



Heriberto Castillo González
Servicios de Consultoría en Medio Ambiente

Actualización de una herramienta para el procesamiento del inventario nacional de emisiones para su aplicación en México

Diagnóstico del estado actual de desempeño del sistema de
procesamiento de emisiones SMOKE

Reporte Final

CONTRATO No.

INE/LPN-009/2009

Por:

M en C Heriberto Castillo González

Preparado para:

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Instituto Nacional de Ecología

30 de Septiembre de 2009

CONTENIDO

Resumen ejecutivo	5
I. Introducción	7
II. Antecedentes	9
III. Objetivo	11
IV. Alcances y consideraciones	11
V. Metodología	12
VI. Resultados	13
VII. Análisis de resultados	38
VIII. Conclusiones	39
IX. Bibliografía	40
Anexo 1. Guía de consulta rápida para operar el sistema de procesamiento de emisiones SMOKE	43
Anexo 2. Descripción general del modelo MEGAN	49

Resumen ejecutivo

Como resultado de este trabajo la versión 2.3 del sistema de procesamiento de emisiones SMOKE fue actualizado e instalado en la estación de trabajo DELL Precision 650 de la Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire (DICA).

A dicha versión del sistema SMOKE le fue acoplado el modelo de emisiones biogénicas MEGAN, que tiene la bondad de acuerdo con sus desarrolladores de mejorar la estimación de las emisiones de ISOPRENO, una especie importante en la química del ozono.

Por otra parte, es de destacar que en esta nueva versión fueron resueltos algunos problemas operativos que impedían el uso efectivo del sistema SMOKE en el procesamiento del inventario nacional de emisiones proyectado al año 2030. Entre los problemas atendidos destaca la incompatibilidad en el número de municipios entre los inventarios de 1999 y 2030, la incompatibilidad de encabezados en el procesamiento del inventario mexicano y el de la parte sur de los Estados Unidos y el procesamiento de las fuentes elevadas.

Abstract

As a result of this work the version 2.3 of the Sparse Matrix Operator Kernel Emissions (SMOKE) was updated and installed on the DELL Precision 650 workstation in the Dirección General de Investigación sobre la Calidad del Aire (DICA) at Instituto Nacional de Ecología (INE). The biogenic emission model called MEGAN was connected to SMOKE in order to improve the ISOPRENE emissions. On the other hand, it is to emphasize that in this new version some operational problems were solved in order to use SMOKE to process the projected Mexican national emission inventory 2030. Some of the problems that were fixed include incompatibility in the number of municipalities between emission inventories for 1999 and 2030, the incompatibility of headers in the processing of the Mexican inventory and the one of the South part of the United States and the processing of the elevated emission sources.

I. Introducción

La contaminación del aire puede tener impactos negativos sobre la salud pública cuando su concentración en la atmósfera alcanza niveles significativos. En la mayor parte de las áreas rurales los problemas de calidad del aire se dejan sentir sólo de manera ocasional, mientras que muchos ambientes urbanos con frecuencia registran elevadas concentraciones de contaminantes.

Durante los últimos años, México ha tenido un gran crecimiento en la urbanización y en la actividad industrial, lo que ha generado serias preocupaciones acerca de la calidad del aire en diversas regiones del país. Por ello, de unos años a la fecha se han realizado numerosos estudios sobre la calidad del aire. Más recientemente, varios de estos estudios se han basado en la aplicación de modelos avanzados de calidad del aire (Radian, 2000).

El modelado de la calidad del aire se utiliza con frecuencia para demostrar el cumplimiento con las normas de calidad del aire ambiente para contaminantes criterio (e. g., ozono [O₃], monóxido de carbono [CO], óxidos de nitrógeno [NO_x], etc.), o para analizar la efectividad de las diversas estrategias de control. Si bien el modelado fotoquímico ha sido empleado tradicionalmente para demostrar el cumplimiento con las normas de ozono, se espera que el modelado regional también se utilice en el futuro cercano como herramienta para demostrar el cumplimiento con las normas regionales de partículas y otros contaminantes. Por otro lado, el modelado regional se aplica en algunas ocasiones para analizar los riesgos a la salud y/o ambientales asociados con las emisiones de contaminantes peligrosos del aire (HAPs, por sus siglas en inglés).

Los inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos son un insumo fundamental para los modelos de calidad del aire dado que permite identificar quiénes son los generadores de emisiones y su aporte de contaminantes a la atmósfera por sector. Un inventario está formado por las estimaciones de todas las emisiones de contaminantes que se generan en un área determinada; tales emisiones pueden provenir de las industrias, los comercios, los servicios, los hogares, los vehículos automotores, las aeronaves, los suelos y la vegetación, entre otros. Su importancia es de tal magnitud que se ha constituido en la base sobre la cual se han fundamentado y diseñado los programas de mejoramiento de la calidad del aire de diferentes ciudades y áreas metropolitanas del

país. Sin embargo, los inventarios de emisiones tal cual son elaborados y publicados por los responsables de su integración no pueden ser usados directamente como insumo por un modelo de calidad del aire. Estos inventarios deben ser procesados de tal forma que puedan ser ingresados a los modelos de simulación de la calidad del aire. Típicamente, los pasos técnicos que deben ejecutarse durante la preparación de un inventario de emisiones con fines de modelación son los siguientes:

1. Distribución temporal – desglose de los estimados anuales de emisión en el año base del inventario en incrementos de tiempo más pequeños (generalmente en horas).
2. Distribución espacial – distribución de los estimados de emisión en el año base en celdas de cuadrantes individuales definidas sobre el dominio del inventario.
3. Especiación química – desglose de las emisiones de gases orgánicos totales (GOT) o gases orgánicos reactivos (GOR) en grupos de reactividad y/o especies químicas individuales, NO_x total en óxido nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno (NO₂), y material particulado total (PM) por tamaño de partículas y/o por especies químicas individuales.
4. Proyecciones – combinación de los estimados de emisión del año base con los factores de crecimiento y control para estimar las emisiones en años futuros.

Para instrumentar estos pasos técnicos se requieren conjuntos de datos diferentes que necesitan ser adaptados específicamente a la región geográfica de modelado y a las condiciones de operación de los tipos de fuentes dentro de esa región. Por ejemplo, los datos específicos del sitio son necesarios para los perfiles de distribución espacial y las tasas estacionales de operación. Los datos específicos de las fuentes son necesarios para los perfiles de distribución temporal (estacional, semanal, por hora), la especiación química de las emisiones y los factores de crecimiento y control. Por lo tanto, cada dominio del modelado y cada categoría de fuente requieren conjuntos específicos de datos para la distribución temporal y espacial, la especiación y la proyección de emisiones. El manejo de toda esta información a través de los cuatro pasos técnicos señalados con anterioridad suelen automatizarse a través del uso de herramientas de cómputo específicas para ello, tales como el sistema de procesamiento de emisiones SMOKE que actualmente se emplea en el Instituto Nacional de Ecología.

En este contexto general, el presente proyecto se propone llevar a cabo la evaluación y mejora del sistema de procesamiento de emisiones SMOKE, uno de los principales componentes del sistema de modelación que actualmente es empleado en el INE dentro de la estructura general de análisis de cobeneficios. La meta principal del proyecto es mejorar la certidumbre de las estrategias de procesamiento de emisiones que actualmente se emplean como parte de un programa más amplio de modelación de la calidad del aire y evaluación de diferentes medidas de control de emisiones, cuyos resultados serán posteriormente empleados en el análisis de impactos a la salud de la población.

II. Antecedentes

SMOKE es usado para convertir un inventario de emisiones agregado (toneladas anuales de contaminante emitido por fuente y municipio) a un inventario de emisiones desagregado temporalmente, espacialmente y especiada químicamente (toneladas de contaminante por especie química por celda y por hora). Esta conversión consiste en la multiplicación de las emisiones de varias fuentes por varios factores en etapas llamadas temporalización, especiación y espacialización (cribado).

En cada etapa de procesamiento, el modelo SMOKE usa tablas de perfiles y tablas de referencia cruzada para convertir o modificar la resolución de las emisiones. La tabla de perfiles contiene los factores para convertir las emisiones anuales de un municipio a emisiones horarias con una resolución más fina. Las tablas de referencia cruzada son usadas para asignar el perfil apropiado a cada fuente de emisión. En la etapa de temporalización SMOKE crea un inventario de emisiones desagregado de manera horaria a través de la aplicación de perfiles mensuales, semanales y diurnos desarrollados de acuerdo a las características de la fuente, usando la tabla de referencia cruzada para emparar el perfil apropiado con cada fuente de emisión. En la etapa de especiación, SMOKE crea una matriz de especiación que contiene factores de conversión usados para convertir las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles (COV) en emisiones de compuestos orgánicos específicos. Hay nueve compuestos orgánicos específicos para el mecanismo químico CB-4, el cual es uno de los mecanismos desarrollados para representar las interacciones entre los constituyentes atmosféricos. Finalmente, en la

etapa de espacialización o distribución espacial de las emisiones, SMOKE usa un factor de distribución espacial llamado *surrogate* para crear una matriz que contiene factores de conversión, usados para transformar las emisiones agregadas a nivel de municipio a emisiones por celda. Un *surrogate* es una base de datos desarrollada a partir de información geográfica (por ejemplo población o uso de suelo) a una resolución espacial más fina que los datos iniciales y es usado para representar de manera más precisa la localización de los diferentes grupos o categorías de emisión. De esta forma las emisiones pueden ser espacialmente distribuidas a nivel de celdas de modelación, las cuales pueden tener diferente nivel de resolución (por ejemplo, 1x1, 2x2 o 4x4 kms). Actualmente, la versión de SMOKE usada en el INE expresa los *surrogates* en la forma de *shape files* creados con un sistema de información geográfica.

Diversos estudios sugieren que el empleo de diferentes *surrogates* para llevar a cabo la distribución espacial de las emisiones de una fuente puede conducir a diferentes resultados tanto en la distribución espacial, como en la magnitud de las emisiones en cada celda de modelación. Por ello, resulta conveniente asegurarse de que los *surrogates* aplicados para distribuir las emisiones son los más apropiados para cada fuente, sobre todo cuando SMOKE está siendo empleado para desarrollar y evaluar estrategias de control de emisiones.

