tabla 6. Estaciones meteorológicas del Estado de Querétaro

Estación	Municipio	Estación	Municipio
Amealco	Amealco	Peñamiller	Peñamiller
Cavas Freixenet	Ezequiel Montes	Plaza Altamira	Querétaro
Centro de Congresos	Querétaro	Plaza Escobedo	Querétaro
Colón	Colón	Pueblo Nuevo	Corregidora
CONCYTEQ	Cadereyta	La Rochera	Querétaro
El Marqués	El Marqués	San Antonio Punta	Querétaro
El Milagro	Huimilpan	San Joaquín	San Joaquín
Ezquiel Montes	Ezequiel Montes	Santa Rosa de Jáuregui	Querétaro
Huimilpan	Huimilpan	TECMTY	Pedro Escobedo
Jalpan	Jalpan de Serra	Tequisquiapan	Tequisquiapan
JAPAM	San Juan del Río	Tolimán	Tolimán
Jurica	Querétaro	Landa de Matamoros	Landa de Matamoros
La Obrera	Querétaro	UTEQ	Querétaro
Oficinas Centrales	Querétaro	UTSJR	San Juan del Río
Pedro Escobedo	Pedro Escobedo	UTC	Corregidora
Arroyo Seco	Arroyo Seco	UEPC	Pinal de Amoles

De las variables consideradas en el modelo, fueron la radiación solar y la temperatura, con los cuales se obtuvo el cálculo de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), en cada municipio.

En seguida son introducidos al software.

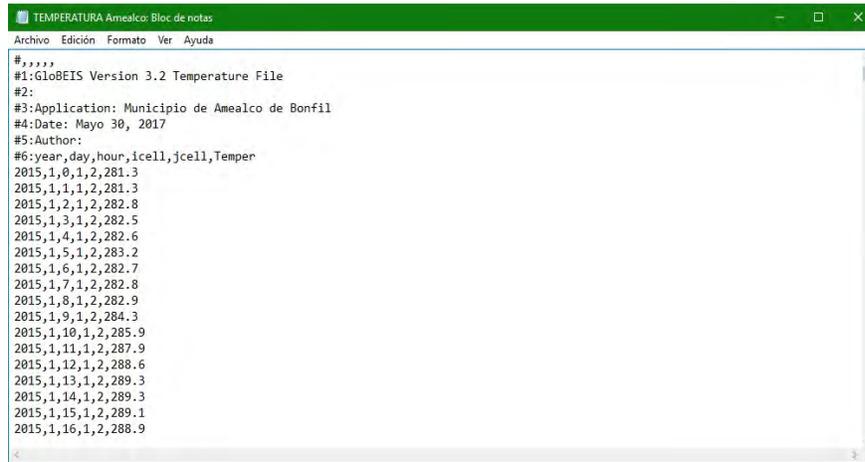


Figura 4. Extracto de la base de datos de entrada de los datos de temperatura

Para las corridas el huso horario fue de las cero a las veintitrés, del día uno al día 365, del año 2015.

Para el cálculo de las emisiones se utilizaron datos de radiación fotosintéticamente activa y temperatura en datos horarios para los 365 días del año, para cada municipio. Se utilizó el mecanismo de especiación Native (para obtener resultados en unidades de masa) considerando el número de bóveda de 5 capas (recomendado por el propio modelo) y el factor de emisión para el isopreno de 1<sup>8</sup>.

