

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE QUÍMICA

CONTRIBUCIÓN DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES, NO COMBUSTIVOS,
EN LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL ESTADO DE
QUERÉTARO Y SUS MEDIDAS DE MITIGACIÓN

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias Ambientales

Presenta
I.Q.A. Lucitania Servín Vázquez

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Enero de 2016



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencias Ambientales

Contribución de los procesos industriales, no combustivos, en la emisión de gases de efecto invernadero en el estado de Querétaro y sus medidas de mitigación

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestría en Ciencias Ambientales

Presenta:
Lucitania Servín Vázquez

Dirigido por:
Dr. Miguel Angel Rea López

Dr. Miguel Ángel Rea López
Presidente


Firma

M. en C. Gustavo Pedraza Aboytes
Secretario


Firma

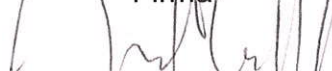
Dr. Humberto Suzán Azpiri
Vocal


Firma


Dra. Maricela González Leal
Suplente


Firma

Dr. Miguel Ángel Rico Rodríguez
Suplente


Firma


M.S.P. Sergio Pacheco Hernández
Director de la Facultad


Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo identificar los procesos industriales no combustivos que contribuyen en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el Estado de Querétaro y proponer medidas de mitigación para dicho sector. Para la elaboración del inventario se emplearon y aplicaron las guías y metodologías del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Para la categoría de procesos industriales se consideraron las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la transformación de la materia prima para la manufactura de productos, sin tomar en cuenta las emisiones de GEI derivadas de procesos energéticos. La información para la construcción del inventario fue obtenida directamente de los giros industriales catalogados como fuentes de emisión dentro de las directrices del IPCC. Se recopilaron y analizaron datos de 84 industrias queretanas generadoras de emisiones de GEI. Solo 46% de los procesos industriales descritos en las directrices del IPCC para inventarios de gases de efecto invernadero existen en el Estado de Querétaro. Las fuentes más importantes de generación de GEI para el sector son la industria de la cal y la industria de alimentos y bebidas. La industria de la cal tiene un aporte de 239.48 Gg de bióxido de carbono (CO₂), lo que representa prácticamente el 100% de la contribución de CO₂, y la industria de alimentos y bebidas que aporta 238.4 Gg de compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM), que representa 97% de los gases precursores de GEI. Las medidas de mitigación que se proponen son principalmente cambios tecnológicos en esos subsectores, mismos que deberán ser diseñados e implementados por cada industria en particular. Los resultados de este estudio, junto con los resultados de otros sectores, fueron la base para la elaboración del programa estatal de acción ante el cambio climático, mismo que será considerado como un instrumento de planeación estratégica y de generación de políticas públicas en nuestro Estado, para incidir en la reducción de emisiones de GEI a nivel nacional.

(Palabras clave: inventario, gases de efecto invernadero, procesos industriales)

SUMMARY

The objective of the present work was to identify the non-combustive industrial processes that contribute to the emission of greenhouse gases (GHG) in the state of Queretaro, México, and to propose mitigation measures for this sector. For the inventory we used the guidelines and methodologies proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). We included only GHG emissions derived from the transformation of raw materials for the manufacture of goods. We did not include GHG emissions resulting from the use of fuels. The information for building the inventory was obtained directly from industries that were cataloged as emission sources by the IPCC guidelines. We collected and analyzed data from 84 industries. Only 46% of the industrial processes described in the IPCC guidelines as emission sources of GHG exist in the state of Queretaro. The most important sources of GHG generation for the sector are the lime industry and the food and beverage industries. The lime industry contributes with 239.48 Gg of carbon dioxide (CO₂), which represent almost 100% of the total CO₂ emissions for the state. The food and beverage industries contribute with 238.4 Gg of non-methane volatile organic compounds (NMVOCs); 97% of the total GHG precursors emitted statewide. Mitigation measures proposed are mainly technological improvements that are expected to be designed and implemented for each particular industry. The results of this study, along with the results of other sectors, were the basis for the development of the climate change action program for the state of Querétaro, which is considered an instrument of strategic planning and the basis for the creation of public policies that will result in a reduction of GHG emissions nationwide.

(Keywords: inventory, greenhouse gases, industrial processes)

Con todo mi amor para Sara, Alan y Edgar por ser mi motor de vida.

AGRADECIMIENTOS

A Edgar, por estar siempre ahí, con paciencia y aliento para que logremos cada meta propuesta, por el equipo que formamos juntos ahora como familia. Por ser mi cabeza y mi columna en momentos de difíciles decisiones. Por ayudarme tanto con nuestros tesoros. Por ser mi compañero de vida.

A mis padres, Lucy y Efraín por ser siempre mi ejemplo y mi fortaleza, por darme todo su amor y soporte cuando más lo necesite, por todas las bases que han formado en mí y que ahora espero trasciendan en mis hijos.

A mis hermanos, Sandy y Efra por apoyarme siempre e impulsarme a seguir adelante, demostrándome con su ejemplo que todo es posible.

A mis sinodales, Dr. Miguel Ángel Rea, Mtro. Gustavo Pedraza, Dra. Maricela González, Dr. Miguel Angel Rico y Dr. Humberto Suzán, por su paciencia, apoyo y acompañamiento en este trabajo. En especial a mi Director de tesis, el Dr. Rea por su apoyo incondicional en todo momento y para cualquier cosa que necesité, por estar siempre disponible.

A mis amigos y colegas, Ricardo Torres y Rodrigo Ortega, por estar ahí para escucharme, explicarme y desestresarme. En especial a Rodri ya que sin su gran apoyo no hubiera sido posible concluir este proceso, es un logro compartido. Los quiero chicos.

A la Mtra. Beatriz Verduzco por no dejarnos solos, por estar al pendiente de nosotros y por impulsarnos a dar el último gran pasito.

Al Dr. Miguel Ramos, porque aún sin conocerme bien, me apoyó y defendió para que este proceso de titulación fuera una realidad.

Finalmente pero al más importante, a Dios, por darme la vida y tantas bendiciones a lo largo de ella, porque las pruebas han sido para aprender y siempre dándome las herramientas para salir adelante. Por ser tan feliz personal y profesionalmente, porque la profesión que ejerzo me apasiona y me llena de motivación día con día. Por hacer esto posible y por permitirme continuar...

TABLA DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
II.1 Cambio climático	4
II.2 Cambio climático: evidencia internacional	4
II.3 Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	8
II.4 Inventarios de emisiones de GEI para Procesos Industriales.....	10
II.5 Elección de método y nivel del Inventarios de emisiones de GEI para Procesos Industriales	11
II.6 Escenarios de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.....	13
II.7 Escenarios de emisiones de GEI por sector	13
III. HIPÓTESIS	16
IV. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.....	17
IV. 1 Objetivo general	17
IV. 2 Objetivos específicos	17
V. METODOLOGÍA	18
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
VII. CONCLUSIONES.....	42
VIII.REFERENCIAS.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Evolución de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero desde hace 2000 años (a) y evolución de la temperatura promedio mundial entre 1850-2000 (b).	5
Figura 2.3. Información de México con base en el diagrama diseñado por World Resources Institute, WRI, (tomado de la 4ta. Comunicación Nacional ante la CMNUCC, INECC, 2009).....	10
Figura 5.1. Estructura del sector de procesos industriales para el Estado de Querétaro.....	19
Figura 5.2. Estructura del sector de procesos industriales para el Estado de Querétaro.....	22
Figura 5.3. Formato remitido a los sectores potenciales generados de emisiones de GEIs.....	23
Figura 5.4. Porcentaje de Producción por tipos de cal en el Estado de Querétaro	26
Figura 5.5. Comparación del PCG vs PAO de CFCs, HCFCs y HFCs. Fuente: CMM, 2008.....	30
Figura 6.1. Datos tomados de los resultados obtenidos para el sector industrial en el Estado de Querétaro, año base 2006. (Suzán, Et al., 2014).....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Metodología para la selección del nivel para la determinación de inventarios.....	12
Tabla 5.1. Emisiones potenciales procedentes de los procesos industriales (IPCC 1996).....	20
Tabla 5.2. Factores de emisión utilizados. Directrices del IPCC para los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero revisadas en 1996.....	24
Tabla 5.3. Factores de emisión utilizados en la pavimentación asfáltica.....	26
Tabla 5.4. Rubros comprendidos en las encuestas aplicadas a la industria de alimentos y bebidas.....	28
Tabla 5.5. Factores de emisión considerados para los rubros comprendidos en las encuestas aplicadas a la industria de alimentos y bebidas.....	28
Tabla 6.1. Resultados obtenidos para el sector industrial en el Estado de Querétaro, año base 2006.....	37
Tabla 6.2. Tabla comparativa de emisiones totales para Procesos Industriales entre los Estados de Guanajuato y Querétaro (Gg).....	39

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas que ha tomado mayor relevancia internacionalmente en los últimos años es el problema de la contaminación del aire, del agua y del suelo, primordialmente la primera ha contribuido de forma importante al cambio climático global. Se sabe, por ejemplo, que las concentraciones actuales de dióxido de carbono (CO₂), el principal gas de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, han aumentado considerablemente en las últimas décadas. Efectivamente, en la época preindustrial (antes del año 1970) la concentración atmosférica de CO₂ era de 280 ppm, pero en 2008 la concentración fue 38% mayor; 385 ppm. Si bien es cierto que la mayor parte de las emisiones contaminantes a la atmósfera provienen de países desarrollados y/o industrializados como Estados Unidos, países de la Unión Europea o China, países en desarrollo como México contribuyen también a ese fenómeno. En 2005, México contribuyó con el 1.4% de la emisión mundial de CO₂ por consumo y quema de combustibles fósiles (SEMARNAT, 2009).

En México, los esfuerzos para contar con mayor información en materia de emisiones a la atmósfera para la toma de decisiones en la gestión de la calidad del aire, y como parte de los compromisos trilaterales con Estados Unidos y Canadá, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), – a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental (SGPA) – elaboraron el inventario nacional de emisiones (INEM) año base 1999, el cual fue publicado en 2006. Ese inventario de emisiones fue el primero a nivel nacional y tuvo como uno de sus objetivos generales “Fortalecer el desarrollo de la capacidad institucional de la SEMARNAT y de las autoridades ambientales estatales para elaborar, mantener y actualizar inventarios de emisiones”.

Por otro lado, en 1992, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro, Brasil (conocida también como la “Cumbre de la Tierra”), se terminó de negociar y se adoptó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático con el objetivo de *“lograr la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un*

nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático... ”. México firmó y ratificó este acuerdo internacional en 1992 y 1993, respectivamente.

En 1997, México adoptó un instrumento legal complementario, el Protocolo de Kioto, dirigido a limitar las emisiones netas de gases de efecto invernadero en los países industrializados. Puesto en números, el protocolo de Kioto busca reducir las emisiones de GEI de estos países en 5%, tomando como base las que tenían en el año 1990. Para los países en desarrollo no se fijaron metas cuantificables de reducción de emisiones de GEI, pero sí compromisos particulares, entre ellos la elaboración de inventarios nacionales de emisiones. México ratificó el Protocolo en el año 2000 dentro de la categoría de “país No Anexo I”, es decir, como país en desarrollo.

Este trabajo formó parte del proyecto para desarrollar el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Querétaro y que fue publicado bajo el título de “Elementos Técnicos del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático-Querétaro” con clave SNIB digital 978-607-513-101-6, publicando la primera edición en abril del año 2014, la publicación de la edición impresa y digital contó con el financiamiento del Fondo CONACYT-SEMARNAT clave 00000000108173 y tuvo como uno de sus objetivos específicos realizar el inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de todos los sectores incluyendo al industrial del Estado de Querétaro tomando como año base el 2005, aplicando para ello las guías y metodologías del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) 1996. El inventario permitió contar con un diagnóstico de las emisiones de GEI generadas por el sector industrial y, a su vez, establecer acciones concretas de mitigación ante el cambio climático para el Estado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Durante muchos años, los temas ambientales fueron ignorados o considerados secundarios y supeditados al crecimiento económico y al desarrollo social del país, muy posiblemente debido a que no se valoraba en su justa dimensión la importancia de un medio ambiente sano, o bien, a que se tenía la esperanza de que, una vez que se solucionaran los problemas sociales y económicos, los ecosistemas naturales tendrían tiempo y capacidad para recuperarse. La realidad nos enfrenta al hecho de que el deterioro ambiental amenaza seriamente el desarrollo actual y futuro de las naciones. La pérdida de ecosistemas y su biodiversidad, la degradación de los suelos, la contaminación del aire y la cada vez más acentuada disminución en la disponibilidad de agua son sólo algunos de los problemas ambientales más conocidos que enfrentamos. A éstos, ahora debemos sumarle uno más: el cambio climático global que, por la magnitud de su extensión y por todas sus implicaciones (sociales, económicas y ambientales), puede comprometer seriamente el futuro de casi todos los países, incluido México.

México es el único país latinoamericano en la lista de los 15 países más emisores de Gases de Efecto Invernadero (GEI). La producción de energía térmica y el consumo de la misma en México representan casi la mitad de las emisiones de GEI de toda la región de América Latina. En general, América Latina y México en concreto, ha respondido al cambio climático mediante la firma y ratificación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y ahora lleva a cabo el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Boyd & Ibararán, 2002).

De conformidad con las Directrices revisadas del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) 1996, en la categoría de procesos industriales se evalúan aquellos procesos físicos y químicos no relacionados con la energía en actividades de producción y que conducen a la transformación de materias primas y emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Se consideran además procesos industriales los usos no energéticos (UNE) de insumos en reacciones de procesos o procesos por etapas que no sólo liberan calor sino que también actúan como agente reductor.

En el Estado de Querétaro, se cuenta con solo algunos de los giros industriales que de conformidad con las Guías del IPCC estuvieron en posibilidad de ser evaluadas respecto de su contribución de GEI. Eso debido a las características de sus procesos y/o disponibilidad de factores de emisión y datos de actividad.

II.1 Cambio climático

El cambio climático se define como "...todo cambio que ocurre en el clima a través del tiempo, resultado de la variabilidad natural o de las actividades humanas." El calentamiento global, por su parte, es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales (SEMARNAT, 2009).

Es importante mencionar que a pesar de que el clima cambia naturalmente, los expertos señalan que existen claras evidencias de que el calentamiento del planeta registrado en los últimos 50 años puede ser atribuido a los efectos de las actividades humanas. El cambio climático es uno de los principales problemas ambientales del siglo XXI, tal y como ha venido señalando las Naciones Unidas desde la reunión de Kioto en 1997. Según los informes del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, el clima de la tierra ya ha sido alterado como resultado de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Como consecuencia de esto, la temperatura media del planeta se ha incrementado en 0.74 °C en el último siglo y puede aumentar en un rango entre 1.8 °C y 6 °C a finales del siglo XXI (IEE, 2009).

II.2 Cambio climático: evidencia internacional

El cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (2007) establece cuatro conclusiones científicas:

1. El calentamiento del sistema climático es inequívoco (Figura 2. 1).

2. El aumento de los gases de efecto invernadero registra un incremento significativo desde 1850 asociado al proceso de industrialización ocasionando un aumento de la temperatura global el planeta y otros impactos climáticos (Figura 2. 1).

3. El calentamiento global significará un aumento en la temperatura del planeta, con mayor probabilidad, de entre 1.1 a 4.5 grados centígrados, aunque existen incluso predicciones más pesimistas que llegan a 6 grados, y un incremento en el nivel del mar de 28 a 43 centímetros para este siglo. Además se observarán cambios importantes en los patrones de precipitación y en los eventos climáticos extremos.

4. El cambio climático está teniendo una influencia discernible sobre muchos de los sistemas físicos y biológicos.

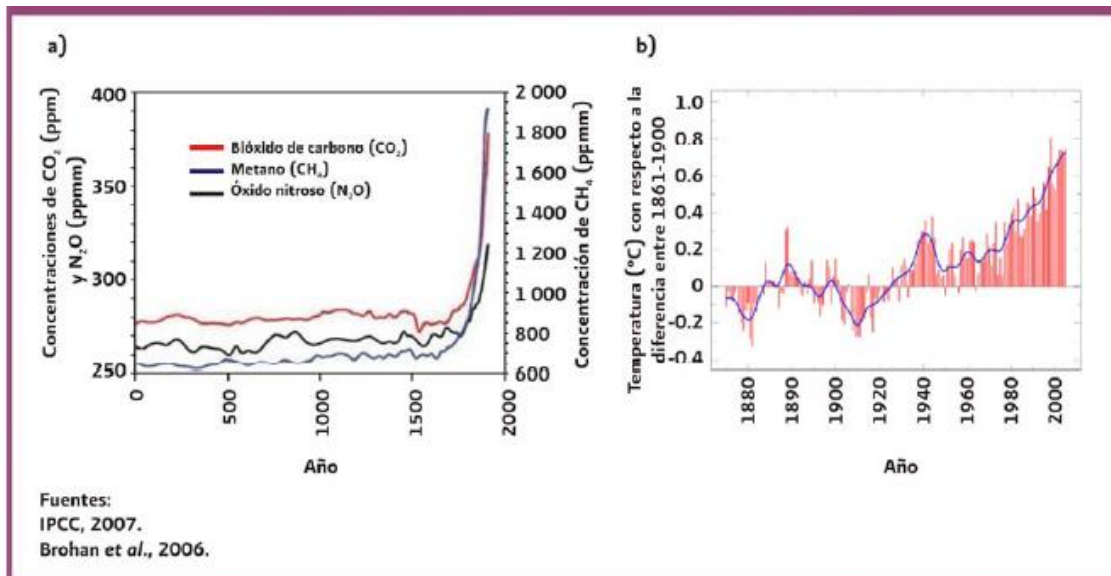


Figura 2.1 Evolución de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero desde hace 2000 años (a) y evolución de la temperatura promedio mundial entre 1850-2000 (b).

Estas cuatro conclusiones tienen su traducción práctica en lo que los propios científicos del IPCC llaman los patrones asociados al cambio climático: derretimiento de las capas de hielo (lo que provocaría el aumento del nivel del mar y la inundación y destrucción de algunas costas), presencia de lluvia en tiempos y lugares antes no existentes, sequías más prolongadas e intensas en otras zonas, extinción de muchas especies animales y vegetales, aumento de enfermedades e incremento en la

intensidad de los eventos extremos como ciclones tropicales. Las actividades antropogénicas y algunos procesos naturales son las causas directas e indirectas del cambio del sistema climático. Esto es, en las últimas décadas, el aumento de la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) es el factor dominante en el forzamiento radiativo (IPCC, 2007). De esta forma, la mayor parte del aumento observado en las temperaturas medias mundiales desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento de las concentraciones de GEI de origen antropogénico. La evidencia disponible indica que la tasa de calentamiento durante los últimos 50 años ha sido en promedio $0.13^{\circ}\text{C} \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ por década, duplicándose en los últimos 100 años (Figura 2.1.). Las precipitaciones más intensas (Figura 2.2.) han crecido de una manera alarmante desde 1950, incluso en regiones donde las precipitaciones eran menores. Por otro lado, se han presentado aumentos en las sequías desde 1970, particularmente en los trópicos y subtrópicos, que están relacionadas con las disminuciones de las precipitaciones y con temperaturas más altas.

La evidencia disponible sobre la criósfera (las partes del planeta que contiene agua en forma de hielo) indica que se ha presentado una reducción importante en la capa de nieve principalmente del hemisferio norte de 1966 a 2005 en estaciones como la primavera registrando una disminución del 5% anual desde finales de los años ochenta. El deshielo del hemisferio norte está ocasionando variaciones en los niveles del mar. En los océanos, el cambio climático se refleja en cambios en su temperatura y salinidad. Así, los indicadores muestran que el cambio en la temperatura de los océanos comenzó a mediados del siglo XX con un calentamiento sobre los 700 metros con respecto a las superficies del océano.

En América Latina, como a nivel global, algunos sectores y sistemas son especialmente vulnerables:

- Es muy probable que los recursos hídricos se vean disminuidos entre el 10% y 30% en regiones de latitudes medias y en el trópico húmedo y que en el

- transcurso del siglo se reduzca el agua almacenada en los glaciares y en la nieve.
- Se cree que los ecosistemas experimentarán pérdida de especies (entre un 20% al 30% de las especies estudiadas en riesgo de extinción), así como reducciones en la biodiversidad.
 - Si se presenta un aumento global menor a 3°C, es probable que la productividad agrícola se incremente en latitudes altas. En latitudes bajas, los decrementos en esta productividad se pueden dar aún con cambios menores en las temperaturas locales. Si se presenta un aumento superior a los 3°C, es probable que la productividad disminuya en la mayoría de las regiones del planeta.
 - Las costas están amenazadas por un aumento en el nivel del mar que conduciría a una pérdida del suelo costero y a un incremento en el riesgo de inundación para millones de personas para finales de siglo.

Algunos países en la región latinoamericana han hecho esfuerzos por adaptarse, particularmente a través de la conservación de ecosistemas, así como mediante el impulso de la adopción de sistemas de alerta temprana, el desarrollo de estrategias para enfrentar las sequías y las inundaciones, mejorando el manejo de sus zonas costeras y apoyando a sus sistemas de salud. Sin embargo, la efectividad de esos esfuerzos se ha visto sobrepasada por la falta de información básica y de sistemas de observación y monitoreo; por las condiciones de pobreza y por los asentamientos humanos en zonas muy vulnerables, así como la falta de estrategias políticas, institucionales y tecnológicas apropiadas.

Los cambios observados y los escenarios futuros son la motivación fundamental para que los países de América Latina, en particular México, estén impulsando nuevos estudios en materia de cambio climático, sus posibles impactos, y el desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación al mismo (Conde y Gay, 2008).

II.3 Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es una lista de cuantificación de emisiones de GEI y de las fuentes de emisión correspondientes a una organización¹ determinada. Con base en la definición de un inventario de emisiones de GEI, se tendrá que poner atención en dos tipos de listados: las fuentes de emisiones de GEI directas e indirectas y la cuantificación de dichas emisiones de GEI. Es importante indicar que un inventario de emisiones de GEI, entregable a un usuario, es un reporte que generalmente cubre un año. (SEMARNAT, 2014).

El proceso de elaboración del inventario se desarrolla a lo largo de una serie de etapas en las que se incluyen: la identificación de categorías clave, la elección de métodos, la recopilación de información, el tratamiento de la información, la presentación de resultados y la evaluación de incertidumbre y la validación del inventario. (Oficina Catalana de Cambio Climático, 2011).

En el marco de los acuerdos internacionales, México ha cumplido sus compromisos e impulsado distintas medidas de adaptación al cambio climático, así como otras enfocadas a la reducción de emisiones de GEI. Entre estas medidas se encuentran la elaboración de Inventarios Nacionales de Emisiones, que son la base de las Comunicaciones Nacionales sobre el Cambio Climático. A la fecha, nuestro país ha presentado cuatro Comunicaciones Nacionales, que consisten en los informes que rinden los países ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (acompañados de sus respectivos Inventarios Nacionales de Emisiones), en las que se hace una revisión detallada de las actividades que han realizado los países para cumplir con la Convención.

Otra de las acciones emprendidas por México fue la elaboración de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), misma que se publicó en el año 2007, y definió las bases para impulsar la reducción de emisiones y el desarrollo de proyectos para prevenir, evitar, minimizar y crear capacidades nacionales y locales de adaptación a los efectos del cambio climático. La estrategia incluye líneas de acción y políticas que

sirvieron para la elaboración del Programa Especial de Cambio Climático (PECC) (SEMARNAT, 2009).

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del 2002, en México se produjeron poco más de 553 millones de toneladas de GEI. En el 2002, la principal fuente de gases de efecto invernadero en México fue el sector energía, responsable de cerca de 70% de las emisiones. En este sector se incluye el consumo de los combustibles fósiles, indispensable para mover los autos y otros transportes y para la generación de electricidad.

Otros procesos industriales, como la producción del cemento, vidrio, acero, papel, alimentos y bebidas, entre otros, contribuyeron con alrededor de 9% de las emisiones totales de GEI del país. Por su parte, las actividades agropecuarias, de las que se obtienen los granos, frutas y carnes, generan también dos gases de efecto invernadero: el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), que contabilizaron el 8% de las emisiones nacionales de GEI. Estos gases se derivan de la fermentación de los alimentos en el sistema digestivo del ganado, del estiércol y su manejo, así como de cultivos como el arroz y de procesos naturales que ocurren en el suelo.

Por último, los desechos que generamos en nuestras casas e industrias también emiten GEI. Las aguas residuales municipales e industriales emiten metano y óxido nitroso por la descomposición de la materia orgánica, mientras que cuando se queman residuos también se liberan CO_2 y óxido nitroso a la atmósfera. También el manejo de los residuos y el tratamiento de las aguas residuales, a pesar de sus indudables beneficios, generan GEI. Las emisiones por estos conceptos contabilizaron cerca del 12% del total de las emisiones en el país en 2002. (Figura 2.3.) (4ta. Comunicación Nacional ante la CMNUCC, INECC, 2009).

Los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero forman parte de los Planes Estatales de Acción contra el Cambio Climático, que incluyen también la generación de escenarios climáticos regionales y el análisis de la vulnerabilidad de cada Estado ante el Cambio Climático, todo ello con la intención de generar políticas

públicas que permitan la mitigación y adaptación a los efectos que el Cambio Climático generará en su territorio.

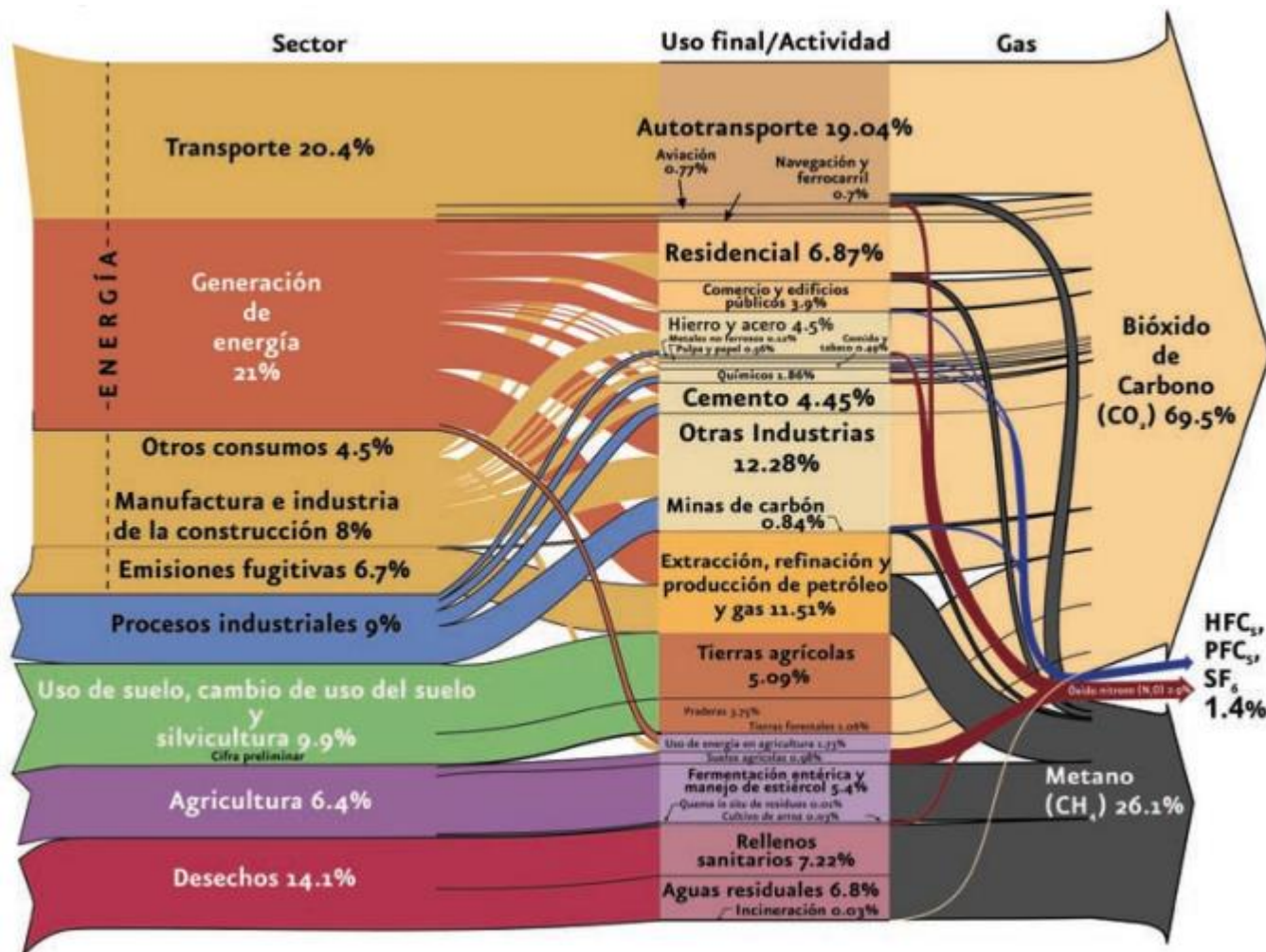


Figura 2.3. Información de México con base en el diagrama diseñado por World Resources Institute, WRI, (tomado de la 4ta. Comunicación Nacional ante la CMNUCC, INECC, 2009)

II.4 Inventarios de emisiones de GEI para Procesos Industriales

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son resultado de gran número de actividades industriales que no están relacionadas con la energía. Las principales fuentes de emisiones son los procesos de producción industrial que transforman los materiales por medios físicos y químicos. Durante estos procesos, pueden ocurrir emisiones de diversos GEI, incluidos: CO₂, CH₄, N₂O, PFC y SF₆.

De acuerdo con las Directrices revisadas del IPCC (1996), las actividades del sector de procesos industriales son aquellos procesos físicos y químicos no relacionados con la energía en actividades de producción y que conducen a la transformación de materia prima y emisiones de GEI. Se consideran además procesos industriales los usos no energéticos (UNE) de insumos en reacciones de procesos o procesos por etapas que no sólo liberan calor sino que también actúan como agente reductor (Braatz and Doorn, 2008).

En algunos casos, las emisiones procedentes de los procesos industriales coinciden con emisiones procedentes de la quema de combustibles, pudiendo resultar difícil decidir si una emisión específica corresponde al sector de la energía o al de los procesos industriales, para ello se desarrollaron las Directrices del IPCC para los inventarios de GEI.

Se reconoce generalmente que los procesos industriales no combustivos que dan por resultado emisiones de N₂O son importantes fuentes antropogénicas de emisiones de N₂O en todo el mundo. Se estima que esa categoría de fuente represente del 10 al 50% de las emisiones antropogénicas de N₂O y del 3% al 20% del total de emisiones de N₂O (IPCC, 1996).

Los procesos industriales como la producción de aluminio, magnesio y halocarburos dan lugar también a emisiones de HFC, PFC y SF₆. En algunos países, las emisiones de PFC procedentes de los procesos industriales podrían ser una importante fuente nacional de emisiones de gases de efecto invernadero debido a su mayor potencial de calentamiento atmosférico.

II.5 Elección de método y nivel del Inventarios de emisiones de GEI para Procesos Industriales

Como en cualquier categoría de los inventarios de gases de efecto invernadero, existen niveles de simplificación (o complejidad) para la determinación de las

emisiones, dependiendo de la disponibilidad de los datos, ya sea de actividad (**A**) o de factores de emisión (**FE**). Así, para procesos industriales se reconocen dos niveles:

Nivel 1: Alcance simplificado

Nivel 2: Metodología más detallada

Se dispone de varias opciones para ciertos procesos industriales bajo el nivel 1, denotados por las letras minúsculas, como el Nivel 1a, 1b y 1c; dependiendo de la disponibilidad de datos y la idoneidad de los métodos. El orden de preferencia para los métodos de nivel 1 son 1a mayor a 1b mayor a 1c, de conformidad con la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Metodología para la selección del nivel para la determinación de inventarios

Actividad (gas emisor)	Nivel 1 ^a	Nivel 1b	Nivel 2
Producción de amoníaco	A – como consumo de gas natural (m ³) y FE (kg C/m ³)	A – como producción de amoníaco (ton) y FE (ton CO ₂ /ton de amoníaco)	
Producción de metales	A – consumo de agentes reductores (ton) y FE (ton de C/ton de agentes reductores)	Producción de metal (ton de CO ₂ /ton de metal)	
PFC de la producción de aluminio	Estimación basada en FE (kg/ton de Al)	Datos de emisión directo de planta	
Manufactura de HCFC (HFC23)	A (ton totales de la producción) FE por defecto (% de la producción total)	Emisiones potenciales	Mediciones directas de las emisiones específicas de la planta usando Métodos estándar
Consumo de sustitutos de SDO₃ (HFC, PFC, SF₆)	Emisiones potenciales		Emisiones reales

II.6 Escenarios de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Un escenario contiene una serie de variables relacionadas entre sí para formar un cuadro que muestre cómo el mundo podría ser en una fecha futura. Estos cuadros, son de utilidad para el análisis del cambio climático; en particular para la creación de modelos del clima que permiten la evaluación de los impactos y el desarrollo de iniciativas de adaptación y de mitigación.

Los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro; y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán ciertos factores (fuerzas determinantes) en las emisiones futuras para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis. Los escenarios no son un pronóstico ni una extrapolación de tendencias históricas; describen un futuro posible, internamente coherente y no asignan probabilidades de producirse (INE-SEMARNAT, 2008).

En 1990 y 1992, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) desarrolló varios escenarios de emisiones a largo plazo. Esos escenarios se utilizan para el análisis de un posible cambio climático, de sus repercusiones y de las opciones para mitigar dicho cambio. Cada escenario representa una interpretación cuantitativa específica y están divididas en cuatro líneas evolutivas denominadas familias (A1, A2, B1, B2).

Las familias de escenarios divergen cualitativa y cuantitativamente. Las dos familias “A”, por ejemplo, sitúan un alto crecimiento económico, mientras que las dos familias “B” exploran las consecuencias de un crecimiento económico más bajo. Las familias “A1” y “B1” están orientadas hacia la convergencia global, mientras que las familias “A2” y “B2” se enfocan en las estructuras regionales.

II.7 Escenarios de emisiones de GEI por sector

Desde mediados de la década de 1970, los modelos de energía se han desarrollado para estudiar la planificación de la energía y la previsión de la oferta y la demanda de la misma. Su importancia es aún más importante, ya que todos los importadores de petróleo conceden gran importancia a la seguridad del abastecimiento energético, tal como se refleja en diferentes modelos tales como el de MARKAL (modelo numérico utilizado para llevar a cabo un análisis económico de energía), EFOM (Modelo de Optimización de flujo de energía) y el de Medea (Modelo de demanda de energía de Europa), por nombrar sólo algunos. Cuando la crisis del petróleo de la década de 1980 terminó y el mercado del petróleo en el mundo estuvo en equilibrio, el calentamiento global se convirtió en uno de los problemas más importantes. La atención de muchos estudiosos de todo el mundo se trasladó al candente tema de la seguridad ambiental. El tratado marco internacional: la Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono en 1985 ha inspirado, en gran medida, la investigación y el desarrollo de modelos de energía-medio ambiente.