En este contexto, la experiencia indica que los resultados derivados del análisis de cobeneficios son sensibles a los cambios que las reducciones de emisión, asociados a una medida de control, generan sobre la calidad del aire. En estudios previos realizados en el INE con la metodología de cobeneficios se ha hecho uso del sistema de procesamiento de emisiones SMOKE desarrollado originalmente en los Estados Unidos con muy pocas adecuaciones al contexto mexicano. Por ello, se requiere hacer un diagnóstico de su desempeño e identificar las mejoras necesarias, de acuerdo con las particulares características de emisión que se registran en nuestro país. Este diagnóstico y la incorporación de la información disponible en México al módulo SMOKE incrementarán la certidumbre de los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología de análisis de cobeneficios en México y consecuentemente se fortalecerán las capacidades del INE para generar información que apoye la toma de decisiones en materia de calidad del aire y de salud ambiental.

Los resultados generados con este estudio permitirán contar con una herramienta de procesamiento de emisiones más adecuado a los patrones de emisión que se registran en nuestro país, lo cual redundará en evaluaciones más confiables de los cobeneficios asociados a diferentes medidas de control, de alcance local, regional o nacional. En este mismo sentido se estima que las mejoras a esta herramienta traerán como consecuencia, en el futuro cercano, mejores análisis sobre:

- ❖ Los programas locales de mejora de la calidad del aire (PROAIRES) y de cambio climático
- ❖ Los impactos en calidad del aire y en la salud de diferentes medidas de control de emisiones a la atmósfera

III. Objetivo

El objetivo primordial de este trabajo es la actualización del sistema de procesamiento de emisiones SMOKE actualmente empleado en el INE para procesar con fines de modelación, el inventario nacional de emisiones de contaminantes criterio.

IV. Alcances y consideraciones

En este informe se presentan una descripción general las mejoras realizadas al sistema de procesamiento de emisiones SMOKE. Es importante destacar que los cambios y documentación generada en este proyecto tienen como contexto general las siguientes consideraciones:

1. Los resultados del diagnóstico realizado sobre el desempeño de la versión del sistema SMOKE, usado en aplicaciones previas en el INE, especialmente para el procesamiento del Inventario Nacional de Emisiones de México de 1999 y su proyección al 2030.

2. Aunque el área de modelado incluye la parte sur de los Estados Unidos de Norteamérica, ésta no fue considerada en el presente proyecto para su análisis pues los factores de desagregación espacial, temporal y de especiación química ya han sido validados por las autoridades correspondientes en los Estados Unidos con el apoyo de los desarrolladores del sistema SMOKE.
3. La porción del inventario de emisiones de los Estados Unidos contemplado en este análisis sólo es considerado en términos de su integración a través de la utilería *merge* del sistema SMOKE al inventario nacional de emisiones de México para su incorporación el procesamiento del inventario que garantiza la preparación de los insumos adecuados al modelo de la calidad del aire CAMx.
4. No fue posible desarrollar nuevos factores de distribución espacial, temporal y/o de especiación química debido a la falta de información disponible específicamente para fuentes de emisión de México; sin embargo, se indican algunas recomendaciones generales sobre el tema.
5. Se exploró la disponibilidad de software gratuito que pudiera ser acoplado al sistema SMOKE para mejorar su desempeño y, en este caso se acopló a dicho sistema el modelo MEGAN, que permite estimar las emisiones de origen biogénico.

V. Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se llevaron a cabo las siguientes actividades, tal como ha fue establecido en los términos de referencia del presente proyecto:

- ❖ Diagnóstico del desempeño del sistema de procesamiento de emisiones por categoría de fuente en su versión actual.
- ❖ Identificación, por categoría de fuente, de las áreas potenciales de mejora del sistema de procesamiento y generación de sugerencias específicas para su mejora.

- ❖ Revisión de los factores de distribución espacial (*surrogates*) actualmente empleados en el sistema SMOKE para determinar si corresponden a los mejores factores que se pueden emplear conforme a la información disponible en México. Esta actividad debe contemplar las categorías de fuente más significativas, en términos de su contribución a las emisiones totales.
- ❖ Búsqueda de información para desarrollar factores de desagregación espacial, temporal o de especiación más adecuados al caso de México.
- ❖ Acoplamiento al sistema SMOKE del modelo de estimación de emisiones biogénicas denominado MEGAN.
- ❖ Instalación, en el equipo de cómputo que el INE designó para ello, de la versión más reciente del sistema de procesamiento de emisiones SMOKE. Incluyendo el acoplamiento del modelo MEGAN y tomando como archivo de insumo de referencia los correspondientes al Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio de 1999 y su proyección al año 2030.

A continuación se describen de manera general, los principales resultados de cada una de las actividades antes referidas.

VI. Resultados

El principal producto de este proyecto, tal como se establece en los términos de referencia, es la instalación del sistema de procesamiento de emisiones SMOKE en su versión más reciente en el equipo de cómputo que el INE designó para ello. En este contexto, es de destacar que la versión 2.3 del sistema SMOKE fue instalado en la estación de trabajo DELL Precision 650 de la Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire (DICA). Esta versión incluye el acoplamiento del modelo de estimación de emisiones biogénicas MEGAN. Herramienta que aún tiene que ser evaluada en su desempeño para determinar si las emisiones biogénicas estimadas con este modelo son

más confiables que las estimadas internamente por el sistema SMOKE a través del modelo BEIS3.

En los siguientes apartados de esta sección se describen de manera general los resultados del diagnóstico realizado sobre el funcionamiento de la versión de SMOKE que había sido usada con anterioridad en estudios previos realizados por el INE. En cada uno de estos apartados se incluye además material adicional generado para facilitar el uso de la herramienta y en su caso algunas sugerencias sobre las posibles mejoras que se pueden dar en el futuro, sobre la base de la disponibilidad de información confiable para el caso específico de México.

VI.1 Diagnóstico de desempeño del sistema SMOKE

De la revisión tanto del material impreso existente como del sistema de procesamiento de emisiones SMOKE que al inicio de este proyecto era operado en el INE se encontró lo siguiente:

- 1. No existía un material impreso que permitiera identificar con rapidez la estructura general de modelo y la secuencia de pasos a seguir para su ejecución.*

Como referencia de uso del sistema SMOKE sólo se contaba con el manual de usuario denominado SMOKE v.2.3 User's Manual editado por la Universidad de Carolina del Norte at Chapell Hill en 2006 (UNC, 2006). En tanto que la descripción general de la instalación y estructura de archivos tanto del sistema como de los archivos requeridos como insumo para su ejecución en el INE se contaba con un reporte extenso de un estudio previo denominado "Desarrollo de Metodologías para la Aplicación de Modelos de la Calidad del Aire a Nivel Nacional en México" (LT Consulting, 2006). Sin embargo, la mayor parte de este documento corresponde a una traducción al español de algunas de las secciones más relevantes del manual de usuario original antes referido y que describen la estructura general de SMOKE.

Derivado de lo anterior, se acordó con el personal del INE generar guía rápida de consulta que describiera de una manera muy sencilla tanto la estructura de SMOKE como la secuencia de instrucciones que deben ejecutarse para generar de manera exitosa los

insumos de emisiones demandados por los modelos de calidad del aire. Esto además de hacer más eficientes las tareas de manejo del sistema por el personal del INE dejaría, para consulta, un material informativo de fácil acceso y entendimiento para nuevos usuarios. Esta guía se concentró básicamente en la parte operativa del modelo más que en una descripción detallada de la parte técnica del mismo. En el Anexo 1 de este informe final se presenta la guía de consulta rápida desarrollada como parte de este trabajo.

2. *Distribución temporal (Perfiles temporales)*

El primer paso en la preparación de un inventario de emisiones con fines de modelación consiste en la distribución temporal de las emisiones. Debido a que el modelado de la calidad del aire tiene el objetivo de representar los procesos físicos y químicos reales que ocurren en un lapso específico de tiempo, es importante que la distribución temporal de las emisiones, que puede considerarse como la contabilidad de la variación de las emisiones en el tiempo, sea lo más precisa posible. La distribución temporal más sencilla es aquella que asume que una fuente de emisiones en estado estable arroja emisiones con la misma tasa en todo momento. En condiciones reales, sin embargo, las fuentes de emisión pueden operar sólo durante el invierno (e. g., calefacción de espacios), no operar los domingos (e. g., numerosas fuentes comerciales o industriales), o tener picos de actividad durante determinadas horas del día (e. g., tráfico vehicular en horas pico). Las distribuciones temporales permiten modelar correctamente la variabilidad de las emisiones durante los periodos de modelado deseados y estos pueden variar dependiendo del propósito del inventario. Por ejemplo, algunos inventarios requieren sólo un promedio de las emisiones diarias para cada estación, mientras que otros necesitan datos más específicos para reproducir un episodio histórico de alta contaminación de varios días.

En general, el punto de inicio para la distribución temporal de un inventario de emisiones son los estimados de emisiones anuales. Posteriormente, la distribución temporal se realiza con los *perfiles de distribución temporal*, que indican la distribución de emisiones en el periodo de desagregación seleccionado (e. g., estacional, semana, día). Los estimados de emisiones anuales primero son desagregados utilizando perfiles de distribución estacional (primavera, verano, otoño, invierno). Los perfiles de distribución semanal se utilizan para contabilizar las diferencias en los niveles de actividad típicos de

los días de la semana, sábados y domingos. Finalmente, los perfiles de distribución por hora permiten estimar las diferencias por hora en las emisiones.

En este contexto general destaca el hecho de que actualmente en todas las categorías de fuente de emisión se está haciendo uso de los perfiles temporales que en el inventario de emisiones de los Estados Unidos se les asigna a cada fuente a través del Código de Clasificación de Fuente (SCC por sus siglas en inglés). Dichos perfiles no necesariamente son representativos de los perfiles temporales de las fuentes de emisión en México. Sin embargo, dada la escasez de información disponible al respecto para las diferentes fuentes se asume que el trabajo que se hace actualmente es una buena aproximación para llevar a cabo la distribución temporal de las emisiones.