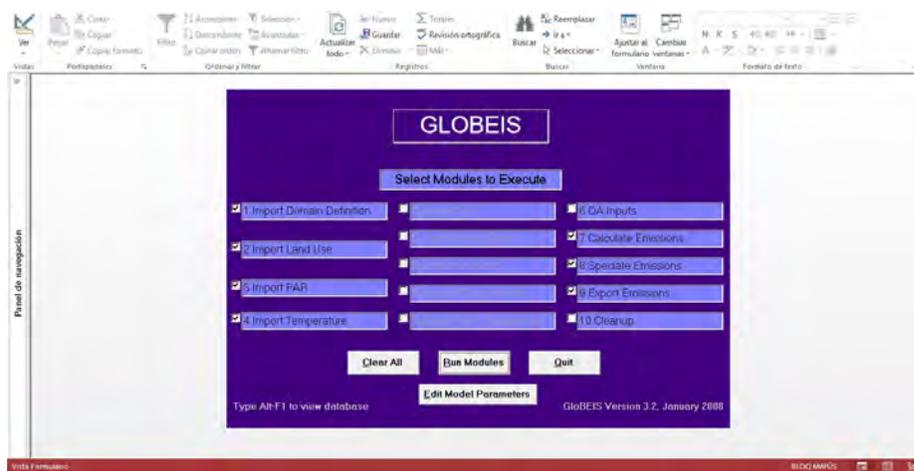


Figura 5. Interfaz de inicio de GloBEIS

<sup>8</sup> (Yarwood, Wilson, Shepard, & Guenther, 2007) User's Guide to the Global Biosphere Emissions and Interactions System (GloBEIS) Version 3.2

### II.3.2 Control de calidad fuentes naturales

Las actividades que sirven para el control y el aseguramiento de la calidad, incluyen, entre otras cosas, actividades para asegurar la precisión de los datos obtenidos, su tratamiento y procesamiento, así como la construcción y generación de las bases de datos tal y como son requeridas por el software a utilizar, lo que a su vez conlleva la revisión de información, cálculos y el uso de más herramientas para el cumplimiento de estos objetivos.

A continuación se mencionan los criterios usados:

- Revisión de la integridad y exactitud de los datos recopilados para cada municipio, donde el procesamiento de los recursos geográficos fue realizado en el software ArcGis 10.3.1.
- Homologación de las distintas clases de vegetación y usos de suelo de la cartografía de la Serie V con la utilizada por el software, adoptando las claves que este software le asigna. De igual forma, se les asignó la clave a los municipios para dar congruencia y concordancia a sus correspondientes clases de vegetación que hay en su interior, y de esta forma obtener los resultados tanto por tipo de vegetación como por municipio.
- Las bases de datos meteorológicas fueron revisadas, verificando el orden y la cantidad de los datos horarios, para después corroborar las tendencias de radiación solar y temperatura a lo largo del día.
- Para los datos meteorológicos, se aplicaron las buenas prácticas adoptadas por el Inventario Nacional de Emisiones de México 1999, para aquellos municipios que no contaran con información meteorológica.
- Se integraron las bases de datos, para posteriormente ser alimentados al modelo.
- Se utilizó el módulo de GloBEIS sobre calidad, para realizar el aseguramiento de la misma de los datos importados (Module QA Inputs), el cual verifica antes de cada corrida que la información sea consistente entre sí y en caso de haber información errónea no realiza cálculos.
- Una vez realizadas las corridas, se corroboró la correspondencia de los resultados con cada uno de los tipos de suelo y municipio.

## II.4. Fuentes móviles

Todos los vehículos automotores de combustión interna que circulan en vialidades generan emisiones a la atmosfera y representan una fuente importante de contaminación del aire.

Aunque las principales emisiones de las fuentes móviles se generan en el escape durante la combustión de hidrocarburos, también se generan emisiones evaporativas y durante el frenado por el desgaste de las llantas.

La estimación de fuentes móviles es de las más importantes en los inventarios, debido a su contribución de emisiones, siendo la principal fuente de emisión de diversos contaminantes.

### II.4.1. Metodología para estimación de fuentes móviles.

Las emisiones de las fuentes móviles se estimaron con la metodología establecida por SEMARNAT en el Manual VI “Desarrollo de Inventario de Emisiones de Vehículos Automotores” del Programa de Inventarios de Emisiones para México (SEMARNAT-INE, 1997). Esta metodología requiere de factores de emisión, aplicados a un dato de actividad. En las fuentes móviles, la actividad son los Kilómetros Recorridos por los Vehículos (KRV).