La energía ha desempeñado un papel cada vez más importante en la economía mundial, con el creciente aumento de la demanda de energía de todos los países, llamando la atención sobre el desarrollo sostenible desde la década de 1990. El enfoque ha pasado de ser el problema único de la energía a muchos campos importantes. Por otra parte, los modelos de la energía han sido la energía-medio ambiente-economía modelos, como el modelo CGE (Modelo de Equilibrio General Computacional), 3E-modelo modelo (Energía macroeconómica y el medio ambiente sub-modelo), el modelo de mensaje (el modelo de los sistemas de suministro de energía alternativa), y el modelo híbrido de energía tales como NEMS (Sistemas de Energía Nacional el modelado) y el IIASA-WEC modelo de E3 (Medio Ambiente energía IIASA-WEC Económico) (Wei, Y-M., et al, 2006).

El desarrollo de métodos de escenarios como una gestión estratégica y una herramienta de aprendizaje organizacional fueron iniciados por la comunidad empresarial en la década de 1960. Estudios de gestión estratégica de escenarios se han descrito cómo un proceso de desarrollo bien documentado e historias plausibles

sobre el futuro y puede facilitar el aprendizaje organizacional y generar una perspectiva crítica en toma de decisiones estratégicas (Ghanadan & Koomey, 2005).

Los escenarios de mitigación sectoriales incorporan políticas y medidas de tecnologías de mitigación de emisiones. El progreso tecnológico es un elemento fundamental en todos. El tipo, magnitud, cronología y los costos de las medidas de mitigación sectoriales dependen de diferentes circunstancias nacionales, de las vías de desarrollo socioeconómico y tecnológico, y del nivel deseado de estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero.

Existen diversas herramientas para la construcción de los escenarios de emisiones de GEI; una de ellas es la plataforma computacional LEAP (Long Range Energy Alternatives Planning System). Este sistema es una herramienta de modelación simple, transparente y flexible que incluye una descripción física del sistema energético, en la que se incluyen escenarios con distintos consumos energéticos y opciones de transformación de la energía.

LEAP es una plataforma computacional para la evaluación de las políticas nacionales o regionales de planificación energética. El sistema está diseñado para ayudar a los planificadores de energía y tomadores de decisiones a identificar y cuantificar el modelo futuro de consumo de energía y los problemas asociados con este patrón de consumo de energía, así como el impacto previsible de las diferentes políticas. Este sistema también sigue la pista de la demanda de energía a largo plazo y la situación del suministro en un país dado, y ha sido utilizado por varios investigadores para analizar las medidas para mitigar el calentamiento global (Kumar et al. 2003).

III. HIPÓTESIS

Los procesos no combustivos del sector industrial en el Estado de Querétaro contribuyen de manera significativa a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por la generación de bióxido de carbono equivalente no asociado a la quema de combustible fósiles.

IV. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

IV. 1 Objetivo general

Identificar los procesos industriales, no combustivos, que más contribuyen en la emisión de Gases de Efecto Invernadero y proponer medidas de mitigación, para dicho sector, que formen parte del programa estatal de acción ante el cambio climático.

IV. 2 Objetivos específicos

1. Generar un inventario de emisiones de GEI del sector industrial para procesos no combustivos tomando como año base el 2006.
2. Obtener una matriz de datos de emisiones de GEI del sector industrial para procesos no combustivos en el año base 2006.
3. Identificar los procesos no combustivos de los sectores industriales que más contribuyen a la generación de GEI.
4. Comparar la contribución de generación de GEI de los diferentes sectores con los GEI generados por procesos no combustivos del sector industrial, tomando como base la información de los inventarios de GEI para el Estado de Querétaro.
5. Proponer las medidas de mitigación para emisiones de GEI, en el sector industrial, que formen parte del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático.

V. METODOLOGÍA

V.1. Generación de un inventario de emisiones de GEI del sector industrial para procesos no combustivos

Las emisiones generadas por el sector Procesos Industriales fueron calculadas con base a la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) versión 1996, en donde se señala el tipo de producto y los GEI's asociados a su producción. Se llevó a cabo el llenado del formato de registro, ligado al archivo Overview (propio de las directrices del IPCC) y los factores de emisión ocupados para el llenado de las hojas de cálculo de éste sector fueron los sugeridos por el IPCC 1996.

El Inventario de emisiones de los Gases de Efecto Invernadero se realizó en base a las guías que para tal efecto ha elaborado el IPCC, que consisten en tres volúmenes:

1. Instrucciones para la presentación de informes del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.
2. Libro de Trabajo del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Contiene factores de emisión y datos de actividad estándar.
3. Manual de referencia del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

En estas guías se encuentran las metodologías para la estimación de los Gases de Efecto Invernadero descritos anteriormente (CO_2 , CH_4 , N_2O , PFC, SF_6 y halocarbonos), así como para contaminantes los denominados contaminantes criterio, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano y el dióxido de azufre, éstos debido a que contribuyen indirectamente al forzamiento radiativo debido a la química atmosférica.

Para propósitos de este inventario se contabilizaron emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) incluyendo CO₂, CH₄, N₂O, CO₂DM, SO₂, Halocarburos (PFC y HFC), SF₆ y CO; inherentes a procesos productivos. A pesar de que la industria tiene emisiones por actividades de transformación energética, las únicas contabilizadas en este inventario fueron aquellas que se generan de la transformación física o química de materiales, que sean posteriormente introducidos al mercado. Es decir, las concernientes al módulo de procesos industriales como se ilustra en la Figura 5.1.

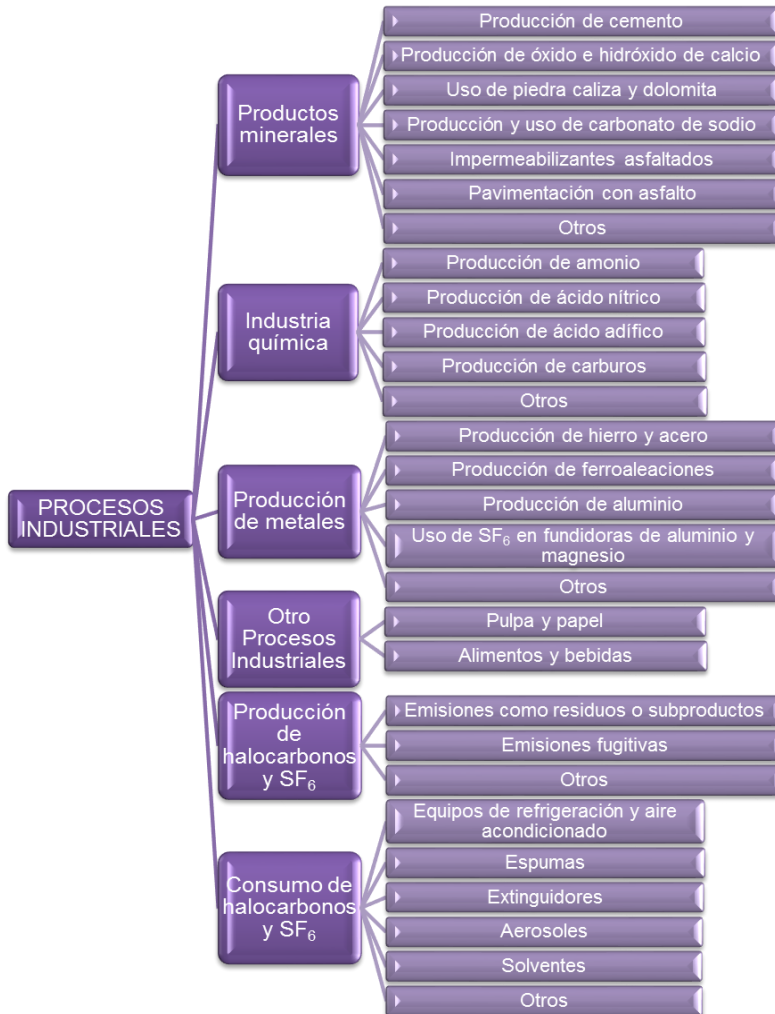


Figura 5.1. Estructura del sector de procesos industriales para el Estado de Querétaro.

Para evitar el riesgo de doble contabilización, se discutieron y se distinguieron claramente las emisiones derivadas de procesos energéticos de las emisiones generadas de los propios procesos industriales no combustivos (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Emisiones potenciales procedentes de los procesos industriales (IPCC 1996).

EMISIONES POTENCIALES DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES										
PROCESOS	GASES DE EFECTO INVERNADERO						OZONO Y AEROSOL PRECURSORES			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PFC	SF ₆	HFC	NO _x	NMVOC	CO	SO ₂
Productos Minerales										
Producción de cemento	X									X
Producción de cal	X									X
Uso de piedra caliza	X									
Producción y uso de cal	X									
Carpeta asfáltica								X	X	
Pavimento							X	X	X	X
Otros	X	X					X	X	X	X
Industria Química										
Amoniaco	X						X	X	X	X
Ácido nítrico			X				X			
Ácido adípico			X				X	X	X	
Urea			X							
Carbonatos	X	X						X	X	X
Caprolactama			X							
Petroquímicos		X	X			X		X		X
Producción de Metales										
Hierro, acero	X	X					X	X	X	X

Aluminio	X	X		X	X		X	X	X	X
Magnesio	X				X		X	X	X	X
Otros metales	X	X			X		X	X	X	X
Otros										
Papel y celulosa							X	X	X	X
Producción de alimentos y bebidas								X		
Producción de halocarburos				X	X	X				
Uso de halocarburos y SF ₆				X	X	X				
Otros usos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

V.1.2. Estimación de emisiones de GEI para Procesos Industriales

La metodología general empleada para estimar las emisiones vinculadas con cada proceso industrial se basó en la multiplicación de los datos de la actividad (por ej., la cantidad de material producido o consumido) por el correspondiente factor de emisión establecido por el IPCC por unidad de consumo/producción, de acuerdo con la fórmula:

$$\text{TOTAL}_{ij} = A_j \times \text{FE}_{ij}$$

En la que:

TOTAL_{ij} = La emisión de procesos (en toneladas o gigagramos) de gas *i* del sector industrial *j*

A_j = La cantidad de actividad o producción de material de procesos en el sector industrial *j* (ton/año)

FE_{ij} = El factor de emisión asociado con el gas *i* por unidad de actividad en el sector industrial *j* (ton/ton)

V.1.3. Elección de métodos y fuentes

Para el sector de procesos industriales se utilizó el Nivel 1, derivado de la información con la que se cuenta para dicho sector y con base en las guías del IPCC 1996. También en base a la información del sector industrial del Estado de Querétaro, se determinó que las fuentes fijas aplicables para el Estado fueron:

- Producción de cal
- Uso de piedra caliza
- Producción y uso de carbonato de calcio
- Producción de cubiertas asfálticas
- Producción de vidrio
- Producción de otros químicos
- Fundición de aluminio
- Industria papelera
- Industria de alimentos y bebidas

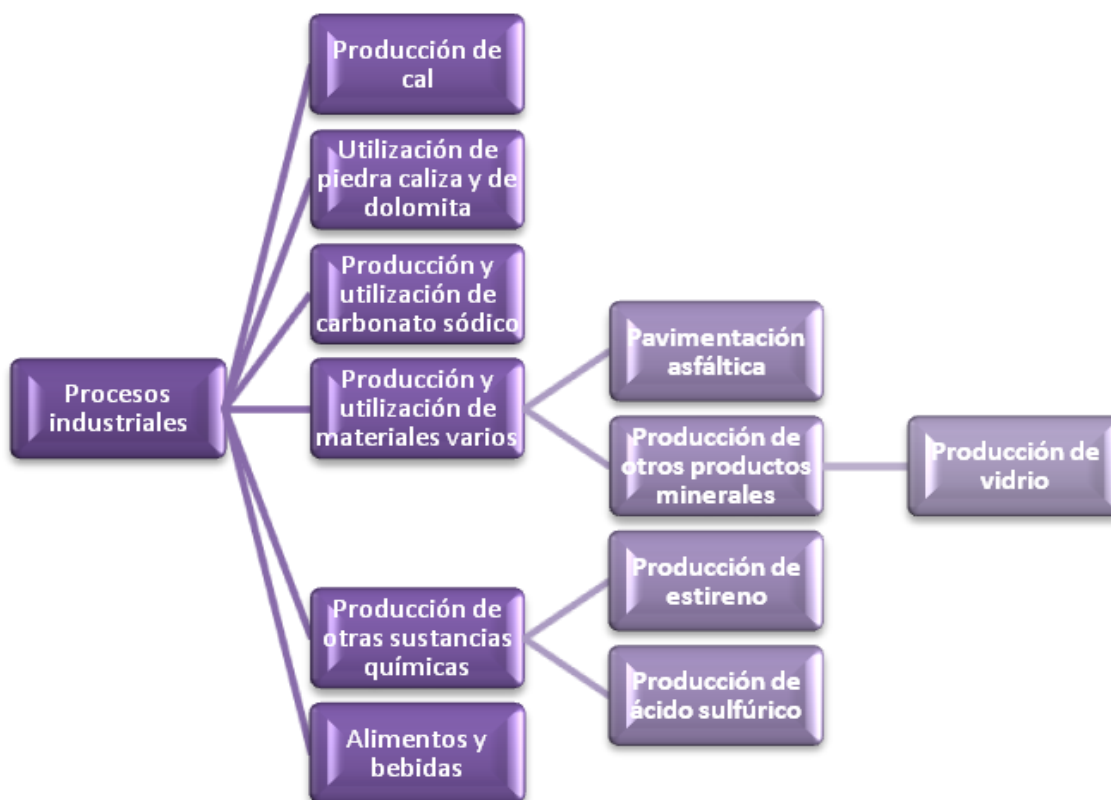


Figura 5.2. Estructura del sector de procesos industriales para el Estado de Querétaro.

Para recopilar datos específicos de cada una de las fuentes fijas aplicables a los procesos industriales consideradas de usos no energéticos se diseñó un cuestionario, mismo que fue entregado vía electrónica a los representantes legal y técnico de cada industria, quienes lo completaron y remitieron junto con la información solicitada, formato que se muestra a continuación (Figura 5.3.):



Santiago de Querétaro, a 10 de diciembre de 2010

ASUNTO: Requerimiento de Información

La Secretaría de Desarrollo Sustentable del Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro en coordinación con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Delegación Federal en el Estado de Querétaro están preparando el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC), que tiene como objetivos contar con estudios técnicos para reconocer la vulnerabilidad ante este fenómeno, así como, las oportunidades de mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) en el Estado de Querétaro, de forma que se pueda diseñar una estrategia de política pública y cambios en la legislación que nos permitan afrontar los efectos de la variabilidad climática.

En este sentido, actualmente se está elaborando el Inventario Estatal de Emisiones de GEIs, que incluye un análisis en los sectores: agropecuario, residuos, energía, procesos industriales y cambios de uso de suelo y silvicultura; de conformidad con las guías establecidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) y que fueron aprobadas por la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).

Derivado de lo antes descrito y en apego a la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 (PECC), el Convenio de Coordinación para dar cumplimiento al contenido del Anexo 34 del Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2010, celebrado entre el Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como su Anexo Técnico, la Ley de Protección Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro artículos 125 Fracción IV, que a la letra señala *... "Quienes realicen actividades contaminantes, deberán proporcionar toda la información que en esta materia les sea requerida por las autoridades competentes"*, 127 que a la letra señala *... "Las personas físicas o morales dedicadas a la producción industrial, comercial, agropecuaria o de servicios, que tengan fuentes emisoras de contaminantes, deberán: Fr IV. Proporcionar la información ambiental que les sea requerida por las autoridades competentes, salvo aquella protegida por derechos de propiedad industrial"*, 132 y 134 Fracciones II, VI, IX y X; se le solicita el llenado de la tabla anexa al presente, misma que deberá ser remitida a la Secretaría de Desarrollo Sustentable, así como a los correos electrónicos rtorresh@queretaro.gob.mx y cambioclimatico@queretaro.semarnat.gob.mx en un plazo no mayor a 15 días hábiles contados a partir de la fecha de recepción del presente.

Figura 5.3. Formato remitido a los sectores potenciales generados de emisiones de GEIs.

Asimismo, se integró un formulario dependiendo del giro de cada empresa, los cuales se incluyen al presente como Anexo 1.

Los datos las 84 industrias queretanas que pueden generar emisiones de GEI de conformidad con las Directrices del IPCC se recopilaron y analizaron. Los factores de emisión fueron tomados directamente de las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero en su versión 1996. La tabla 5.2 muestra los factores de emisión utilizados para este inventario.

Tabla 5.2. Factores de emisión utilizados. Directrices del IPCC para los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero revisadas en 1996

FACTORES DE EMISIÓN UTILIZADOS							
(kg de GEI/tonelada de producto)							
ACTIVIDAD	CO ₂ DM	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x	SO ₂
Producción de cal viva	-	7.9E104	-	-	-	-	-
Uso de piedra caliza	-	440	-	-	-	-	-
Producción de carpeta asfáltica	0.023	-	0.035	-	-	0.084	0.12
Producción de vidrio	4.5	-	-	-	-	-	-
Producción de otros químicos							
Estireno	18	-	-	4	-	-	-
Ácido sulfúrico	-	-	-	-	-	-	17.5
Producción de alimentos y bebidas							
Vino	0.08	-	-	-	-	-	-
Bebidas alcohólicas (sin especificar)	15	-	-	-	-	-	-
Azúcar	10	-	-	-	-	-	-
Margarina y grasas sólidas de cocina	10	-	-	-	-	-	-

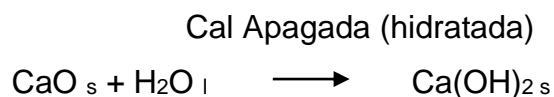
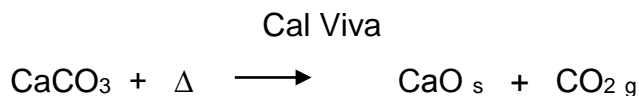
Pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno	1	-	-	-	-	-	-
Pan	8	-	-	-	-	-	-
Pienso para animales	1	-	-	-	-	-	-

DATOS DE ACTIVIDAD

• Producción de cal

A pesar de que en el año de reporte (2006) dichas industrias reportaban los usos de materias primas y producción anual a través de la Cédula de Operación Anual (COA) presentada ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, se optó por la obtención de los datos a través de encuestas realizadas directamente a la industria de la cal en el Estado; dichos datos incluyen la cantidad total de cal comercial producida en el año de reporte, desglosados por tipo de cal producida (Figura 5.4.).

En el Estado de Querétaro existen tres empresas productoras de cal. El proceso de producción de cal comienza con la extracción del mineral, carbonato de calcio (CaCO₃), el cual se hace pasar por calentamiento produciendo cal viva (CaO) y CO₂ residual. A partir de esto se fabrican varios productos, la cal viva (CaO) y la cal apagada (Ca(OH)₂). La cal apagada se produce a partir de cal viva y agua, como se muestra en las siguientes reacciones:



Producción de tipos de cal en el Estado de Querétaro

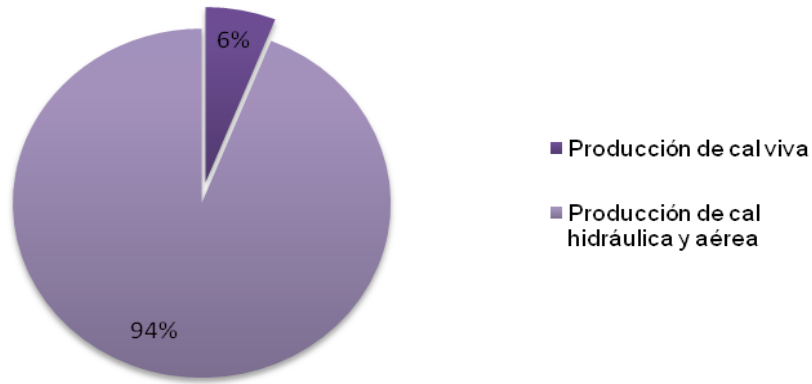


Figura 5.4. Porcentaje de Producción por tipos de cal en el Estado de Querétaro

• Pavimentación asfáltica

En el Estado, la pavimentación asfáltica se realiza por medio de vaciado de carpetas de asfalto. El servicio de pavimentación es realizado por un sector muy localizado en el Estado. Para la obtención de información se realizaron encuestas a las principales empresas dedicadas a la pavimentación asfáltica, tomando los datos correspondientes al año de reporte en toneladas. Los factores de emisión utilizados para la pavimentación asfáltica fueron los reportados en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Factores de emisión utilizados en la pavimentación asfáltica

FACTORES DE EMISIÓN UTILIZADOS PARA PAVIMENTACIÓN ASFÁLTICA				
	COVDM	CO	NOX	SO2
FE(kg/ton de asfalto)	0.12	0.084	0.035	0.023

- Producción de vidrio

La industria vidriera, aunque en poca cantidad, existe en el Estado de Querétaro. Los datos fueron obtenidos de la totalidad de vidrieras asentadas en el Estado, realizando la obtención por medio de encuestas directas de producción. De acuerdo a las guías del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero revisadas en 1996, se ha derivado un valor de 4.5kg de emisiones de COVDM por tonelada de vidrio producido, mismo que fue usado en este inventario.

- Producción de Estireno

En el Estado de Querétaro se produce estireno a partir de la oxidación de sustancias orgánicas en fase gaseosa por lo que se generan emisiones de COVDM y CH₄. El factor de emisión seleccionado fue de 18kg de COVDM y 4kg de CH₄ por tonelada de estireno producido. El factor fue tomado de la tabla 2-10 de las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: libro de trabajo, 2.25. (IPCC, 1996)

- Producción de Ácido Sulfúrico

En el Estado de Querétaro la producción de ácido sulfúrico es mínima. La información fue recopilada mediante encuestas al sector químico en el Estado. Los datos obtenidos corresponden al año de registro del inventario estatal (2006). De la tabla 2-10 de las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: libro de trabajo, 2.25; se extrajo el factor de emisión 17.5kg de SO₂ por tonelada de ácido sulfúrico producido.

- Alimentos y bebidas

Respecto a la industria de alimentos y bebidas en el Estado, la mayor fuente de emisiones es generada por la producción de margarina y grasas sólidas, así como la producción de pienso para animales. Las emisiones provocadas por esta industria son principalmente COVDM. La información obtenida para el subsector de alimentos y bebidas fue obtenida mediante encuestas de producción en los siguientes rubros (Tabla 5.4), utilizando los factores de emisión listados en la Tabla 5.5.

Tabla 5.4. Rubros comprendidos en las encuestas aplicadas a la industria de alimentos y bebidas

RUBROS COMPRENDIDOS PARA ALIMENTOS Y BEBIDAS	
Vino	Coñac
Vino tinto	Carne, pescado y aves
Vino blanco	Azúcar
Cerveza	Margarina y grasas sólidas de cocina
Bebidas alcohólicas (sin especificar)	Pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno
Whiskey de malta	Pan
Whiskey de granos	Pienso para animales
Tostado de café	

Tabla 5.5. Factores de emisión considerados para los rubros comprendidos en las encuestas aplicadas a la industria de alimentos y bebidas

RUBROS COMPRENDIDOS PARA ALIMENTOS Y BEBIDAS	Kg de COVDM/tonelada de producto
Vino	0.08
Bebidas alcohólicas (sin especificar)	15
Azúcar	10
Margarina y grasas sólidas de cocina	10
Pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno	1
Pan	8
Pienso para animales	1

- Industrias de la pulpa y el papel

El primer paso para la producción de pulpa y papel, generalmente incluye la reducción a pulpa en el Estado, las empresas dedicadas a la producción de papel no cuentan con el proceso de reducción de pulpa. Las encuestas aplicadas a la industria del papel arrojaron que ninguna industria en el Estado utiliza el método Kraft de reducción de pulpa, por lo que no existen emisiones de GEI que se encuentren incluidas en las Directrices del IPCC.

- Producción y uso de halocarburos y hexafluoruro de azufre

Los factores de emisión para cada una de las categorías son los factores por defecto marcados por las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996. El consumo de HCFCs en México para 2007 fue de 19,471 toneladas, el 95% se empleó en refrigeración y aire acondicionado. Los productos para refrigeración doméstica utilizan aún CFCs (12 y 11), aunque a partir de 1996 varias compañías han buscado sustitutos de ellos, encontrando HCFCs como la mejor opción, y en mínimas cantidades HFC-134A. En cuanto a la refrigeración comercial e industrial la situación es parecida. El problema de sustituir los CFC-11 y CFC-12, directamente por un HFC son las presiones a las que debe ser manejado el gas, por lo que se necesita el cambio total de la instalación (Centro Mario Molina, 2008) (Figura 4.5). En el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero se menciona que las emisiones de HFC provienen de equipos de refrigeración y aire acondicionado donde el 92% de HFC utilizado es el HFC-134A para 2002, escenario, que por las investigaciones hechas para el Estado de Querétaro, no refleja el comportamiento de los gases refrigerantes en la entidad, toda vez que existen grandes empresas que continúan utilizando HCFC y CFC para aire acondicionado, debido a que no se tiene la certeza del manejo del mismo cuando éste sea un residuo.

Las Directrices del IPCC para los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo; en el sector de Procesos Industriales, en los submódulos 2.16 y 2.17, presenta las emisiones relacionadas con la producción y consumo de halocarburos (HFC, PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Cabe destacar

que los compuestos HFC y PFC, no se encuentran contemplados en el Protocolo de Montreal ya que no contribuyen al agotamiento de la capa de ozono estratosférica, pero tienen un alto potencial de calentamiento global. En la mayor parte del país como en el Estado de Querétaro se utiliza para refrigeración y aire acondicionado hidroclorofluorocarbonos, los cuales no se encuentran contemplados en las Directrices del IPCC para los Inventarios de GEIs.

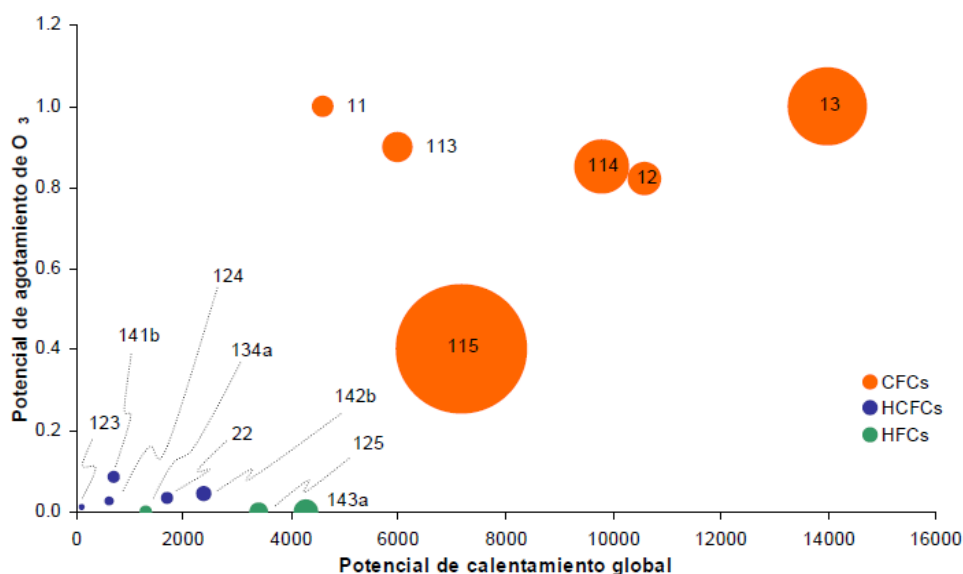


Figura 5.5. Comparación del PCG vs PAO de CFCs, HCFCs y HFCs. Fuente: CMM, 2008

V.2. Generación de una matriz de emisiones de GEI del sector industrial para procesos no combustivos en el año base 2006.

Para la generación de la matriz de datos de emisiones de GEI se consideraron las directrices del IPCC 1996, para tomar en cuenta los procesos no combustivos pertenecientes al sector industrial. Dicha matriz consistió en hojas de Excel debidamente identificadas de conformidad con las guías ya descritas, para cada uno de los datos de actividad descritos en el numeral V.1.3., y así concentrar en una matriz general el resultado de los cálculos para cada uno de los rubros.

La matriz realizada en las hojas del programa de cómputo Excel, contienen las fórmulas de cálculo señaladas en el apartado V.1.2. de este trabajo, tomando los datos de actividad, es decir de producción, directamente de las encuestas realizadas a las

industrias y el Factor de Emisión correspondiente a la actividad, de acuerdo con las tablas 5.2, 5.3 y 5.5.

A partir de los datos obtenidos de las encuestas descritas en el apartado V.1.3. se realizó la matriz de cálculo donde se integraron los factores de emisión y datos de actividad, lo que permitió efectuar un análisis sistematizado de las fuentes generadoras de GEIs en el Estado creándose la base de datos necesaria para realizar los comparativos de contribución del sector de procesos industriales con el resto de los sectores evaluados dentro del Inventario general, así como con los datos arrojados por otros inventarios de GEIs en Estados vecinos.

V.3. Identificación de los procesos no combustivos de los sectores industriales que más contribuyen a la generación de GEI.

Una vez concluida la generación del inventario de GEI, para el sector industrial, se procedió a realizar un análisis comparativo de los datos de actividad que mayor contribuyen en la emisión de Gases de Efecto Invernadero en términos de CO₂ equivalente, así como del resto de las emisiones de contaminantes criterio, principalmente COVDMs.

Para evaluar este comparativo se realizó un cribado de los datos obtenidos por cada uno de los sectores industriales y se identificaron cuales representaban los datos más altos en materia de CO₂ equivalente, con ello se pudo identificar cual es el sector industrial y las fuentes de emisión que más contribuyen en la generación de GEI del sector industrial (no combustivo).

V.4. Comparación de la contribución de generación de GEI de los diferentes sectores con los GEI generados por procesos no combustivos del sector industrial, tomando como base la información de los inventarios de GEI para el Estado de Querétaro.

Una vez concluida la generación del inventario de GEI para el sector industrial se procedió a realizar un análisis comparativo con el resto de los sectores que se analizan de acuerdo con las directrices del IPCC, que son energético, agropecuario, cambio de uso de suelo y residuos.

Para realizar este análisis se consideraron los resultados publicados en el documento denominado “Elementos técnicos del programa estatal de acción ante el cambio climático-Querétaro” (Suzán, Et al., 2014) el cual contiene la descripción completa de la elaboración, análisis y resultados del inventario total de emisiones de GEI del Estado, para todos los sectores antes indicados. Los resultados del inventario se encuentran ampliamente descritos en el capítulo IV de dicho documento y que se incorpora al presente trabajo como Anexo 2. Dentro de éste capítulo se encuentran también indicados los resultados del presente trabajo, correspondientes al inventario del sector de procesos industriales.

Adicionalmente, se realizó un análisis comparativo de las emisiones del sector industrial del Estado de Querétaro con el Estado vecino de Guanajuato el cual también cuenta con su Programa de Acción ante el Cambio Climático, año base 2005, publicado, el cual contiene el inventario de emisiones de todos los sectores. La finalidad fue tener un punto de referencia de un Estado que guarde varias similitudes con el Estado de Querétaro.

Para tal efecto se realizó la consulta al Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Guanajuato año base 2005, elaborado por el Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, y publicado en el año de 2009. En específico para el sector de procesos industriales, con ello se pudo realizar el comparativo uno a uno para cada uno de los sectores en común, publicados dentro del inventario de referencia y los resultados obtenidos en el presente trabajo. Si bien, existen fuentes que no presentan información para el Estado de Querétaro, tal es el caso del sector siderúrgico, también es cierto que hay sectores industriales que comparten similitudes entre ambos Estados, lo que permitió realizar el comparativo de referencia.

V.5. Establecimiento de medidas de mitigación para emisiones de GEI, en el sector industrial, que formen parte del programa estatal de acción ante el cambio climático.

Se revisó la pertinencia de generar medidas de mitigación para el sector industrial de procesos no combustivos, en función del impacto en el total de emisiones de GEI en el Estado, tomando en cuenta la viabilidad ambiental, económica y social de llevarlas a cabo.

Se investigó con el sector que aportó la mayor cantidad de GEIs, que para el caso del presente trabajo fue el sector de la Producción de la Cal, para identificar oportunidades de pertinencia para la aplicación de medidas mitigatorias en función de cambios tecnológicos para la producción de dicho insumo.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Algunas de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero son producidas por una gran variedad de actividades industriales. El sector de procesos industriales consideró las emisiones generadas en la producción y uso de minerales, industria química, producción de papel, alimentos y bebidas, así como la producción y consumo de hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, es importante señalar que no toma en cuenta la quema de combustibles fósiles en el proceso productivo.

En lo que se refiere al inventario total de gases de efecto invernadero (GEI) en la entidad se producen un total de 4933.38 Gg de CO₂; 1.52 Gg de CH₄; 0.4 Gg de N₂O; 34.61 Gg de NO_x; 41.19 Gg de COVDM; y 8.38 Gg de SO₂ para 2006. Con respecto a estas emisiones, el sector transporte es aquel con los mayores aportes a cada una de ellas (por ejemplo, 60.6% CO₂ y 93.1% de CO) a través de la combustión de gasolina, diesel y turbosina (Suzán, Et al., 2014).

Los GEI de las actividades industriales, se originan bajo la forma de subproductos. Estas emisiones no son producidas como consecuencia del consumo energético sino debido al proceso industrial en sí, es decir, las materias primas son transformadas químicamente de un Estado a otro y esta transformación frecuentemente produce emisiones de GEI tales como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), o precursores de GEIs como es el caso de los compuestos orgánicos diferentes del metano (COVDM), sin tomar en cuenta las emisiones de GEI derivadas de procesos energéticos, es decir, se cuantificaron las emisiones de las actividades de procesos industriales no-energéticos. Sus características dependerán de varios factores, como la calidad de los combustibles y materias primas empleadas e incluso del tipo de proceso y de la tecnología que se utiliza.

Para el Estado de Querétaro, se estimaron las emisiones de las categorías industria de la cal, del papel, del vidrio, química y pintura, fundición de aluminio, alimentos y bebidas y asfalto, consideradas dentro de las Directrices del IPCC, 1996.

En general se estudiaron y recopilaron datos de 84 industrias queretanas que pueden generar emisiones de GEI de conformidad con las directrices del IPCC. Solo el 46% de los procesos industriales descritos en las directrices del IPCC para inventarios de gases de efecto invernadero existen en el Estado de Querétaro. Sin embargo, a pesar de que las emisiones de GEI del sector de procesos industriales no representó una contribución significativa del inventario estatal (menos del 1%), existen algunas fuentes que contribuyen de manera importante en las emisiones de este sector.

Si bien, la mayoría de los procesos industriales descritos por las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, revisadas en 1996; son actividades inexistentes en el Estado de Querétaro, de los rubros presentes destacan por su aportación como fuentes clave para el Estado son la industria de la cal y la industria de alimentos y bebidas, la primera debido a su volumen de producción, mientras que la segunda, lo es debido al número elevado de industrias del giro presentes dentro del territorio estatal.