En el caso particular de las emisiones provenientes de fuentes móviles destaca que en la aplicación actual del sistema SMOKE se consideran siete categorías vehiculares que son:

- Vehículos ligeros a gasolina
- Camiones ligeros a gasolina
- Vehículos pesados a gasolina
- Vehículos ligeros a diesel
- Camiones ligeros a diesel
- Vehículos pesados a diesel
- Motocicletas

Para generar los perfiles temporales de emisión para cada una de estas categorías es necesario contar con información detallada sobre los niveles de actividad por hora del día y por época del año. En esta aplicación concreta, considerando que la modelación de la calidad del aire se hace tanto a nivel nacional (dominio 1) como a nivel regional (dominios 2,3 y 4), sería necesario desarrollar los perfiles temporales de emisión para cada uno de estos dominios. Para ello, se pensó en hacer uso de la información disponible sobre aforos vehiculares en diferentes ciudades, sin embargo, el número de ciudades con esta información es muy baja y con datos para diferentes años. A nivel regional este problema persiste dado que por ejemplo en el dominio dos se incluye a todo el distrito federal y municipios de los estados de México, Puebla, Tlaxcala, Morelos e Hidalgo. Para esta zona se cuenta con la información generada en la encuesta Origen – Destino realizada en la

Zona Metropolitana del Valle de México en el año 2007. Los objetivos de dicha encuesta fueron:

- Estimar el número de viajes que se generan en la ZMVM en días típicos laborables, así como los motivos por los cuales se generan.
- Conocer los modos de transporte y los transbordos.
- Captar el tiempo y el costo de transportación.
- Detectar las horas de mayor afluencia de viajes.

Sin embargo, dada la extensión del dominio de modelación se consideró que el uso de los perfiles de emisión que pudieran ser desarrollados a partir de esta información agregaría incertidumbre a la distribución temporal de las emisiones dadas las posibles diferencias en los patrones de actividad entre diferentes ciudades pues se sabe que las emisiones por fuentes móviles presentan ciclos variables debidos principalmente a rutinas de vida. Esta misma situación se presentaría en los dominios 3 y 4 donde se incluyen municipios diversos de los Estados de Jalisco, Zacatecas, Nayarit, Guanajuato y Michoacán (dominio 3), así como de Nuevo León y Coahuila (dominio 4). Dada esta complejidad, se sugiere explorar las mejoras que podría tener una actualización de los patrones de emisión temporal de las fuentes móviles (en sus diferentes categorías) pero en modelaciones a nivel urbano, donde se tenga una mayor certeza de la representatividad de los patrones temporales de emisión generados a partir de datos de aforo vehicular. En este contexto general, se asume que el perfil default que se está usando el sistema SMOKE y que está avalado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, es adecuado a nivel de modelación nacional y regional.

Otra posibilidad que se sugiere explorar en el futuro cercano para generar los patrones temporales de las emisiones provenientes de fuentes móviles sería el uso de la información que se está generando en otros estudios que actualmente están en marcha en el mismo Instituto Nacional de Ecología, tal como el denominado "*Estudio de emisiones y actividad vehicular en ciudades mexicanas*", cuyo objetivo primordial es el de caracterizar las emisiones y los patrones de actividad de los vehículos automotores que circulan en ciudades mexicanas para alimentar el desarrollo de programas de gestión ambiental y la actualización de los inventarios de emisiones locales. En este trabajo se ha estado haciendo uso de sensores remotos, lo que ha permitido recopilar una gran

cantidad de información sobre las características de las flota vehicular y sus niveles temporales de actividad en ciudades tales como: Tijuana, Mexicali, Nogales, Matamoros, Reynosa, Morelia y Toluca.

En cuanto a las fuentes puntuales es de destacar que la principal herramienta de gestión a través de la cual se recopila información tanto de emisiones como de actividad es la Cédula de Operación Anual (COA). La COA es un mecanismo de reporte relativo a las emisiones, transferencias y manejo de contaminantes que deriva de las obligaciones fijadas en la Licencia Ambiental Única (LAU). Se presenta por establecimiento industrial, para actualizar su operación y facilitar su seguimiento por parte de la autoridad ambiental, así mismo ofrece información actualizada que contribuye a la definición de políticas ambientales prioritarias y áreas críticas. Aunque este instrumento de gestión ambiental permite coleccionar mucha información útil sobre el sector industrial y muy particularmente sobre sus procesos, emisiones y transferencia de contaminantes ocurridos en el año calendario anterior a su presentación, aún no contempla la solicitud de información desagregada temporalmente por lo que no se contó con información suficiente como para desarrollar factores de distribución temporal para esta categoría de emisión y en consecuencia se estima que los factores de distribución temporal que por default son usados en el sistema SMOKE, y que también cuenta con el respaldo de la USEPA, son adecuados para las aplicaciones actuales de modelación que realiza el INE.

3. Distribución espacial

Después de realizar la distribución temporal de las emisiones, el segundo paso en la preparación de un inventario de emisiones con fines de modelación es la distribución espacial de las emisiones. Dado que un modelo de calidad del aire intenta replicar los procesos físico-químicos que ocurren en el área de modelación es importante que la localización física de las emisiones sea determinada con tanta precisión cómo sea posible. En una situación ideal la ubicación física de todas las fuentes de emisión debería ser conocida con exactitud. En la realidad, sin embargo, la distribución espacial de las emisiones en un inventario para modelación sólo aproxima la ubicación de las emisiones a la localidad real.

Para llevar a cabo la distribución espacial del inventario de emisiones es necesario conocer o definir primero el área de modelación, así como la resolución espacial que se desea que posea dicha distribución. El área o dominio de simulación normalmente se define como un área rectangular que contiene a todas las fuentes de emisión que serán modeladas. La selección del área a modelar es determinada por los objetivos que se persiguen así como por las características topográficas y meteorológicas del lugar. La resolución espacial de la distribución de las emisiones normalmente se define a través del tamaño de las celdas en las que será dividida el área de modelación. El tamaño de dichas celdas también se define con base en los propósitos de la modelación. Así si el interés es modelar la calidad del aire en un área urbana, entonces se sugiere el uso de celdas pequeñas como por ejemplo 3 x 3 o 1 x 1 kilómetros. Por otra parte, si se desea modelar la visibilidad a nivel regional entonces el tamaño de celda puede mayor a los referidos anteriormente.

Una vez que se ha definido el dominio de modelación y la resolución de las celdas en las que se dividirá este, la distribución espacial de las emisiones puede ser llevada a cabo. Esta distribución espacial refiere tanto a la localización horizontal como vertical de las emisiones. La localización espacial horizontal refiere la asignación de las emisiones a la celda apropiada. El método específico para distribuir las emisiones varía dependiendo del tipo de fuente. La distribución espacial vertical refiere la asignación de las emisiones a la capa apropiada en la atmósfera en la cual las emisiones son liberadas por sus fuentes. Para efectos prácticos la localización vertical está limitada a fuentes puntuales importantes con chimeneas elevadas.

Una vez descrito el proceso y la importancia de la distribución espacial de las emisiones de un inventario con fines de modelación, a continuación se describen las principales características de este procesamiento, por categoría de fuente, en el caso específico del inventario nacional de emisiones de 1999 que se llevó a cabo con el sistema SMOKE en el INE. Igualmente en cada caso se hace referencia a los problemas o limitaciones encontradas y a las sugerencias para su corrección.

3. 1 Fuentes Puntuales

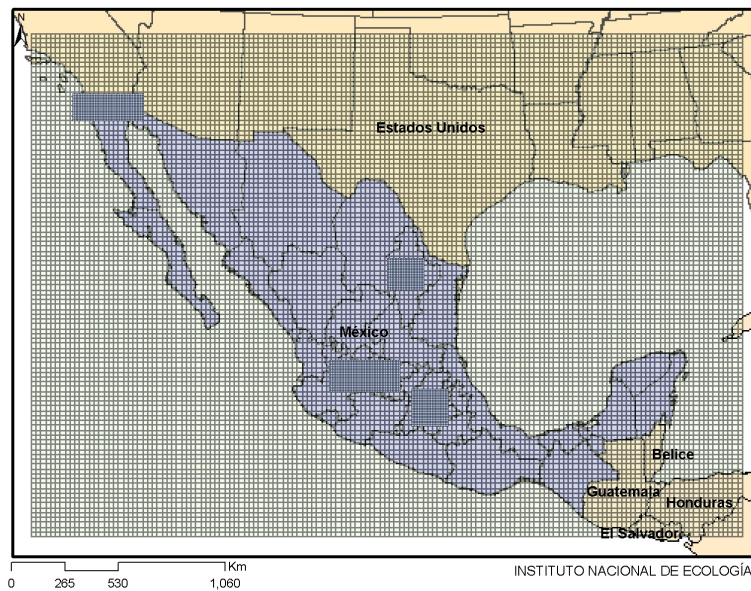
Después de definir las características de la malla que cubre el área de interés y sobre la cual se distribuirán las emisiones es necesario proceder a realizar la distribución horizontal y vertical de las mismas. La distribución horizontal se refiere a la asignación de las emisiones a las celdas apropiadas. El método específico de distribución depende del tipo de fuente de que se trate. Más adelante se describe qué criterios se están usando en la distribución de las emisiones en la actual aplicación de SMOKE en el INE. La distribución vertical refiere a la asignación de las emisiones a la capa apropiada en la atmósfera de acuerdo a la altura de liberación de las emisiones. Esta distribución está limitada a aquellas emisiones que son liberadas a una altura elevada y son importantes en el análisis de episodios específicos de alta contaminación caracterizados por bajas alturas de mezclado. Para efectos prácticos, la distribución vertical de las emisiones está limitada a fuentes puntuales con chimeneas elevadas.

En la aplicación actual del sistema SMOKE que realiza el INE los dominios de modelación y la resolución de las celdas de cada dominio son descritos en el Cuadro 1 y en la Figura 1.

Cuadro 1. Dominios de modelación y resolución de celdas en cada dominio usados actualmente en el INE para distribuir espacialmente el Inventario Nacional de Emisiones de 1999

Dominio	CAMx		Resolución espacial	Descripción
	Celdas en X	Celdas en Y		
1	147	104	24 km	Todo el país y la parte sur de Estados Unidos
2	23	23	8 km	Zona Metropolitana del Valle de México
3	44	20	8 km	Zona Metropolitana del Valle de Guadalajara
4	23	20	8 km	Zona Metropolitana del Valle de Monterrey
5	44	17	8 km	Tijuana y Mexicali

Figura 1. Visualización gráfica de los dominios de empleados actualmente en el INE para procesar el inventario nacional de emisiones de 1999.



La distribución espacial de las fuentes puntuales consideradas en el INEM de 1999 se realizó a partir de la información disponible sobre las coordenadas (latitud, longitud) reportadas en el inventario para cada fuente puntual. Sin embargo, lo que se encontró aquí es que hay una gran incertidumbre respecto a la localización de las emisiones, pues en muchos casos el sector industrial reporta al gobierno federal a través de la Cedula de Operación Anual –COA- las coordenadas de las oficinas o casa matriz y no las correspondientes a las de las chimeneas. Esto se refleja en el hecho de que más del 50% de las fuentes puntuales tuvieron que ser ubicadas en el centro de la localidad o municipio al no contar con información precisa sobre la ubicación de las chimeneas. Dado esto, es indiscutible que un punto a mejorar en el procesamiento del inventario de emisiones con fines de modelación es la recopilación y validación de los datos de localización de estas fuentes de emisión. Esta actividad desde luego va más allá de los alcances del presente trabajo, pues es una tarea que se debe corregir desde el momento mismo de recolección y validación de la información necesaria para generar el inventario de emisiones.