En lo que se refiere a emisiones, éstas se estiman mediante la siguiente ecuación:

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

Dónde:

$E_{ijk}$  = Emisión del tipo de vehículo i, año modelo j, del contaminante k [g/año]

$KRV_{ij}$  = Kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i, año modelo j [km/año]

$FE_{ijk}$  = Factor de emisión del tipo de vehículo i, año modelo j, del contaminante k [g/km]

Las emisiones generadas por fuentes móviles de vehículos a gasolina y a diésel se estimaron con el software MOVES-México (*Motor Vehicle Emission Simulator*), que es una versión del modelo para el cálculo de emisiones vehiculares MOVES2014a, desarrollado por la EPA (*Environmental Protection Agency*) de Estados Unidos. El modelo fue desarrollado en el año 2010 para sustituir al modelo MOBILE6 bajo el nombre de MOVES2010, en el año 2014 tuvo una actualización tomando el nombre de MOVES2014, y para diciembre de 2015 la EPA realizó una última adecuación del modelo con mejoras al mismo y lo renombró MOVES2014a.

La versión del modelo diseñada para México, basada en el MOVES2014a, fue desarrollada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID, a través del Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México, MLED y en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC y fue presentada en México en febrero del 2016. Esta versión considera datos meteorológicos, de combustibles y flota de los diferentes estados y municipios de México, así como actualizaciones de factores de emisión de acuerdo a mediciones de sensor remoto.

MOVES se desarrolló mediante el lenguaje de programación Java y MySQL. El proceso de modelado de emisiones requiere de información relacionada al tipo de vehículo, áreas geográficas, calidad de los combustibles, contaminantes a modelar, características de operación de los vehículos (actividad) y tipos de vialidad.

Las emisiones de los vehículos a gas natural y a gas LP se estimaron con factores de emisión de IPCC y para el caso del amoníaco se utilizaron los factores de emisión del estudio "*Investigation of Emission Rates of Ammonia and Other Toxic and Low-Level Compounds Using FTIR*", a continuación se citan las fuentes consultadas:

- IPCC-NGGIP (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol. 2, Energy)*: [http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustion.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf).
- IPCC-NGGIP (1996). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol.3 Energy)*: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ref5.pdf>.
- Durbin, T. D., Norbeck, J. M. and Huai, T. (Septiembre, 2001). *Investigation of Emission Rates of Ammonia and Other Toxic and Low-Level Compounds Using FTIR*. Center for Environmental Research and Technology. University of California USA. Consultado en 2009 de la página. <http://www.cert.ucr.edu/research/pubs/20903-ammonia.pdf>.

#### **II.4.2. Modelación con MOVES-México**

El modelo MOVES requiere información específica del padrón vehicular, actividad vehicular (kilómetros recorridos), meteorología y características de combustibles. A continuación, se presentan los tipos de vehículos y su homologación para la estimación de emisiones con el modelo MOVES-México.

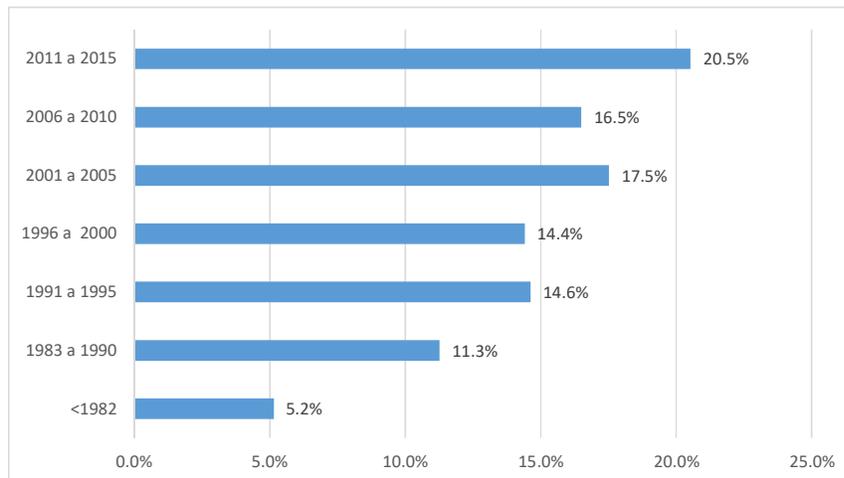
Tabla 7. Tipo de vehículos y su homologación en MOVES