Como se indicó las fuentes destacan son la industria de la cal, con un aporte de 239.48 Gg de CO₂ (que representa prácticamente el 100% de la contribución de este GEI), así como la industria de alimentos y bebidas, que aporta 238.4 Gg de CO₂ (que representa el 97% de los gases diferentes a los GEI que actúan como precursores de éstos). Si bien se trata de aportaciones muy pequeñas respecto del total de emisiones de GEI en el Estado (1%) es claro que deben tomarse en cuenta estos dos subsectores en la definición de estrategias de mitigación. Por esa razón, las medidas de mitigación que se proponen son principalmente cambios tecnológicos en esos sectores, primordialmente en el sector industrial calero, dichas medidas deberán estar encaminadas en realizar mejoras tecnológicas para que se logre una mayor eficiencia en la producción del Óxido de Calcio o cal apagada y por ende la generación y emisión directa del CO₂, pueda contribuir en la reducción de emisiones de GEI de dicho sector industrial. Es importante destacar que el sector de la cal ha comenzado a modernizar sus hornos de producción lo que en un futuro podría resultar en un trabajo de investigación para determinar si dichos cambios tecnológicos pueden realmente contribuir en la reducción de dichos gases.

VI.1. Generación de un inventario de emisiones de GEI del sector industrial para procesos no combustivos tomando como año base el 2006, aplicando las guías y metodologías del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) 1996.

La mayoría de los procesos industriales descritos por las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, revisadas en 1996; son actividades inexistentes en el Estado de Querétaro. Sin embargo, de los rubros presentes destacan por su aportación con emisiones de contaminantes la industria de la cal con un aporte de 239.48 Gg de CO₂, y la industria de alimentos y bebidas, aportando 241.73 Gg de COVDM. Si bien se trata de aportaciones muy pequeñas (menores al 1%) respecto del total de emisiones de GEI en el Estado, es claro que deben tomarse en cuenta estos dos subsectores en la definición de estrategias de mitigación.

El inventario de emisiones para procesos industriales fue calculado con datos obtenidos directamente de los giros en cuestión, por lo que se puede afirmar que se tiene mayor precisión en el cálculo de acuerdo a las Directrices del IPCC, que al efectuar estimaciones.

La totalidad de emisiones de GEI para el sector de procesos industriales se encuentra dada por el CO₂ emitido por el subsector de productos minerales, en particular la producción de óxido e hidróxido de calcio y el uso de piedra caliza y dolomita, con 239.48 Gg de CO₂ emitidos para el año de reporte.

Dentro del reporte del Inventario se incluyen gases diferentes a los GEI debido a que actúan como precursores de éstos. La contribución mayoritaria de emisiones de gases diferentes a los GEI se encuentra dada por COVDM con un aporte de 337.77 Gg que representa el 97%, seguido del SO₂ con un 3% aproximadamente y con menos del 0.1% se encuentran el CO y NO_x.

Dentro de las emisiones de COVDM emitidos por el sector de alimentos y bebidas, en particular la industria del procesamiento de margarina y grasas sólidas de cocina, aporta un 98% a la emisión de este tipo de gas.

Fuente Relevante: Producción de Cal

En el Estado de Querétaro existen tres empresas productoras de cal. El proceso de producción de cal comienza con la extracción del mineral, carbonato de calcio (CaCO₃), el cual se hace pasar por calentamiento produciendo cal viva (CaO) y CO₂ residual. A partir de esto se fabrican varios productos, la cal viva (CaO) y la cal apagada (Ca(OH)₂). La cal apagada se produce a partir de cal viva y agua.

A partir de la información obtenida se identificó a la industria de la cal en el Estado de Querétaro como una fuente clave de emisiones de gases de efecto invernadero, ya que las toneladas de emisiones de GEI generadas por dicha industria sobresalen de entre los demás rubros.

VI.2. Obtención de una matriz de datos de emisiones de GEI del sector industrial para procesos no combustivos en el año base 2006.

En la tabla 6.1 se presenta la matriz de emisiones de GEI por gas, para el sector industrial en el año base de referencia, expresada en Giga gramos (Gg), unidad convencional para la presentación de estimaciones de GEI.

Tabla 6.1. Resultados obtenidos para el sector industrial en el Estado de Querétaro, año base 2006

GASES DE EFECTO INVERNADERO (expresados en Gg)	CO₂	NO₂	CO	NO_x	COVDM	SO₂	HFCs	SF₆	N₂O
Procesos Industriales Querétaro AÑO BASE 2006	239.48	0	0.01	0.025	337.77	8.13	0	0	0

VI.3. Identificación de los procesos no combustivos de los sectores industriales que más contribuyen a la generación de GEI.

La totalidad de emisiones de GEI para el sector de procesos industriales se encuentra dada por el CO₂ emitido por el subsector de productos minerales, en particular la producción de óxido e hidróxido de calcio y el uso de piedra caliza y dolomita, con 239.48 Gg de CO₂ emitidos para el año de reporte.

Este subsector industrial es el preponderante sobre todos los demás subsectores y representa prácticamente el 100% de las emisiones de CO₂ emitidas por el sector industrial.

VI.4. Comparación de la contribución de generación de GEI de los diferentes sectores con los GEI generados por procesos no combustivos del sector industrial, tomando como base la información de los inventarios de GEI para el Estado de Querétaro.

En comparación con los diferentes sectores de GEI, para los que fue realizado el inventario de gases de efecto invernadero, el de procesos industriales (no combustivos) fue menor al 1%, tomando como referencia el inventario completo estatal de emisiones de GEI, que considera que se producen un total de 4933.38 Gg de CO₂; 1.52 Gg de CH₄; 0.4 Gg de N₂O; 34.61 Gg de NO_x; 41.19 Gg de COVDM; y 8.38 Gg de SO₂ para 2006. Estos resultados fueron tomados del documento publicado denominado “Elementos técnicos del programa estatal de acción ante el cambio climático-Querétaro”, y el cual se agrega al presente trabajo como Anexo 2.

Así mismo, y dado que existen varios inventarios estatales de emisiones de GEI en México, se procedió a realizar una comparación de las emisiones contabilizadas con las de otros Estados que comparten características geográficas, económicas y sociales.

El Estado de Guanajuato presentó su inventario de emisiones de GEI, año base 2005. Guanajuato colinda con el Estado de Querétaro, debido a su cercanía se comparten características físicas y geográficas. Por lo anterior se considera la comparación entre las emisiones de los Estados, sin olvidar que el año base para el para Querétaro es 2006 (Tabla 6.2).

Tabla 6.2. Tabla comparativa de emisiones totales para Procesos Industriales entre los Estados de Guanajuato y Querétaro (Gg).

CATEGORÍA DE EMISIÓN	CO ₂	NO ₂	CO	NO _x	COVDM	SO ₂	HFCs	SF ₆	N ₂ O
Procesos Industriales Guanajuato	42.32	0.77	22.5	54.01	92.51	77.15	0.01	5.50E-05	0
AÑO BASE 2005									
Procesos Industriales Querétaro	239.48	0	0.01	0.025	337.77	8.13	0	0	0
AÑO BASE 2006									

Las emisiones reportadas en cero indican que el proceso industrial generador de las mismas, es inexistente para el Estado de Querétaro, tal y como lo marcan las Directrices del IPCC 1996. Las emisiones significativas en el Estado corresponden a CO₂ y COVDM, lo cual es comparable con el inventario de emisiones de GEI del Estado de Guanajuato, aunque no en la misma magnitud ya que en el Estado de Querétaro se reportan 197.16 Gg más de CO₂, así como 245.26 Gg más de COVDM.

De acuerdo a la información con la que se cuenta, la actividad de mayor generación de CO₂ se encuentra dada por las actividades de la industria de la cal en ambos inventarios, mientras que para COVDM en el Estado de Querétaro se incrementa debido a la amplia gama de la industria de alimentos y bebidas, así como su magnitud.

VI.5. Establecimiento de medidas de mitigación para emisiones de GEI, en el sector industrial, que formen parte del programa estatal de acción ante el cambio climático.

Tomando en cuenta que el sector de procesos industriales generó Gases de Efecto Invernadero en un porcentaje menor al 1% en comparación de los gases totales emitidos por el Estado de Querétaro (Figura 6.1) , y dada la capacidad industrial tecnológica para el proceso de obtención de cal, principalmente de los rubros sociales, ambientales y económicos para su viabilidad, se determinó que el establecimiento de medidas de mitigación para este rubro carecen de viabilidad económica y social por su impacto tan pequeño en el inventario total de GEI. Es por ello que no se procedió a realizar modelado matemático para poder determinar si con la aplicación de algunas medidas de mitigación podría existir una reducción en la emisión de GEI.

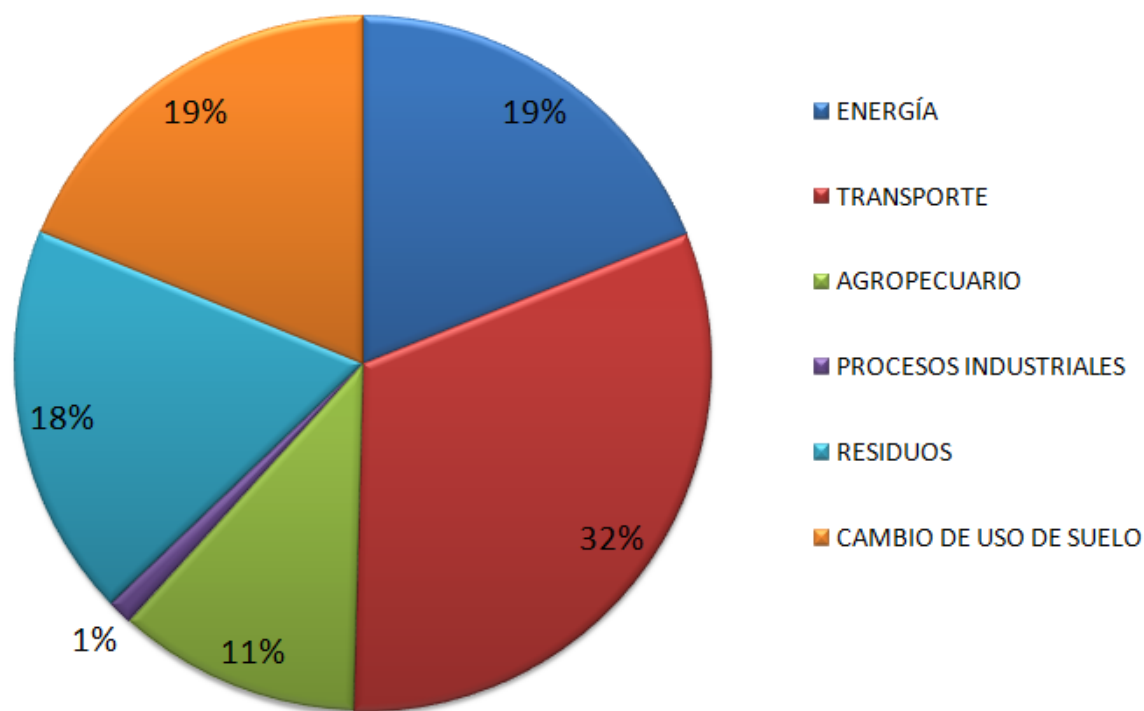


Figura 6.1. Datos tomados de los resultados obtenidos para el sector industrial en el Estado de Querétaro, año base 2006. (Suzán, Et al., 2014).

Sin embargo en el sector Energético, si fueron realizadas y determinadas medidas de mitigación específicas, derivado de que este sector representa el de mayor contribución a nivel estatal dentro del inventario completo.

Se presenta como Anexo 3, los resultados de las medidas de mitigación realizadas en el marco del documento denominado “Elementos técnicos del programa estatal de acción ante el cambio climático-Querétaro.” Dentro de las cuales se puede apreciar que las principales medidas de mitigación están enfocadas al Sector Energético y primordialmente al subsector de transporte que contribuye con aproximadamente el 60% de las emisiones de GEI en el Estado.

Con ello quedó demostrada que la hipótesis nula del presente trabajo fue rechazada al demostrar que las emisiones del sector industrial para el Estado no contribuyen de manera importante en el total de las mismas y por lo tanto no es viable económicamente por su impacto proponer medidas de mitigación para dicho sector.

Finalmente es importante destacar que el sector industrial deberá realizar mejoras tecnológicas para que sus emisiones de GEI puedan disminuir y así den cumplimiento a la nueva Ley General de Cambio Climático.

VII. CONCLUSIONES

El Estado de Querétaro cuenta con un número importante de industrias, de todas ellas es un número mucho menor las que corresponden a los giros que señalan las guías del IPCC para los Inventarios de GEI.

Si bien el inventario de emisiones de GEI del sector de procesos industriales no representa una contribución significativa al inventario estatal, es importante destacar que existen algunas fuentes claves que contribuyen de manera importante en las emisiones de este sector, y para las cuales es necesario desarrollar medidas de mitigación que permitan controlar y disminuir las emisiones de las mismas en años futuros.

Tomando como base el año 2006, se encontró que la fuente clave para el Estado es la industria de la cal (producción de óxido e hidróxido de calcio), ya que sus emisiones de GEI son considerablemente mayores que en los demás rubros medidos y dicho sector es de relevancia económica y de desarrollo industrial para el Estado.

Las emisiones de NO_x y N_2O son consideradas por el IPCC en sus Directrices para los IEGEI en su versión revisada en 1996 como emitidas por los sectores de producción de ácido adípico, ácido nítrico, otros químicos y aluminio, rubros catalogados como Actividad Inexistente para el Estado de Querétaro.

De los resultados obtenidos se desprende la necesidad de contar con factores de emisión para los sectores industriales propios de la región queretana, para con ello poder reflejar de una manera más confiable las emisiones de GEI en el Estado.

Así mismo es necesario proceder a un proceso de recopilación de datos con mayor detalle, basados en instrumentos gubernamentales para contar con información confiable, proporcionada directamente de las industrias, ayudando así a la obtención de información para monitorear el movimiento de las emisiones de GEI.

El presente trabajo demostró que la hipótesis nula “Los procesos no combustivos del sector industrial en el Estado de Querétaro contribuyen de manera significativa a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por la generación de bióxido de carbono equivalente no asociado a la quema de combustible fósiles” fue rechazada, toda vez que si bien no se realizó un análisis estadístico, las políticas públicas deberán ir enfocadas a diseñar medidas de mitigación y ejecutarlas en acciones concretas, sobre los sectores de mayor impacto en reducción de emisiones de GEIs, el cual no fue reflejado en el sector de procesos industriales no combustivos, para el Estado de Querétaro.

VIII. REFERENCIAS

- Braatz B.V. y Doorn M., 2008. Manejo del proceso de elaboración del inventario nacional de gases de efecto invernadero. PNUD. FMAM.
- Boyd R., y Ibararán M., 2002. Costs of compliance with the Kyoto Protocol: a developing country perspective. *Energy Economics* 24 (2002) 21 – 39.
- Centro Mario Molina 2008. Evaluación de los usos de HCFCs en México en el sector de refrigeración y aire acondicionado; Michale Kauffeld. Fluidos refrigerantes del siglo XXI. AC/R Latinoamericana. Septiembre/octubre 1999; Sistema para el Monitoreo y Control del Consumo de Sustancias Agotadoras de la capa de Ozono (SISSAO). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). www.ashrae.org
- Conde Ana y Gay Carlos, 2008. Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climática a Escala Regional. (1ra. Ed.), Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- Enkerlin Ernesto, Gerónimo Cano, Raúl A. Garza y Enrique Vogel, 1997. *Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible* (1ra. Ed.) International Thomson Editores. México, D.F.
- Fernández, Adrián. Martínez, Julia, Et al., 2004. *Cambio Climático: Una Visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Galindo, Luis Miguel, 2008. *La economía del cambio climático*. SEMARNAT, SHCP. México, D.F.
- Ghanadan, R., & Koomey, J., 2005. Using Energy Scenarios to Explore Alternative Energy Pathways for California. *Energy Policy*.
- Griffin, Roger D., 1994. *Principles of Air Quality Management*. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida, USA.
- Herzog Tim, Pershing Jonathan and Baumert Kevin A., 2005. *Navigating the Numbers Greenhouse Gas Data and International Climate Policy*. World Resources Institute (WRI).
- INE-SEMARNAT-UNAM, 2008. *Guía para la elaboración de Programas Estatales de acción ante el Cambio Climático*.
- INEM, 2006. *Inventario Nacional de Emisiones 1999*. SEMARNAT-INE. D.F., México.

- Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, 2007. Escenarios probabilísticos regionales de cambio climático.
- Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, 2009. 4ta. Comunicación Nacional ante la CMNUCC.
- Instituto Ecología del Estado de Guanajuato, 2009. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Guanajuato 2005.
- IPCC. BDFE– Base de Datos para Factores de Emisión ([http://www.IPCC - nggip.iges.or.jp/EFDB](http://www.IPCC-nggip.iges.or.jp/EFDB))
- IPCC, 1996. Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero ([http://www.IPCC - nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm](http://www.IPCC-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm))
- IPCC, 2007. Informe del Grupo de Trabajo 1 del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.
- Kumar Amit, Bhattacharya S.C., Pham H.L., 2003. Greenhouse gas mitigation potential of biomass energy technologies in Vietnam using the long range energy alternative planning system model. *Energy* 28 (2003) 627–654.
- Magaña Victor, Juan Matías Méndez, Ruben Moralez, y Cecilia Millán., 2004. Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México. INE, SEMARNAT
- Mehrez Samaali, Stéphane Francois, Jean-Francois Vinuesa and Jean-Luc Ponche. 2007. A new tool for processing atmospheric emission inventories: Technical aspects and applications to the ESCOMPTE study area. *Environmental Modelling & Software* 22 (2007) 1765 – 1774.
- Oficina Catalana del Cambio Climático, 2011. Metodología de inventarios de GEI. Cuestiones básicas. Gobierno de Cataluña, España.
- Ordoñez J. Antonio, Luis Conde, Francisco Aviña y Xochilt Cruz, 2010. Manual de referencia rápida para el desarrollo de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero para los diferentes sectores de México. INE, Embajada Británica en México y CEDAN-Tecnológico de Monterrey. Versión 1.
- Quadri G. 2008 El cambio climático en México y el potencial de Reducción de Emisiones por Sectores, México, D.F.
- SEMARNAT-INE, 2006. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático,.. México, D.F.
- SEMARNAT, 2009. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. D.F., México.

SEMARNAT, 2014. Teoría y conceptos generales para elaborar inventarios verificables de emisiones de gases de efecto invernadero. México, D.F.

Spiro Thomas G. and William M. Stigliani, 2004. Chemistry of the Environment (2nd Ed). Pearson Prentice Hall, NJ, USA.

Suzán, Humberto Azpiri, Victor Hugo Cambrón Sandoval, Et al., 2014. Elementos técnicos del programa estatal de acción ante el cambio climático-Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro, Instituto Nacional de Ecología. Querétaro, México.

Warner Wark, 2006. Contaminación del Aire, Origen y Control (1ra. Ed.) Limusa Noriera Editores. México, D.F.

Wei Y M, Fan Y, Han Z Y, et al. 2006. China Energy Report (2006), Strategy and Policy Research. Beijing, China.

ANEXO 1

ANEXO I

INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS

BEBIDAS ALCOHOLICAS

2-13s1	TIPO DE BEBIDA ALCOHOLICA	CANTIDAD DE BEBIDA ALCOHOLICA PRODUCIDA (hL /Año 2006)
	Vino	
	Vino tinto	
	Vino blanco	
	Cerveza	
	Bebida alcohólica sin especificar	

PRODUCCIÓN DE PAN Y OTROS ALIMENTOS

2-13s2	TIPO DE ALIMENTO PRODUCIDO	CANTIDAD DE ALIMENTO PRODUCIDO (Ton/Año 2006)
	Carne, pescado y aves	
	Azúcar	
	Margarina y grasas sólidas de cocina	
	pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno	
	pan	
	Pienso para animales	
	Tostado del café	

CUESTIONARIO: Favor de contestar las siguientes preguntas (deberán ser contestadas por un área técnica)

1.- Conoce usted si su proceso industrial genera Gases de Efecto Invernadero (GEI)?, sabe cuáles son y de que proceso provienen?

2.- Tiene usted reconocidas algunas técnicas o metodologías que reduzcan la generación de estos gases? Si la respuesta es afirmativa, sabe cuál sería el costo de inversión aproximado para su implementación?

3.- Cuáles son sus proyecciones de crecimiento de producción para las siguientes dos décadas?

4.-Cuál ha sido su producción durante los últimos 10 años?

AÑO	CANTIDAD PRODUCIDA (TON)
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	
2006	
2007	
2008	
2009	
2010	

5.- Puede estimar cuál sería la cantidad a producir para los siguientes años?

CANTIDAD DE PRODUCCIÓN		
(Ton/Año 2030)	(Ton/Año 2050)	(Ton/Año 2080)

Datos de la empresa

Razón social:

Dirección completa:

Representante Legal:

Correo electrónico del representante legal:

Responsable Técnico:

Correo electrónico del responsable técnico:

Teléfono:

PRODUCCIÓN Y USO DE DIFERENTES PRODUCTOS MINERALES

PRODUCCIÓN DE CUBIERTAS ASFÁLTICAS

2-5s1

TIPO DE PROCESO	CANTIDAD DE CUBIERTA ASFÁLTICA PRODUCIDAS (Ton/Año 2006)
Proceso de saturación	
Proceso de soplado	

2-5s2

CANTIDAD DE CUBIERTA ASFÁLTICA PRODUCIDA (Ton/Año 2006)

CUESTIONARIO: Favor de contestar las siguientes preguntas (deberán ser contestadas por un área técnica)

1.- Conoce usted si su proceso industrial genera Gases de Efecto Invernadero (GEI)?, sabe cuáles son y de que proceso provienen?

2.- Tiene usted reconocidas algunas técnicas o metodologías que reduzcan la generación de estos gases? Si la respuesta es afirmativa, sabe cuál sería el costo de inversión aproximado para su implementación?

3.- Cuáles son sus proyecciones de crecimiento de producción y/o uso para las siguientes dos décadas?

4.- Cuál ha sido su producción y/o uso durante los últimos 10 años?

AÑO	CANTIDAD DE MINERAL PRODUCIDO Y/O USADO (TON)
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	
2006	
2007	
2008	
2009	
2010	

5.- Puede estimar cuál sería la cantidad de mineral producido y/o usado para los siguientes años?

CANTIDAD DE MINERAL PRODUCIDO Y/O USADO		
(Ton/Año 2030)	(Ton/Año 2050)	(Ton/Año 2080)

Datos de la empresa

Razón social:

Dirección completa:

Representante Legal:

Correo electrónico del representante legal:

Responsable Técnico:

Correo electrónico del responsable técnico:

Teléfono:

PRODUCCIÓN DE METALES

SF6 USADO EN FUNDICIÓN DE ALUMINIO Y MAGNESIO

2-
11s11

Consumo de SF ₆	CANTIDAD USADA DE SF ₆ (Ton/Año 2006)

CUESTIONARIO: Favor de contestar las siguientes preguntas (deberán ser contestadas por un área técnica)

1.- Conoce usted si su proceso industrial genera Gases de Efecto Invernadero (GEI)?, sabe cuáles son y de que proceso provienen?

2.- Tiene usted reconocidas algunas técnicas o metodologías que reduzcan la generación de estos gases? Si la respuesta es afirmativa, sabe cuál sería el costo de inversión aproximado para su implementación?

--

3.- Cuáles son sus proyecciones de crecimiento de producción para las siguientes dos décadas?

--

4.-Cuál ha sido el uso del SF6 durante los últimos 10 años?

AÑO	CANTIDAD CANTIDAD USADA DE SF6 (TON)
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	
2006	
2007	
2008	

2009	
2010	

5.- Puede estimar cuál sería la cantidad de uso del SF6 para la fundición de aluminio para los siguientes años?

CANTIDAD DE SF6 USADO		
(Ton/Año 2030)	(Ton/Año 2050)	(Ton/Año 2080)

Datos de la empresa

Razón social:

Dirección completa:

Representante Legal:

Correo electrónico del representante legal:

Responsable Técnico:

Correo electrónico del responsable técnico:

Teléfono:

CALERAS

2-2s1

TIPO DE CAL	CANTIDAD DE CAL PRODUCIDA (Ton/Año 2006)
Cal viva	
Cal hidráulica y aérea	
Cal siderúrgica y química	
Cal dolomítica	

USO DE PIEDRA CALIZA Y DOLOMITA (CARBONATO DE CALCIO Y MAGNESIO)

2-3s1

TIPO DE MATERIAL	CANTIDAD DE PIEDRA CALIZA Y DOLOMITA USADA (Ton/Año 2006)
PIEDRA CALIZA	
DOLOMITA	

CUESTIONARIO: Favor de contestar las siguientes preguntas (deberán ser contestadas por un área técnica)

1.- Conoce usted si su proceso industrial genera Gases de Efecto Invernadero (GEI)?, sabe cuáles son y de que proceso provienen?

--

2.- Tiene usted reconocidas algunas técnicas o metodologías que reduzcan la generación de estos gases? Si la respuesta es afirmativa, sabe cuál sería el costo de inversión aproximado para su implementación?

--

3.- Cuáles son sus proyecciones de crecimiento de producción para las siguientes dos décadas?

--

4.-Cuál ha sido su producción durante los últimos 10 años?

AÑO	CANTIDAD DE CAL PRODUCIDA (TON)
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	
2006	
2007	
2008	
2009	

2010	
------	--

5.- Puede estimar cuál sería la cantidad de cal producida para los siguientes años?

CANTIDAD DE CAL PRODUCIDA		
(Ton/Año 2030)	(Ton/Año 2050)	(Ton/Año 2080)

Datos de la empresa

Razón social:

Dirección completa:

Representante Legal:

Correo electrónico del representante legal:

Responsable Técnico:

Correo electrónico del responsable técnico:

Teléfono:

INDUSTRIA PAPELERA

212-
s1

TIPO DE PROCESO	CANTIDAD DE AIRE SECO PULPA PRODUCIDA (Ton/Año 2006)
Kraft	

CUESTIONARIO: Favor de contestar las siguientes preguntas (deberán ser contestadas por un área técnica)

1.- Conoce usted si su proceso industrial genera Gases de Efecto Invernadero (GEI)?, sabe cuáles son y de que proceso provienen?

2.- Tiene usted reconocidas algunas técnicas o metodologías que reduzcan la generación de estos gases? Si la respuesta es afirmativa, sabe cuál sería el costo de inversión aproximado para su implementación?

3.- Cuáles son sus proyecciones de crecimiento de producción para las siguientes dos décadas?

4.- Cuál ha sido su producción durante los últimos 10 años?

AÑO	CANTIDAD PRODUCIDA (TON)
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	
2006	
2007	
2008	
2009	
2010	

5.- Puede estimar cuál sería la cantidad a producir para los siguientes años?

CANTIDAD DE PRODUCCIÓN		
(Ton/Año 2030)	(Ton/Año 2050)	(Ton/Año 2080)

Datos de la empresa

Razón social:

Dirección completa:

Representante Legal:

Correo electrónico del representante legal:

Responsable Técnico:

Correo electrónico del responsable técnico:

Teléfono:

PRODUCCIÓN DE OTROS QUÍMICOS

	COMPUESTO QUÍMICO	CANTIDAD DEL QUÍMICO PRODUCIDO (Ton/Año 2006)
2-10s1	Negro de humo	
2-10s2	Etileno	
2-10s3	Dicloroetileno	
2-10s4	Estireno	
2-10s5	Metanol	
	Coque	
	Acrilonitrilo	

Resinas de acrolonitrilo butadieno estireno (ABS)	
Etilbenceno	
Etileno y Propieno	
Formaldehído	
Grafito	
Anhídrido Ftálico	
Polipropileno	
Poliestireno	
Polietileno baja densidad	
Polietileno elevada densidad	
Cloruro de polivinilo	
Butadieno Estireno	
1-2 Dicloroetano	
Urea	
Ácido sulfúrico	
Dióxido de titanio	

CUESTIONARIO: Favor de contestar las siguientes preguntas (deberán ser contestadas por un área técnica)

1.- Conoce usted si su proceso industrial genera Gases de Efecto Invernadero (GEI)?, sabe cuáles son y de que proceso provienen?

2.- Tiene usted reconocidas algunas técnicas o metodologías que reduzcan la generación de estos gases? Si la respuesta es afirmativa, sabe cuál sería el costo de inversión aproximado para su implementación?

3.- Cuáles son sus proyecciones de crecimiento de producción para las siguientes dos décadas?

4.-Cuál ha sido su producción durante los últimos 10 años?

AÑO	CANTIDAD DE QUIMICOS PRODUCIDO (TON)
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	

2006	
2007	
2008	
2009	
2010	

5.- Puede estimar cuál sería la cantidad de químicos producidos para los siguientes años?

CANTIDAD DE QUÍMICOS PRODUCIDOS		
(Ton/Año 2030)	(Ton/Año 2050)	(Ton/Año 2080)

Datos de la empresa

Razón social:

Dirección completa:

Representante Legal:

Correo electrónico del representante legal:

Responsable Técnico:

Correo electrónico del responsable técnico:

Teléfono:

PRODUCCIÓN DE OTROS PRODUCTOS MINERALES - PRODUCCIÓN DE VIDRIO

2-5s4

TIPO DE VIDRIO	CANTIDAD DE VIDRIO PRODUCIDO (Ton/Año 2006)
Envases de vidrio (diferentes tipos)	

PRODUCCIÓN DE OTROS PRODUCTOS MINERALES - PRODUCCIÓN DE VIDRIO

2-5s5

CANTIDAD DE CONCRETO DE PIEDRA POMEZ PRODUCIDA (Ton/Año 2006)

CUESTIONARIO: Favor de contestar las siguientes preguntas (deberán ser contestadas por un área técnica)

1.- Conoce usted si su proceso industrial genera Gases de Efecto Invernadero (GEI)?, sabe cuáles son y de que proceso provienen?

2.- Tiene usted reconocidas algunas técnicas o metodologías que reduzcan la generación de estos gases? Si la respuesta es afirmativa, sabe cuál sería el costo de inversión aproximado para su implementación?

--

3.- Cuáles son sus proyecciones de crecimiento de producción para las siguientes dos décadas?

--

4.- Cuál ha sido su producción durante los últimos 10 años?

AÑO	CANTIDAD DE VIDRIO PRODUCIDO (TON)
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	
2006	
2007	
2008	
2009	
2010	

5.- Puede estimar cuál sería la cantidad de vidrio producido para los siguientes años?

CANTIDAD DE VIDRIO PRODUCIDO		
(Ton/Año 2030)	(Ton/Año 2050)	(Ton/Año 2080)

Datos de la empresa

Razón social:

Dirección completa:

Representante Legal:

Correo electrónico del representante legal:

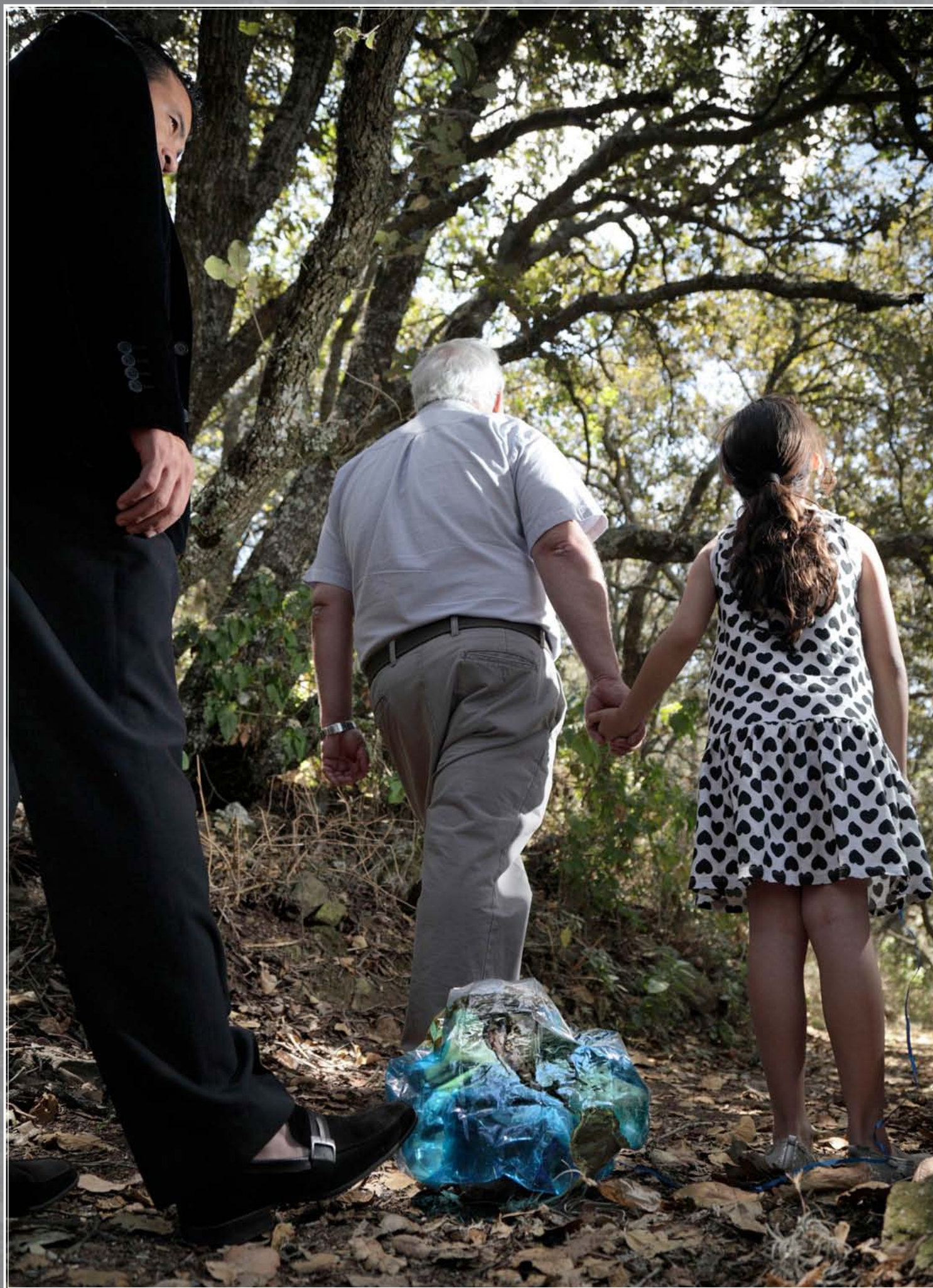
Responsable Técnico:

Correo electrónico del responsable técnico:

Teléfono:

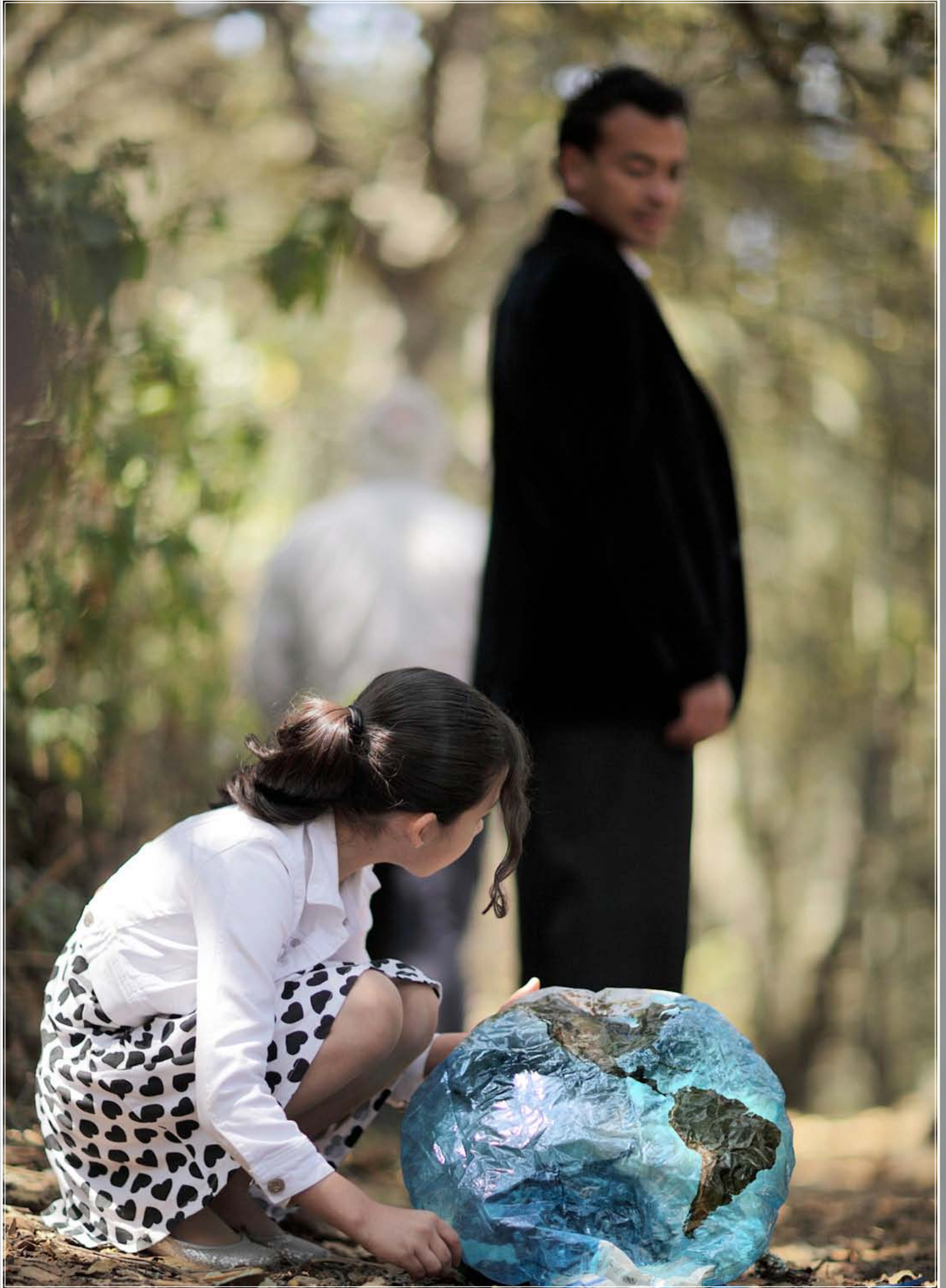
ANEXO 2

ELEMENTOS TÉCNICOS DEL PROGRAMA ESTATAL DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO-QUERÉTARO



Editores

Dr. Humberto Suzán Azpiri * Dr. Víctor Hugo Cambrón Sandoval * Dr. Oscar Ricardo García Rubio
Dr. Aurelio Guevara Escobar * M. en C. Hugo Luna Soria * Dr. Enrique González Sosa



ELEMENTOS TÉCNICOS DEL PROGRAMA ESTATAL DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO-QUERÉTARO

Editores

Dr. Humberto Suzán Azpiri

Facultad de Ciencias Naturales, U.A.Q.