En cuanto al procesamiento del inventario de emisiones con fines de modelación la aproximación usada de ubicar las emisiones al centro del municipio donde se ubica la fuente de emisión es una muy buena aproximación, aunque lo más conveniente en el

futuro será incrementar la confiabilidad del inventario de emisiones base que se use en cualquier ejercicio de modelación de la calidad del aire.

En cuanto a la distribución vertical de las emisiones de fuentes puntuales elevadas es de destacar que el umbral de referencia fue de 40 metros de altura, lo cual parece una buena referencia de acuerdo con el manejo de las emisiones en estudios de esta naturaleza a nivel internacional.

3. 2 Fuentes de área

La principal diferencia entre las fuentes de emisión puntuales y las fuentes naturales y de área es que las fuentes puntuales liberan sus emisiones desde una localidad individual discreta, mientras que las fuentes naturales y de área liberan sus emisiones desde un gran número de localidades dispersas en el espacio. Por ello es impráctico, sin no es que imposible, identificar todos los puntos de liberación asociados con las fuentes de área y/o naturales; por lo tanto debe usarse un método más indirecto de distribución espacial de estas emisiones. Este método normalmente hace uso de “spatial surrogates” o “sustitutos espaciales”. Un sustituto es información sobre alguna actividad humana o de uso de suelo que puede ser usada para representar con mayor precisión la localización de las emisiones de diferentes categorías de fuente. Algunos ejemplos de sustituto son: población, vivienda, uso de suelo, etc.

Para la aplicación actual del sistema SMOKE en el INE se desarrollaron un total de 19 sustitutos para hacer la distribución espacial de las emisiones de fuentes de área. Es importante destacar que el uso de dichos sustitutos como indicadores de distribución espacial de las diferentes fuentes de emisión varió a nivel municipal de acuerdo con la información disponible en cada uno de ellos. El Cuadro 2, muestra los diecinueve sustitutos desarrollados para la actual aplicación en el INE e ilustra el tipo de fuentes de área para el que fueron empleados.

Cuadro 2. Surrogates/sustitutos usados para distribuir las emisiones de fuentes de área en México

SCC	Nombre	Clave del sustituto	Nombre
2102004000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de diesel Industrial; todo tipo de calderas y motores de combustión interna	505	Estadística de empleo en el sector industrial
2102005000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de combustóleo Industrial; todo tipo de calderas	505	Estadística de empleo en el sector industrial
2102006000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de gas natural Industrial; todo tipo de calderas y motores de combustión interna	505	Estadística de empleo en el sector industrial
2102011000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de queroseno industrial; todo tipo de calderas	505	Estadística de empleo en el sector industrial
2103004000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de diesel comercial e institucional; todo tipo de calderas y motores de combustión interna	515	Estadística de empleo en los sectores comercial e institucional
2103005000	Fuente estacionaria; Quema de combustible; uso de combustóleo comercial e institucional;; todo tipo de calderas	515	Estadística de empleo en los sectores comercial e institucional
2103007000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de gas LP comercial e institucional; todo tipo de combustión	515	Estadística de empleo en los sectores comercial e institucional
2104007000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de gas LP residencial; todo tipo de combustión	190	Uso residencial de Gas LP
2104008000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de madera residencial;estufas de leña y chimeneas para calentamiento	160	Uso residencial de madera
2104011000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de queroseno residencial; todo tipo de calentamiento	170	Uso residencial de diesel
2302002000	Procesos Industriales; elaboración de comida y productos similares; comercios de comida al carbón	500	Estadísticas de empleo en el sector comercial
2302050000	Procesos industriales; comida y productos similares; panadería	500	Estadísticas de empleo en el sector comercial
2311000000	Procesos industriales; construcción; todo tipo de procesos	505	Estadística de empleo en la industria
2401001000	Utilización de solventes; recubrimiento de superficies; pintura en edificios arquitectónicos; todo tipo de solventes	535	Estadísticas de empleo en los sectores comercial, industrial, institucional y gubernamental y

SCC	Nombre	Clave del sustituto	Nombre
			residencial
2401005000	Utilización de solventes; recubrimiento de superficies; pintura y acabado de automóviles; todo tipo de solventes	545	Estadísticas de empleo de los talleres de reparación de automóviles
2401008000	Utilización de solventes; recubrimiento de superficies; marcas viales de pintura en las carreteras; todo tipo de solventes	240	Carreteras (distancias)
2401990000	Utilización de solventes; recubrimiento de superficies; todo tipo de recubrimiento de superficies; todo tipo de solventes	535	Estadísticas de empleo en los sectores comercial, industrial e institucional, más vivienda
2415000000	Utilización de solventes; desengrasado de todo tipo de procesos y también de la industria; todo tipo de solventes	510	Estadística de empleo del sector industrial y comercial
2420000370	Utilización de solventes; tintorerías ; todos los procesos; en especial uso de naftas	500	Estadísticas de empleo en el sector comercial
2425000000	Utilización de solventes; artes gráficas; todos lo procesos; todo tipo de solventes	510	Estadística de empleo del sector industrial y comercial
2460000000	Utilización de solventes; misceláneos no industriales; bienes de consumo y comerciales; todos los procesos; todo tipo de solventes	100	Población
2461021000	Utilización de solventes; misceláneos; no industriales; comerciales; mezcla de solventes de petróleo con asfalto; todo tipo de solventes	110	Vivienda
2461800000	Utilización de solventes; misceláneos no industriales; comercial; Aplicación de pesticidas; todos los procesos; todo tipo de solventes	515	Estadística de empleo en los sectores comercial e institucional
2501060000	Almacenamiento y transporte; Almacenamiento de petróleo y productos del Petróleo; gasolineras; toda la gasolina/Todos los procesos	500	Estadísticas de empleo en el sector comercial
2630010000	Disposición, tratamiento y recuperación de residuos; tratamiento de aguas de desecho; industrial; toda el agua procesada	505	Estadística de empleo en el sector industrial
2801000003	Fuentes de área misceláneas; producción agrícola – cultivos, agricultura- cultivo y cosecha	310	Área de uso de suelo agrícola
2801700000	Fuentes de área misceláneas; producción agrícola- cultivos aplicación de fertilizantes	310	Área de uso de suelo agrícola
2805000000	Fuentes de área misceláneas; producción agrícola y ganadera	310	Área de uso de suelo agrícola
2805001000	Fuentes de área misceláneas;	310	Área de uso de suelo agrícola

SCC	Nombre	Clave del sustituto	Nombre
	producción agrícola y ganadera; Establos de ganado; levantamiento de polvo por las pezuñas del ganado		
2810005000	Fuentes de área misceláneos; otro tipo de combustión; quemas controladas, desechos sólidos de los campos agrícolas y otros	320	Área de uso de suelo forestal
2810030000	Fuentes de área misceláneas; otro tipo de combustión; incendios estructurados	535	Estadísticas de empleo en los sectores comercial, industrial e institucional, más vivienda
3333333333	Distribución de Gas LP (solo para México)	110	Vivienda
4444444444	Producción de ladrillo (solo para México)	22	Estadísticas de empleo en el sector de manufactura de ladrillo
5555555555	Uso de amoniaco doméstico (solo para México)	110	Vivienda
2810001000	Fuentes de área Misceláneas; otro tipo de combustión; Incendios forestales	320	Área de uso de suelo forestal
2801520004	Fuentes de área misceláneas; uso de diesel en la producción agrícola; calentadores de huertos	310	Área de uso de suelo agrícola
2102007000	Fuente estacionaria; quema de combustible; Industrial; uso de gas LP; todos los tipos de calderas	505	Estadística de empleo en la industria
2801500000	Fuentes de área misceláneos; producción agrícola; quema de campos agrícolas, campos completos quemados para la preparación del siguiente ciclo agrícola	310	Área de uso de suelo agrícola
2103006000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de gas natural comercial e institucional; calderas y motores de combustión interna	515	Estadística de empleo en los sectores comercial e institucional
2104006000	Fuente estacionaria; quema de combustible; uso de gas natural residencial; Todo tipo de combustión	110	Vivienda

Dada la escasa disponibilidad de información en México los sustitutos utilizados parecen ser los más indicados por el momento. Sin embargo, se recomienda documentar, en la medida de lo posible, los criterios probables que se usaron para elegir un determinado sustituto para cada una de las fuentes del inventario nacional de emisiones y en esa misma medida hacer una valoración más certera sobre si son los mejores indicadores de distribución espacial, o bien si es factible mejorarlos. En su caso, también será necesario

mencionar cuales serían los sustitutos o surrogates que se podrían mejorar y cuál sería el sustituto que lo reemplazaría.

Un punto de referencia útil en esta evaluación es la información existente en materia de surrogates que empleo ERG para hacer la proyección de las emisiones de fuentes de área del año 1999 a 2008, 2012 y 2030 (ERG, 2009). Esto ayudaría a identificar alternativas adicionales y a partir de ello se podría elegir la mejor opción para distribuir las emisiones de área en el espacio con la mejor y más confiable información disponible. Sólo como referencia en este momento, el Cuadro 3 muestra los sustitutos usados para proyectar las emisiones de las diferentes categorías de fuentes de área. El cruce de ambos cuadros y la discusión que se tenga el respecto con el personal de la DICA podría guiar a la identificación de nuevos y mejores sustitutos de distribución espacial de las emisiones de fuentes de área.