Identificador MOVES	Nombre MOVES	Tipo de Vehículo
11	Motorcycle	Motocicletas
21	Passenger Car	Autos particulares
		Taxis
31	Passenger Truck	Camionetas SUV
		Pick up
		Combis y vagonetas
32	Light Commercial Truck	Vehículos ≤ 3.8 t.
42	Transit Bus	Autobuses de turismo
		Microbuses colectivos
52	Single Unit Short-haul Truck	Vehículos > 3.8 t. locales
53	Single Unit Long-haul Truck	Vehículos > 3.8 t. federales
61	Combination Short-haul Truck	Tractocamiones locales
62	Combination Long-haul Truck	Tractocamiones federales

#### II.4.2.1. Datos de actividad

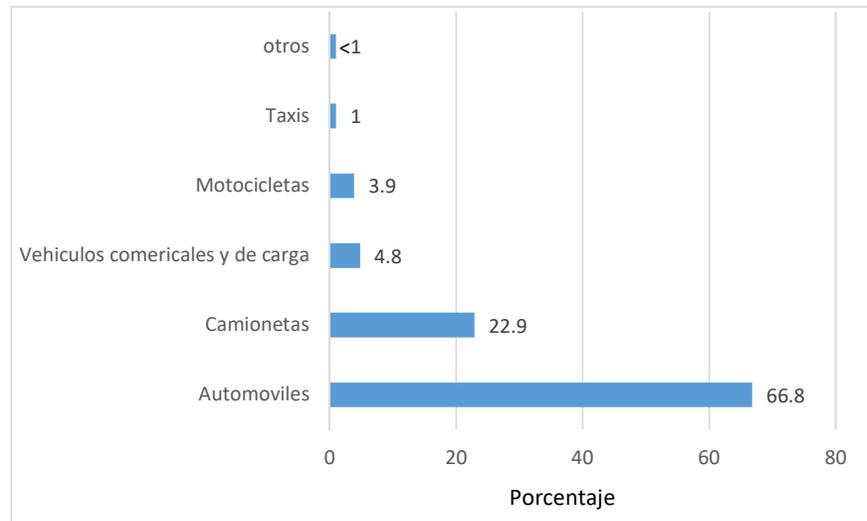
##### 1. Padrón vehicular.

Esta información se obtuvo del padrón vehicular estatal proporcionado por la SEDESU para vehículos registrados hasta el año 2015, en dicha base se encontró un registro de 668,400 vehículos registrados en el estado, a continuación se describe la información contenida en este padrón.



Gráfica 2. % de vehículos por año modelo, registrados en el Estado de Querétaro hasta el 2015

Conforme a la clasificación vehicular que se requiere para correr el modelo, se observa en la gráfica siguiente:



Gráfica 3. Porcentaje de tipo de vehículos

Así también se obtuvo información de las SCT de vehículos federales<sup>9</sup> registrado al 2015 en el estado de Querétaro, referentes a: autotransporte de carga, transporte terrestre de pasajeros, transporte turístico, transporte privado de carga, unidades de paquetería y mensajería y turismo. Dicha flota se comparó con la reportada en el padrón estatal con la finalidad de evitar duplicar registros.

## 2. Actividad Vehicular.

La actividad vehicular se establece en base a las condiciones de recorridos promedio como distancias recorridas, velocidad promedio. Esta información se obtuvo en campo a través de 505 encuestas aplicadas en diferentes puntos de la Zona Metropolitana de Querétaro, en anexo se describe a detalle el muestreo realizado y la información recopilada. Como complemento a las encuestas aplicadas se analizó la actividad promedio por tipo de vehículo y año modelo dentro del modelo MOVES-México, a continuación se presentan los kilómetros recorridos utilizados para la modelación.

<sup>9</sup> SCT Estadísticas básicas 2015, <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica/2015/>. 8/06/17.