Dr. Víctor Hugo Cambrón Sandoval

Facultad de Ciencias Naturales, U.A.Q.

Dr. Oscar Ricardo García Rubio

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, U.A.Q.

Dr. Aurelio Guevara Escobar

Facultad de Ciencias Naturales, U.A.Q.

M. en C. Hugo Luna Soria

Licenciatura en Geografía Ambiental, U.A.Q.

Dr. Enrique González Sosa

Facultad de Ingeniería, U.A.Q.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Directorio

Dr. Gilberto Herrera Ruiz

Rector

Dr. César García Ramírez

Secretario Académico

Dr. Irineo Torres Pacheco

Dirección de Investigación y Posgrado

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasa

Dirección Facultad de Ciencias Naturales

Dr. Humberto Suzán Azpiri

Coordinador Académico del Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático-Querétaro

La publicación de este libro se financió por:

1. Fondo CONACYT-SEMARNAT: clave 000000000108173.
2. INE-GOBIERNO DEL ESTADO DE QUERETARO: Anexo 34 2010.
3. INECC (Convenio INE/PS-051/201).

D.R. © Universidad Autónoma de Querétaro
Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n
Colonia Las Campanas. C.P. 76010.
Querétaro, Querétaro. México.

ISBN digital: 978-607-513-101-6

Primera edición, abril 2014

Hecho en México

Colaboración especial para la síntesis impresa:

M.C. Bertha Zúñiga Tovar

Formación y diseño:

L.A.V. Ofelia Ocampo Jaramillo

INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Ing. Ricardo Torres Hernández

Secretaría de Desarrollo Sustentable. Querétaro.

Dr. Gerardo Serrato Ángeles

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Querétaro.

Dr. Aurelio Guevara Escobar

Facultad de Ciencias Naturales, U.A.Q.

Biól. Mónica Cervantes Jiménez

Facultad de Ciencias Naturales, U.A.Q.

Ing. Lucitania Servín Vázquez

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Querétaro.

Biól. Armando Bayona Celis

Centro Queretano de Recursos Naturales.

M. en C. Gustavo Pedraza Aboytes

Facultad de Química. U.A.Q.

I.Q.A. Sergio Macías Ramírez

Facultad de Química. U.A.Q.

I.Q.A. Edith Obregón Morales

Facultad de Química. U.A.Q.

4.1. Resumen

4.1.1. Energía e industria

El presente reporte refiere la estimación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) derivadas de las principales fuentes de combustión definidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para el estado de Querétaro. En éstas se incluye a las industrias de producción de energía, industrias de manufactura subcategorías: transporte, comercial, residencial y agropecuario. Entre las emisiones estimadas se consideran los siguientes gases: CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, COVDM y SO₂ calculadas a partir del consumo de combustibles fósiles, así como el obtenido de fuentes de energía renovable como la leña.

El reporte y los cuadros han sido preparados en concordancia con las Directrices y la Guía de Buenas Prácticas del IPCC 1996 y 2000, respectivamente, utilizando un nivel metodológico de complejidad básico Tier 1. Dada la falta de factores de emisión propios

para el estado se adoptaron los sugeridos en el libro de trabajo y manual de referencia del IPCC.

Los datos de actividad de la categoría fueron solicitados en su mayoría a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado (SEDESU) a las Dependencias y empresas relacionadas con el sector.

La mayor contribución de emisiones de GEI del sector energético para el 2006 en el estado de Querétaro fue de 4,933.94 Gg de CO₂, de los cuales el transporte representa el 61.06% (3,013.43 Gg) de las emisiones totales.

Para la categoría de procesos industriales se consideraron las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la transformación de la materia prima para la manufactura de productos, sin tomar en cuenta las emisiones de GEI derivadas de procesos energéticos, es decir, se cuantificaron las emisiones de las actividades de procesos industriales no-energéticos. Para el estado de Querétaro se estimaron las emisiones de

las categorías industria de la cal, del papel, del vidrio, química y pintura, fundición de aluminio, alimentos y bebidas y asfalto, consideradas dentro de las Directrices del IPCC, 1996.

Entre los gases emitidos por procesos industriales se encuentran el CO₂, CH₄, N₂O, COVDM, SO₂, Halocarburos (PFC y HFC), SF₆ y CO.

Las fuentes clave para el estado son la industria de la cal y la industria de alimentos y bebidas, la primera debido a su volumen de producción, mientras que la segunda, lo es debido al número elevado de industrias del giro presentes dentro del territorio estatal.

En general, la adquisición de datos de información para este sector fue obtenida directamente de los giros industriales catalogados como fuentes de emisión dentro de las Directrices del IPCC en su versión revisada en 1996.

Las emisiones por procesos industriales calculadas en el estado de Querétaro se concretan a emisiones COVDM, CO₂ y SO₂; con una cantidad en Gg de 289.49 para COVDM, 121.25 para CO₂ y 8.09 para SO₂.

4.1.2. Agrícola y pecuario

El subsector agrícola evalúa las emisiones de N₂O procedentes de los sistemas agrícolas. El subsector pecuario trata de las emisiones de metano procedentes de la fermentación entérica y el manejo de estiércol. Para el subsector agrícola se utilizó la información de los Cierres Agrícolas proporcionados por la Secretaría Desarrollo Agropecuario (SEDEA) del estado en Querétaro, que contiene información de las temporadas otoño-invierno y primavera-verano 2007 y se emplearon los factores de emisión marcados por la Metodología del IPCC (1996).

Para el subsector pecuario se utilizaron dos bases de datos oficiales sobre el número de cabezas. En primer lugar los anuarios estadísticos del sector rural para el estado de los años 2007-2009 y el censo agropecuario de INEGI de 2007. Dada la diferencia existente entre las dos bases de datos en cuanto al número de cabezas y las clases de ganado presentes en el estado, para el objeto de este inventario se utiliza un promedio simple de ambas bases de datos de acuerdo y siguiendo lo establecido en el documento "Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero."

Los factores de emisión por fermentación y manejo de excretas para cada especie y sus clases de ganado se determinaron según la metodología de Árboles de Decisión del IPCC para Tier I (Anexo V) en consideración al nivel productivo y función zootécnica predominante en el estado.

Así, las emisiones provenientes de las fuentes directas e indirectas del sector agrícola suman un total de 2.47 Gg de N₂O. Las emisiones principales del sector pecuario resultan del ganado bovino lechero y el bovino de carne en segundo lugar. El promedio de emisiones de las dos bases de datos de ganadería en Querétaro es de 17.45 ± 6.2 Gg de CH₄ al año, equivalentes a 436.25 ± 156 Gg de CO₂ Eq.

4.1.3. Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura

Entre las fuentes de emisión de bióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en el estado, las relacionadas con los cambios de uso del suelo y los cambios en la vegetación, representan una proporción relativamente pequeña. La metodología utilizada siguió un esquema independiente a los propuestos por el IPCC, por lo que en acuerdo con el INECC se incluye esta sección en un anexo y no se incorpora esta estimación en el cálculo final del inventario, dejando su incorporación para la próxima actualización (2012) incluirá la estimación acorde al IPCC.

Los cambios más evidentes de uso del suelo son la sustitución de áreas con vegetación por zonas urbanas, industriales y otras instalaciones. Prácticamente no existe sustitución de áreas con vegetación por agricultura, pero lo contrario sí ha venido ocurriendo en forma sostenida y representa una importante causa de remoción de CO₂. El abandono de amplias superficies de agricultura de temporal, en alrededor del 47% de la superficie cartografiada de dos a tres décadas atrás, que han recuperado su cobertura y, presumiblemente, el carbono en el suelo en diversas medidas, de acuerdo al tipo de vegetación y el tiempo transcurrido.

Así el balance de emisión y captura de CO₂ en este rubro, resulta con una emisión de 861.46 Gg anuales para el año de reporte 2006.

Por su parte el consumo de leña es contabilizado en este sector tal como se marca la metodología utilizada en la elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (De Jong *et al.*, 2003), que emplea los factores de consumo *per cápita* de la

base de datos de Ghilardi (2008) y los datos censales de INEGI (2000) sobre la población total y el número de viviendas en las que se emplea la leña como combustible (dato que no se levantó en el Censo 2005 ni en el Censo 2010); así como el análisis espacial de las áreas con vegetación alrededor de las localidades que consumen leña. El total para el estado de Querétaro es de 490 toneladas de materia seca diarias. Alrededor de 179 Gg al año. Así el total para el sector USCUS de 1040.47 Gg.

4.1.4. Desechos

Los desechos generados a diario en hogares industrias y el campo contribuyen a las emisiones de GEI. En este apartado nos enfocamos a calcular las emisiones de GEI dentro del sector de desechos los cuales comprenden desechos urbanos e industriales, aguas residuales y lodos residuales.

Debido a las características de disposición de los rellenos y a la poca o nula cantidad de oxígeno presente, la materia orgánica se degrada generando GEI, principalmente metano. Este también es el caso de las aguas y lodos residuales provenientes del tratamiento de aguas de desecho, industriales y municipales, compuestos principalmente de materia orgánica, la cual se degrada de la misma manera que los residuos sólidos produciendo GEI.

Otro factor importante para el inventario de emisiones de GEI es la producción de dióxido de nitrógeno (N_2O) procedente de los excrementos humanos. La producción de este gas es proporcional al tipo de alimentos que consume la población, ya que a mayor cantidad de proteínas consumidas son mayores las emisiones de N_2O , alcanzando para el estado de Querétaro 1Gg durante el año 2006.

En el sector de desechos la mayor contribución de emisiones de metano se encuentra dada por los rellenos sanitarios, las aguas y lodos residuales municipales, los cuales contribuyen con 1,592 Gg y 316.2 Gg, respectivamente; mientras que las emisiones por aguas y lodos industriales aportan 11 Gg.

4.1.5. Medidas de mitigación

Una vez contabilizadas las emisiones de los diferentes sectores, se procedió a elaborar las medidas de mitigación pertinentes, a partir de las propuestas realizadas en los talleres regionales que se llevaron a cabo como parte del Programa Estatal de Acción contra el Cambio Climático. La modelización de medidas de mitigación se llevó de acuerdo a lo establecido en el LEAP sólo para el sector energía. Las emisiones del sector residencial para el año 2006 se calcularon en 747.7 Gg de CO_2 eq logrando una reducción de Emisiones de 1,177 Gg de CO_2 al 2030 a partir de las siguientes medidas de mitigación:

- a) Ampliación de la cobertura de gas natura.
- b) Implementación de energía solar para el calentamiento de agua.

Las emisiones del sector transporte al 2006 se calcularon en 2,908.7 Gg de CO_2 eq logrando una reducción de Emisiones de 4,581 Gg de CO_2 al 2030 a partir de las acciones planteadas en el Programa Integral de Movilidad del estado.

4.2 Sector Energía

4.2.1. Introducción

En este sector se calculan las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de las principales fuentes de combustión definidas por el IPCC adaptadas para el estado de Querétaro. En estas se incluye a las industrias de producción de energía, industrias manufactureras y a los subsectores transporte, comercial, residencial y agropecuario.

Las estimaciones consideran emisiones de CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , CO , CO_2 DM y SO_2 calculadas a partir del consumo de combustibles fósiles. El cálculo de las emisiones de CO_2 proveniente de la leña usada en el subsector residencial se omite debido a que se considera en el sector USCUS de este inventario. La Figura 4.1 muestra la estructura de la categoría de Energía.

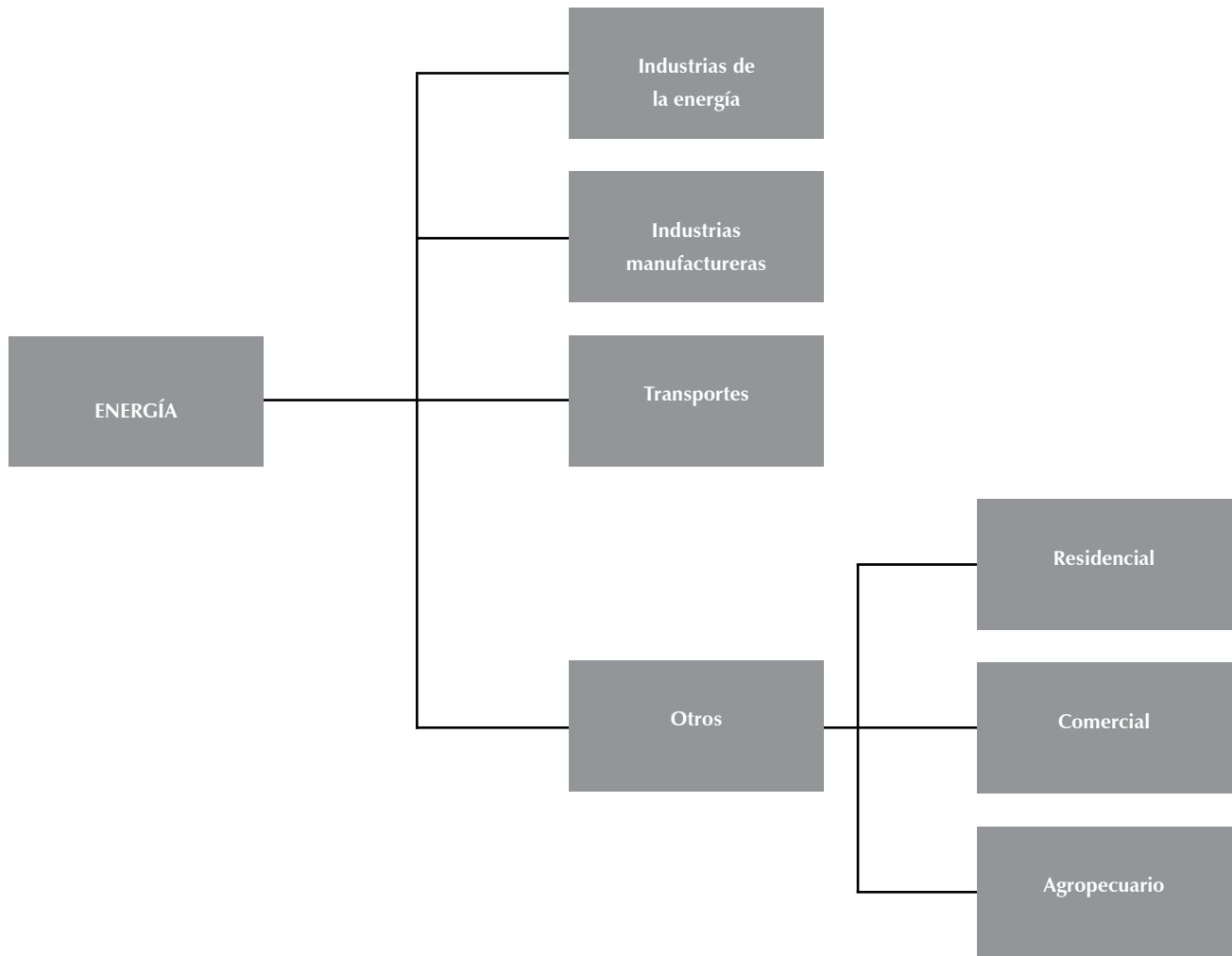


Figura 4.1 Estructura de la categoría de energía.

4.2.2. Datos de actividad

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector de Energía son resultado del consumo de combustibles fósiles. El sector energía comprende dos actividades principales relacionadas con la quema de combustibles: combustión en fuentes fijas y combustión en fuentes móviles. Cada una de estas actividades involucra varias fuentes que emiten GEI.

La mayor parte del consumo de energía en el estado, se presenta en la categoría transporte con el 54.01%, seguida del subsector de industrias de la energía con el 27.94% y el de industrias de la manufactura con el 9.58%. El sector residencial y el sector comercial participan con el 7.20% y 1.09%, respectivamente, en tanto que el agropecuario representa tan sólo el 0.18% (Cuadro 4.1).

4.2.2.1. Fuentes fijas de combustión

Para este apartado se evalúan las emisiones de GEI provenientes de la generación de electricidad, así como las derivadas de los procesos de la industria manufacturera y otros sectores como el comercial, residencial y agropecuario.

4.2.2.1.1. Industrias de la energía

La actividad del estado de Querétaro en el subsector productor de energía es la generación de electricidad por la Comisión Federal de Electricidad en la Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado El Sauz, ubicada en el municipio de Pedro Escobedo con una capacidad efectiva instalada de 603 MW¹.

1 CFE (2011) Listado de centrales generadoras, consultada en marzo del 2011.

<http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/estadisticas/listado-centralesgeneradoras/Paginas/Ciclocombinado.aspx>

El subsector productor de energía en el estado de Querétaro, sólo consumió gas natural durante el año base, demandó 21895.03 TJ que representan el 29.02% de la energía total consumida en el Estado. Se estimó que consume aproximadamente el 82.87% de gas natural suministrado a la entidad.

4.2.2.1.2. *Industria Manufacturera*

La industria manufacturera consume un 9.96% del total de la energía utilizada en el estado de Querétaro debido al tipo de industria establecida, tales como las de productos metálicos, maquinaria y equipo (destacando por su competitividad y por el empleo que generan en la entidad, dos ramas: autopartes y electrodomésticos); alimentos, bebidas y químicos, derivados del petróleo, caucho y plástico (Cuadro 4.2). Las principales fuentes de energía del subsector son el gas natural (46.19%) y el combustóleo y diesel (26.83% y 20.62), respectivamente.

4.2.2.1.3. *Residencial*

El subsector residencial demanda el uso de gas natural, gas L. P. y leña como combustibles. En el año 2006, el consumo de energía registrado por este subsector fue de aproximadamente 5,641.88 TJ, lo que representa el 52.01% por el uso de leña (Cuadro 4.3).

4.2.2.1.4. *Comercial y de servicios*

La Región Centro (Querétaro, Corregidora, El Marqués, Huimilpan) concentra el comercio local, donde se localiza el 74.5% del total de los establecimientos

comerciales y de servicios del estado. En la Región Sur (Amealco de Bonfil, Ezequiel Montes, Pedro Escobedo, San Juan del Río y Tequisquiapan) se localizan el 18.4% de los establecimientos comerciales y de servicios del estado. En la Región Semidesierto (Cadereyta de Montes, Colón, Peñamiller, San Joaquín, Tolimán) se registran 1,589 establecimientos comerciales y de servicios. En la Región Sierra Gorda (Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Pinal de Amoles) se localizan 1,540 establecimientos comerciales y de servicios².

Para el caso del subsector comercial y de servicios, el gas L. P. es usado comúnmente, representa el 55.64% del consumo de energía del mismo. El consumo de gas natural y diesel representan el 27.33% y 17.04%, respectivamente (Cuadro 4.4). Gran parte de los procesos de combustión en este subsector son relacionados al calentamiento tipo boiler o caldera en comercios, hoteles, hospitales y otros.

4.2.2.1.5. *Agricultura*

En el estado de Querétaro la extensión territorial dedicada a las actividades agrícolas se encuentra subdividida en cuatro Distritos de Desarrollo Rural, que corresponden a cada una de las regiones que las dependencias del ramo han delimitado de acuerdo a la similitud de características de los municipios y que es necesaria para la correcta planeación e impulso del subsector.

² SEDESU Anuario Económico 2006.

SUBSECTOR	(TJ)	PORCENTAJE (%)
➤ Industria de la energía	21895.03	27.94
➤ Transporte	42330.32	54.01
➤ Industrias manufactureras.	7511.03	9.58
➤ Residencial	5641.88	7.20
➤ Comercial	856.13	1.09
➤ Agropecuario	139.71	0.18
Consumo energético total	78374.10	100

Cuadro 4.1 Consumo energético por subsector en Querétaro, 2006.

Fuente: *Elaboración propia con base en información proporcionada por PEMEX, Maxi Gas Natural, CFE, SAGARPA y datos del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía.*

COMBUSTIBLE	CONSUMO (TJ)	PORCENTAJE (%)
➤ Combustóleo	2015.01	26.83
➤ Gas Natural	3469.04	46.19
➤ Diesel	1548.65	20.62
➤ Gas L.P.	478.33	6.37
Total	7511.03	100

Cuadro 4.2. Consumo energético de la industria manufacturera en Querétaro, 2006.
Fuente: *Elaboración propia con base en información proporcionada por PEMEX, Maxi Gas Natural y datos del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía.*

COMBUSTIBLE	CONSUMO (TJ)	PORCENTAJE (%)
➤ Gas L.P.	1885.86	33.43
➤ Gas Natural	821.82	14.57
➤ Leña	2934.20	52.01
Total	5641.88	100

Cuadro 4.3. Consumo energético del subsector residencial en Querétaro, 2006.
Fuente: *Elaboración propia con base en información proporcionada por Maxi Gas Natural, datos del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía y de “la Estrategia Energética del Estado de Querétaro”.*

COMBUSTIBLE	CONSUMO (TJ)	PORCENTAJE (%)
➤ Gas L.P.	476.33	55.64
➤ Gas Natural	233.94	27.33
➤ Diesel	145.86	17.04
Total	856.13	100

Cuadro 4.4. Consumo energético comercial y de servicios en Querétaro, 2006.
Fuente: *Elaboración propia con base en información proporcionada por Maxi Gas Natural, único distribuidor en el estado y datos del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía.*

Los principales cultivos establecidos en cuanto a volumen de producción durante el ciclo agrícola primavera-verano son: maíz grano, maíz forrajero en verde y sorgo grano; en el ciclo agrícola otoño-invierno los cultivos que sobresalen son: avena forrajera en verde, raigrás, zanahoria y cebada grano, mientras que en los cultivos perennes el principal producto es la alfalfa verde.

Este subsector representa el 0.18% de la energía total consumida en el estado, siendo directa e indirectamente de combustibles fósiles, en su mayoría de diesel resultando un consumo de 84.23 TJ (Cuadro 4.5). El diesel se considera que es demandado por los tractores y equipo de agricultura llamados off-road también bombas para transporte de agua que pudieran utilizar electricidad y diesel.

COMBUSTIBLE	CONSUMO (TJ)	PORCENTAJE (%)
➤ Diesel	84.23	60.29
➤ Gas L.P.	55.48	39.71
Total	139.71	100

Cuadro 4.5. Consumo energético agropecuario en Querétaro, 2006.
Fuente: *Elaboración propia con base en información proporcionada por SAGARPA y datos del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía.*

4.2.2.2. Fuentes móviles de combustión

El sector transporte es una de las fuentes más importantes de emisiones de gases de efecto invernadero a escala mundial. El IPCC reportó que en 1995 el 25% de las emisiones antropogénicas de bióxido de carbono provienen del transporte (IPCC, 2001a). Otra de las características de las emisiones del sector transporte a escala mundial es su tendencia a aumentar. En México, la tendencia en el consumo de energéticos en el sector transporte se incrementa claramente.

4.2.2.2.1. Transporte ferroviario, autotransporte y aviación

Respecto al transporte ferroviario, el estado de Querétaro está considerado como punto medular para la carga, descarga y transferencia de mercancías, debido a que dentro del estado cruzan las vías troncales México-Ciudad Juárez, México-Nuevo Laredo, México Guadalajara-Manzanillo-Mexicali y México-San Luis Potosí. En el año 2005 se registró una movilización aproximadamente de 84,300 contenedores. La red ferroviaria estatal actualmente cuenta con una longitud de 511.0 kilómetros de vía en operación, por lo anterior representa un rubro de aporte a las emisiones móviles de gases de efecto invernadero.

El transporte carretero, es de los que más desarrollo ha tenido, debido a su crecimiento y modernización dentro de los medios de transporte disponibles en el estado de Querétaro, así como por su costo relativo e infraestructura. Datos aportados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) revelan que la configuración semi-radial de carreteras, que converge hacia la capital del estado, además de la histórica carretera Panamericana, comprende un total de 3,205.1 km.

Respecto al transporte aéreo, el Aeropuerto Internacional de Querétaro se encuentra ubicado dentro de los municipios de El Marqués y Colón a 22 kilómetros de la capital queretana. Ofrece sus instalaciones y servicios a todo el estado de Querétaro y a ciudades de estados colindantes.

La gasolina y el diesel son los combustibles más utilizados en el estado. El consumidor más importante de energéticos es el transporte carretero, el consumo de ambos hidrocarburos contempla el 99.92% del total de combustible consumido por este subsector (Cuadro 4.6).

COMBUSTIBLE	CONSUMO (TJ)	PORCENTAJE (%)
➤ Gasolina	23376.69	55.96
➤ Diesel	18608.19	43.96
➤ Turbosina	33.44	0.08
Total	42330.32	100

Cuadro 4.6. Consumo energético del transporte en Querétaro, 2006.
Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por PEMEX.

4.2.3. Procedimiento para el cálculo de emisiones

Para los cálculos de emisiones, se utilizó el método aprobado por la CMNUCC del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) versión revisada en 1996, según la cual el modo para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero puede dividirse en tres niveles, de acuerdo con el detalle de datos que se utilicen.

Para el cálculo de la estimación de CO₂, CH₄ y N₂O se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum \text{Combustible consumido} \times \text{FE}_{\text{CO}_2} \times \text{Factor de oxidación}$$

$$\text{Emisiones de GEI} = \sum \text{Combustible consumido} \times \text{FE}_{\text{GEI}}$$

Donde:

- * Emisiones de GEI = Emisiones de Gases de efecto Invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O) por tipo de combustible en Gigagramos (Gg)
- * Combustible Consumido = Cantidad de Combustible quemado (TJ)
- * FE_{GEI} = Factor de Emisión predeterminado de GEI según el tipo de combustible (Gg C/TJ)

4.2.3.1. Factores de emisión

De acuerdo al procedimiento se aplicó la técnica de "Árbol de decisiones" tanto a las industrias de la energía, industrias de manufactura y a los subsectores transporte, comercial, residencial y agropecuario como se muestra en el anexo V, resolviéndose utilizar un nivel metodológico de complejidad básico Tier 1. Por tanto, se estiman las emisiones utilizando los datos de actividad y los factores de emisión según el

Método Sectorial de Nivel 1 descrito en las Directrices del IPCC 1996, usando los factores de emisión por default de IPCC.

4.2.3.1.1. Elección de datos de actividad

Los datos de actividad del sector energético fueron solicitados en su mayoría a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado (SEDESU) a las Dependencias y empresas relacionadas con este sector, generando un inventario exhaustivo, es decir que contempla la totalidad de las fuentes emisoras del estado.

Las solicitudes de información consistieron en tablas de consumos o ventas de combustibles durante el año 2006 en los subsectores específicos donde las dependencias o empresas consultadas tienen injerencia (Anexo VI).

Cabe señalar que los datos referidos fueron proporcionados en unidades de volumen o masa, y que para el cálculo de emisiones de este sector la metodología del IPCC requiere los datos en unidades de energía (TJ), por lo que resultó necesario hacer las conversiones pertinentes a través del uso de poderes caloríficos y equivalencias (Anexo VII).

4.2.3.1.2. Gas licuado de petróleo

En el caso del gas L.P., los datos de consumo se obtuvieron del sistema de información energética (SIE) de la Secretaría de Energía³. Los valores de ventas de gas L. P. en el estado de Querétaro para el año 2006 del SIE refiere un valor único de 66,039.60 toneladas.

³ SENER (2011) Estadística de ventas totales de gas L.P. en plantas de distribución por entidad federativa del año 2006, consultada en mayo de 2011.

<http://sie.energia.gob.mx/sie/bdiController?action=login>

1) Mediante el uso del valor de la densidad del gas L. P. (0.54 Kg/L⁴) se convirtió el valor arriba mencionado a unidades de volumen.

2) Posteriormente, se hizo la conversión a unidades de energía haciendo uso de poderes caloríficos y equivalencias de volumen (ver anexo V). El resultado de los cálculos arroja un valor de 2,896 TJ de gas L. P. consumidos en el estado de Querétaro durante el año 2006.

3) Finalmente, se calcularon las cantidades correspondientes a cada subsector, las cuales están basadas en las proporciones de uso de gas L.P. de los subsectores en la Estrategia Energética del estado de Querétaro⁵: 16.52% industrias manufactureras, 16.45% sector comercial, 65.12% sector residencial y 1.92% sector agropecuario.

De este cálculo se obtiene un consumo durante el año 2006 de 478.33 TJ de gas L. P. por las industrias manufactureras, 476.33 TJ por el subsector comercial, 1885.86 TJ por el subsector residencial y 55.48 TJ por el subsector agropecuario.

4.2.3.1.3. Diesel

Para el caso del diesel utilizado en el subsector transporte se sumaron: 1) el dato de ventas de PEMEX diesel en el estado de Querétaro en el año 2006 proporcionado por PEMEX (18142.89 TJ); y, 2) una aproximación para el subsector ferroviario respecto al Balance Nacional de Energía del año 2006 y la infraestructura de las vías férreas del estado (465.3 TJ). Sumando ambas cifras resultan 18,608.19 TJ de diesel consumidos por el subsector transporte en el estado durante el año 2006.

En el subsector agropecuario se tomó directamente el dato de consumo de diesel en el sector agropecuario en el año 2006 proporcionado por SAGARPA (84.23 TJ).

Para los subsectores industrial y comercial, se utilizó como base la cantidad de diesel industrial bajo azufre vendida en el estado de Querétaro por PEMEX

en el año 2006 y las proporciones de diesel utilizadas por estos subsectores en la Estrategia Energética del estado de Querétaro, bajo el criterio de que el diesel en el sector comercial es utilizado principalmente para el funcionamiento de equipos de tipo industrial.

1) Se calcularon las cantidades de diesel correspondientes a los subsectores industrial y comercial en base a las proporciones de uso en la Estrategia Energética del estado de Querétaro. De la cantidad resultante, se observó que el 91.39% del diesel es consumido por el subsector industrial y 8.61% por el subsector comercial.

2) Se calculó la cantidad correspondiente a estos porcentajes de los 1,694.51 TJ de diesel industrial bajo azufre vendidos por PEMEX en el estado de Querétaro en el año 2006.

De los cálculos anteriores resulta que en el año 2006 se destinaron 1,548.65 TJ de diesel para el sector industrial y 145.86 TJ para el sector comercial.

4.2.3.1.4. Gasolina

El cálculo del consumo de gasolinas en el estado considera exclusivamente los datos proporcionados por la Subgerencia de Ventas Regional Centro de PEMEX considerando las ventas totales realizadas en el estado en el 2006 alcanzando 23,688.69 TJ.

4.2.3.1.5. Gas natural

El consumo de Gas Natural en el estado se calculó en base a la información otorgada por la empresa MAXI GAS NATURAL quien posee la exclusividad en la distribución del combustible en el estado de Querétaro quien registra para el 2006 ventas totales por 233.94 TJ para el sector comercial y de servicios, 3,469.04 TJ para industrias de manufactura y 821.82 TJ para el sector residencial. Además se integran las ventas de PEMEX a la Comisión Federal de Electricidad para la generación de electricidad en la planta "El Sauz" por 21,895.03 TJ dando un total de 26,419.83 TJ.

4.2.4. Discusión de Resultados

A manera de resumen, se presenta en el cuadro 4.7 el consumo de energéticos para cada subsector en el estado de Querétaro para el año 2006, así como las emisiones de GEI asociadas por su combustión.