Cuadro 3. Sustitutos de crecimiento de emisiones para fuentes de área

Sustituto	Categorías de Fuente de Área
Población	<ul style="list-style-type: none"> ● Asados al Carbón/vendedores ambulantes ● Panaderías ● Actividades de la construcción ● Recubrimientos de superficies arquitectónicas ● Acabados de carrocería ● Señalamientos de tráfico ● Tintorerías ● Artes gráficas ● Uso de solvente del consumidor ● Aplicación de asfalto ● Quema a cielo abierto ● Incendios de estructuras ● Ladrilleras ● Amoniaco doméstico
Uso de combustible	<ul style="list-style-type: none"> ● Combustión de combustible destilado (industrial y comercial) ● Combustión de combustible residual (industrial y comercial) ● Combustión de combustible gas natural (industrial, comercial y residencial) ● Combustión de combustible LPG (industrial, comercial, residencial, transporte y agrícola) ● Combustión de combustible keroseno (industrial, residencial y agrícola) ● Combustión de madera en viviendas ● Buques marinos comerciales ● Distribución de gasolina ● Distribución de LPG
Producto Interno Bruto (PIB)	<ul style="list-style-type: none"> ● Locomotoras ● Recubrimiento de superficie industrial ● Desgrasado
Acres sembradas por	<ul style="list-style-type: none"> ● Aplicación de plaguicida

estado	<ul style="list-style-type: none"> ● Arado agrícola ● Aplicación de fertilizante ● Quema agrícola
Población de Ganado	<ul style="list-style-type: none"> ● Amoniaco de ganado ● Comederos para ganado productor de carne
Acres de bosque quemadas por estado	<ul style="list-style-type: none"> ● Incendios descontrolados
Tráfico vehicular en cruces fronterizos	<ul style="list-style-type: none"> ● Cruces fronterizos
Volumen de pasajeros en aeronaves	<ul style="list-style-type: none"> ● Aeronaves
Cantidades de agua residual residencial tratada	<ul style="list-style-type: none"> ● Tratamiento de agua residual

Fuente: Informe Final del proyecto: Desarrollo de proyecciones para el inventario nacional de emisiones de México para el 2008, 2012, y 2030 (ERG, 2009)

3. 3 Fuentes móviles

Aunque las fuentes móviles (incluyendo a los vehículos que circulan en carretera y los que no circulan en carretera) son algunas veces agrupadas con las fuentes de área en un inventario, su distribución espacial un tanto diferente. Específicamente, muchas fuentes móviles están limitadas a operar sobre redes de transporte (por ejemplo, los vehículos en redes carreteras, las locomotoras en sistemas de vías férreas y embarcaciones marinas sobre rutas de navegación específicas).

La actividad de los vehículos que circulan en carretera (kilómetros totales recorridos, viajes, encendidos, etc) frecuentemente son modelados sobre la red carretera usando modelos de demanda de transporte. En estos modelos se pueden localizar los datos de actividad en segmentos carreteros específicos, con lo que tales datos pueden ser ajustados a una condición particular que exista en ese segmento tales como la velocidad del vehículo o condiciones particulares de tráfico. Luego con estos datos de actividad y con el uso de factores de emisión se pueden estimar las emisiones para este tipo de fuente por segmento carretero. Esta aproximación es la más recomendada; sin embargo, dada la escasa información disponible sobre la caracterización de la flota vehicular y sus datos de actividad en México se tuvo que recurrir a una aproximación diferente. En esta aproximación se parte del inventario de emisiones existente y dado que tales emisiones deben ser distribuidas a nivel de celda en el dominio de interés se crearon archivos que describían, a nivel de municipio, la cobertura de la red carretera en cada municipio y luego a partir de estimar las fracciones de la red carretera dentro de cada celda que cubre cada

municipio era posible distribuir las emisiones totales del municipio a nivel de celda teniendo como referencia las fracciones por celda de la red carretera. El Cuadro 4 muestra los surrogates o sustitutos desarrollados para distribuir las emisiones provenientes de fuentes móviles carretera y fuera de camino incluidas en el inventario nacional de emisiones

Cuadro 4. Surrogates empleados para distribuir las emisiones de fuentes móviles carreteras y no carreteras

SCC	Nombre	Clave del sustituto	Nombre
2222222222	Fuentes móviles. Cruces fronterizos de vehículos (solo para México)	24	Estadísticas de cruces fronterizos
2270002000	Fuentes móviles; uso de diesel vehículos no carreteros; equipo minero y de construcción	110	Vivienda
2270005000	Fuentes móviles; uso de diesel vehículos no carreteros; equipo agrícola	310	Área de uso de suelo agrícola
2201001001	Fuentes móviles; vehículos en carreteras- vehículos ligeros a gasolina (LDGV)	240	Área de uso de suelo agrícola
2201060001	Fuentes móviles vehículos en carreteras – no usa gasolina previamente a todos los LDGT (1&2) bajo M5	240	Carreteras (distancias)
2201070001	Fuentes móviles; vehículos en carreteras – vehículos pesados a gasolina y autobuses (HDGV)	240	Carreteras (distancias)
2201080001	Fuentes móviles; vehículos en carreteras – Motocicletas a gasolina (MC)	240	Carreteras (distancias)
2230001001	Fuentes móviles; vehículos en carreteras – vehículos ligeros a diesel (LDDV)	240	Carreteras (distancias)
2230060001	Fuentes móviles; vehículos en carreteras – vehículos ligeros a diesel y camiones 1 thru 4 (M6) (LDDT)	240	Carreteras (distancias)
2230070001	Fuentes móviles; vehículos en carreteras – vehículos pesados a diesel; HDDV incluyendo camiones	240	Carreteras (distancias)
2267000000	Fuentes móviles; uso de Gas LP; excepto equipos de marinos y ferrocarrileros	500	Estadísticas de empleo en el sector comercial
2275020000	Fuentes móviles; aviación comercial; uso de todos los combustibles	700	Aeropuertos (localización)
2285000000	Fuentes móviles; Equipo ferroviario de todo tipo; todos los combustibles	260	Vías férreas (distancia)
2267005000	Fuentes móviles; uso de gas LP; todo el	310	Área de uso de suelo agrícola

SCC	Nombre	Clave del sustituto	Nombre
	equipo agrícola		
2280000000	Fuentes móviles; buques marinos; todos los combustibles; todos los tipos de buques	800	Puertos marinos (localización)

En general, la aproximación usada actualmente en el INE para hacer la distribución espacial de las emisiones de fuentes vehiculares circulando en carretera es la más adecuada de acuerdo a la información disponible. De hecho, se estima que habría pocas diferencias con respecto a la distribución lograda a través de la metodología descrita en los primeros párrafos de esta sección, pues dado que aún teniendo disponible los datos de actividad muy difícilmente se tendría información validada a nivel de nacional y por segmento carretero sobre condiciones de tráfico, velocidad promedio de circulación, número de carriles y pendiente del camino. En cualquier caso lo más conveniente en el futuro será actualizar los factores de desagregación espacial en la medida que se disponga de información catalizada sobre el crecimiento de la red carretera en cualquiera de los dominios de simulación considerados en los ejercicios de modelación de la calidad del aire.

Finalmente, con respecto al procesamiento de las emisiones de fuentes móviles y de área, conviene destacar que como parte de este trabajo también se instaló el software llamando Spatial Allocator, el cual permite desarrollar surrogates espaciales e individuales, cambiar la proyección de los archivos shapefiles y ejecutar otro tipo de manipulaciones espaciales sin el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo cual en ocasiones suele representar un obstáculo en el procesamiento de un inventario de emisiones con fines de modelación dado el elevado costo de sus licencias de uso o de la falta de pericia en su manejo. Esta herramienta fue diseñada para preparar los archivos surrogates AGPRO, MGPRO y BGPRO que entran al sistema SMOKE.

3. 4 Fuentes Biogénicas

La estimación de las emisiones biogénicas se realizó con el sistema SMOKE, el cual de manera interna incluye el módulo SMOKE-BEIS3, el cual emplea datos de uso de suelo generados por el programa Normbeis3 y datos meteorológicos estimados con el modelo

meteorológico de quinta generación MM5. A partir de dicha información es posible estimar las emisiones biogénicas.

Modelo MEGAN

Es importante mencionar que en las emisiones biogénicas estimadas con SMOKE y las reportadas en el inventario nacional de emisiones muestra diferencias significativas, por lo que se el personal del INE sugirió que se explorara la disponibilidad gratuita de algún modelo de estimación de emisiones biogénicas alternativo que permitiera tener una tercera estimación de dichas emisiones y a partir de ello decidir cuál es la más confiable para usar como insumo en la modelación de la calidad del aire. En este caso se decidió acoplar al sistema SMOKE el denominado Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature (MEGAN) versión 2.04, el cual es un sistema de modelación que permite estimar la emisión neta de veinte clases de emisiones (gases y aerosoles) que representan 138 compuestos emitidos desde los ecosistemas terrestres a la atmósfera. Estas emisiones pueden ser agregadas en las clases químicas características de diferentes mecanismos químicos que suelen ser usados en los modelos de la calidad del aire como CMAQ para representar la química atmosférica. Las variables determinantes en la estimación de emisiones incluyen la cubierta vegetal, las condiciones meteorológicas (p.e. radiación solar y temperatura) y la composición química atmosférica. MEGAN está diseñado para modelar las emisiones tanto a escala global como regional y tiene una cobertura con resolución espacial de aproximadamente 1 km² (Guenther et al., 2006).

La versión del modelo MEGAN y los respectivos archivos de entrada que demanda fueron obtenidos de la University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), a través de la siguiente dirección electrónica:

<http://acd.ucar.edu/~quenther/MEGAN/MEGAN.htm>

www.cmascenter.org

MEGAN requiere de dos tipos de archivos de entrada:

1. Datos de cobertura de suelo: Esto incluye índice de área foliar promedio anual (LAI, por sus siglas en inglés), tipo funcional de planta (PTF, por sus siglas en inglés), y factores de emisión (EF), los cuales deben ser promediados para cada celda dentro del dominio de modelación y compilados en una tabla en formato ascii delimitado por coma. Al menos, los valores LAI deben incluir los meses a considerar en la modelación y el mes previo.
2. Datos meteorológicos: las salidas de temperatura y radiación solar provenientes del Meteorology-Chemistry Interface Processor –MCIP- (ver www.cmascenter.org) son usados para estimar la respuesta de las emisiones a variaciones en temperatura y en la luz. MCIP procesa las salidas de modelos meteorológicos tales como MM5 y WRF. En esta aplicación concreta las salidas de tales variables meteorológicas fueron obtenidas del modelo MM5 para los dominios y para un día de los diferentes periodos de tiempo que están siendo usados en los ejercicios de modelación de calidad del aire que el INE está efectuando.

De lo anterior, resulta evidente que para correr MEGAN en la estación de trabajo del INE fue necesario descargar e instalar previamente las librerías NetCDF (<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>) e I/OAPI (<http://www.cmascenter.org>).

Preprocesamiento de datos sobre cobertura de suelo

Antes de que el modelo MEGAN pueda ser corrido, dos archivos de entrada, en formato ascii delimitado por comas, deben ser creados. La guía de usuario disponible en <http://acd.ucar.edu/~guenther/MEGAN/MEGAN.htm> describe como acceder a datos globales de cobertura de suelo (Input Data User Guide) y cómo reprocesarlos para ajustarlos a las mallas del dominio específico de modelación (Input Data Preprocesor User Guide).