Tabla 8. Kilómetros recorridos por tipo de vehículo y año modelo

Año Modelo	VKR							
	Motocicletas	Autos particulares, taxis	Camionetas SUV, Pick up, combis, vehículos < a 3.8 t.	Autobús pasaje, Microbús colectivo	Vehículos > a 3.8 t locales	Vehículos > a 3.8 t. federales	Tractocamiones locales	Tractocamiones federales
1985yant.	7189	8396	10133	27365	8489	3026	16133	4762
1986	7189	8396	10133	27365	9338	3977	22981	6460
1987	7778	8396	10133	28229	10186	4929	29830	8158
1988	8367	8478	10133	29189	11035	5880	36679	9856
1989	8839	8617	10133	30150	11884	6831	43527	11553
1990	9546	8811	10133	31110	12732	7782	50376	13251
1991	10371	9054	10155	32166	13581	8733	57225	14949
1992	11078	9345	10273	33222	14430	9684	64073	16647
1993	11785	9679	10474	34278	15278	10635	70922	18344
1994	12492	10054	10753	35431	16127	11587	77771	20042
1995	12845	10465	11109	36583	16975	12538	84620	21740
1996	13199	10909	11531	37831	17824	13489	91468	23438
1997	13670	11385	12014	39079	18673	14440	98317	25135
1998	14142	11888	12551	40327	19521	15391	105165	26833
1999	14731	12413	13137	41672	20370	16342	112014	28531
2000	15320	12959	13767	43016	25174	19580	125127	37784
2001	15909	13522	14431	44456	29978	22817	138240	47038
2002	16617	14098	15127	45897	34782	26055	151353	56291
2003	17442	14683	15846	47433	39586	29292	164465	65544
2004	18384	15276	16581	48969	44389	32529	177577	74798
2005	19327	15872	17329	50601	49193	35767	190690	84051
2006	20506	16468	18082	52330	53997	39004	203803	93305
2007	21802	17061	18834	53962	58802	42242	216915	102558
2008	23334	17648	19577	55786	63605	45479	230029	111812
2009	25220	18224	20308	57611	68409	48717	243141	121065
2010	27459	18786	21019	59531	73213	51954	256253	130319
2011	30287	19332	21703	61451	78017	55192	269366	139572
2012	34058	19858	22355	63468	82821	58429	282479	148826
2013	39361	20359	22968	65580	82821	58429	282479	148825
2014	47611	20835	23537	67788	82821	58429	282479	148825
2015	62931	21280	24057	69997	82821	58429	282479	148825

### 3. Meteorología

El funcionamiento de un vehículo es afectado por las condiciones meteorológicas lo que afecta en la cantidad de emisiones contaminantes, la información requerida por el modelo es: temperatura, humedad relativa, presión barométrica y altitud. En este caso la información fue proporcionada la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro, de las estaciones ubicadas en todo el estado.

### 4. Características de combustibles.

Las características de combustibles se recabaron de la información disponible de Petróleos Mexicanos<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Pemex, Hojas de datos de seguridad. <http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content&sectionID=18&catID=1082>. 9/06/17

Para la obtención de factores de emisión con el modelo MOVES-México primero se realizaron corridas tipo inventario, a nivel estatal con las consideraciones de flota, actividad, meteorología y combustibles de Querétaro. Para cubrir todos los tipos de vehículos se realizaron tres corridas.

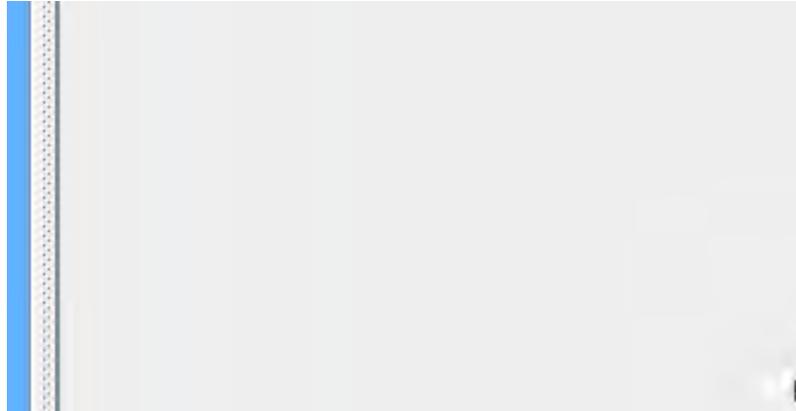


Figura 6. Inicio de la corrida en MOVES

La información necesaria para el cálculo de emisiones de cada corrida se alimenta en el software mediante tablas de Excel:

- SourceTypeYear – Cantidad de vehículos por tipo
- SourceTypeAgeDistribution – Distribución de la flota según su año modelo
- SourceTypeYearVMT – Millas recorridas por tipo de vehículo
- AVFT – Distribución vehicular de acuerdo a su combustible
- FuelFormulation – Propiedades de los combustibles
- FuelSupply – Consumo de combustibles
- HourVMTFraction – Distribución de actividad vehicular por hora
- DayVMTFraction – Distribución de actividad vehicular por tipo de día
- MonthVMTFraction – Distribución de actividad vehicular por mes
- RoadTypeDistribution – Distribución vehicular por tipo de camino
- AvgSpeedDistribution – Distribución de velocidad por hora, día, tipo de camino y vehículo
- IMCoverage – Programa de verificación vehicular
- ZoneMonthHour – Promedios horarios mensuales de temperatura y humedad relativa

Se utilizaron las tablas por defecto del modelo para las distribuciones horarias, por tipo de camino, velocidad y de verificación vehicular ya que de acuerdo a la información analizada con las encuestas los datos utilizados en el modelo MOVES-México representan de forma adecuada la actividad vehicular del estado de Querétaro.

Las tablas son importadas al modelo en la siguiente sección:



Figura 7. Importación de datos en MOVES

Una vez obtenidas las emisiones a nivel estatal se corrió el script del modelo de "EmissionRates" para obtener factores de emisión en (g/km) los cuales fueron empleados para la estimación de emisiones a nivel municipal.

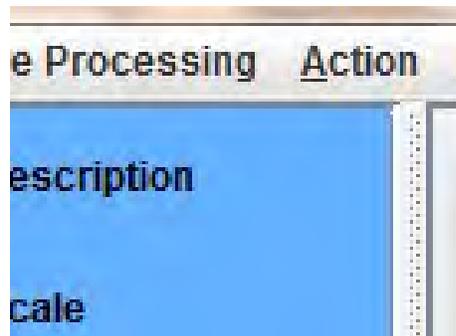
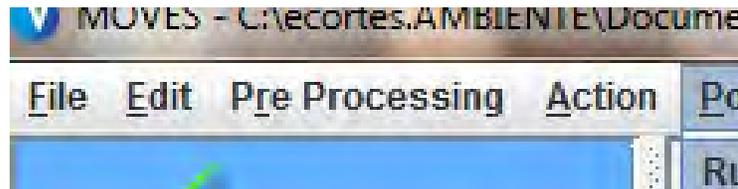


Figura 8. Selección del script del Modelo MOVES

El modelo MOVES permite calcular, además de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero, 45 contaminantes tóxicos.

Tabla 9. Contaminantes tóxicos estimados con MOVES-México

Contaminantes		
Etilbenceno	Fluoranteno	1,2,3,7,8- Pentaclorodibenzofurano
Estireno	Benzo(k)fluoranteno	1,2,3,6,7,8-hexaclorodibenzo furano
1,3-Butadieno	Criseno	1,2,3,6,7,8-hexaclorodibenzo-p-dioxina
Acroleína (2-Propenal)	1,2,3,4,6,7,8,9-Octaclorodibenzo-p-dioxina	2,3,4,6,7,8-hexaclorodibenzo furano
Tolueno	1,2,3,4,6,7,8-Heptaclorodibenzo-p-dioxina	1,2,3,4,6,7,8-Heptaclorodibenzofurano
Hexano	1,2,3,4,6,7,8,9-Octaclorodibenzofurano	1,2,3,4,7,8-hexacloruro-benzofurano
Antraceno	1,2,3,4,7,8-hexaclorodibenzo-p-dioxina	Benceno
Propionaldehído	1,2,3,7,8-Pentaclorodibenzo-p-dioxina	1,2,3,7,8,9-hexaclorodibenzofurano
Xileno	Formaldehído	Mercurio
Metil Ter-Butil Éter (MTBE)	Benzo (a) pireno	Níquel (compuestos)
2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina	2,3,7,8-tetraclorodibenzofurano	Arsénico
Benzoperileno	Dibenzoantraceno	Cromo (compuestos)
Indeno(1,2,3-cd)Pireno	2,2,4-Trimetilpentano	Acetaldehído
1,2,3,7,8,9-hexaclorodibenzo-p-dioxina	Benzoantraceno	Fenantreno
Benzo (b) Fluoranteno	2,3,4,7,8-Pentaclorodibenzofurano	Naftaleno

### II.4.3. Control de calidad

Una de los aspectos más importantes a cuidar para la estimación de fuentes móviles, es la validación de base de datos del padrón vehicular estatal, que contiene el número de vehículos por categoría, año modelo, uso, combustible y municipio.