Debe mencionarse que gran cantidad de los combustibles que contienen las tablas de las Directrices del IPCC para el cálculo de gases de efecto invernadero (GEI) no se consumen en el estado de Querétaro

4 SENER (2011) Prospectiva del mercado de gas licuado de petróleo (2007-2016).

http://energia.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva%20de%20Gas%20LP%20FINAS.pdf

5 Estrategia Energética del Estado de Querétaro realizada por el Tecnológico de Monterrey campus Monterrey con apoyo económico del Fondo Mixto Querétaro-CONACYT en el 2006.

siendo objeto de este inventario solamente los siguientes: Gas Natural, Combustóleo, Gas Licuado de Petróleo y Diesel. Para el caso de la leña se reportan las emisiones de GEI por su uso en el subsector residencial, pero no se contabilizan en el inventario puesto que estos se contabilizan en el sector USCUS.

Así mismo cabe aclarar que varios submódulos de las tablas del IPCC no fueron calculados debido a que las actividades que describen no existen en el estado como es el caso de la refinación de petróleo o bien porque se sugiere estimar las emisiones con el nivel Tier 2, lo cual por el momento resulta poco proba-

ble ya que no se cuenta con datos suficientes para realizar cálculos a dicho nivel como es el caso de las emisiones de fuentes aéreas. Estas simplificaciones no se consideran relevantes para el estado de Querétaro por el reducido flujo de aeronaves en el estado.

De las emisiones calculadas destacan por su aportación el sector transporte con el 62.44% de las emisiones totales, industria de la energía con un 23.39% y las industrias manufactureras con un 9.49%. Los sectores residencial, comercial y agropecuario contribuyen en su conjunto con el 4.68% (cuadro 4.7).

Sub-categoría	Combustible	Consumo 2006 (TJ)	%	% por sector	EMISIONES Gg													
					CO ₂	%	CH ₄	%	N ₂ O	%	NO _x	%	CO	%	COV DM	%	SO ₂	%
➤ Industria de la energía	Gas natural	21,895.03	27.94	100.00	1222.17		0.02		0.00		3.28		0.44		0.11		0	
Subtotal		21,895.03	27.94	100.00	1222.17	24.78	0.02	1.32	0.00	0.00	3.28	9.48	0.44	0.20	0.11	0.27	0	0
➤ Transporte	Gasolina	23,688.69	30.23	55.96	1625.21													
	Diesel	18,608.19	23.74	43.96	1364.46		0.56		0.03		29.3		208.12		39.25		3.63	
	Turbosina	33.44	0.04	0.08	2.37													
Subtotal		42,330.32	54.01	100.00	2992.04	60.66	0.56	36.84	0.03	75.00	29.3	84.66	208.12	93.10	39.25	95.29	3.63	43.3
➤ Industrias manufactureras	Gas natural	3,469.04	4.43	46.19	193.64													
	Combustóleo	2,015.01	2.57	26.83	154.34													
	Gas L.P.	478.33	0.61	6.37	29.87													
	Diesel	1,548.65	1.98	20.62	113.56													
Subtotal		7,511.03	9.58	100.00	491.41	9.96	0.03	1.97	0.00	0.00	1.33	3.84	0.14	0.06	0.04	0.10	4.72	56.3
➤ Residencial	Gas natural	821.82	1.05	14.57	45.87													
	Gas L.P.	1,885.86	2.41	33.43	117.75													
	Leña*	2,934.20	3.74	52.01	321.69													
Subtotal		5,641.88	7.20	100.00	163.62	3.32	0.9	59.21	0.01	25.00	0.52	1.50	14.75	6.60	1.77	4.30	0.03	0.36

Cuadro 4.7. Emisiones de GEI por tipo de actividad, 2006.

Sub-categoría	Combustible	Consumo 2006 (TJ)	%	% por sector	EMISIONES Gg													
					CO ₂	%	CH ₄	%	N ₂ O	%	NO _x	%	CO	%	COV DM	%	SO ₂	%
➤Comercial y de servicios	Gas natural	233.94	0.30	27.33	13.06													
	Gas L.P.	476.33	0.61	55.64	29.74		0.01		0.00		0.07		0.02		0			
	Diesel	145.86	0.19	17.04	10.7													
Subtotal		856.13	1.09	100.00	53.5	1.08	0.01	0.66	0.00	0.00	0.07	0.20	0.02	0.01	0	0.00		
➤Agropecuario	Gas L.P.	55.48	0.07	39.71	3.46		0		0.00		0.11		0.08					
	Diesel	84.23	0.11	60.29	6.18										0.02			
Subtotal		139.71	0.18	100.00	9.64	0.20	0	0.00	0.00	0.00	0.11	0.32	0.08	0.04	0.02	0.05		
Total		78,374.10	100.00		4932.38	100	1.52	100	0.04	100	34.61	100	223.55	100	41.19	100	8.38	100

Cuadro 4.7. Emisiones de GEI por tipo de actividad, 2006.

4.2.5. Conclusiones y recomendaciones

Tomando como base el año 2006, se determinó que las categorías claves para el sector energético del estado son el transporte seguido de la industria de la energía y las industrias manufactureras, ya que sus emisiones son considerablemente mayores que las de los subsectores restantes.

Los resultados sugieren acciones inmediatas para identificar el subsector del transporte que tiene mayor potencial para establecer estrategias en el estado que ayuden a mitigar las emisiones. En particular resulta indispensable establecer acciones que permitan reducir el consumo de combustibles en dicho sector a través del establecimiento por un lado de un programa integral de reordenamiento del transporte público que disminuya el recorrido promedio por pasajero y por ende el consumo de combustibles. En el caso del transporte privado resulta necesario implementar estrategias que incentiven el uso de medios alternativos de transporte como la bicicleta y que sobre todo permitan favorecer el uso del transporte público sobre el privado. Es claro que estas medidas están completamente ligadas puesto que la reducción en el uso del vehículo privado requiere de un transporte público eficiente, lo cual refuerza la necesidad de implementar un programa integral de reordenamiento del transporte público.

A un largo plazo superior, es necesario implementar estrategias de desarrollo urbano que disminuyan los recorridos promedio, principalmente en la zona conurbada de la Ciudad de Querétaro, que representa alrededor del 70 % del consumo total de combustibles principalmente de gasolina y diesel. Bajo este contexto resulta necesario establecer estrategias de re-densificación de la ciudad y aprovechamiento de vacíos urbanos además de planificar el crecimiento partiendo de la premisa privilegiar e incentivar la construcción vertical sobre el crecimiento horizontal.

El sector Industria de la Energía representa un gran consumidor de gas natural con 27.94 % del consumo estatal y cerca del 25% de las emisiones de CO₂ por lo que representa una oportunidad el implementar proyectos de recuperación de bióxido de carbono para su utilización en los invernaderos existentes así como medidas de ahorro y uso eficiente de la energía.

En el caso de las industrias manufactureras, que es el siguiente en importancia en el consumo de energéticos y emisiones, se evidencian importantes oportunidades para diseñar e implementar un programa para de ahorro y uso eficiente de la energía.

Si bien los sectores residencial, comercial y de servicios y agropecuario representan sólo el 4.68% de las

emisiones totales, representan nichos de oportunidad para la implementación de medidas de sustitución de combustóleo y gas L. P., por gas natural y tecnologías como la de calentadores solares de agua para viviendas y servicios. Es necesario también avanzar en la generación de información a nivel estatal, para estimar con mayor exactitud las emisiones derivadas del sector energía a partir de la construcción de factores de emisión específicos para el estado de Querétaro. Así como el contar con un balance de energía constantemente actualizado, así como con un sistema de información energética para el estado.

Es necesario también avanzar en la generación de información a nivel estatal, para estimar con mayor exactitud las emisiones derivadas del sector energía a partir de la construcción de factores de emisión específicos para el estado de Querétaro. Además de contar con un balance de energía constantemente actualizado, finalmente, implementar un sistema de información energética para el estado.

4.3. Procesos Industriales

4.3.1. Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son resultado de gran número de actividades industriales que no están relacionadas con los procesos de combustión. Las principales fuentes de emisiones son los procesos de producción industrial que transforman los materiales por medios físicos y químicos (Figura 4.2). Durante estos procesos, pueden ocurrir emisiones de diversos GEI, incluyendo CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆, adicionalmente, también se emiten otros gases como CO, COVDM, SO₂, NO_x.

En algunos casos, las emisiones procedentes de los procesos industriales coinciden con emisiones procedentes de la quema de combustibles, pudiendo resultar difícil determinar si una emisión específica corresponde al sector de la energía o al de los procesos industriales, para ello se utilizaron las Directrices del IPCC para los inventarios de GEI en su revisión 1996.

Para el Estado de Querétaro se cuenta sólo con algunos giros industriales de los contemplados para la realización de los inventarios de emisiones del sector, de conformidad con las Directrices del IPCC revisadas en 1996, tomando como año base el 2006 (Figura 4.3).

Cabe señalar que para el libro de trabajo del IPCC en 1996 no se ha incluido ningún método para calcular

los GEI procedentes del uso de solventes, por lo que dichas emisiones no serán calculadas en este inventario⁶.

Emisiones procedentes de procesos industriales

En el caso de procesos industriales las emisiones a contabilizar son aquellas de gases de efecto invernadero (GEI) como CO₂, CH₄, N₂O, COVDM, SO₂, Halocarburos (PFC y HFC), SF₆ y CO; inherentes al proceso productivo, es decir, existen emisiones que ocurren dentro de las industrias por actividades de transformación energética, sin embargo, las concernientes al módulo de procesos industriales son aquellas que se generan de la transformación de los materiales, ya sea por medios físicos o químicos, los cuales posteriormente serán introducidos al mercado.

Es importante resaltar el riesgo que existe de llevar a cabo un conteo doble, por lo que se discutió y se distinguió claramente las emisiones derivadas de procesos energéticos de las emisiones generadas de los propios procesos industriales no combustibles (Cuadro 4.8).

4.3.2. Fuentes de datos

Para el Estado de Querétaro no se tienen contabilizadas en una base de datos oficial las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de procesos industriales, por lo que se ha recurrido a la obtención de los datos mediante encuestas, levantadas directamente con las industrias, con el fin de recopilar la información necesaria para el inventario.

Las encuestas consistieron en cuestionarios relativos a indicar datos de actividad tales como: producción anual, uso de materia prima, así como un breve sondeo de las proyecciones de producción y conocimiento de emisiones de GEI por procesos productivos no energéticos. Las encuestas fueron separadas por los rubros existentes en el estado y que se encuentran enunciados en las Directrices del IPCC para los inventarios de GEI revisadas en 1996, dentro de los cuales se encuentra la industria de la cal, industria papelera, del vidrio, la química y pinturas, la de aluminio y magnesio, la industria del asfalto y la industria de alimentos y bebidas.

Los datos de actividad para los rubros en materia de Procesos Industriales se encuentran contenidos en el Anexo IV.

⁶ Libro de trabajo, volumen 3, IPCC 1996.

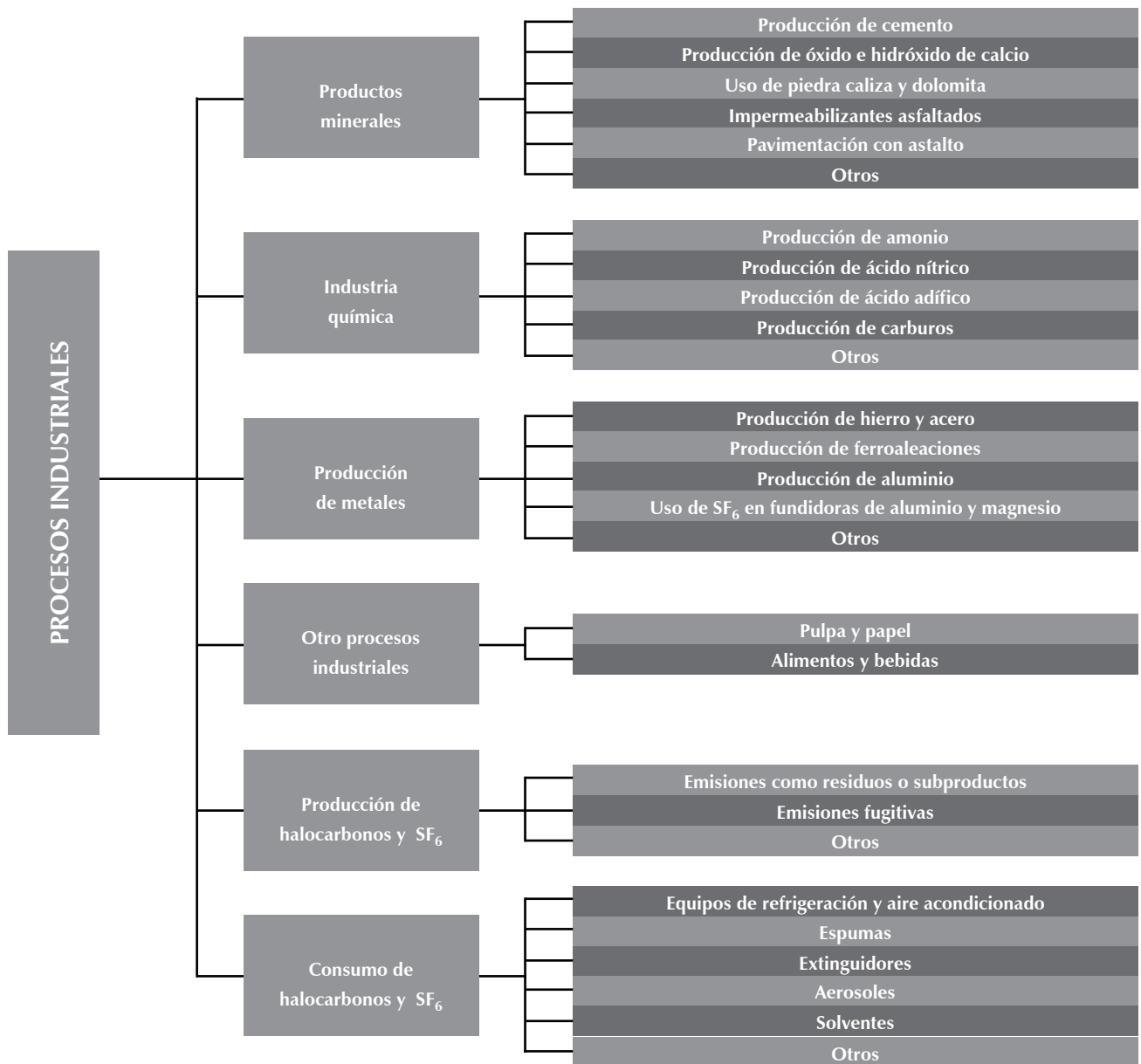


Figura 4.2 Estructura del sector de procesos industriales según la metodología del IPCC 1996.

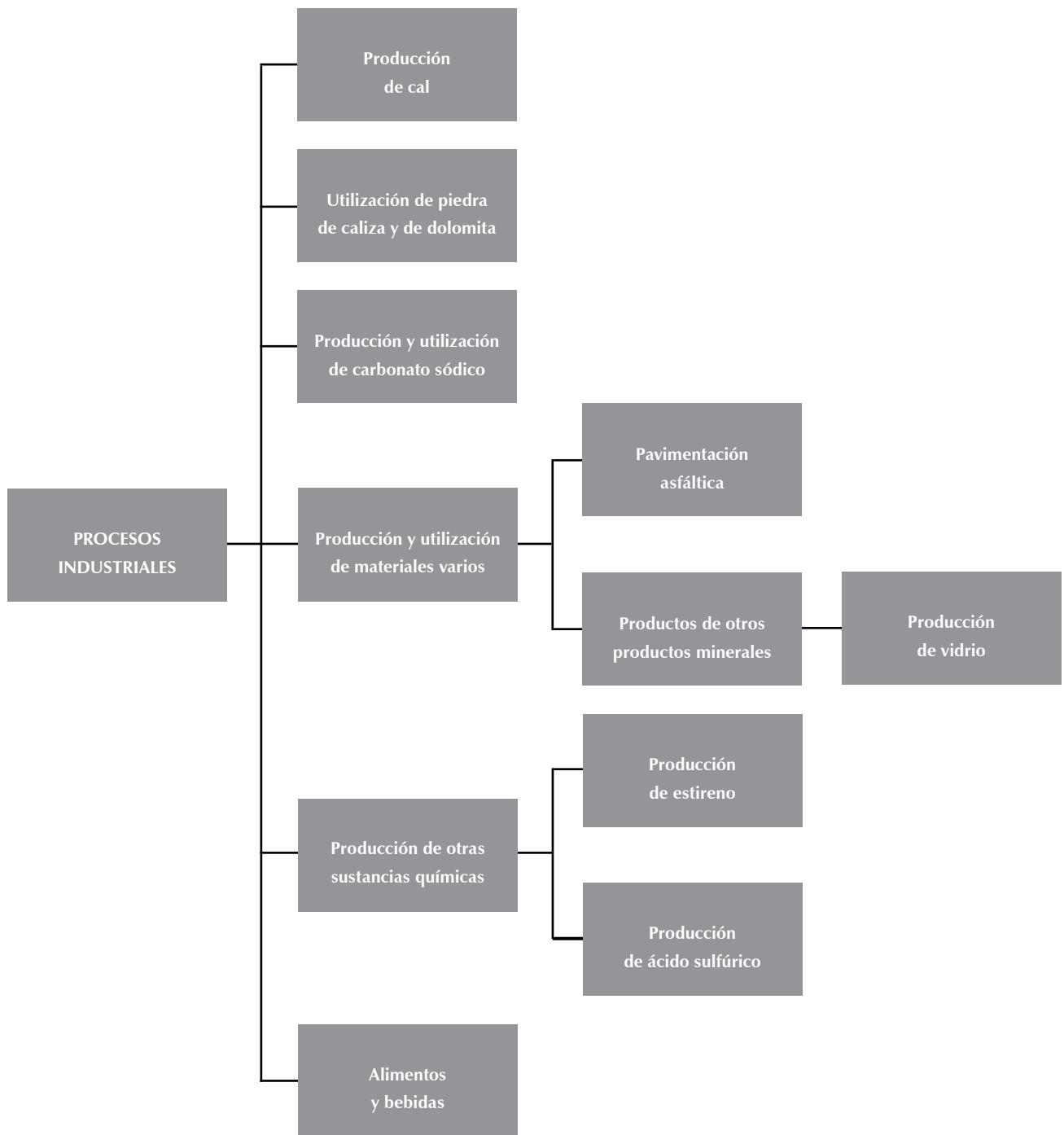


Figura 4.3 Estructura del sector de procesos industriales para el Estado de Querétaro.

EMISIONES POTENCIALES DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES										
PROCESOS	GASES DE EFECTO INVERNADERO						PRECURSORES DE OZONO Y AEROSOL			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PFC	SF ₆	HFC	NO _x	COVDM	CO	SO ₂
Productos Minerales										
➤ Producción de cemento	X									X
➤ Producción de cal	X									X
➤ Uso de piedra caliza	X									
➤ Producción y uso de cal	X									
➤ Carpeta asfáltica								X	X	
➤ Pavimento							X	X	X	X
➤ Otros	X	X					X	X	X	X
Industria Química										
➤ Amoniaco	X						X	X	X	X
➤ Ácido nítrico			X				X			
➤ Ácido adípico			X				X	X	X	
➤ Urea			X							
➤ Carbonatos	X	X						X	X	X
➤ Caprolactama			X							
➤ Petroquímicos		X	X			X		X		X
Producción de Metales										
➤ Hierro, acero	X	X					X	X	X	X
➤ Aluminio	X	X		X	X		X	X	X	X
➤ Magnesio	X				X		X	X	X	X
➤ Otros metales	X	X			X		X	X	X	X
Otros										
➤ Papel y celulosa							X	X	X	X
➤ Producción de alimentos y bebidas								X		
➤ Producción de halocarburos				X	X	X				
➤ Uso de halocarburos y SF ₆				X	X	X				
➤ Otros usos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Cuadro 4.8. Emisiones potenciales procedentes de los procesos industriales (IPCC 1996).

Se llevó a cabo la recopilación de datos de 84 industrias queretanas que pueden generar emisiones de GEI de conformidad con las Directrices del IPCC⁷.

⁷ Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996.

Los factores de emisión fueron tomados directamente de las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero en su versión 1996. El cuadro 4.9 muestra los factores de emisión utilizados para el inventario en el módulo de procesos industriales.

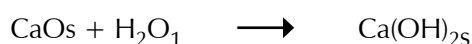
FACTORES DE EMISIÓN UTILIZADOS (KG DE GEI/TONELADA DE PRODUCTO)							
ACTIVIDAD	COVDM	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x	SO ₂
➤ Producción cal viva		790					
➤ Uso de piedra caliza		440					
➤ Producción de carpeta asfáltica	0.023		0.035			0.084	0.12
➤ Producción de vidrio	4.5						
Producción de otros químicos							
➤ Estireno	18			4			
➤ Ácido sulfúrico							17.5
Producción de alimentos y bebidas							
➤ Vino	0.08						
➤ Bebidas alcohólicas (sin especificar)	15						
➤ Azúcar	10						
➤ Margarina y grasas sólidas de cocina	10						
➤ Pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno	1						
➤ Pan							
➤ Pienso para animales	8						
	1						

Manual de referencia del IPCC, 1996.

Cuadro 4.9. Factores de emisión utilizados. Directrices del IPCC para los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero revisadas en 1996.

4.3.3. Producción de cal

En el estado de Querétaro existen tres empresas productoras de cal. El proceso de producción de cal comienza con la extracción del mineral, carbonato de calcio (CaCO₃), el cual se hace pasar por calentamiento produciendo cal viva (CaO) y CO₂ residual. A partir de esto se fabrican varios productos, la cal viva (CaO) y la cal apagada (Ca(OH)₂) (Figura 4.4). La cal apagada se produce a partir de cal viva y agua, como se muestra en la siguiente reacción:



A partir de la información obtenida se identificó a la industria de la cal en el estado de Querétaro como una fuente clave de emisiones de gases de efecto in-

vernadero, ya que las toneladas de emisiones de GEI generadas por dicha industria sobresalen de entre los demás rubros.

4.3.3.1. Factores de emisión

Se obtuvieron los datos de producción de cal hidratada. De acuerdo al Libro de Trabajo del IPCC⁸, se calcularon las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de cal con los factores de emisión por defecto de las guías IPCC revisadas a 1996.

⁸ Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo. Procesos industriales. Producción de cal.

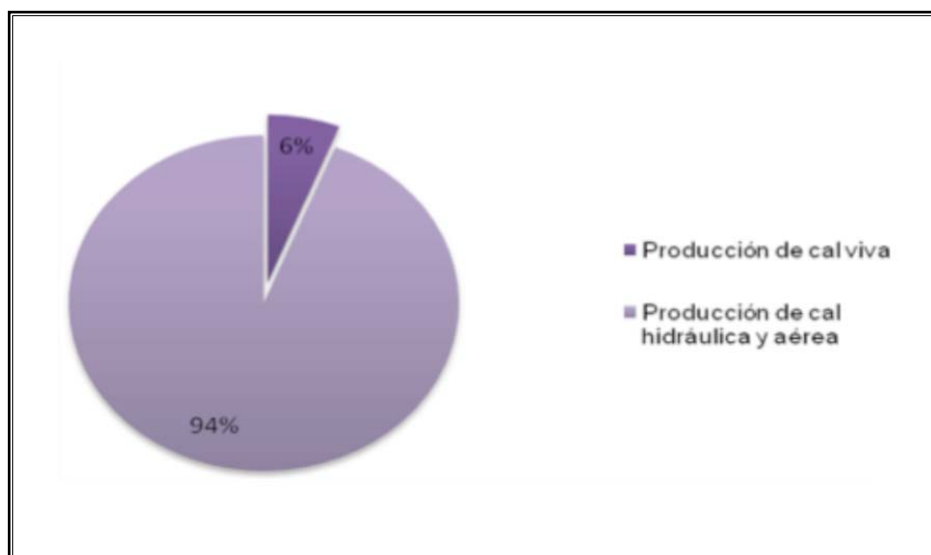


Figura 4.4. Producción por tipos de cal en el Estado de Querétaro. Fuente: Propia.

4.3.4. Utilización de piedra caliza y dolomita

La producción de piedra caliza y dolomita se relaciona directamente a la producción de cal, por lo que de la industria de la cal fue donde se consiguieron los datos del uso de estos materiales.

4.3.5. Producción y utilización de minerales varios

El tratamiento y la producción de minerales pueden causar emisiones de gases de efecto invernadero, dependiendo de su composición química y su tratamiento de transformación. Para el estado de Querétaro la aplicación de esta sección se concreta a la pavimentación asfáltica y a la producción de vidrio.

4.3.6. Pavimentación asfáltica

Dentro del estado la pavimentación asfáltica se hace por medio de vaciado de carpetas de asfalto. El servicio de pavimentación es realizado por un sector muy localizado en el estado.

Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados para la pavimentación asfáltica expresados en Kg por tonelada de asfalto son 0.12 para COVDM, 0.084 para CO, 0.035 NO_x y 0.023 para SO₂.

4.3.7. Producción de otros productos minerales

4.3.7.1. Producción de vidrio

El vidrio es producido a partir de mezclas de vidrio reciclado, arena, carbonato o sulfato de sodio piedra caliza, entre otros⁹. Su proceso general es el mezclado de la materia prima, triturado, fundición de componentes (entre 1,500 y 2,000 °C), moldeado y enfriado. Derivado de lo anterior se obtiene que la fabricación de vidrio pueda dar lugar a emisiones de COVDM.

Factor de emisión

De acuerdo a las guías del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero revisadas en 1996, se ha derivado un valor de 4.5 Kg de emisiones de COVDM por tonelada de vidrio producido.

4.3.8. Producción de otras sustancias químicas

La industria química del estado produce estireno y ácido sulfúrico, debido a estos procesos se emiten al ambiente COVDM y SO₂ en las cantidades señaladas en el siguiente cuadro (cuadro 4.10).

⁹ Los componentes pueden variar dependiendo del tipo de vidrio y de la calidad del mismo que se requiera.

QUÍMICO PRODUCIDO	SO ₂ EMITIDO (Gg)	COVDM EMITIDOS (Gg)	CH ₄ EMITIDO (Gg)
➤ Ácido sulfúrico	8.09	-	-
➤ Estireno	-	No significativo	No significativo

Cuadro 4.10 Emisiones de SO₂, COVDM y CH₄ por la producción de químicos en el Estado de Querétaro. Fuente: Propia

4.3.8.1. Producción de estireno

En el estado de Querétaro se lleva a cabo la producción de estireno a partir de la oxidación de sustancias orgánicas en fase gaseosa por lo que se generan emisiones de COVDM y CH₄ (Cuadro 4.10).

4.3.8.1.1. Factor de emisión

El factor de emisión seleccionado es de 18 Kg de COVDM y 4 Kg de CH₄ por tonelada de estireno producido. Los factores fueron tomados de las tablas 2.9 y 2.10 de las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: libro de trabajo, 2.25.

4.3.8.2. Producción de ácido sulfúrico

La producción de ácido sulfúrico puede provocar emisiones de SO₂, inherentes al proceso.

4.3.8.2.1. Factor de emisión

Del cuadro 2.10 de las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: libro de trabajo, 2.25; se extrajeron

el factor de emisión 17.5 Kg de SO₂ por tonelada de ácido sulfúrico producido.

4.3.9. Industrias de la pulpa y el papel

El primer paso para la producción de pulpa y papel, generalmente incluye la reducción a pulpa, en el estado las empresas dedicadas a la producción de papel no cuentan con el proceso de reducción de pulpa. Las encuestas aplicadas a la industria del papel arrojaron que ninguna industria en el estado utiliza el método Kraft de reducción de pulpa, por lo que no existen emisiones que se encuentren incluidas en las Directrices del IPCC.

4.3.10. Alimentos y bebidas

Respecto a la industria de alimentos y bebidas en el estado, la mayor fuente de emisiones es generada por la producción de margarina y grasas sólidas (Cuadro 4.11), así como la producción de pienso para animales. Las emisiones provocadas por esta industria son principalmente COVDM (Cuadro 4.12).

PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y BEBIDAS	Kg DE COVDM/TONELADA DE PRODUCTO
➤ Vino	0.08
➤ Bebidas alcohólicas (sin especificar)	15
➤ Azúcar	10
➤ Margarina y grasas sólidas de cocina	10
➤ Pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno	1
➤ Pan	8
➤ Pienso para animales	1

Cuadro 4.11 Rubros comprendidos en las encuestas aplicadas a la industria de alimentos y bebidas.

RUBROS COMPRENDIDOS PARA ALIMENTOS Y BEBIDAS	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vino ➤ Vino tinto ➤ Vino blanco ➤ Cerveza ➤ Bebidas alcohólicas (sin especificar) ➤ Whiskey de malta ➤ Whiskey de granos ➤ Tostado de café 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Coñac ➤ Carne, pescado y aves ➤ Azúcar ➤ Margarina y grasas sólidas de cocina ➤ Pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno ➤ Pan ➤ Pienso para animales

Cuadro 4.12. Rubros comprendidos en las encuestas aplicadas a la industria de alimentos y bebidas. IPCC, 1996.

4.3.10.1. Factor de emisión

Los factores de emisión para cada una de las categorías son los factores por defecto marcados por las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996.

Emisiones relacionadas con la producción y uso de halocarburos (HFC y PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

El consumo de HCFCs en México para 2007 fue de 19,471 toneladas, el 95% se empleó en refrigeración y aire acondicionado. Los productos para refrigeración doméstica utilizan aún CFCs (12 y 11), aunque a partir de 1996 varias compañías han buscado sustitutos de ellos, encontrando HCFCs como la mejor opción, y en mínimas cantidades HFC-134A. En cuanto a la refrigeración comercial e industrial la situación es parecida. El problema de sustituir los CFC-11 y CFC-12, directamente por un HFC son las presiones a las que debe ser manejado el gas, por lo que se necesita el cambio total de la instalación¹⁰ (Figura 4.5).

10 Centro Mario Molina 2008. Evaluación de los usos de HCFCs en México en el sector de refrigeración y aire acondicionado; Michale Kauffeld. Fluidos refrigerantes del siglo XXI. AC/R Latinoamericana. Septiembre/octubre 1999; Sistema para el Monitoreo y Control del Consumo de Sustancias Agotadoras de la capa de ozono (SISSAO). <http://sissao.semarnat.gob.mx/sissao>. Fecha de consulta 18 de marzo de 2011; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). www.ashrae.org. Fecha de consulta 23 de marzo de 2011.

En el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero se menciona que las emisiones de HFC provienen de equipos de refrigeración y aire acondicionado donde el 92% de HFC utilizado es el HFC-134A para 2002, escenario, que por las investigaciones hechas para el Estado de Querétaro, no refleja el comportamiento de los gases refrigerantes en la entidad, toda vez que existen grandes empresas que continúan utilizando HCFC y CFC para aire acondicionado, debido a que no se tiene la certeza del manejo del mismo cuando éste sea un residuo.

Las Directrices del IPCC para los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo; en el sector de Procesos Industriales, en los submódulos 2.16 y 2.17, emisiones relacionadas con la producción y consumo de halocarburos (HFC, PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Cabe destacar que los compuestos HFC y PFC, no se encuentran contemplados en el Protocolo de Montreal ya que no contribuyen al agotamiento de la capa de ozono estratosférica, pero tienen un alto potencial de calentamiento global. En la mayor parte del país como en el estado de Querétaro se utiliza para refrigeración y aire acondicionado hidroclorofluorocarbonos, los cuales no se encuentran contemplados en las Directrices del IPCC para los Inventarios de GEIs.

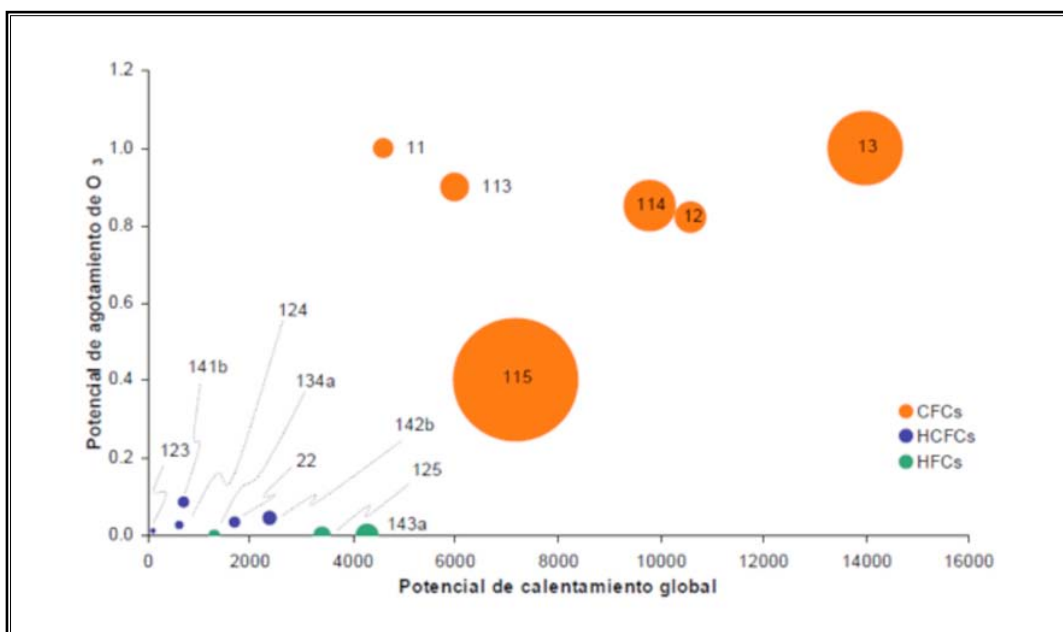


Figura 4.5. Comparación del PCG vs PAO de CFCs, HCFCs y HFCs.

Fuente: CMM, 2008 realizado con base en http://www.arp.org/docs_es/hcfc-hfc.html.

4.3.11. Resultados

La mayoría de los procesos industriales descritos por las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, revisadas en 1996; son actividades inexistentes en el estado de Querétaro. Sin embargo, de los rubros presentes destacan por su aportación con emisiones de contaminantes la industria de la cal con un aporte de 239.48 Gg de CO₂, y la industria de alimentos y bebidas, aportando 241.73 Gg de CO₂. Si bien se trata de aportaciones muy pequeñas respecto del total de emisiones de GEI en el Estado, es claro que deben tomarse en cuenta estos dos subsectores en la definición de estrategias de mitigación.

El inventario de emisiones para procesos industriales fue calculado con datos obtenidos directamente de los giros en cuestión, por lo que se puede afirmar que se tiene mayor precisión en el cálculo de acuerdo a las Directrices del IPCC, que al efectuar estimaciones. Los resultados de emisiones para cada contaminante se encuentran dados en el Cuadro 4.12.

La totalidad de emisiones de GEI para el sector de procesos industriales se encuentra dada por el CO₂ emitido por el subsector de productos minerales, en particular la producción de óxido e hidróxido de calcio y el uso de piedra caliza y dolomita, con 239.48 Gg de CO₂ emitidos para el año de reporte.

Dentro del reporte del Inventario se incluyen gases diferentes a los GEI debido a que actúan como precursores de estos. La contribución de emisiones de gases diferentes a los GEI se encuentra dada por COVDM con un aporte de 337.77 Gg, SO₂ con un 8.13 Gg, el CO con 0.01 Gg y el NO_x con 0.025 Gg.