Los dos archivos referidos son:

(1) EFMAP_LAI.csv: Este archivo contiene información sobre el dominio de modelación, factores de emisión y datos mensuales del índice de área foliar.

(2) PFTF.csv: Este archive contiene información sobre el porcentaje de cobertura del tipo funcional de planta (PFT) para cada celda del dominio de modelación.

El primer archive (EFMAP_LAI.csv) contiene información, para cada celda, sobre los valores LAI en todo el dominio de modelación. Los campos de este archivo son:

CELL_ID	(identificador única par acada celda del dominio de modelación)
I	(índice par alas columnas)
J	(ínidice para renglones)
LAT	(Latitud (DD) del centro de la celda)
LONG	(Longitud (DD) del centro de la celda)
TZONE	(Tiempo zonal (hours from GMT) de la celda)
D_SRAD	(Promedio diario de la radiación solar (W/m2) si esta disponible)
D_TEMP	(Promedio diario de la temperatura (K) si esta disponible)
ISOP	(Factor de emisión para ISOPRENO, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
MBO	(Factor de emisión para MBO, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
MYRC	(Factor de emisión para MYRCENO, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
SABI	(Factor de emisión para SABINENO, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
LIMO	(Factor de emisión para LIMONENO, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
3CAR	(Factor de emisión parar 3-CARENO, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
OCIM	(Factor de emisión para OCIMENO, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
BPIN	(Factor de emisión para b-PINENO, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
APIN	(Factor de emisión para a-PINENO, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
FARN	(Factor de emisión para FARNESENO, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
BCAR	(Factor de emisión para b-CARYOPHELLENo, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
MEOH	(Factor de emisión para METHANOL, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
ACTO	(Factor de emisión para ACETONE, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
ACTA	(Factor de emisión para ACETALDEHYDE, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
FORM	(Factor de emisión para FORMALDEHYDE, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
CH4	(Factor de emisión para METHANE, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
NO	(Factor de emisión para NITROGEN OXIDE, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
OMTP	(Factor de emisión para otros MONOTERPENES, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
OSQT	(Factor de emisión para otros SESQUITERPENES, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)
CO	(Factor de emisión para CARBON MONOXIDE, $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)

LAI1	(Índice de área foliar para ENERO)
LAI2	(Índice de área foliar para FEBRERO)
LAI3	(Índice de área foliar para MARZO)
LAI4	(Índice de área foliar para ABRIL)
LAI5	(Índice de área foliar para MAYO)
LAI6	(Índice de área foliar para JUNIO)
LAI7	(Índice de área foliar para JULIO)
LAI8	(Índice de área foliar para AGOSTO)
LAI9	(Índice de área foliar para SEPTIEMBRE)
LAI10	(Índice de área foliar para OCTUBRE)
LAI11	(Índice de área foliar para NOVIEMBRE)
LAI12	(Índice de área foliar para DICIEMBRE)

Sobre los factores de emisión resulta oportuno indicar que el usuario tiene opciones para:

(1) ingresar factores de emisión en EFMAP_LAI.csv (si los mapas de los factores de emisión están disponibles). Si este es el caso, el usuario debe indicar que los factores de emisión para esos compuestos son igual a 1.0 en el archivo EF_MGN20.EXT

(2) Usar factores de emisión PFT específicos (en la Tabla EF_MGN20.EXT). Si este es el caso, los factores de estos compuestos o clases de compuestos deben ser indicados como iguales a 1.0 en el archivo EFMAP_LAI.csv.

El segundo archivo de entrada (PFTF.csv) contiene información y el porcentaje del tipo PFT asignado a cada celda del dominio de modelación. Estos campos en el archivo PFTF.csv son:

CELL_ID	(identificador de la celda)
I	(índice de columnas)
J	(índice de renglones)
LAT	(latitud (DD) del centro de la celda)
LONG	(longitud (DD) del centro de la celda)
PFTF_BT	(Porcentaje de árboles de hoja ancha)
PFTF_NT	(Porcentaje de árboles de hoja acicular o en forma de agujas)

PFTF_SB (Porcentaje de suelo cubierto por arbustos)

PFTF_HB (Porcentaje de cobertura herbácea)

Una descripción ligeramente más técnica sobre la estructura general del modelo y las instrucciones básicas para instalarlo y correrlo son incluidas en el Anexo 2 de este reporte.

4 Especiación química

El tercer paso en la preparación de un inventario de emisiones con fines de modelación es la desagregación de las emisiones (por ejemplo hidrocarburos totales, óxidos de nitrógeno, etc) en especies químicas individuales o grupos de especies (por ejemplo, tolueno, NO₂, etc). La necesidad de la especiación es determinada por los propósitos del inventario. En este caso como el propósito del inventario es la modelación de la calidad del aire, la especiación química resulta indispensable.

En la aplicación que está siendo realizada actualmente en el INE la especiación química de las emisiones está siendo ligada al SCC de cada fuente. Sin embargo, es importante destacar que estos perfiles de emisión obedecen a los perfiles determinados a través del tiempo y de muchas mediciones para las diferentes fuentes de emisión de los Estados Unidos. Esto aunque puede significar algunas diferencias con los perfiles de emisión de las fuentes mexicanas por cuanto se refiere a las posibles diferencias en las características de los combustibles utilizados así como por las tecnologías de control de emisiones que en cada fuente de emisión se pueden estar usando e uno y otro país, se estima que es una buena aproximación para México dado que es escasa la información específica disponible para nuestro país sobre este tema. Existe información que se ha generado de manera particular a para algunas fuentes de emisión en la ciudad de México (por ejemplo, perfiles de emisión de vehículos a gasolina de diferentes estratos tecnológicos; IMP, 1999; IMP, 2003 e IMP, 2009; Shifter, M. 2001), sin embargo, su uso como información representativa a nivel nacional es algo que se tiene que evaluar con mucho cuidado dadas las especiales características fisiográficas y climáticas del Valle de México que tienen impacto sobre la combustión de los combustibles. Por ejemplo, el valle de México se encuentra a una altura de 2240 metros sobre el nivel del mar, por lo que el contenido de oxígeno del aire es 23% menor que a nivel del mar. Esto hace que los procesos de combustión interna sean menos eficientes y produzcan, por tanto una mayor

cantidad de contaminantes. Por otra parte, los perfiles de emisión ligados a los SCC de cada fuente que se está usando en la aplicación del INE tienen su origen en una extensa base de datos administrada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos denominada SPECIATE (EPA, 2006). SPECIATE es una base de datos sobre perfiles de especiación de compuestos orgánicos y material particulado para una gran variedad de fuentes de emisión de contaminantes. En general esta base de datos incluye más de 4,080 perfiles de emisión para partículas y compuestos orgánicos.

La base de datos de SPECIATE contiene perfiles que son el resultado de pruebas y/o estudios que fueron conducidos en los años 1980's, y en algunos casos, en los 1970's. Sin embargo, hay numerosas fuentes de datos de especiación para partículas, compuestos orgánicos volátiles y gases orgánicos totales disponibles a partir de estudios recientes (EPA, 2006). A la fecha, los esfuerzos realizados para actualizar esta base de datos ha producido:

- 2,865 perfiles para partículas
- 1,215 perfiles para gases
- Perfiles compuestos para 58 categorías de fuente
- Una tabla de referencia cruzada SCC-Perfiles que cubre más del 80% de las fuentes de emisión de partículas y compuestos orgánicos volátiles.

Este contexto hace pensar que por lo menos en este momento los perfiles de especiación química que se están usando, al menos para fuente puntuales y de área, son los más adecuados y consideramos no prudente tratar de ajustar los perfiles de las diferentes fuentes a la escasa información disponible para la Ciudad de México. En todo caso si en el futuro cercano se desea substituir algunos perfiles de emisión default con los perfiles desarrollados para México, esto tendría una prioridad menor a cualquiera de las otras sugerencias hechas con anterioridad debido a sus costos y dificultad técnica.

5. Problemas operativos al trabajar inventarios proyectados

A nivel operativo se identificaron algunos problemas que se sugiere corregir de manera prioritaria a efecto de poder usar el sistema SMOKE en el procesamiento del inventario

nacional de emisiones proyectado al año 2030. Entre los problemas más importantes destacan:

- No existe una guía rápida de consulta para que los usuarios principiantes del sistema puedan correr un ejemplo completo y se familiaricen con el mismo.

Esta deficiencia ya fue atendida en el presente proyecto y en el Anexo 1 de este reporte se presenta una guía rápida sobre la operación del sistema de procesamiento de emisiones SMOKE.

- Problemas con el manejo de fuentes puntuales elevadas (las emisiones que son cero, SMOKE no las procesa y eso genera incompatibilidad en el número de fuentes consideradas en el inventario de emisiones base y en el inventario de emisiones elevadas)

Este problema se presentó específicamente con el amoníaco. En algunas fuentes puntuales el valor de emisión de esta especie es cero. Entonces si el programa encontraba cero no era posible juntar las emisiones de esta fuente con las emisiones de otras fuentes que si emitían este contaminante lo que provocaba una incompatibilidad en el número de fuentes consideradas como fuentes elevadas en el inventario base y el número de fuentes elevadas emitiendo las diferentes especies. Para corregir este problema fue necesario asignar de manera artificial una cantidad de emisión de amoníaco a estas fuentes a efecto de que el programa las contabilizara y permitiera la unión de las emisiones de todas las fuentes elevadas sin ningún problema. La cantidad de emisión de amoníaco que se asignó a estas fuentes de 1 miligramo por año, lo que no afecta de manera significativa los cálculos y que en cambio generó el beneficio de permitir el procesamiento de las emisiones con el sistema SMOKE. Este es problema que está directamente vinculado con el sistema SMOKE y cuya solución real rebasa los alcances del presente proyecto. Sin embargo, se estima que la adición de emisiones de amoníaco no afectará la modelación de la calidad del aire por tratarse de una cantidad insignificante.

- Problemas con el manejo para unir (MERGE) inventarios de emisiones de diferentes años (por ejemplo, inventario de México proyectado al 2030 con inventarios de Estados Unidos sin proyección – 1999, dado que no hubo

proyección del inventario estadounidense). Es un problema interno de encabezados en archivos correspondientes a los inventarios de emisiones base y proyectado.