1. La depuración de esta base consistió en:
  - Se omitieron: remolques dado que no tienen asociado un vehículo automotor, vehículos de colección y de demostración.
  - Verificación que no hubiera repetición de números de placa.
2. Una vez depurada la base de datos del padrón vehicular estatal, se desagregó por municipio año modelo de acuerdo a la clasificación vehicular que requiere el modelo.
3. Las bases de datos meteorológicas fueron revisadas y trabajadas en Microsoft Excel, verificando el orden y la cantidad de los datos horarios.

Dentro de la modelación con MOVES-México se verificó en cada corrida que el modelo utilizara las tablas de clasificación vehicular, combustibles, meteorología y actividad importadas en lugar de las tablas default en MOVES mediante la revisión de la tabla "MOVESTablesUsed" generada en la base de salida de cada corrida.

Como comprobación de la metodología se compararon las emisiones obtenidas al aplicar los factores de emisión contra las obtenidas con las corridas del modelo obteniendo variaciones no significativas.

## Referencias

- California Environmental Protection Agency. Determination of Particulate Matter Emissions From Stationary Sources. Air Resources Board 1997, Method 5.
- CCA, SEMARNAT 2001. Inventario Nacional de Emisiones de fuentes de área 2008. Informe final de proyecto México.
- Environmental Protection Agency. Air Chief Compilation of Air pollutant Emission Factors AP-42, version 11. December 2001.
- INE. Fundamentos del programa de inventarios de emisiones para México. 2001.
- Landa, R., J. Meave and J. Carabias (1998), "Environmental deterioration in rural Mexico: an examination of the concept", Ecological Applications, vol. 7(1), pp. 316-329.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1998. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de agosto de 2011.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1998. Última reforma publicada en el DOF 30 de agosto de 2011.
- (México), I. N. (2015). *Anuario estadístico y geográfico de Querétaro 2015 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Ciudad de México
- Radian International y Eastern Research Group- Manuales del Programa de Inventario de Emisiones de México; elaborado para: La asociación de Gobernadores del Oeste de Denver, Colorado y para el Comité Asesor Binacional.1996 al 2003.
- Salvador Medina Ramírez Institute for Transportation and Development Policy (ITDP Mexico) "Transforming Urban Mobility in Mexico" March 2012
- SEMARNAT, Manual para la elaboración y uso de inventarios de emisiones. Mayo de 2008.
- SEMARNAT/INECC, Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. México, 2005.
- SEMARNAT/INECC. Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999. Primera edición. México, 2006.
- SEMARNAT/INECC. Inventario Nacional de Emisiones de México, 2005
- SEMARNAT/INECC. Inventario Nacional de Emisiones de México, 2008
- USEPA.(2009).FIRE 6.25 Y AIRCHIEF-12.U.S.A
- Velasco, E., & Bernabé, R. (2004). Emisiones Biogénicas. México, D.F.: Jiménez Editores e Impresiones, S.A. de C.V., Para SEMARNAT, INE.
- Virginia H. Dale, 1997. The Relationship Between Land-Use Change and Climate Change. Ecological Applications: Vol. 7, No. 3, pag. 753-769
- Yarwood, Wilson, Shepard, & Guenther, 2007, User's Guide to the Global Biosphere Emissions and Interactions System (GloBEIS) Version 3.2
- <http://anafapyt.org.mx>
- <http://www.arb.ca.gov/ei/emissiondata.htm>
- <http://www.canalava.org.mx/>
- <http://www.inegi.org.mx>
- <http://www.sener.org.mx>
- <http://www.siap.gob.mx>