Dentro de las emisiones de COVDM emitidos por el sector de alimentos y bebidas, en particular la industria del procesamiento de margarina y grasas sólidas de cocina, aporta un 98% a la emisión de este tipo de gas.

4.3.11.1. Comparaciones con otros estados

Existen varios inventarios estatales de emisiones de GEI en México, lo que nos permite comparar las emisiones contabilizadas con las de otros estados que comparten características geográficas, económicas y sociales.

El estado de Guanajuato presentó su inventario de emisiones de GEI, año base 2005. Guanajuato colinda con el estado de Querétaro, debido a su cercanía se comparten características físicas y geográficas. Por lo anterior se considera la comparación entre las emisiones de los estados, sin olvidar que el año base para el IEEGEI para Querétaro es 2006 (Cuadro 4.13).

CATEGORÍA DE EMISIÓN	CO ₂	NO ₂	CO	NO _x	COV DM	SO ₂	HFCs	SF ₆	N ₂ O
➤ Procesos industriales GUANAJUATO AÑO BASE 2005	42.32	0.77	22.5	54.01	92.51	77.15	0.01	5.5E-05	0
➤ Procesos industriales QUERÉTARO AÑO BASE 2006	239.48	0	0.01	0.025	337.77	8.13	0	0	0

Cuadro 4.13. Tabla comparativa de emisiones totales para procesos industriales entre los estados de Guanajuato y Querétaro (Gg).

Las emisiones reportadas en cero indican que el proceso industrial generador de las mismas, es inexistente para el estado de Querétaro, tal y como lo marcan las Directrices del IPCC 1996. Las emisiones significativas en el estado corresponden a CO₂ y COVDM, lo cual es comparable con el inventario de emisiones de GEI del Estado de Guanajuato, aunque no en la misma magnitud ya que en el Estado de Querétaro se reportan 197.16 Gg más de CO₂, así como 245.26 Gg más de COVDM (Cuadro 4.12).

De acuerdo a la información con la que se cuenta, la actividad de mayor generación de CO₂ se encuentra dada por las actividades de la industria de la cal en ambos inventarios, mientras que para COVDM en el estado de Querétaro se incrementa debido a la amplia gama de la industria de alimentos y bebidas, así como su magnitud.

4.3.12. Conclusiones y recomendaciones

El estado de Querétaro cuenta con un número importante de industrias, de todas ellas es un número mucho menor las que corresponden a los giros que señalan las guías del IPCC para los Inventarios de GEI. Si bien el inventario de emisiones de GEI del sector de procesos industriales no representa una contribución significativa al inventario estatal, es importante destacar que existen algunas fuentes claves que contribuyen de manera importante en las emisiones de este sector, y para las cuales es necesario desarrollar

medidas de mitigación que nos permitan controlar y disminuir las emisiones de las mismas en años futuros. Tomando como base el año 2006, se encontró que la fuente clave para el estado es la industria de la cal (producción de óxido e hidróxido de calcio), ya que sus emisiones de GEI son considerablemente mayores que en los demás rubros estimados y dicho sector es de relevancia económica y de desarrollo industrial para el estado.

Las emisiones de NO_x y N₂O son consideradas por el IPCC en sus Directrices para los IEGEI en su versión revisada en 1996 como emitidas por los sectores de producción de ácido adípico, ácido nítrico, otros químicos y aluminio, rubros catalogados como Actividad Inexistente para el estado de Querétaro.

De los resultados obtenidos se desprende la necesidad de contar con factores de emisión para los sectores industriales propios de la región queretana, para con ello poder reflejar de una manera más confiable las emisiones de GEI en el estado.

Así mismo, es necesario proceder a un proceso de recopilación de datos con mayor detalle, basados en instrumentos gubernamentales para contar con información confiable, proporcionada directamente de las industrias, ayudando así a la obtención de información para monitorear el movimiento de las emisiones de GEI.

4.4. Agropecuario

4.4.1. Agrícola

4.4.1.1. Introducción

El impacto del desarrollo de la agricultura y las prácticas de producción agrícola en las emisiones de gases de efecto invernadero, es revisado y evaluado dentro del presente inventario, bajo el contexto del cambio climático. A nivel planetario, se estima que estas actividades contribuyen con alrededor del 25% de CO₂, 65% de CH₄ y el 90% de N₂O del total de emisiones antropogénicas¹¹.

Si bien el estado de Querétaro, en cuanto extensión de territorio es uno de los más pequeños del país, una de sus actividades prioritarias ha sido la agricultura debido a que presenta las condiciones ideales de clima y geografía. En los últimos años, el sector agrícola ha experimentado, por un lado, un proceso de tecnificación importante con el consecuente aumento en la producción; y por otro lado, una secundarización productiva dando lugar a la migración de mano de obra hacia el sector industrial y el abandono de tierras anteriormente dedicadas a la labranza que hoy en día se han convertido en parques industriales o en nuevas zonas habitacionales, fenómeno que se acentúa en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Querétaro.

Bajo este escenario, resulta muy relevante analizar la participación de la subcategoría agrícola en el esta-

11 Duxbury y colaboradores, 1993.

do a fin de establecer su aportación en el fenómeno del calentamiento global del planeta pero sobre todo para identificar oportunidades de reducción de emisiones. Para hacer este análisis en la elaboración de este inventario se utilizó la metodología del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)¹².

La extensión territorial dedicada a las actividades agrícolas se puede dividir en cuatro regiones de acuerdo a la similitud de características de los municipios y que es necesaria para la correcta planeación e impulso del sector (SEDESU, 2007b). En el sector agricultura se consideran solamente las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los suelos agrícolas, por no contar en el estado con cultivos de arroz ni de caña de azúcar ni tampoco existir ecosistemas de sabana como se describe en la Figura 4.6.

Para el sector agrícola el inventario se desarrolló a nivel de estado. Las emisiones por quemas in situ se reportan en la sección 4.5. Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura. Este subsector evalúa las emisiones de N₂O procedentes de los sistemas agrícolas, incluyendo las emisiones directas de los N₂O procedentes de los suelos agrícolas, emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos dedicados a la producción animal y las emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura.

12 Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996.

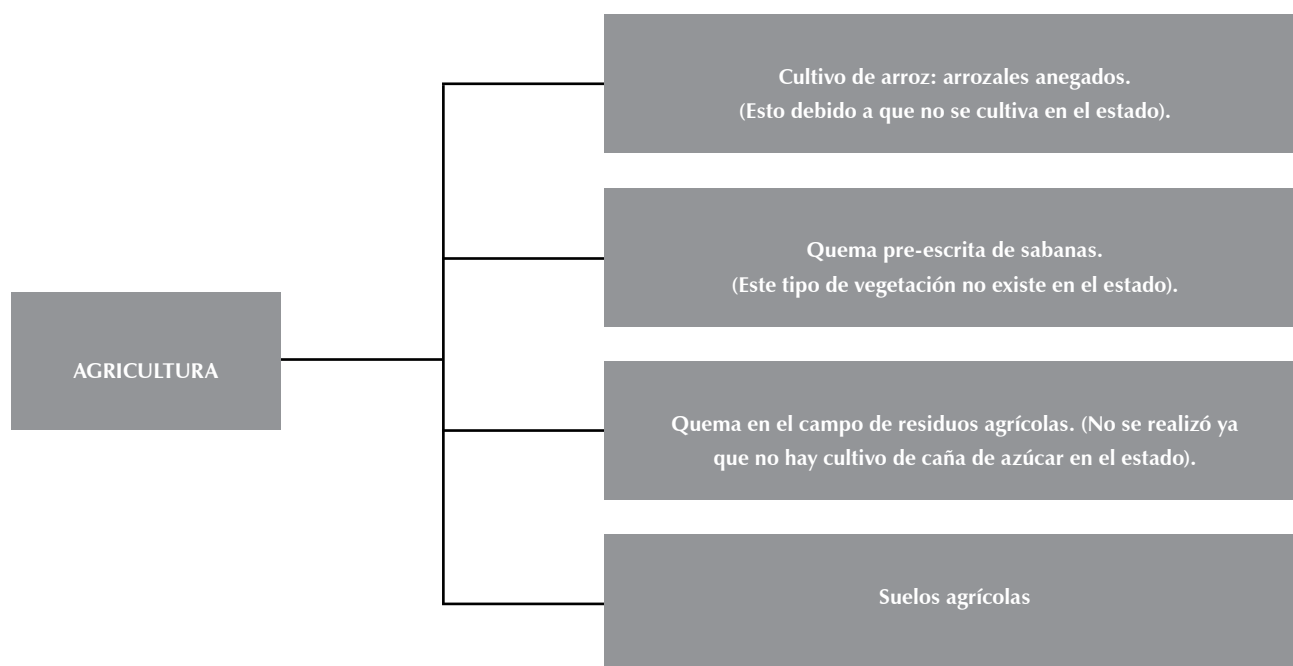


Figura 4.6 Fuentes agrícolas a considerar para el inventario.

4.4.1.2. Datos de la actividad

Se utilizó la información de los Cierres Agrícolas proporcionados por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDEA) del estado en Querétaro, que contiene información de las temporadas otoño-invierno y primavera-verano 2006. La deposición de estiércol y orina de los animales que se mantienen en pastoreo, sobre los campos, es una de las vías directas de incorporación de nitrógeno a los suelos. El N₂O se produce naturalmente en los suelos, varias actividades agropecuarias agregan nitrógeno a los suelos, incrementando así la cantidad de este elemento que está disponible

para la nitrificación y desnitrificación y, por lo tanto, la cantidad de N₂O emitida. Los fertilizantes en la producción agrícola aparecen como esenciales porque la productividad de la tierra está directamente relacionada con el uso de ellos. Para que estos fertilizantes se puedan fijar de manera natural en los cultivos, se necesitan bacterias que fijan el nitrógeno. Las leguminosas como la alfalfa, soya, frijol y pastizales de forrajeo hospedan este tipo bacterias fijadoras de nitrógeno, ellas atrapan una gran cantidad de nitrógeno directamente de la atmósfera (Cuadro 4.14).

CULTIVO	PRODUCCIÓN (Mg)
➤ Maíz	366,722.12
➤ Frijol	5,827.01
➤ Sorgo	74,595.00
➤ Avena	59,819.90
➤ Cebada	7,724.00
➤ Trigo	2,014.00
➤ Alfalfa	8,012.00
Total	516,702.03

Cuadro 4.14. Principal producción agrícola en 2006 para el Estado de Querétaro.

4.4.1.2.1. Factores de emisión

Se emplearon los factores de emisión marcados por la Metodología del IPCC (1996), de acuerdo a la metodología del Árbol de Decisiones descrito en el anexo V, se determinó llevar a cabo un análisis nivel Tier I.

4.4.1.3. Metodología

La metodología aplicada fue la recomendada por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático IPCC en sus directrices de 1996 y la Guía de Buenas Prácticas del IPCC. En este caso se tomó como base el año 2006. En cada sector se parte del uso de los árboles de decisiones, los que sirven como apoyo para definir el método, los factores de emisión y datos de actividad.

La estimación hecha para los subsectores planeados a lo largo de este trabajo reflejan las caracte-

terísticas agrícolas del estado de Querétaro, ya que se utilizaron métodos alternativos basados en fuentes de información confiables. Es importante señalar que este es un inventario base y que el desarrollo de inventarios para años posteriores permitirá un análisis de tendencias de las emisiones en el estado y la comparación de metodologías, factores de emisión y datos de actividad utilizados.

4.4.1.4. Resultados

A continuación se muestran las emisiones del subsector de suelos agrícolas (Cuadro 4.15) y las emisiones directas de N₂O (Figura 4.7), emisiones indirectas (Figura 4.8); las emisiones totales directas e indirectas en el estado se muestran en la Figura 4.9.

TIPO DE EMISIÓN	ACTIVIDAD	EMISIONES NO ₂ (Gg)
Directas	➤ Cultivos Fijadores de Nitrógeno	0.0069
	➤ Manejo de Estiércol	0.6931
	➤ Aplicación de Fertilizante Sintético	0.0876
	➤ Residuos de Cosechas	0.1270
	➤ Pastoreo de Animales	0.8143
Indirectas	➤ Deposición atmosférica de NH ₃ y NO _x	0.1500
	➤ Lixiviación	0.5916
	Total	2.4704

Cuadro 4.15 Emisiones procedentes de los suelos agrícolas en el estado de Querétaro.

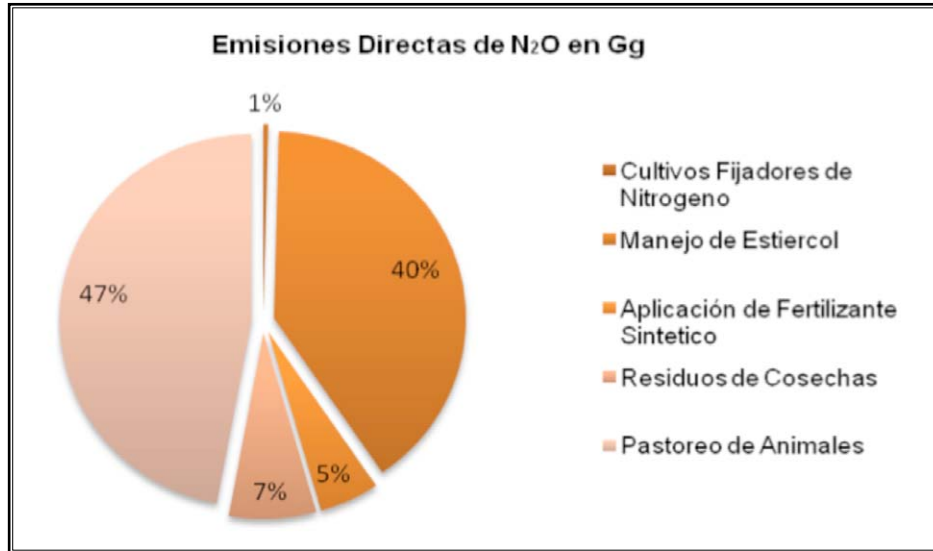


Figura 4.7. Emisiones directas de N₂O bajo diferentes rubros agrícolas en el estado de Querétaro.

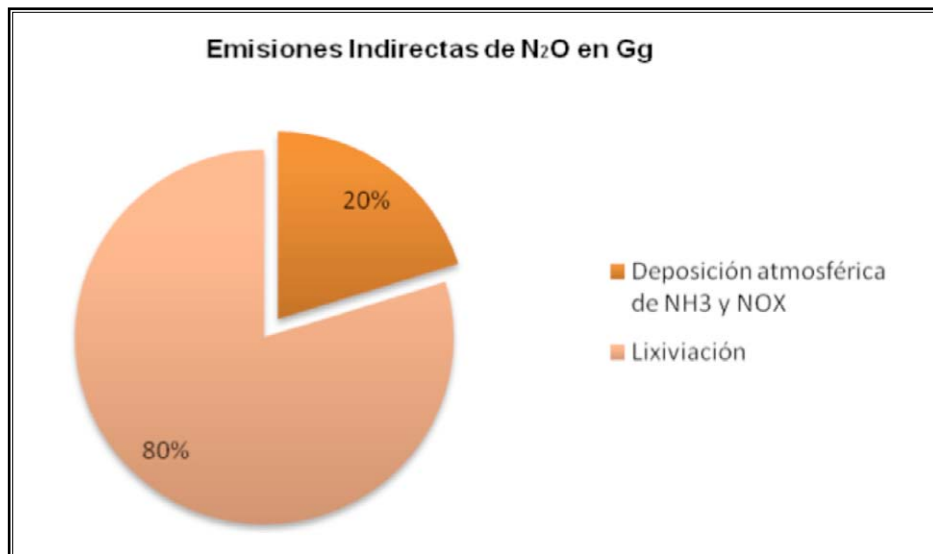


Figura 4.8. Emisiones indirectas de N₂O bajo diferentes rubros agrícolas en el estado de Querétaro.

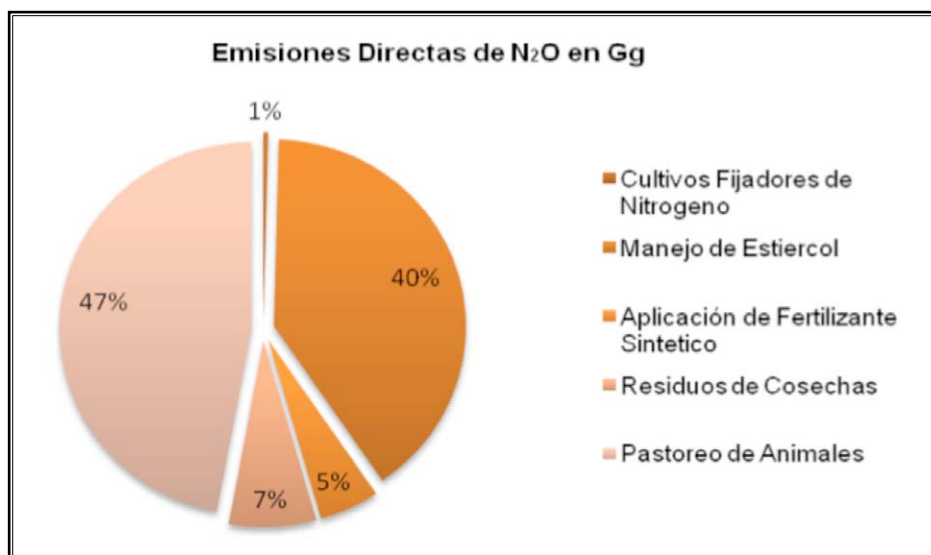


Figura 4.9. Emisiones totales de N₂O en el estado de Querétaro.

4.4.1.5. Conclusiones y recomendaciones

Como se muestra en las gráficas anteriores las principales fuentes de emisiones directas son el pastoreo y el manejo del estiércol; en el caso de emisiones indirectas, la principal fuente es la lixiviación. De este sencillo análisis se deducen acciones que deben llevarse a cabo a fin de disminuir la generación de N₂O como pueden ser disminuir el sobrepastoreo que aumenta la erosión del suelo con la consecuente reducción de la profundidad del mismo y la pérdida de materia orgánica del suelo lo cual además de originar emisiones de N₂O puede afectar la productividad futura de la tierra. La fertilidad del suelo a veces puede ser mitigada mediante la aplicación de cal adecuada y fertilizantes. Sin embargo, la pérdida de profundidad del suelo y la materia orgánica requiere siglos para ser regenerada. Su pérdida es fundamental en la determinación de agua del suelo y la capacidad de retención, así como plantas forrajeras hacen durante el tiempo seco.

4.4.2. Pecuario

4.4.2.1. Introducción

La producción pecuaria es insuficiente en México y se espera que el sector crezca del 35 al 55%. La demanda nacional se satisface con importaciones de materia prima y productos derivados de leche y carne de bovino, porcino y ovino, además de granos (FAO, 2000; FAO, 2003; SE, 2012). La producción pecuaria en el estado presenta grandes contrastes, la ganadería lechera y la producción de pollo de engorda destacan por su tecnificación y concentración de la actividad ganadera en unos pocos municipios de la región Cen-

tro y Semidesierto. Así, el estado contribuye con el 1% de cabezas de ganado bovino y con el 1.8 % de producción de leche diaria a nivel nacional; en particular el pollo de engorda corresponde al 11% de la producción del país. Sin embargo, la producción de granos y forrajes es insuficiente en la comarca productora y es necesario importar granos y forrajes.

El transporte de insumos trae asociado una emisión de gases con efecto invernadero no contabilizada en el sector ganadero, debido a la estructura de análisis sectorial recomendado en por el IPCC. Del mismo modo, existe escases de agua debido a 1) la variabilidad en la precipitación pluvial; 2) el abatimiento del manto freático; y, 3) la disminución en la capacidad de almacenamiento de los cuerpos de agua a causa del azolvamiento. En consecuencia, el uso de energía eléctrica y combustibles para el bombeo de agua es importante y este constituye otro factor de emisión no considerado en la actividad agropecuaria y de relevancia para las condiciones del estado. No obstante, en el sector Energía presentado anteriormente, se consideró el consumo de combustibles por parte de la agricultura, principalmente diesel.

La ganadería está enfocada principalmente a la producción intensiva de leche y engorda de ganado, sobre todo en la zona Sur del estado, donde se han hecho grandes inversiones de tecnificación en las unidades productivas. En conjunto, los municipios de Cadereyta, Landa de Matamoros, Jalpan, Tolimán y Peñamiller, reúnen 47.2 % de la superficie total de agostadero del estado de Querétaro. Sin embargo, debido a la falta

de tecnificación en estos municipios la producción se orienta principalmente hacia el autoconsumo. Mientras que en los municipios del Sur del estado; Querétaro, San Juan del Río, Pedro Escobedo, El Marqués, Colón y Corregidora, sólo disponen del 25 % de la superficie de agostadero y generan el 65% de la producción ganadera, resultados que manifiestan el carácter comercial y de alta tecnificación de la ganadería intensiva (Gobierno del Estado de Querétaro, 1994:65).

La producción pecuaria se puede describir por las características del modelo productivo en cada región del estado de Querétaro, pues las condiciones climáticas, fisiográficas sociales y ubicación de los mercados determinan las características del modelo productivo.

Con esta motivación el inventario de emisiones se hizo con los datos disponibles y usando un análisis Tier I (IPCC, 1996). También se presenta un análisis de emisiones por fermentación entérica en el Tier II, para

un grupo de ganado bovino productor de leche en estabulación intensiva en el año 2007; esto fue posible a los registros productivos de la Asociación Holstein de México para el Estado de Querétaro. Ambos análisis presentan una visión sobre las emisiones generadas por el sector y resaltan la necesidad de información detallada sobre la producción pecuaria.

En el subsector pecuario se calculan las emisiones de CH₄ provenientes de las diferentes clases de ganado para el estado (Figura 4.10).

4.4.2.2. Datos de la actividad

Para el inventario de emisiones estatal del subsector pecuario se utilizaron dos bases de datos oficiales sobre el número de cabezas. En primer lugar los anuarios estadísticos del sector rural (AESR) para el estado de los años 2007 a 2009 y por otra parte, el censo agropecuario de INEGI de 2007. Los datos no se ajustaron al año base 2005 debido a que no existe información

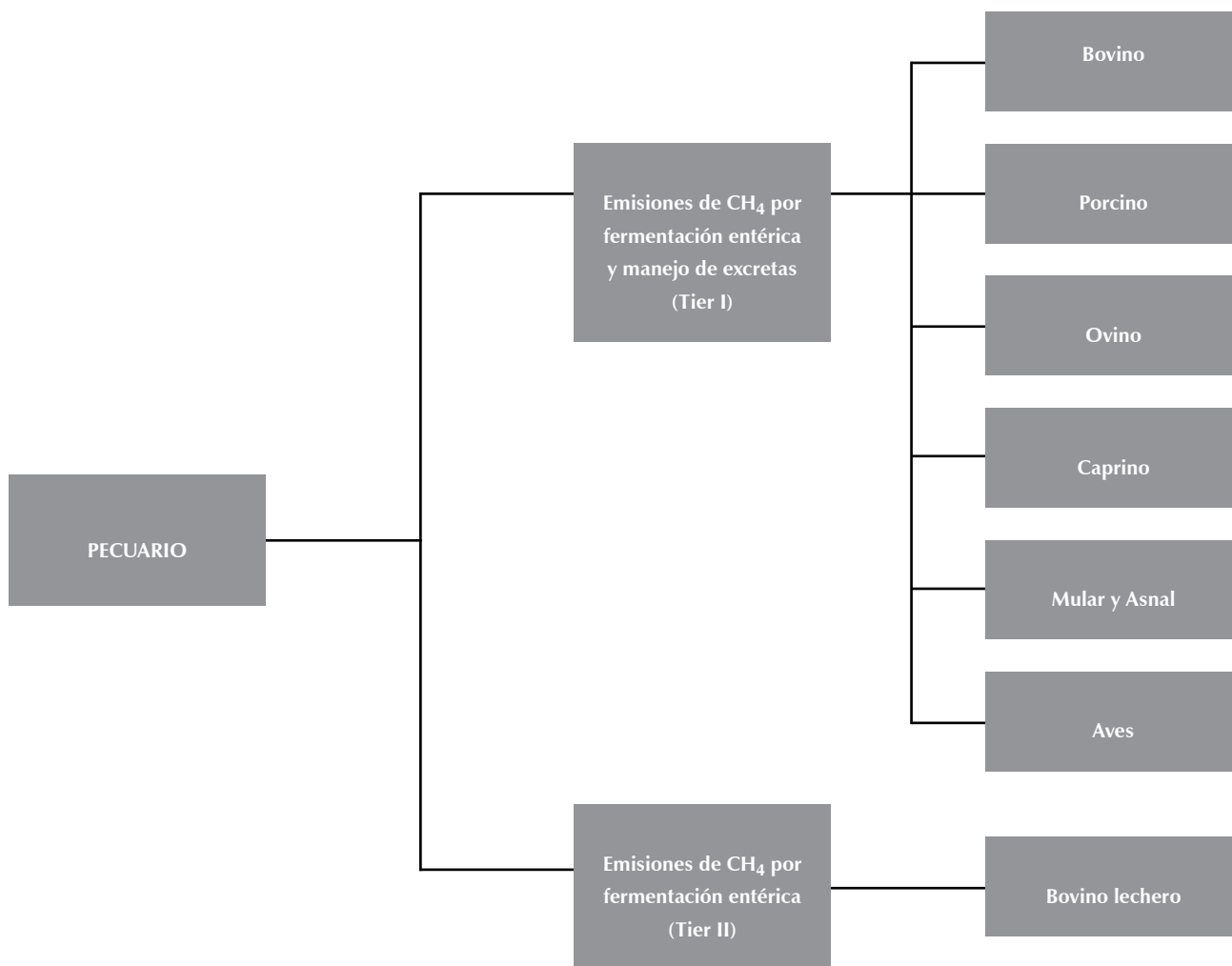


Figura 4.10. Esquema general del subsector pecuario.

histórica de censos agropecuarios en el estado en el año 2005. El estudio se planeó así porque la incertidumbre en la población ganadera es un factor importante en la construcción del inventario de emisiones y el año 2007 ofrecía la oportunidad de mejores datos para la valoración (IPCC, 2006). Sin embargo, existió una diferencia apreciable entre las dos bases de datos en cuanto al número de cabezas y las clases de ganado presentes en el estado. Para el objeto de este inventario se utilizó un promedio simple de ambas bases de datos siguiendo lo establecido en el documento “Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”.

El inventario estatal se analizó a un nivel Tier I, usando el inventario de semovientes de las bases de datos y asignado un factor de emisión para fermentación entérica y manejo de excretas. Las bases de datos

del INEGI y AESR reportan valores de: 1) el promedio por cabeza de rendimiento diario o anual; 2) producción total para las especies domésticas asociadas a un producto de consumo; y, 3) el número de semovientes. Los valores se reportan a nivel estatal o municipal.

En los cuadros 4.15 y 4.16 se muestra la base de datos de INEGI (2007) y del AESR (promedio de tres años) respectivamente, con el número de semovientes de cada clase de ganado por municipio y a nivel estatal. Es de gran importancia notar que las clases de ganado no coinciden entre las dos bases de datos, ya que el INEGI presenta el ganado bovino de doble propósito y en el AESR no se desglosa de esta manera. También existen inconsistencias en el número de semovientes, en 2007 del ganado bovino registró 54,561 cabezas según INEGI, y de acuerdo al AESR (2007-2009) fueron 290,751 cabezas en promedio.

INEGI	CLASE DE GANADO (CABEZAS)								
	MUNICIPIO	Bovino leche	Bovino carne	Bovino doble propósito	Ovino	Caprino	Equino caballar	Muslar y Asnal	Porcino
➤ Jalpan de Serra	363	904	225	3,033	394	468	571	2,474	21,967
➤ Arroyo Seco	175	598	140	1,222	183	111	2,115	1,193	8,177
➤ Pinal de Amoles	241	265	87	5,475	4,598	218	295	3,648	22,710
➤ Landa de Matamoros	266	674	95	2,201	276	357	460	2,714	22,500
➤ San Joaquín	97	33	4	3,689	1,416	98	1,153	968	10,685
➤ Colón	8,428	1,325	1,723	17,652	1,447	2,383	61	47,255	7,606,780
➤ Tolimán	165	544	445	2,952	2,100	367	51	4,787	6,901
➤ Cadereyta	186	265	107	23,137	17,038	757	866	3,144	22,422
➤ Tequisquiapan	1,471	632	300	12,539	761	396	398	1,041	267,206
➤ Peñamiller	63	313	58	1,494	5,474	154	874	1,070	4,939
➤ Ezequiel Montes	430	2,758	724	13,068	1,367	417	469	14,927	576,614
➤ Huimilpan	465	845	169	23,904	1,715	1,032	1,101	8,461	539,846
➤ Corregidora	1,420	400	12	7,665	893	354	157	4,463	214,330
➤ El Marqués	18,869	536	401	25,890	1,468	1,704	308	12,409	1,814,294
➤ Querétaro	2,194	525	1,153	13,695	4,826	2,859	264	3,317	10,297,619
➤ San Juan del Río	1,298	666	635	31,216	1,638	2,372	59	11,808	274,506
➤ Pedro Escobedo	7,979	201	377	7,997	566	945	225	26,173	153,746
➤ Amealco	1,071	798	443	50,376	573	2,600	1,322	6,096	1,381,773
Total	45,181	12,282	7,098	247,205	46,733	17,592	10,749	155,948	23,247,0158

Cuadro 4.15. Población de ganado según la base de datos INEGI (2007) para el estado de Querétaro por municipio.

AESR	CLASE DE GANADO (CABEZAS)							
MUNICIPIO	Bovino leche	Bovino carne	Ovino	Caprino	Equino caballar	Muslar y asnal	Porcino	Aviar
➤ Jalpan de Serra	170	11,619	2,100	406	783	798	11,395	17,633
➤ Arroyo Seco	0	7,571	863	607	488	388	8,518	9,590
➤ Pinal de Amoles	0	3,087	3,147	3,667	263	640	7,490	16,577
➤ Landa de Matamoros	0	9,245	1,633	1,000	690	794	13,552	11,900
➤ San Joaquín	0	17,997	2,004	608	171	287	12,422	7,401
➤ Colón	9,157	23,443	5,081	2,260	558	925	14,146	7,285,767
➤ Tolimán	291	5,382	2,132	8,640	183	300	4,820	710,918
➤ Cadereyta	928	9,581	5,921	23,639	868	1,086	21,421	189,024
➤ Tequisquiapan	2,266	14,568	5,362	3,628	1,432	90	83,311	1,906,185
➤ Peñamiller	0	3,252	2,245	20,155	142	241	7,991	21,211
➤ Ezequiel Montes	2,940	16,070	3,143	2,930	482	339	55,047	5,858,746
➤ Huimilpan	765	4,716	13,918	4,573	2,622	924	10,557	57,759
➤ Corregidora	8,306	5,965	7,544	3,119	2,492	1,329	15,778	1,079,583
➤ El Marqués	17,567	8,131	15,415	7,566	2,565	605	52,364	6,903,754
➤ Querétaro	11,788	7,931	5,497	4,441	1,711	1,042	31,088	2,511,149
➤ San Juan del Río	10,778	41,348	13,055	10,052	2,733	1,216	34,589	872,212
➤ Pedro Escobedo	10,207	13,538	7,150	3,457	1,137	570	17,387	1,571,630
➤ Amealco	1,764	16,378	59,685	0	2,351	350	17,877	2,200,947
Total	76,928	219,822	155,896	100,746	21,670	11,923	419,754	31,231,986

Cuadro 4.16. Población de ganado para el estado de Querétaro a nivel estatal según el Anuario Estadístico del Sector Rural (promedio de los años 2007-2009).

4.4.2.3. Metodología

Entre los municipios existen diferencias marcadas en el nivel de rendimiento animal presentado en las dos bases de datos, debido a las restricciones ambientales de clima orografía, vías de comunicación, integración industrial, desarrollo histórico de la actividad pecuaria y aplicación de la tecnología. Por esta razón, el nivel de agregación municipal se usó como criterio para elegir distintos factores de emisión por fermentación entérica en consideración a los factores de emisión presentados en el anexo 1 de la Metodología del IPCC (1996). En dicho anexo se enfatizan las clases y niveles de producción de bovinos, se describen factores de emisión para distintos niveles de producción de leche y asociados a varias regiones mundiales. Se procedió de este modo porque para México, no existen factores de emisión por fermentación entérica publicados que pudieran usarse para el cálculo de las emisiones.

La base de datos de emisiones del sector pecuario se conformó con: 1) hojas electrónicas del censo agropecuario de INEGI (2007); y, 2) con los anuarios estadísticos del sector rural para el estado de Querétaro (AESR, 2007-2009). Los datos originales de cada una de las fuentes se almacenaron en carpetas electrónicas por separado. Las hojas electrónicas de INEGI y el AESR consisten en el número de semovientes de bovinos, ovinos, caprinos, porcinos caballos, mulas y asnos y aves ambas bases de datos están definidas a nivel de municipio para el estado de Querétaro y desglosan a los bovinos según el fin productivo: carne o leche y en el caso de INEGI se define un grupo de doble propósito. Para el caso de bovinos destinados sólo a la producción de carne, INEGI define el sistema productivo al que se asocian; pastoreo o estabulado.

Las cabezas de ganado reportadas en cada base de datos se multiplicaron por el factor de emisión correspondiente basado en los propuestos por el IPCC (1996). Los valores de CH_4 obtenidos se ajustaron a unidades de CO_2 equivalente usando un factor de 25.

4.4.2.4. Factor de emisión por fermentación entérica

Se usó la hoja electrónica módulo 4, establecida en el manual de buenas prácticas del IPCC para compilar la información, cada tabla está compuesta por clase de ganado (número de semovientes) y el factor de emisión correspondiente. Para ambas bases de datos, el factor de emisión (FE) se asignó al ganado bovino de acuerdo a la tabla 4-4 del manual de buenas prácticas del IPCC (1996), en esta tabla se asignan factores de emisión por región mundial, por tipo de ganado y por producción de leche ($\text{Kg cabeza}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Para el ganado bovino destinado únicamente a la producción de leche se estimó la producción diaria de leche ($\text{Kg cabeza}^{-1} \text{ d}^{-1}$) con base en los datos reportados por INEGI. Por municipio, se dividió la producción lechera diaria promedio, entre el número de cabezas reportado. Cada municipio se categorizó en el rango de producción siguiente: 1) mayor a $18 \text{ Kg cabeza}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para asignar un factor de fermentación de 118 (Norte América); 2) entre 10 y $18 \text{ Kg cabeza}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para un factor de 100 (Oeste de Europa); y, 3) mayor a 10 $\text{Kg cabeza}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para el factor de 57 (América Latina). La densidad de la leche se consideró como 1.03 Kg L^{-1} . Se tomó la decisión de asignar un factor según las regiones del mundo descritas en la tabla 4.4 y no solamente el correspondiente a Latinoamérica, debi-

do a que en Querétaro los sistemas de producción intensivos son muy importantes. En el caso del ganado bovino destinado únicamente a la producción de carne, el factor de emisión se determinó por el tipo de sistema productivo, ya que el factor es mayor para pastoreo que para sistemas estabulados y la producción de ganado en lote de engorda es muy importante, pero sólo en algunos municipios. El factor de emisión por fermentación del ganado ovino, caprino y porcino se determinó con base a la tabla 4.17 (IPCC, 1996) para países en desarrollo por tipo de ganado. Para el ganado porcino se usaron valores de países desarrollados o países en desarrollo según se determinó para cada municipio según el conocimiento de los modelos productivos predominantes. Se asignó un factor de emisión por cada municipio de acuerdo al modelo productivo predominante. La emisión de CH_4 se agregó a nivel de región o estado para reportarse. Para la industria avícola no existe un factor de emisión en el Tier I de precisión, sólo por manejo de excretas. Aunque se usaron los datos de producción de leche de la base de datos de INEGI para calcular los factores de emisión de CH_4 por fermentación entérica, éstos varían para la clase bovinos de leche entre las bases de datos, debido a la diferencia en el número de semovientes que registra cada una, así mismo el factor de emisión de la clase de bovinos de doble propósito es variable debido a que sólo se presenta en la base de datos de INEGI (Cuadros 4.17 y 4.18). Por otro lado, el factor de emisión asignado por igual a las dos bases de datos para cada municipio se presenta en el cuadro 4.18 para fermentación entérica.