Se determinó que este problema se presentó debido a que los días calendario de cada año (1999 y 2030) correspondían a diferentes días de la semana. Esto es por ejemplo, el día 28 de septiembre 1999 fue martes, en tanto que el 28 de septiembre del 2030 será sábado. Ello provocaba que los inventarios base y proyectado para dos regiones diferentes y fechas diferentes no pudieran ser unidos en un solo archivo. Para corregir este problema se tuvo que “proyectar” de manera hipotética el inventario de emisiones de 1999 de la porción sur de Estados Unidos al año 2030. Para ello se utilizó una opción de SMOKE en la que la “proyección” se efectuó multiplicando las emisiones de 1999 por 1, con lo que consiguió empatar todos los días del año calendario 2030 del inventario base del Sur de los Estados Unidos sin que ello significara cambio alguno en la magnitud de las emisiones.

- Problemas con el manejo del inventario 2030 respecto al inventario de 1999 por inconsistencia en el número de municipios y de fuentes de emisión considerados en uno y otro inventario. (unión o agregación de emisiones de más de una fuente en un solo SCC; inconsistencia de encabezados en archivos p.e para amoniaco; si aparecen en un inventario y otro no), etc.

La única forma que se encontró para “corregir” este problema fue la no consideración en el inventario proyectado de las emisiones de los once municipios nuevos. Aunque ello significó no tomar en consideración para su procesamiento con fines de modelación las emisiones de estos municipios se consideró que ello no tendrá un impacto significativo en la modelación de la calidad del aire debido a que representan un porcentaje poco significativo de las emisiones totales en el inventario. Aunque no fue la mejor opción, fue suficiente para permitir el uso de SMOKE para procesar el inventario de emisiones proyectado al año 2030.

VII. Análisis de resultados

Del diagnóstico realizado derivan las recomendaciones que ya se han enunciado en los apartados anteriores; sin embargo, es importante destacar que debido a los objetivos inmediatos que tiene el INE en cuanto a la aplicación del sistema SMOKE y del modelo de la calidad del aire CAMx, se dio prioridad a los problemas operativos identificados ya que sin su atención sería imposible la aplicación del sistema para procesar el inventario nacional de emisiones proyectado al 2030 y las afectaciones a ésta de acuerdo a las medidas de control que se desea evaluar tal como el uso de etanol como oxigenante en gasolinas y la probable implementación de una norma sobre rendimiento de gasolina en vehículos nuevos.

En términos de la estimación de las emisiones biogénicas el acoplamiento del modelo MEGAN no sólo permitirá valorar si las emisiones que estima SMOKE con el modelo BEIS son más confiables o certeras que las reportadas en el primer inventario nacional de emisiones de 1999, sino que además mejorará las estimación de las emisiones de ISOPRENO, tal como lo refieren sus desarrolladores (Guenther, et al., 2006).

Otro problema que merece atención especial, aunque éste corresponde al inventario de emisiones propiamente más que a su procesamiento de éste con fines de modelación es la validación de la ubicación geográfica de las fuentes puntuales, al menos de las más significativas, pues más de la mitad, según el propio reporte del inventario nacional de emisiones tienen incertidumbre.

En torno a los inventarios de emisiones con los que se está empleado el sistema SMOKE vale la pena citar que el empate exacto de ambos inventarios (1999 y 2030) requiere necesariamente le reprocesamiento del inventario 1999 con las mismas características del inventario 2030 o en su defecto la creación de las coberturas, los shape files y el cálculo de las nuevas fracciones de distribución de las diferente fuentes de emisión para el inventario de emisiones del año 2030 y aunque todo ello es posible va más allá de los alcances del presente proyecto, por ello se sugiere atender esta inconsistencia entre inventarios de emisiones en futuras aplicaciones de SMOKE. Esto sin embargo, no debería ser una primera prioridad considerando el trabajo tan significativo que se requiere para ello y el poco impacto que tiene en términos de emisiones y calidad del aire.

Finalmente, quizá el aspecto menos relevante por el poco impacto que se espera tenga en el desempeño del modelo de calidad del aire pero que de cualquier forma se sugiere atender en la medida de lo posible es la especiación química de las emisiones de hidrocarburos de las diferentes fuentes. Es sabido que la generación de perfiles espaciados de hidrocarburos para cualquier fuente de emisión es altamente demandante en recursos económicos y de tiempo, además de ser técnicamente muy complicado. Sin embargo, siempre será mejor contar con la información específica del sitio que se desea modelar que hacer uso de los datos generados para cualquier otro sitio.

VIII. Conclusiones

Aunque aún hay cosas que pueden y deben ser mejoradas en el futuro, la versión del sistema de procesamiento de emisiones SMOKE que quedó instalada en el INE como producto de este proyecto se considera que es lo suficientemente confiable como para concluir las aplicaciones que actualmente están en marcha en el INE.

Uno de los principales logros del presente trabajo ha sido el posibilitar el uso del sistema SMOKE para procesar el inventario de emisiones proyectado al 2030. Al presentar éste inventario algunas pequeñas diferencias con respecto al inventario de 1999, la estructura original de operación del sistema SMOKE imposibilitaba su uso en el procesamiento del inventario de emisiones al 2030 lo que estaba provocando retraso en las actividades de modelación que demandaban como insumo los productos generados por SMOKE. Un ejemplo de ello, era la evaluación del impacto potencial de dos medidas de control de emisiones sobre la calidad del aire en el año 2030. Estas medidas son: 1) la instrumentación de norma de eficiencia de combustible en vehículos ligeros nuevos y 2) uso de bioetanol como oxigenante de la gasolina que se comercializa en las zonas metropolitanas de Monterrey, Guadalajara y Valle de México.

Igualmente es de destacar el acoplamiento del modelo de emisiones biogénicas MEGAN, que permitirá mejorar la estimación de las emisiones de ISOPRENO, un contaminante importante en la química del ozono.

Finalmente, se documentó a través de la elaboración de una guía de consulta rápida, la operación básica del sistema de procesamiento de emisiones SMOKE.

IX. Bibliografía

EPA, 2006. SPECIATE 4.0. SPECIATION DATABASE DEVELOPMENT DOCUMENTATION FINAL REPORT. EPA Contract Nos. EP-D-06-001, Work Assignment Numbers 0-03 and 68-D-02-063, WA 4-04 and WA 5-05. By: Ying Hsu, Randy Strait, Stephen Roe, and David Holoman. E.H. Pechan & Associates, Inc. 3622 Lyckan Parkway, Suite 2005. Durham, NC 27707. For: Mr. Lee Beck (E305-02) Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC 27711

ERG – Eastern Research Group, 2009. Desarrollo de proyecciones para el inventario nacional de emisiones de México para el 2008, 2012, y 2030. Reporte final. Enero 2009.

Guenther et al., ACP 6, 3181-3210 (2006).

IMP, 1999. Evaluación de mezclas gasolina – etanol en vehículos automotores. Informe final. Proyecto P.00626. Diciembre de 1999. Instituto Mexicano del Petróleo.

Schifter I., M. Vera, L. Díaz, E. Guzman, F. Ramos and E. López-Salinas. 2001. Environmental implications on the oxygenation of gasoline with ethanol in the metropolitan área of México City. Environmental Science & Technology. Volumn 35 No. 10, 2001. 1983-1901.

IMP. 2003. Modelo predictivo para la formulación y certificación de gasolinas. Proyecto F.00533. Informe final. Febrero de 2003. Instituto Mexicano del Petróleo.

IMP. 2009. Evaluación del uso de etanol en las gasolinas. Proyecto F.21564. Informe final. Marzo de 2009. Instituto Mexicano del Petróleo.

LT Consulting, (2006). Desarrollo de Metodologías para la Aplicación de Modelos de la Calidad del Aire a Nivel Nacional en México. Reporte Final. Contrato INE/I3P-006/2006. 170 pp.

Radian (2000). MANUALES DEL PROGRAMA DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE MEXICO. VOLUMEN VIII – DESARROLLO DE MODELOS PARA INVENTARIOS FINAL. *Elaborado para la:* Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional. *Elaborado por:* Radian International 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827 Febrero 16, 2000.

UNC, (2006). SMOKE v2.3 User's Manual. Carolina Environmental Program - The University of North Carolina at Chapel Hill.

ANEXO 1.

GUÍA DE CONSULTA RÁPIDA PARA OPERAR EL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE EMISIONES SMOKE

Procesamiento de las fuentes de área, móviles y puntuales por smoke para el caso base.

Secuencia de instrucciones para la obtención de los archivos de emisiones distribuidas espacialmente, temporalmente y especiadas para las fuentes de área, móviles y puntuales de la República Mexicana y la parte sur del los Estados Unidos de Norteamérica.

```
cd */smoke_v23/subsys/smoke/assigns
cp setmerge_files.src_zac_mx setmerge_files.scr
lanza_mx_amp.csh      para la República Mexicana
lanza_us_amp.csh      para Estados Unidos de Norteamérica
```

Si se desean correr los dos países en un solo paso

```
Lanza_mx_us_amp.csh
```

Los subdirectorios que se crean son:

```
*/smoke_v23/data/run_mx_DOMINIO_baseMES
*/smoke_v23/data/run_us_DOMINIO_baseMES
```

Donde:

DOMINIO = (d1 d2 d3 d4 d5)

MES = (f m a n)

f – Febrero

m- Mayo
a – Agosto
n – Noviembre

Ejemplos:

run_mx_d1_basef, run_mx_d5_a, run_us_d1_basef

Unión de los archivos de las fuentes de área, móviles, puntuales y biogénicas en uno solo.

Para el caso de los dominios d2, d3 y d4 poner comentarios en las siguientes variables de ambiente AUSGTS_L, MUSGTS_L y PGTS_L que se encuentran en el archivo :

```
*/smoke_v23/subsys/smoke/assigns/setmerge_files.scr  
cd */smoke_v23/subsys/smoke/assigns  
lanza_mrgall_mx.csh
```

Para los dominios d1 y d5 quitar los comentarios a las variables de ambiente AUSGTS_L, MUSGTS_L y PGTS_L que se pusieron anteriormente

```
cd */smoke_v23/subsys/smoke/assigns  
lanza_mrgall_mx_us.csh
```

Para unir inventarios con fechas diferentes, se sigue el procedimiento anterior con los siguientes cambios:

Activar las líneas que contienen a la variable de ambiente FECHA en el archivo:

```
*/smoke_v23/subsys/smoke/assigns/setmerge_files.scr
```

Activar las líneas que contienen la cadena de caracteres # HCG y asignar Y a la variable de ambiente MRG_DIFF_DAYS en los archivos:

```
*/smoke_v23/subsys/smoke/scripts/run/smk_mrgall_mx.csh y
*/smoke_v23/subsys/smoke/scripts/run/smk_mrgall_mx_us.csh
```

Según sea el caso

Unión de los archivos de las fuentes elevadas de la República Mexicana y la parte sur de los Estados Unidos de Norteamérica

Este proceso se aplica únicamente al dominio d1, la razón es que CAMx necesita solamente un archivo para las fuentes elevadas (dominio madre):

```
cd */smoke_v23/subsys/smoke/assigns
lanza_mx_us_mrgelev.csh
```

Creación de la estructura de archivos que entran a CAMx

```
cd */smoke_v23/data
./smkAcamx.csh
```

Generación de los archivos *gcntf* para crecer el inventario

Inventarios:

Area: INEM99_NP_IDA.txt, INEM99_NR_IDA.txt

Móviles: INEM99_OR_IDA.txt

Puntuales: INEM99_PT.txt

Para las dos fuentes de área:

```
cd */dispersion/codigos
projection.csh
```

Los archivos que se generan serían por ejemplo:

```
gcntl.1999_2001_2voc_np.txt
gcntl.1999_2001_2voc_nr.txt
cat gcntl.1999_2001_2voc_np.txt gcntl.1999_2001_2voc_nr.txt > gcntl.1999_2001.txt
```

Para las fuentes móviles:

```
cd */dispersion/codigos
projection.csh
```

El archivo que se generaría por ejemplo sería:

```
gcntl.1999_2001_2voc_mb.txt
cp gcntl.1999_2001_2voc_mb.txt gcntl.1999_2001.txt
```

Para las fuentes puntuales:

```
cd */dispersion/codigos
projection.csh
```

Ejemplo del archivo generado:

```
gcntl.1999_2001_2voc_pt.txt
```

En el archivo anterior algunos de los SCC's no tienen ocho dígitos, para corregir esto es necesario hacer lo siguiente:

```
Cd */dispersion/codigos
scc_6_a_8_dig.csh
```

el archivo generado para el ejemplo anterior sería:

```
gcntl.1999_2001_2voc_8di.txt
cp gcntl.1999_2001_2voc_8di.txt > gcntl.1999_2001.txt
```

Revisar este último para el número de dígitos de los SCC's

Procesamiento de las fuentes de área , móviles y puntuales por SMOKE para proyección de emisiones.

El caso que se considera contempla la proyección de emisiones para cualquier estado de la República Mexicana

```
cd */smoke_v23/subsys/smoke/assigns
cp setmerge_files.src_zac_mx setmerge_files.src
lanza_mx_amp_pro.csh          para la República Mexicana
```

Los subdirectorios que se crean son

```
*/smoke_v23/data/run_mx_DOMINIO_baseMES_ETIQUETA
```

Donde:

ETIQUETA – Describe el tipo de proyección

Unión de los archivos de las fuentes de área, móviles, y puntuales proyectadas con las biogénicas en uno solo

Para el caso de los dominios d2, d3 y d4 poner comentarios en las siguientes variables de ambiente AUSGTS_L, MUSGTS_L y PGTS_L que se encuentran en el archivo

```
*/smoke_v23/subsys/smoke/assigns/setmerge_files.src
```

```
cd */smoke_v23/subsys/smoke/assigns
lanza_mrgall_mx_pro.csh
```

Para los dominios d1 y d5 quitar los comentarios a las variables de ambiente AUSGTS_L, MUSGTS_L y PGTS_L que se pusieron anteriormente

```
cd */smoke_v23/subsys/smoke/assigns
lanza_mrgall_mx_us_pro.csh
```

Unión de los archivos de las fuentes elevadas de la república mexicana proyectadas y la parte sur de los estados unidos de Norteamérica

Para este caso solamente se proyectaron las emisiones de la República Mexicana

```
cd */smoke_v23/subsys/smoke/assigns  
lanza_mx_us_pro_mrgelev.csh
```

Repetir el paso bajo el título CREACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE ARCHIVOS QUE
ENTRAN A CAMx

Hacer una copia de los archivos donde se encuentran los SCC's que se proyectaron para
cada una de las fuentes y dominios

```
cd */smoke_v23/data  
./copia_reportes_proyecciones.csh
```

ANEXO 2.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO MEGAN

1. ESTRUCTURA GENERAL DEL MODELO

El modelo MEGAN v2.04 consiste de 3 módulos, que son:

1) MG2IOAPI

Este módulo convertirá el formato texto a formato IOAPI-netCDF. Éste lee los archivos preprocesados EFMAP_LAI.scv y PFTF.scv y los convierte en formato I/O API.

2) MEGAN

Este es el módulo primario y su función primordial es la de calcular los valores gamma.

3) MG2MECH

Este módulo calcula las tasas de emisión final de cada especie química y convierte los archivos de emisión de salida de MEGAN en clases químicas conforme a los requerimientos de diversos mecanismos químicos. Los mecanismos químicos actualmente incluidos son: CBMZ, SAPRC99, RADM2 y RACM. Estas conversiones fueron desarrolladas por Tanarit Sakulyanontvittaya (universidad de Colorado) con asistencia de Jana Mildford (Universidad de Colorado), Christine Wiedinmyer y John Orlando (National Center for Atmospheric Research), William Stockwell (Howard University), Greg Yarwood (ENVIRON) y Rahul Zaveri (Pacific Northwest National Laboratory).

Internamente en el INE se dispone del módulo que permite procesar las salidas del modelo MEGAN de acuerdo con las clases químicas que maneja el mecanismo químico CBIV, que es el que utiliza el modelo de calidad del aire CAMx para representar la

química atmosférica. Es pertinente decir que éste módulo fue proporcionado al INE por el Dr. Zachariah Adelman de la Univerisdad de Carolina del Norte.

2. PARA CORRER MEGAN

Para instalar MEGAN y sus programas,

i) Unzip y untar “megan_install.tar.gz”

Al hacer esto, se crea la siguiente estructura de directorio

```
MEGANv2.0
|
- bin
|
- doc
|
- Input
||
| - MAP
||
| - MCIP
|
- lib
||
| - ioapi_3
|||
|| - fixed_src
|||
|| - Linux2_x86pg
||
| - netCDF
||
| - include
||
| - lib
|
- Output
||
| - ITMDT
|
- src
||
| - EMPROC
|||
|| - INCDIR
```

```
||
|- MECHCONV
|||
||- INCDIR
||
|- TXT2IOAPI
||
|- INCDIR
|
_ work
```

ii). Configurar rutas y directorios para MEGAN

Editar las variables de ambiente definidas en el archivo llamado “setcase”

```
Edit MEGANv2.0/setcase
setenv MGNHOME /MEGANv2.0
setenv MGNSRC $MGNHOME/src
setenv MGNLIB $MGNHOME/LIB
setenv MGNEXE $MGNHOME/bin
setenv MGNRUN $MGNHOME/work
setenv MGNINP $MGNHOME/Input
setenv MGNOUT $MGNHOME/Output
```

MGNHOME es donde el modelo MEGAN será instalado.

Invocar el *setcase* con la siguiente instrucción:

```
> source $MGNHOME/setcase
```

iii). Instalar IOAPI y netCDF

Se deben descargar e instalar las librerías IOAPI y netCDF. Una vez instalados, las librerías y los archivos *include* pueden ser simplemente ligados a MEGAN con el comando “ln -s”.

```
ln -s /home/EDSS/ioapi_3.0/ioapi/fixed_src/* $MGNLIB/ioapi_3/fixed_src
ln -s /home/EDSS/ioapi_3.0/Linux2_x86pg/libioapi.a
    $MGNLIB/ioapi_3/Linux2_x86pg
ln -s /home/EDSS/netcdf-3.5.1/include/* $MGNLIB/netCDF/include
```

```
In -s /home/EDSS/netcdf-3.5.1/lib/libnetcdf.a $MGNLIB/netCDF/lib
```

iv). Configurar rutas y directorios para los makefiles

Hay tres makefiles que tienen que ser editados para cada caso particular:

```
Makefile.mg2ioapi located in $MGNSRC/TXT2IOAPI/  
Makefile.megan located in $MGNSRC/EMPROC/  
Makefile.mg2mech located in $MGNSRC/MECHCONV/
```

Los archivos de los directorios *Library* e *include* deben apuntar hacia los archivos de los directorios correspondientes, según fueron instalados en el paso anterior (iii)

v). Verificar que las rutas de las librerías son las correctas

Para hacer esto sólo se debe invocar `make_all_programs.scr` con la siguiente instrucción:

```
> $MGNSRC/make_all_programs.scr
```

vi). Correr el modelo

Para correr el modelo, todos los scripts de corrida están localizados en `$MGNRUN`

Los scripts de corrida deben ser autodescritos. Los archivos **input**, **mcip**, **output** y **log**, así como los parámetros tienen que ser especificados por el usuario antes de correr el modelo.

Para correr `mg2ioapi`, invocar `mg2ioapi`

```
>run.mg2ioapi.csh
```

To run `megan`, invoke `megan`

```
>run.megan.csh
```

To run `mg2mech`, invoke `mg2mech`

> run.mg2mech.csh

3. OTRAS SOBRE EL MODELO

Hay varios parámetros del modelo que pueden ser editados a través de cambios que el usuario puede efectuar en los archivos con extensión *. EXT.

A continuación se presenta una lista de varios archivos con extensión *. EXT usados por el programa. El usuario puede editar estas tablas para cambiar factores de emisión y otros parámetros del modelo.

- **Factores de emisión**

\$MGNGHOMe/src/MECHCONV/INCDIR/EF_MGN20.EXT

- **Fracciones de emisión**

\$MGNGHOMe/src/MECHCONV/INCDIR/EFFS_MGN20T138.EXT

- **Parámetros dependientes de la temperatura**

\$MGNGHOMe/src/EMPROC/INCLDIR/TEMPD_PRM.EXT

- **Factores dependientes de la luz**

\$MGNGHOMe/src/EMPROC/INCLDIR/LD_FCT.EXT

- **Conversión de mecanismos RADM2 y RACM**

\$MGNGHOMe/src/MECHCONV/INCDIR/MAP_CV2RADM2.EXT

\$MGNGHOMe/src/MECHCONV/INCDIR/SPC_RADM2.EXT

\$MGNGHOMe/src/MECHCONV/INCDIR/MAP_CV2RACM.EX

\$MGNGHOMe/src/MECHCONV/INCDIR/SPC_RACM.EXT

Referencia:

Guenther, A., T. Karl, P. Harley, C. Wiedinmyer, P. Palmer, and C. Geron, Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature), *Atmos. Chem Phys.*, 6, 3181- 3210, 2006.