AESR	FERMENTACIÓN ENTÉRICA		
MUNICIPIO	AESR Bovino de leche	INEGI Bovino de leche	INEGI Bovino de doble propósito
➤ Amealco	57	57	57
➤ Arroyo Seco	57	57	57
➤ Cadereyta	57	57	57
➤ Colón	57	100	57
➤ Corregidora	57	57	100
➤ El Marqués	100	100	57
➤ Ezequiel Montes	57	57	57
➤ Huimilpan	100	100	57
➤ Jalpan de Serra	57	57	57
➤ Landa de Matamoros	57	57	57
➤ Pedro Escobedo	57	100	57
➤ Peñamiller	57	57	57
➤ Pinal de Amoles	57	57	57
➤ Querétaro	57	100	57
➤ San Joaquín	57	57	57
➤ San Juan del Río	57	57	57
➤ Tequisquiapan	57	57	57
➤ Tolimán	57	57	57

Cuadro 4.17. Factores de emisión por fermentación entérica para bovinos de leche y doble propósito asignados para el AESR e INEGI.

MUNICIPIO	FACTOR DE EMISIÓN AMBAS BASES DE DATOS						
	FERMENTACIÓN ENTÉRICA						
	Bovino de carne	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Equino caballar	Muslar y asnal	Aviar
➤ Amealco	56	1	5	5	18	10	NA
➤ Arroyo Seco	56	1	5	5	18	10	NA
➤ Cadereyta	48	1	5	5	18	10	NA
➤ Colón	48	1	5	5	18	10	NA
➤ Corregidora	48	1	5	5	18	10	NA
➤ El Marqués	47	1	5	5	18	10	NA
➤ Ezequiel Montes	47	1	5	5	18	10	NA
➤ Huimilpan	56	1	5	5	18	10	NA
➤ Jalpan de Serra	56	1	5	5	18	10	NA
➤ Landa de Matamoros	56	1	5	5	18	10	NA
➤ Pedro Escobedo	56	1	5	5	18	10	NA
➤ Peñamiller	48	1	5	5	18	10	NA
➤ Pinal de Amoles	56	1	5	5	18	10	NA
➤ Querétaro	48	1	5	5	18	10	NA
➤ San Joaquín	56	1	5	5	18	10	NA
➤ San Juan del Río	49	1	5	5	18	10	NA
➤ Tequisquiapan	47	1	5	5	18	10	NA
➤ Toluán	49	1	5	5	18	10	NA

Cuadro 4.18. Factores de emisión por fermentación entérica asignados por igual al AESR e INEGI.

4.4.2.4. Factor de emisión por manejo de excretas

El factor de emisión por manejo se asignó con base al cuadro 4.18 (IPCC, 1996) para ovinos, caprinos, caballos y mulas. Todo el estado se consideró de clima templado ya que la media anual de temperatura estatal está entre los 15 y 25 °C. Para el caso del ganado bovino lechero y porcino, el factor de emisión por manejo de excretas se asignó de acuerdo al cuadro 4.19 (IPCC, 1996) con base en la región de producción correspondiente determinada por la producción de leche diaria y el sistema productivo de cada municipio respectivamente. Para el ganado bovino destinado a la producción de carne se asignó un factor de emisión por manejo con base en el uso que se le da al estiércol ya que se manejan como sólidos y se depositan en praderas o pastizales en forma de fertilizan-

tes. En el caso del ganado aviar, el factor de emisión se asignó conforme al cuadro 4.20 (IPCC, 1996) para países en desarrollo con clima templado. El procedimiento general para calcular los factores de emisión para cada clase de ganado en el subsector pecuario se presenta en la Figura 4.11.

Los factores de emisión de CH₄ por manejo de excretas por municipio son diferentes entre las dos bases de datos en la clase de bovinos de leche debido a la diferencia en el número de semovientes registrados en cada una (Cuadro 4.19). Por otro lado, el factor de emisión asignado por igual a las dos bases de datos para cada municipio se presenta en la tabla 3.8 para manejo de excretas (IPCC, 1996).

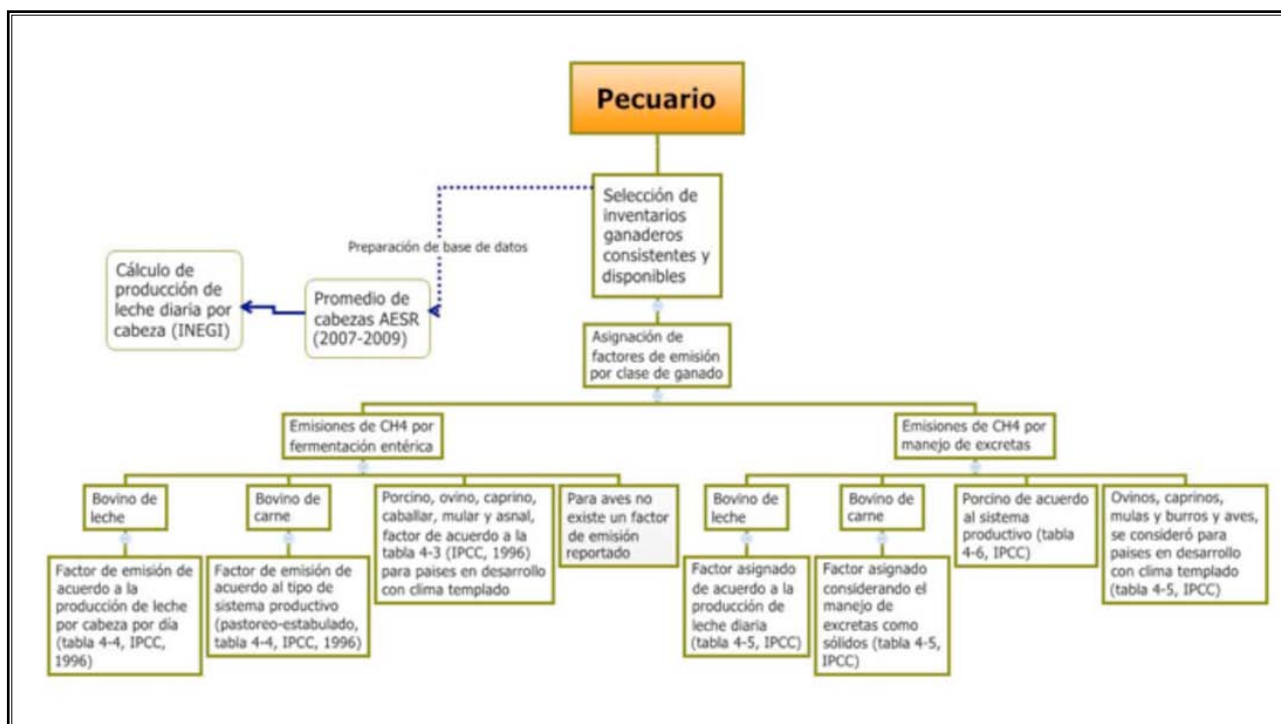


Figura 4.9. Emisiones totales de N₂O en el estado de Querétaro.

AESR	FERMENTACIÓN ENTÉRICA		
	AESR	INEGI	
MUNICIPIO	Bovino de leche	Bovino de leche	Bovino de doble propósito
➤ Amealco	1	1	1
➤ Arroyo Seco	1	1	1
➤ Cadereyta	1	1	1
➤ Colón	1	44	1
➤ Corregidora	1	1	44
➤ El Marqués	44	44	1
➤ Ezequiel Montes	1	1	1
➤ Huimilpan	44	44	1
➤ Jalpan de Serra	1	1	1
➤ Landa de Matamoros	1	1	1
➤ Pedro Escobedo	1	44	1
➤ Peñamiller	1	1	1
➤ Pinal de Amoles	1	1	1
➤ Querétaro	1	44	1
➤ San Joaquín	1	1	1
➤ San Juan del Río	1	1	1
➤ Tequisquiapan	1	1	1
➤ Tolimán	1	1	1

Cuadro 4.19. Factores de emisión por manejo de excretas para bovinos de leche y doble propósito asignados para el AESR e INEGI.

MUNICIPIO	FACTOR DE EMISIÓN AMBAS BASES DE DATOS						
	MANEJO DE EXCRETAS						
	Bovino de carne	Porcinos	Ovinos	Caprinos	Equino caballar	Muslar y asnal	Aviar
➤ Amealco	2	1	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Arroyo Seco	2	1	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Cadereyta	2	14	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Colón	2	10	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Corregidora	2	14	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ El Marqués	2	14	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Ezequiel Montes	2	14	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Huimilpan	2	14	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Jalpan de Serra	2	1	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Landa de Matamoros	2	1	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Pedro Escobedo	2	14	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Peñamiller	2	1	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Pinal de Amoles	2	1	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Querétaro	2	14	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ San Joaquín	2	1	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ San Juan del Río	2	14	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Tequisquiapan	2	14	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018
➤ Tolimán	2	10	0.16	0.17	1.6	0.9	0.018

Cuadro 4.18. Factores de emisión por manejo de excretas asignados por igual al AESR e INEGI.

4.4.2.4. Resultados

4.4.2.4.1. Emisiones totales

Las emisiones de CH₄ generadas a partir de fermentación entérica y manejo de excretas se calcularon a partir del promedio de las dos bases de datos, Querétaro contribuye con 17.45 ± 6.2 Gg/año de CH₄ considerando todas las clases de ganado presentadas en este documento para el estado de Querétaro (Figura 4.12). La clase animal que más contribuye en las emisiones son los bovinos con el 76%.

4.4.2.4.2. Emisiones por fermentación entérica

Las emisiones promedio de CH₄ provenientes de la fermentación entérica de ganado en el estado de Querétaro se presentan en la figura 4.12. El total de emisiones de CH₄ por fermentación entérica a ni-

vel estatal es de 306 ± 136 Gg de CO₂ equivalente comprendiendo todas las clases animales productivas (Figura 4.13). En el cálculo de las emisiones de fermentación y manejo promedio para el estado, no se contemplan las 7,098 cabezas de ganado bovino de doble propósito, ya que sólo es incluido en la base de datos del INEGI, la aportación de esta clase es de 5 Gg de CO₂ equivalente año⁻¹.

4.4.2.4.3. Emisiones por manejo de excretas

La aportación promedio de CH₄ proveniente del manejo de excretas es de 125 ± 25 Gg/año de CO₂ equivalente en el estado (Figura 4.14). En este caso, la clase porcinos es la mayor aportadora de CH₄ (66.2%). La clase de bovinos de doble propósito contribuye con 0.17 Gg de CO₂ equivalente año⁻¹.

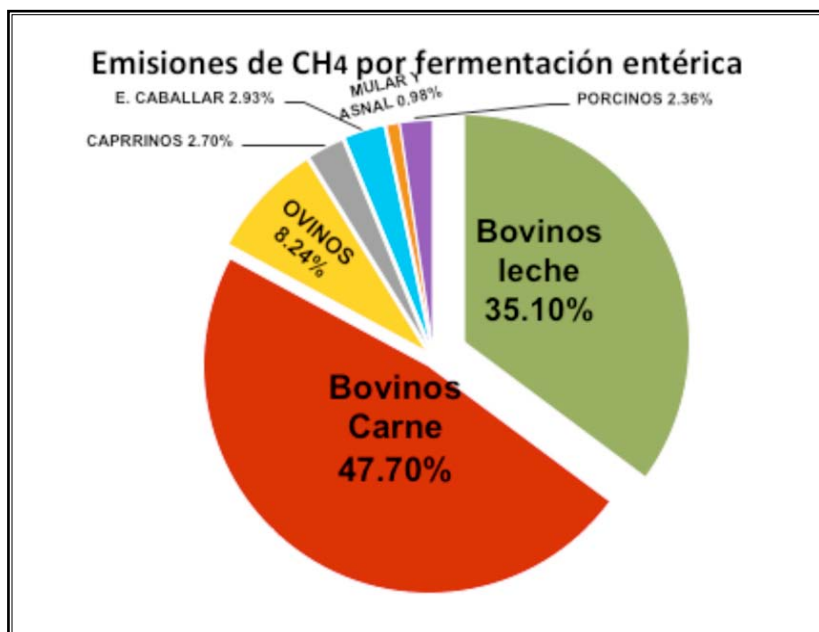


Figura 4.13. Emisiones de CH₄ por fermentación entérica en el estado de Querétaro, se representa el promedio de los datos generados con la información obtenida de INEGI y AESR.

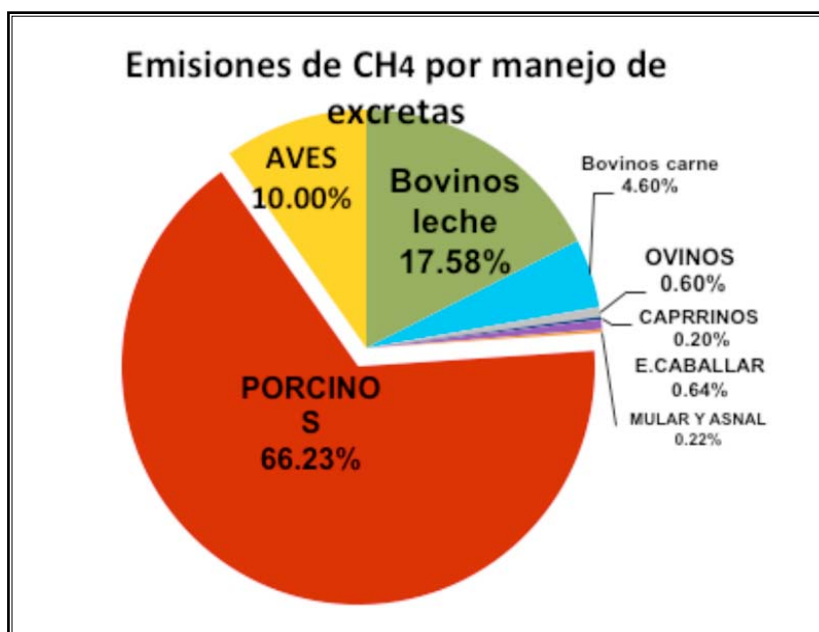


Figura 4.13. Emisiones de CH₄ por manejo de excretas en el estado de Querétaro (INEGI y AESR).

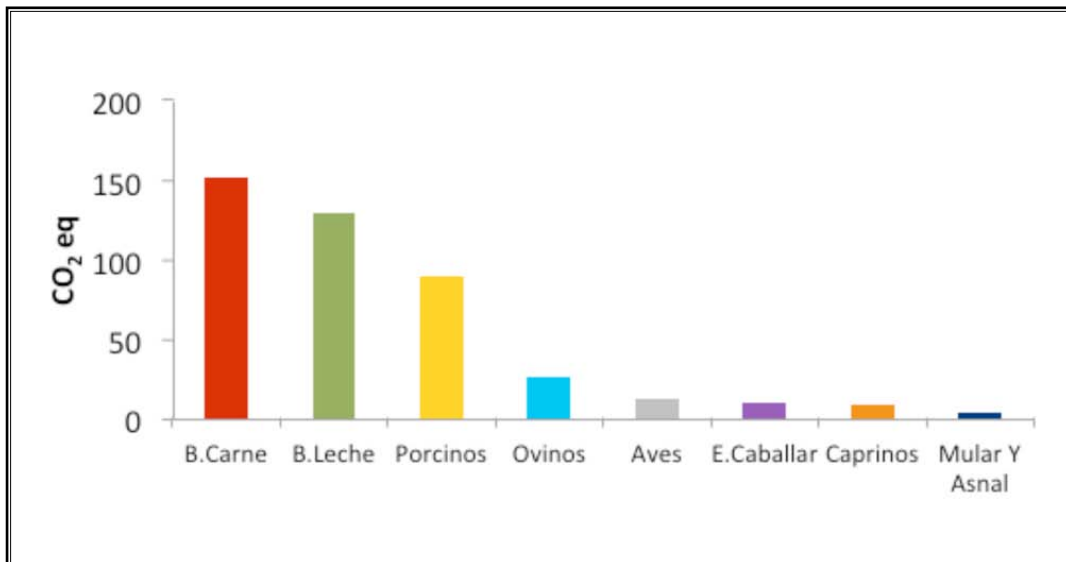


Figura 4.15. Emisiones totales de CH₄ presentadas como CO₂ equivalente de acuerdo a las dos bases de datos para cada una de las clases animales, las barras representan el error estándar de la media.

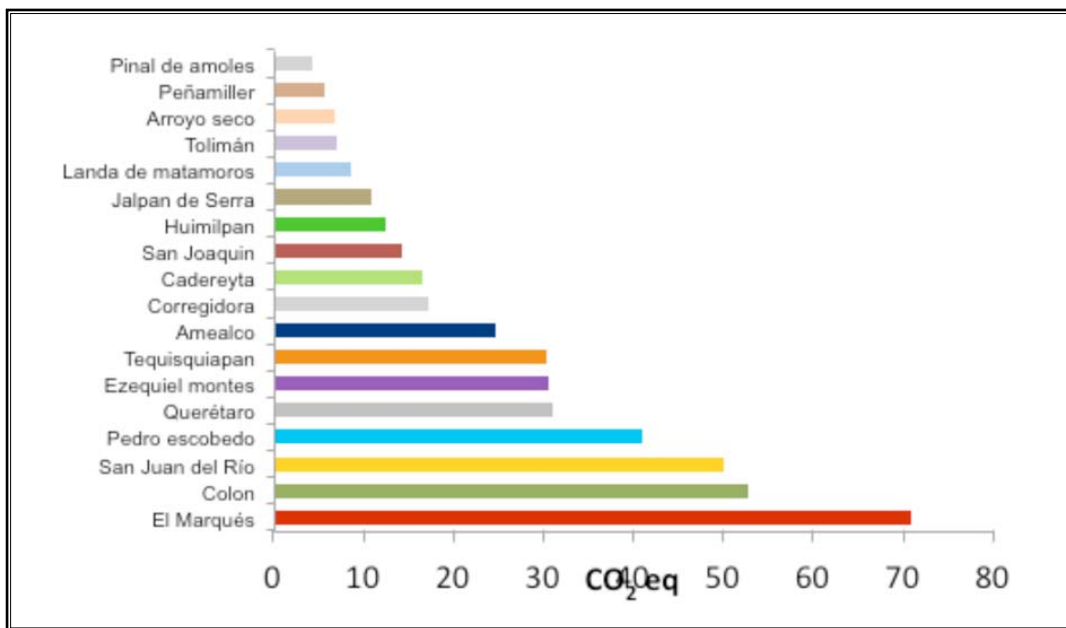


Figura 4.16. Promedio de emisiones de CH₄ por fermentación y manejo de excretas correspondiente a cada municipio presentado en unidades de CO₂ equivalente.

4.4.2.4.4. *Desglose de emisiones de CH₄*

Las contribuciones de las emisiones correspondientes a fermentación entérica y manejo de excretas se presenta como el promedio de las dos bases de datos para las especies animales y por municipio (Figura 4.15 y Figura 4.16), es importante resaltar que las clases animales en donde se tiene más discrepancia es en los bovinos de leche y porcinos debido al número de cabezas reportado, para bovinos esta inconsistencia se también se debe a la diferente agrupación de subclases en cada una de las bases de datos.

4.4.2.4.5. *Incertidumbre de la información*

La incertidumbre se representó por el error estándar de la media dado entre las bases de datos o por los años considerados en el AESR. Para el AESR el promedio de emisiones totales fue de 592.5 Gg de CO₂ equivalente año⁻¹ considerando los años 2007, 2008 y 2009. Entre bases de datos el promedio de emisiones por fermentación y manejo para las dos bases de datos fue de 426.2 ± 157.3 Gg de CO₂ equivalente año⁻¹ en el estado de Querétaro. El posible origen de las discrepancias, reside principalmente en el número de cabezas reportadas de ganado bovino lechero y de carne así como el ganado porcino. En las diferentes bases de datos las clases animales son distintas, por ejemplo en la base de datos del INEGI existe la clasificación de ganado bovino de doble propósito y en el AESR no la hay. Una situación similar son los animales de engorda y crecimiento que están presentes en INEGI y en el AESR no. Los factores de emisión para el ganado lechero fueron diferentes, ya que la producción de leche reportada difiere entre bases de datos. Los municipios que presentan más variación en las emisiones totales son Corregidora, El Marqués y San Juan del Río.

4.4.3. Emisión de CH₄ por fermentación entérica en vacas lecheras Tier II

4.4.3.1. *Introducción*

México necesita estimar las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI) con el fin de cumplir los acuerdos del Protocolo de Kioto y dar seguimiento en los esfuerzos para mitigación de emisiones y adaptación ante el cambio climático. El sector agropecuario sigue en importancia después de los sectores energía y transporte en la generación de GEI. Para la agricultura, la producción lechera es una fuente principal de emisión, específicamente a partir de CH₄ proveniente de la fermentación entérica de animales rumiantes.

Para tal efecto, se han llevado a cabo algunas determinaciones experimentales que proporcionan estimaciones más precisas. Por ejemplo, Wilkerson *et al.* (1995) calcularon la cantidad promedio de CH₄ emitida por fermentación entérica para 382 vacas lactantes, obteniendo un valor de 19.693 MJ d⁻¹; y para 220 vacas no lactantes, que produjeron 9.5532 MJ d⁻¹. De igual forma, Vermorel *et al.* (2008) calcularon la emisión de CH₄ emitido por 3,799 vacas lecheras en Francia con el nivel de precisión III del IPCC (2006) siendo 44, 7197 Mg CH₄ año⁻¹. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) ha publicado metodologías para estimar las emisiones por fermentación entérica; dependiendo de la información disponible, en donde es posible aplicar tres niveles de precisión: Tier I, II y III. Las metodologías Tier II y Tier III permiten examinar aspectos del sistema productivo como es la alimentación, el mejoramiento genético, el nivel productivo, entre otros.

Sin embargo, para las condiciones de México no existen trabajos publicados para establecer una línea base de comparación para planes de mejora en el manejo animal. Con este propósito se hizo el cálculo de la emisión de CH₄ de 16 hatos con registro en la Asociación Holstein de México en el estado de Querétaro en 2007 (Morante *et al.*, 2012).

4.4.3.2. *Metodología*

El porcentaje de energía en el alimento asociada al mantenimiento del ganado lechero es del 50% y el otro 50% está ligado a la producción (Cottle *et al.*, 2011). La alimentación es el factor que más influye en el cambio de pH y en las emisiones de biogás y de metano (González *et al.*, 2005). Las estrategias para disminuir la cantidad de metano emitida puede ser: aumentar la productividad por animal, estrategias de manejo nutricional, manipulación de la fermentación ruminal, entre otros (Johnson *et al.*, 1995; Cottle *et al.*, 2011).

Todos los cálculos se hicieron para ganado lechero Holstein del estado de Querétaro con tipo de unidad de producción en estabulación. Siendo el tipo de alimento pasto inducido, alfalfa verde o henificada, maíz ensilado, rastrojo de maíz molido, paja de avena y suplemento balanceado (González *et al.*, 2005).

Se modeló la curva de lactancia para cada tipo de parto dentro de los diferentes hatos con la función gamma incompleta de Wood según los procedimientos

de Lemus *et al.* (2008) usando el paquete TableCurve 2D y 5.01 (Systat Software Inc., USA):

$$Y_t = atb * e^{-ct}$$

Donde Y_t = producción de leche en el t -ésimo día de lactancia; e = base de los logaritmos naturales; a , b , c = parámetros que definen las curvas a ajustar. El rendimiento calculado inmediatamente después corresponde a los parámetros a y b ; la tasa de cambio desde el máximo rendimiento hasta el final de la lactancia es c .

La emisión de gases invernadero se calculó a partir de los datos proporcionados por la AHM sobre el rendimiento de los animales. Se utilizó la ecuación 4.12 del IPCC (2006) para calcular la emisión de CH_4 procedente de la fermentación entérica del ganado doméstico, usando un factor de emisión calculado, en lugar de valores por defecto. Para determinar el factor de emisión se usó la ecuación 4.14 de IPCC (2006), para la cual se requiere calcular la absorción de energía bruta (EB).

Ecuación 4.12:

$$Emisiones = FE * \frac{Población}{(106 \frac{Kg}{Gg})}$$

donde:

Emisiones = emisiones de CH_4 procedentes de la fermentación entérica en Gg de CH_4 año⁻¹; FE = factor de emisión correspondiente a una población específica, en Kg CH_4 cabeza⁻¹ año⁻¹ y población = número de cabezas.

Ecuación 4.14:

$$FE = \frac{(EB * Y_m * 305 \text{ días})}{\frac{Año}{55.65 \frac{MJ}{Kg CH_4}}}$$

donde:

EB es la absorción de energía bruta, en MJ cabeza⁻¹ d⁻¹; Y_m la tasa de conversión del metano, que es la fracción de energía bruta presente en los alimentos

que se convierte en metano. De acuerdo a la tabla 4.8 del IPCC Y_m tendrá un valor de 0.06.

La EB se obtuvo mediante una modificación de la ecuación 4.11 de IPCC (2006).

Ecuación 4.11:

$$EB = \left\{ \frac{(Em + Emovilizada + Ea + EL + Et + Ep)}{\frac{Ema}{ED}} \right\} + \left\{ \frac{\left(\frac{Ec + Elana}{\frac{Ecre}{ED}} \right)}{\left(\frac{ED}{100} \right)} \right\}$$

Modificación:

$$EB = \frac{\left\{ \frac{Em + Ea + EL + Ep}{\frac{Ema}{ED}} \right\}}{\left\{ \frac{ED}{100} \right\}}$$

Et es la energía necesaria para labor, estos animales no tienen ninguna labor. Ec es la energía necesaria para el crecimiento, no se tiene cambio en el peso del animal, ni la ganancia de peso durante la lactancia. Emovilizada es la energía debida a pérdida de peso, no se tiene el peso que pierde el animal durante la lactancia. Ecre/ED es relación entre la energía disponible para el crecimiento en una dieta, y la energía digestible consumida, no se tiene la energía de crecimiento. Elana es la energía necesaria para la producción de lana, estos animales no producen lana. La energía digestible (ED), se calculó según la fórmula de las Necesidades Nutricionales del Ganado Lechero (NRC 2001, por sus siglas en inglés) en $Mcal Kg^{-1}$ (ecuación 2-1 NRC 2001): $ED = 0.04409 * TDN$ (%). La modificación considera algunos supuestos por falta de información o porque las condiciones no son aplicables al sistema de producción en México.

Conversión a $MJ kg^{-1}$:

$$ED = 0.1847371 * TDN$$
 (%)

donde TDN son los nutrientes digestibles totales (por sus siglas en inglés), igual al 68% en la dieta según la tabla 14-6 del NRC para la concentración ideal de nutrientes en la dieta para vacas de talla grande y peso promedio de 680 Kg.

La energía de mantenimiento (E_m), en MJ d^{-1} (ecuación 4.1 IPCC (2006)):

$$E_m = C_{fi} * (\text{peso})^{0.75}$$

donde $C_{fi} = 0.335$, tabla 4.4 IPCC (2006) coeficientes para el cálculo de la E_m .

Para fines del cálculo de la E_m , se asume un peso de 680 Kg representativo de vacas de talla grande (tabla 14-6 del NRC), se usó este valor por no existir valores asociados en el registro productivo de la AHM para esta variable. La energía necesaria para la actividad del animal E_a , en MJ d^{-1} (ecuación 4.2a IPCC (2006)):

$$E_a = C_a * E_m$$

donde, $C_a=0$, tabla 4.5 IPCC (2006) coeficientes correspondientes a las condiciones del animal en estabulación.

La energía necesaria para la secreción de leche (E_L), en MJ d^{-1} (ecuación 4.5a IPCC (2006)):

$$E_L = \text{Kg de leche por día} * (1.47 + 0.4 * \text{grasa})$$

La relación entre la energía de mantenimiento presente en una dieta y la energía digestible consumida (E_{ma} / ED), en MJ d^{-1} (ecuación 4.9 IPCC (2006)):

$$\frac{E_{ma}}{ED} = 1.123 - (4.092 * 10^{-3} * ED) + [(1.126 * 10^{-5} * (ED^2))] - (25.4/ED)$$

La energía necesaria para la preñez E_p en MJ d^{-1} (ecuación 4.8 IPCC (2006)):

$$E_p = C_p * E_m$$

donde $C_p= 0.10$, tabla 4.7 IPCC (2006), coeficiente de preñez.

Se hizo el cálculo de la emisión de CH_4 de 16 hatos con registro en la Asociación Holstein de México (AHM) en el estado de Querétaro en 2007. Las vacas Holstein-Friesian se agruparon por número de parto y hato. Los registros de lactancia fueron de 28,888 vacas y se distribuyeron según su número de parto como sigue: 5,491 (P1), 4,681 (P2), 5,128 (P3), 5,223 (P4), 4,012 (P5) y 4,353 (P6 y más).

4.4.3.3. Resultados

La producción de leche promedio diaria fue: 31.05, 31.56, 38.61, 41.85, 50.72 y 57.33 Kg respectivamente. La producción total de leche calculada fue 283,630,151 Kg. La Figura 4.17 muestra las curvas de lactancia modeladas para cada clase animal.

Utilizando las funciones de producción de leche se calculó la emisión diaria y después se calculó cada 15 d la emisión diaria, esto fue en función del número de partos ocurridos durante cada periodo de 15 d. Para el hato lechero examinado no se encontró un patrón estacional dado por un mayor número de lactancias o producción de leche (Figura 4.18). Para las vacas examinadas se aprecia un pico de lactancia rápido y alta persistencia de la lactancia en la modelación hasta los 305 d. Destaca la menor persistencia para las vacas de segundo parto y un mayor nivel productivo para las vacas de seis o más partos. No obstante, la longevidad es baja para las vacas lecheras con alta productividad (Palma, 2001; Valencia-Posadas et al., 2004).

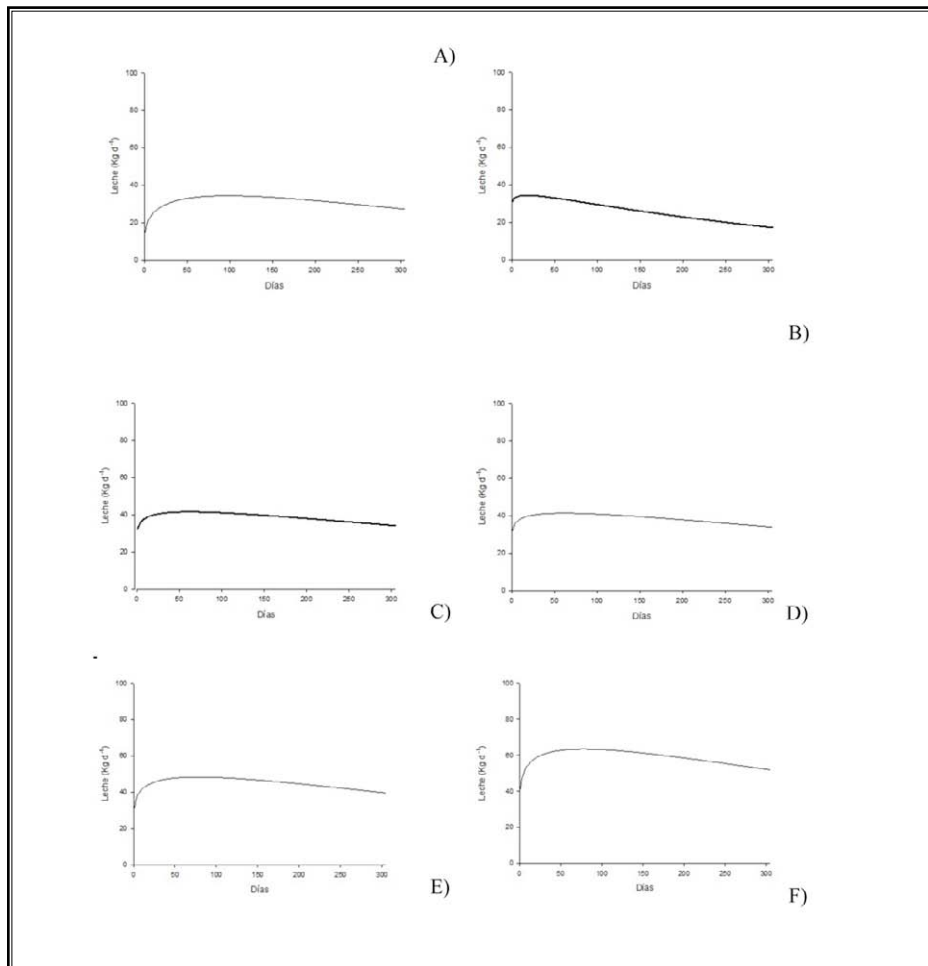


Figura 4.17. Producción de leche por parto durante el 2007 con un intervalo de confianza de 95%. En donde: A), B), C), D), E), y F), refieren al número de partos del uno al seis respectivamente.

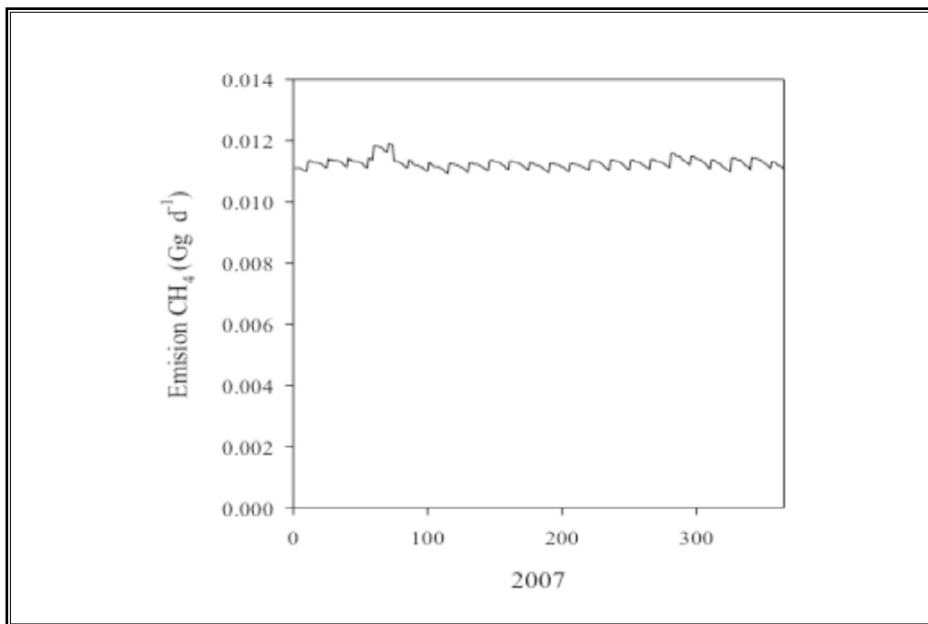


Figura 4.18. Emisión total de metano CH₄ para la muestra de 16 hatos lecheros en el estado de Querétaro.

Durante las lactancias del 2007 estas vacas emitieron a la atmósfera 4.109 Gg de CH₄ entérico año⁻¹. Por Kg de leche la emisión fue de 14.48 g CH₄, el cual es comparable a los 14 g Kg⁻¹ emitidos en EEUU e inferior a los 16 a 19 g Kg⁻¹ en países europeos (Smink et al., 2004). Sin embargo, usando la emisión de 118 g CH₄ vaca⁻¹ d⁻¹ en el Tier I para una vaca lechera estándar de un sistema intensivo de leche (IPCC, 2006) y considerando 32.19 Kg d⁻¹ promedio para las vacas estudiadas la emisión de 3.66 g CH₄ Kg⁻¹ es una seria subestimación.

El nivel de emisión de CH₄ por unidad de leche producida se explica por el alto nivel de producción por cabeza, proporcionalmente la necesidad de energía para el mantenimiento es menor a la necesidad de energía de lactancia conforme aumenta el nivel productivo. Para alcanzar este nivel de producción es necesario mantener una serie de prácticas de manejo y un modelo productivo específico, pero que al mismo tiempo también repercute en el patrón de fermentación ruminal y la producción de CH₄, como es el uso de dietas integrales, forrajes de alta digestibilidad y aditivos nutricionales, entre otros.

4.4.3.4. Conclusiones y recomendaciones

Se hizo el Inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero (IEEGEI) para el sector pecuario con un nivel de incertidumbre tolerable dentro del estándar definido por el IPCC para el nivel I ($\pm 50\%$) y en consideración a las distintas fuentes de información disponibles. Sin embargo, el IEEGEI debe mejorarse mediante una caracterización más exacta de las clases animales y su nivel productivo; estos dos aspectos afectan de manera importante la elección de factores de emisión (FE) en el nivel I de acuerdo al IPCC. La estimación deben realizarse con un nivel II o mejor, como el caso presentado para el ganado lechero con registros de producción de la AHM.

La variación de temperatura ambiental en Querétaro no afectó la elección de FE y se clasificó a todo el estado dentro del clima templado. La elección del FE con base en la temperatura podría cambiar, para las regiones estatales del Semidesierto y Sierra Gorda, si se contara con mejor información climática proveniente de una red de monitoreo más extensa; particularmente para la región de la Huasteca y zonas bajas de la Sierra Gorda, debido a su clima tropical, el error se considera menor, porque los municipios con mayor inventario de semovientes están dentro del rango de temperatura para clima templado y climas secos y muy secos de acuerdo a la clasificación climática de

Koppen (García, 1973) y también del rango de temperatura de 15 a 25 °C definido como clima templado para el IPCC.

La información se desagregó a nivel municipal, pero esto implicó asumir un factor de emisión único para cada municipio y sin consideración de los distintos modelos o combinaciones en la producción animal y climas presentes en el mismo municipio (Anexo V; en CD). Este aspecto es importante, pues mientras que en algunos municipios predomina cierto modelo productivo, de acuerdo a su tecnificación y nivel de producción, en otros fue más difícil asignar el factor de emisión en función del conocimiento general de la composición de modelos productivos de cada municipio. Esta situación es importante y el IEEGEI sería más exacto con la desagregación de la información a nivel de sitio de producción y clases animal según su edad. Los datos necesarios se encuentran en el censo ganadero de INEGI 2007, pero no fueron disponibles las encuestas individuales debido a las restricciones en la confidencialidad de uso de datos del censo ganadero del INEGI 2007.

La incertidumbre en el IEEGEI fue distinta según la especie animal y de acuerdo a distintos factores del modelo productivo, de la variación en el inventario de semovientes durante el año y la variación anual en la producción. En el caso de los porcinos fue particularmente sensible la determinación del FE, pues en el nivel I se asigna un valor único por cabeza, mientras que en realidad la emisión de un adulto (vientres y sementales) y animales de engorda (lechones y cerditos) es muy diferente. Así, el resultado en el IEEGEI es una sobreestimación de la emisión de los porcinos, independientemente de la variación entre bases de datos encontrada para el número de cabezas. Por ejemplo, para el estado en 2007 el INEGI cita 155,948 porcinos y el anuario estadístico del sector rural (AESR) menciona que existen 355,375. Para los bovinos con producción de carne y leche también existió discrepancia en el número de cabezas entre bases de datos. Estas variaciones no se correlacionaron entre los municipios.

Por las características del mercado, restricciones climáticas y modelos productivos, el inventario de semovientes cambia durante el año. Este aspecto es importante para los animales de engorda, bovinos, ovinos y cerdos principalmente. El censo INEGI se levantó en otoño y posiblemente representa un escenario de inventario máximo, pues las existencias serían principalmente vendidas en la temporada navideña.

Para el IEEGEI y siguiendo los criterios establecidos por el IPCC el inventario de animales se considera estático y como las unidades del FE son toneladas por año por cabeza, de nuevo el IEEGEI sobreestima en función de inventarios de semovientes menores en otros meses del año. Para el AESR se desconoce el mes o época del año representada por el inventario ganadero.

4.5. Desechos

4.5.1. Introducción

Querétaro se caracteriza por presentar un ritmo de crecimiento acelerado en el sector poblacional a la par del económico que ha ocasionado que principalmente la ciudad de Querétaro vaya ganando terreno sobre las áreas naturales que la rodean, la cual para el año 2005 contaba ya con una población de 695,951 habitantes (ANUARIO 2005) y a la actualidad sigue con índices de crecimiento arriba de la media nacional.

Esto ha causado que las ciudades se expandan incrementando la necesidad de alimentos, hogares, carreteras y servicios generando otros problemas como tráfico vehicular, dificultad para llevar los servicios básicos, hacinamiento poblacional, mayor generación de residuos, problemas de salud, contaminación de aire, agua y suelo, etc.

También se ha detectado un incremento en las temperaturas medias de las ciudades debido a la superficie cubierta por asfalto cada vez mayor, creando las llamadas islas de calor que aunados al cambio climático están aumentando las temperaturas normales registradas en las ciudades, este calentamiento climático como se mencionaba es favorecido por la producción y emisión de GEI's.

Este Inventario Estatal del sector de Desechos que se basa en las hojas de cálculo otorgadas por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) de la Organización de Naciones Unidas, se encarga de estimar la cantidad de GEIs (los que se emiten de forma significativa en este sector serán CH_4 , CO_2 y NO_2) que se producen y emiten en el estado de Querétaro tomando como año base el 2006 los cuales se liberan de los desechos en descomposición en los rellenos

sanitarios y/o sitios de disposición final de residuos, en las plantas de tratamiento de aguas y lodos residuales, de las heces humanas que se producen y de los incineradores de residuos peligrosos que pudieran existir en el estado de Querétaro, haciendo mención que estos últimos no presentan actividades dentro del estado, por lo cual, no fueron tomados en cuenta en este apartado (Figura 4.21).

4.5.1.1. Información de las actividades del sector

Debido a que la información a la cual podemos acceder para hacer el cálculo de emisiones de acuerdo con la metodología del IPCC es generada con propósitos diferentes a los del inventario, es necesario procesar y adaptar la información recabada para poder aplicarla el método aquí presentado con lo que se crea la necesidad de establecer una base de datos más sólida y especializada para este cálculo, procurando actualizarla con determinada periodicidad siendo de gran ayuda la edición de este primer Inventario para el estado de Querétaro; esto redundará en una mayor facilidad para su actualización, reduciendo tiempo, esfuerzo y costos, aumentando la confiabilidad y reduciendo la incertidumbre del mismo. Teniendo como actividades de aseguramiento de la calidad del inventario, y no sólo como punto de partida, a la Guía de las Buenas Prácticas y Manejo de la Incertidumbre.

4.5.2. Metodología

4.5.2.1. Datos de actividad

La información necesaria para esta actividad se encuentra, debido a su carácter, con relativa facilidad para su procesamiento ya que se encuentran en su mayoría los datos que se emplean para calcular las emisiones de metano. Esta se refiere a la cantidad de residuos que son dispuestos en los rellenos sanitarios, en tiraderos (sitios de disposición final) con profundidad mayor o igual a 5 m y en tiraderos con profundidad menor a los 5 mm. Así como la composición y contenido de carbón y carbón degradable en los residuos, los cuales se obtienen a partir de la composición en porcentaje de los residuos colectados en el año 2006. También es necesario conocer ciertos datos como la población total del estado para determinar la producción per cápita de los desechos (cuadros 4.30 y 4.31).

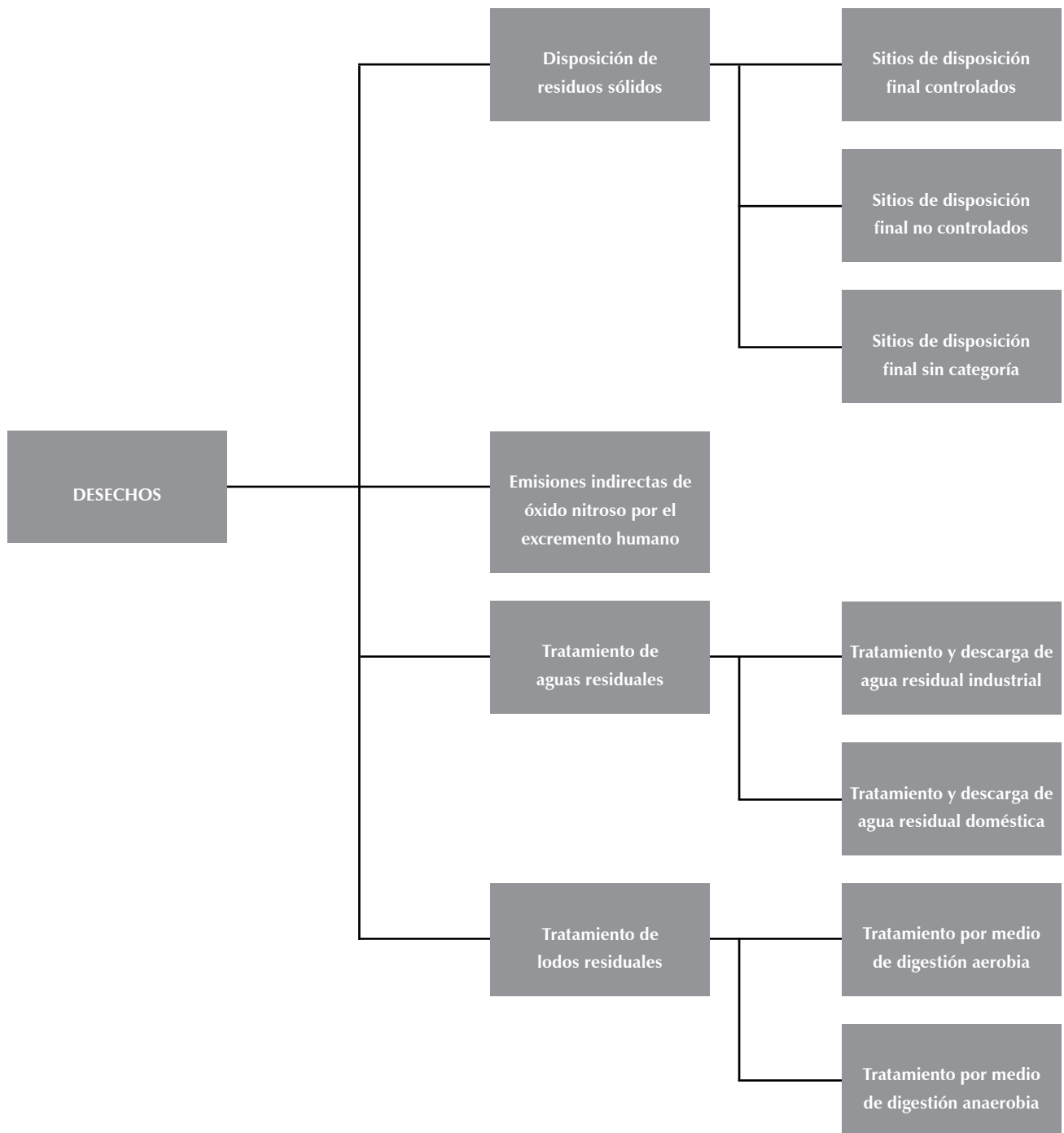


Figura 4.21. Emisiones del sector desechos.

Estado de Querétaro 2006	Toneladas de residuos generados en el estado (día)	Se depositan al aire libre (toneladas), tiraderos a cielo abierto	Se depositan en rellenos sanitarios o sitios controlados (toneladas)
➤ Querétaro	1,452	70	1,382

Cuadro 4.30. Tipo de disposición de los residuos generados en el estado de Querétaro.

Estado de Querétaro, 2005	Desechos per cápita por ciudadano
1,628,739	0.879 kg

Cuadro 4.31. Desechos per cápita por ciudadano en el estado de Querétaro.

4.5.2.2.1. Factores de emisión

Para esta categoría no existen factores de emisión generados en el estado por lo que se utilizan los valores por defecto propuestos por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático en sus Guías y Libro de Trabajo de 1996.

4.5.2.2. Emisión de metano procedente de las aguas residuales municipales

4.5.2.2.1. Datos de actividad

El tratamiento de aguas residuales que contienen alto contenido de material orgánico incluyendo las aguas residuales municipales, dan origen a cantidades considerables de CH₄, es decir, entre más contenido de material orgánico en el agua tratada, más CH₄ se generará.

Dentro de este reporte no se toman en cuenta las plantas de digestión aerobia ya que en ellas no se genera CH₄. La información requerida en este rubro se refiere a los volúmenes de aguas residuales genera-

das en el estado de Querétaro, su carga contaminante medida como Kg de DBO o DQO por m³ de agua residual, el tipo y la eficiencia de las tecnologías que emplean para su tratamiento y disposición.

Para el caso de las aguas residuales municipales se obtuvieron los datos de volúmenes producidos por número de hogares en relación al tipo de tratamiento de las aguas y lodos residuales, obtenidos del II Censo de Población y Vivienda, 2005 del INEGI. Para la carga contaminante de las aguas residuales se empleó el valor propuesto por el IPCC en sus Guías y Libro de Trabajo de 1996 empleando el valor que otorgan para América Latina, en cuanto a la eficiencia de las tecnologías que emplean para su tratamiento se tuvieron problemas para determinar el valor que sería empleado ya que no existen los valores necesarios dentro de los proporcionados por la CEA por lo que se determinó por medio de una proporción en cuanto a la producción nacional respecto al porcentaje de contribución del estado de Querétaro (cuadro 4.32).

Tipo de tratamiento	Total de casas por tipo de tratamiento	Población (miles)	Porcentaje (%)
➤ Con tratamiento municipal	250,736	1,168	71.73
➤ Sin tratamiento municipal	42,418	198	12.14
➤ Con tratamiento doméstico	50,097	233	14.33
➤ Sin tratamiento doméstico	2,080	10	0.60
➤ No especificado	4,209	20	1.20
Total	349, 540	1,629	100.0

Cuadro 4.32. Tipo de tratamiento y su distribución dentro del estado de Querétaro.

Factores de emisión

Para esta categoría no existen los factores de emisión generados en el estado en los cuales se registren las emisiones de metano de las plantas de tratamiento y la disposición sus residuos, por lo que se utilizan los valores por defecto propuestos por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático en sus Guías y Libro de Trabajo de 1996.

4.5.2.3. Emisión de metano procedente de las aguas residuales industriales

4.5.2.3.1 Datos de actividad

En el caso de las aguas residuales industriales se han creado con mayor velocidad plantas de tratamiento para este tipo de aguas residuales. Los datos que se emplean en este rubro son seleccionados dependiendo del tipo de industria agrupada por rubros debido a que las cargas de materia orgánica son muy diferentes para cada uno de estos rubros por lo que se calculan por separado.

Los datos obtenidos para la producción industrial Estatal es una estimación basada en el Inventario Nacional de Emisiones de GEI del año 2002 elaborado por el INE y adaptados a la proporción con la que contribuye el estado de Querétaro a la población nacional, tomando únicamente en cuenta los giros indus-

triales que llevan a cabo actividades productivas dentro del estado, ya que no existen valores suficientes a nivel estatal que nos puedan dar los datos necesarios.

Factores de emisión

Los factores de emisión tomados, para este apartado, fueron los propuestos en el Panel Intergubernamental del Cambio Climático en sus Guías y Libro de Trabajo de 1996.

Emisiones de óxido nitroso y dióxido de carbono procedentes de la incineración de residuos peligrosos. Dentro del estado de Querétaro no se encuentran empresas o industrias que se encarguen de la incineración de residuos peligrosos.

4.5.2.4. Emisiones de óxido nitroso (N₂O) procedente de las excretas humanas

4.5.2.4.1. Datos de actividad

La cantidad de la emisión de N₂O proveniente de las excretas humanas depende del tipo de alimentación que lleve a cabo la población, ya que el nitrógeno contenido en proteínas al momento de ser digeridas se transforma en este GEI, por esta razón es importante el dato del total de habitantes, así como el consumo medio anual per cápita de proteínas el cual se expresa en (Kg/persona/año) en el cuadro 4.33.

Consumo medio anual per cápita de proteína en (Kg/persona/año)	Población estatal, 2005
33.361	1,628,739

Cuadro 4.33. Consumo medio anual per cápita de proteína en el estado de Querétaro.

Factores de emisión

Los datos para los factores de emisión de este rubro se obtuvieron de las Guías y Libro de Trabajo del año de 1996 otorgadas por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, debido a la inexistencia de factores de emisión propios del estado de Querétaro.

4.5.3. Resultados

Los datos resultantes obtenidos por medio de las tablas de cálculo nos dieron en primera instancia una perspectiva acerca de la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera dando pauta para emitir conclusiones que permitan elaborar programas destinados a disminuir estas emisiones y así poder mitigar las consecuencias del cambio climático (Figura 4.22).

En cuanto a los resultados obtenidos se menciona la cantidad de emisiones de CH₄ procedentes de los vertederos de residuos sólidos es de 7,548.4Gg.

Para las emisiones de CH₄ procedentes de las aguas y lodos industriales tenemos generación de 6.08 Gg.

Las emisiones de CH₄ procedentes de las aguas y lodos domésticos y comerciales son de 5.71 Gg.

El total de las emisiones de N₂O procedentes del excremento humano es directamente proporcional a

la alimentación de la población del estado de Querétaro, el valor obtenido es de 1.37 Gg de N₂O/año.

Los valores de los GEI se expresan respecto a cada categoría por lo que es necesario convertir estas cantidades a CO₂-eq, los factores potenciales de calentamiento global para cada gas se muestran a continuación junto con la representación gráfica, datos proporcionados por el IPCC en el 2007c (4.34).

Dentro de la Figura 4.22 se observa que el proceso industrial es donde obtienen los mayores valores de producción de Metano como parte de los vertederos de residuos sólidos, siendo el rubro de mayor contribución en términos generales a la producción de los GEI dentro del estado de Querétaro.

4.5.4. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos nos muestran que las fuentes clave de emisiones de GEI para este sector son las emisiones por metano de vertederos y por metano de aguas y lodos residuales municipales, aunado a esto nos muestran, también, la necesidad de obtención y registro de datos a nivel estatal para el monitoreo preciso de las emisiones de GEI en el sector de desechos, teniendo importantes oportunidades de mitigación en el rubro del metano procedente de los vertederos de residuos sólidos.

Gases de efecto invernadero	Potencial de calentamiento global
➤ Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
➤ Metano (CH ₄)	21
➤ Óxido Nitroso (N ₂ O)	310

Cuadro 4.34. Equivalencias del potencial de calentamiento global de los GEI.

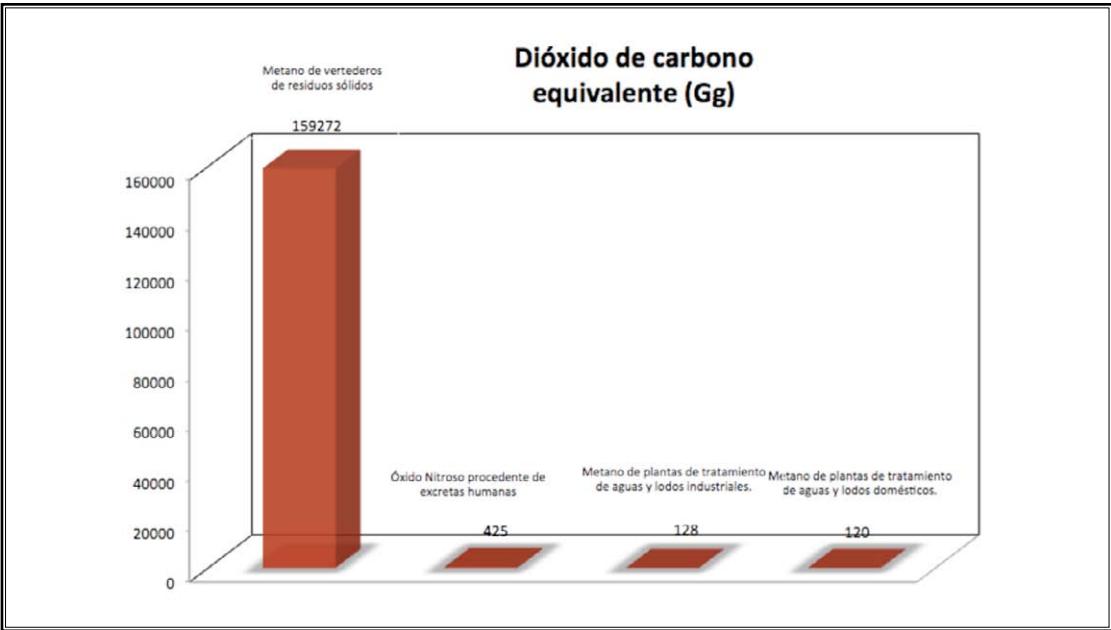


Figura 4.22. Emisiones de GEI por sector en CO₂-eq (Gg).

ANEXO 3

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Dr. Gerardo Serrato Ángeles

Delegado Federal de SEMARNAT en el Estado de Querétaro

Ing. Ricardo Javier Torres Hernández

Jefe de Departamento de Protección Ambiental, SEDESU. Querétaro.

Ing. Lucitania Servín Vázquez

Subdelegada de SEMARNAT en el Estado de Querétaro.

5.1. Medidas de Mitigación

Las Medidas de mitigación analizadas son resultado de los talleres de participación ciudadana que se llevaron a cabo como parte de los trabajos para la elaboración de este inventario en los cuales los participantes propusieron subdividir dichas medidas en los sectores mencionados en el Cuadro 5.1.

5.2. Escenarios de Mitigación

La construcción de los escenarios de mitigación está basada en la plataforma de modelización Energética LEAP, (Long-range Energy Alternatives Planning System), desarrollado por el Stockholm Environment Institute-Boston (SEI-B) (1975). A fines de los '90 el SEI-B y una serie de instituciones académicas internacionales actualizaron el modelo para que cambiara de plataforma (DOS a Windows) (LEAP, 2003) incorporando de una serie de herramientas de planificación energética. Su principal objetivo consiste en brindar un soporte integrado y confiable, donde se reflejan sistemas complejos en un modo comprensible, además de ayudar a organizar una gran cantidad de información y proveen un marco contextual consistente para evaluar hipótesis o analizar impactos, útiles en el desarrollo de estudios de planeamiento energético integrado (OECD, 1998). Con este modelo se puede representar la matriz energética. Es un modelo de simulación, del tipo "bottom-up" y consiste esencialmente en un modelo energético-ambiental basado en escenarios, del tipo "demand-driven", los principales atributos que utiliza el LEAP son:

***Demanda:** evaluación detallada de la composición de la demanda por sector, subsector, usos finales y equipamientos. Crecimiento de la demanda determinado por las relaciones de competencia entre combustibles, intensidades energéticas equipamientos de transformación y cambios estructurales definidas por el usuario.

***Transformación:** evaluación detallada de la configuración del sistema de oferta actual y futura. Definición de detalle de las estructuras de transformación definidas por el usuario. Disponibilidad de algoritmos flexibles que permitan definir múltiples entradas y salidas tales como en los casos de cogeneración de calor y electricidad.

***Recursos:** representación simple de recursos renovables y no renovables.

***Balance oferta/demanda:** presentación completa del balance energético proyectado.

La información histórica requerida en la entrada del LEAP, para el estado de Querétaro fue:

*Balance energético del año base (Neta/Útil).

*Parámetros tecnológicos.

*Intensidades energéticas para procesos de uso final y transformación energética.

*Información sobre usos de la biomasa.

*Costos por tecnología

*Costos de los distintos productos energéticos.

*Coeficientes ambientales locales.

5.3. Resultados

De acuerdo con la aplicación de la plataforma LEAP, dentro del estado de Querétaro, se estimaron los flujos

<p>➤ Agropecuario</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incremento de la captación de carbono dentro del sistema productivo. 2. Sistemas de producción alternativos para disminuir las emisiones de CH₄ y NO₂. 3. Planeación de la producción para satisfacer mercados agropecuarios regionales en preferencia a la importación-exportación (Nacional o internacional). 4. Aprovechamiento de las excretas generadas en el sector pecuario para generación de combustible alternativo o generación de energía eléctrica para autoconsumo.
<p>➤ Uscuss</p>	<ol style="list-style-type: none"> 5. Instrumentación de las políticas municipales y estatales a nivel de las unidades de gestión ambiental, para captura de carbono. 6. Disminución de frecuencia e intensidad de incendios. 7. Control de plagas. 8. Evitar las GEI por los incendios generados en pastizales. 9. Reducción de emisiones de CO₂ mediante modernización de tecnología.
<p>➤ Residuos</p>	<ol style="list-style-type: none"> 10. Reducción de emisiones de CO₂ mediante conducción y tratamiento. 11. Aplicar proyectos de aprovechamiento de CH₄ en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. 12. Aprovechamiento del biogas de la carga orgánica contenida en residuos sólidos y aguas residuales para autoconsumo. 13. Uso de GEI a partir de la generación de energía eléctrica. 14. Aplicar estrategias de prevención de la generación, minimización, separación y valorización de los residuos orgánicos generados en los diferentes sectores.
<p>➤ Energía</p>	<ol style="list-style-type: none"> 15. Reducción de emisiones de GEI derivados de transporte del sector industrial mediante eficiencia de rutas y aplicación de buenas prácticas. 16. Reducción de emisiones de GEI por la quema de combustibles fósiles mediante proyectos de ecoeficiencia y aplicación de buenas prácticas. 17. Uso de GEI generados en la generación de energía eléctrica. 18. Cambio de combustible del transporte público de diesel a gas natural y cambio de combustible de la flota vehicular de Gobierno del Estado de Querétaro de gasolina a gas natural. 19. Reorganización integral del sistema de transporte público del Estado de Querétaro. 20. Modernización del parque vehicular privado. 21. Ahorro y uso eficiente de energía, energías renovables, combustibles limpios, reutilización de calor en otros procesos (cogeneración), identificación de fugas de energía. 22. Uso de ecotecias, cambio de luminarias, sistemas eficientes de aire acondicionado, diseño bioclimático.
<p>➤ Asentamientos Humanos</p>	<ol style="list-style-type: none"> 22. Aumentar la superficie de cubierta vegetal en los asentamientos humanos para el mantenimiento de servicios ambientales, particularmente regulación de temperatura y captura de carbono. 23. Implementación de proyectos de arquitectura bioclimática y eco tecnologías en asentamientos. 24. Manejo adecuado de residuos. 25. Contar con medios de transporte eficiente que reduzcan la emisión de gases de efecto invernadero. 26. Contar con medios de transporte eficiente que reduzcan la emisión de gases de efecto invernadero.

Tabla 5.1. Sectores considerados para medidas de mitigación (UCUSS=uso de suelo, cambio de suelo y silvicultura).

energéticos de las distintas tecnologías de abastecimiento energético, calculando el uso de los recursos, impactos ambientales y detecta necesidades de ampliación de los procesos de producción de energía, así como los costos asociados; construyendo los escenarios de crecimiento de las emisiones de CO₂ equivalente obteniendo los siguientes resultados por sector (Figura 5.1).

5.4. Principales Medidas de Mitigación

5.4.1. Subsector residencial

Las emisiones del sector residencial al 2006 se calcularon en 747.7 Gg de CO₂ eq logrando una reducción de emisiones de 1,177 Gg de CO₂ al 2030 (Figura 5.2) a partir de las siguientes medidas de mitigación:

- a) Ampliación de la cobertura de gas natural (Figura 5.2).
- b) Implementación de Energía Solar para el calentamiento de agua (Figura 5.3).

5.4.2. Subsector transporte

Las emisiones del sector transporte al 2006 se calcularon en 2,908.7 Gg de CO₂ eq logrando una reducción de emisiones de 4,581 Gg de CO₂ al 2030 (Figuras 5.4 y 5.5) a partir de las siguientes medidas de mitigación:

- a) Programa integral de reordenamiento del transporte público.

5.5. Medidas de Mitigación Proyectadas

Como acciones derivadas tanto de la consulta pública, como de los resultados en estudios específicos como son: la cuantificación del efecto de isla de calor e historia de inundaciones dentro del municipio de Querétaro (Franco 2012; Ramos-Salinas *et al.*, 2012; Delgadillo, 2012) se han implementado por parte del gobierno del estado (SEDESU) y de la Universidad Autónoma de Querétaro acciones específicas tanto para la mitigación, como para la adaptación al cambio climático en el estado.

En Querétaro el parque vehicular no paga tenencia desde el año 2010, sin embargo a partir del año

2013, se aplicó un pago de \$47.00 pesos por vehículo dentro del concepto del refrendo vehicular. Dicho impuesto ha permitido al gobierno del estado generar un fondo específico para aplicarlo en medidas de mitigación ante la producción de GEI's y de adaptación ante la variabilidad y cambio climático. Por ejemplo, se pretende incrementar la superficie de captación de CO₂ dentro del Parque Nacional El Cimatario y de otras áreas verdes que circundan la ciudad de Querétaro. Entre los efectos más notorios del incremento poblacional, se encuentra la reducción de las áreas verdes y el incremento del fenómeno de Isla de Calor. Los resultados del estudio de isla de calor indican que existe una diferencia de temperatura promedio <1°C entre el centro de la ciudad y la periferia (3 km de distancia del centro de la ciudad) acentuándose en el periodo de estiaje (junio-septiembre).

Por otra parte, dentro de los esfuerzos del Gobierno del Estado en coordinación con el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ), el CONACYT y la UAQ, se ha implementado un estudio para establecer un mecanismo de evaluación del pago de servicios ambientales (PSA) (captura de carbono) dentro de la Reserva de la Biosfera "Sierra Gorda" Queretana. Particularmente se desarrollará un esquema de PSA por captura de carbono, basados en estimaciones de la productividad directa de los diferentes ecosistemas forestales. En primera instancia se seleccionarán sitios piloto con base en muestreos estratificados donde se estimará la variación en el crecimiento y la productividad, seleccionando tamaños de muestra adecuados y obtener la representatividad del rodal. Dentro de cada sitio de muestreo, se obtendrán tasas de incremento a partir de núcleos de madera y correlacionados a través de los sistemas de información geográfica y las imágenes de satélite se escalará la captura de carbono del esquema de PSA a nivel de paisaje. Finalmente se estimará un tabulador para el pago de servicios ambientales por la captura de carbono, en base a la calidad del predio, el potencial de captura y el tipo de ecosistema forestal considerando la composición específica.

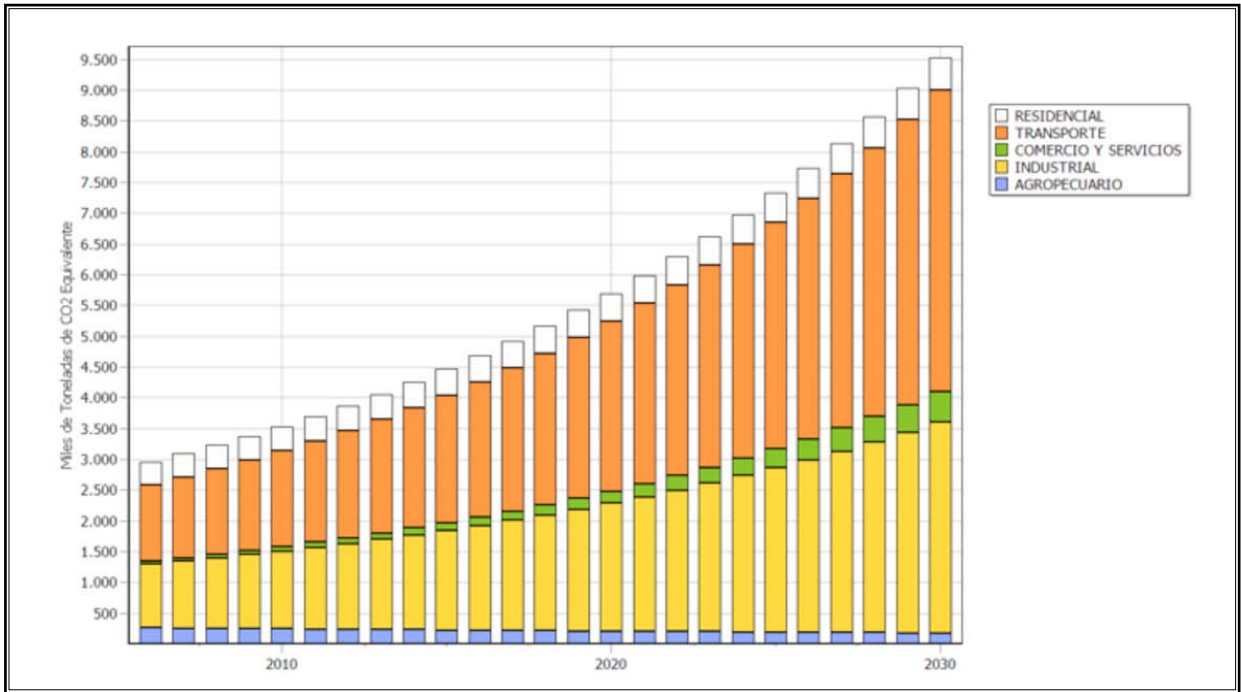


Figura 5.1. Emisiones por quema en los diferentes sectores

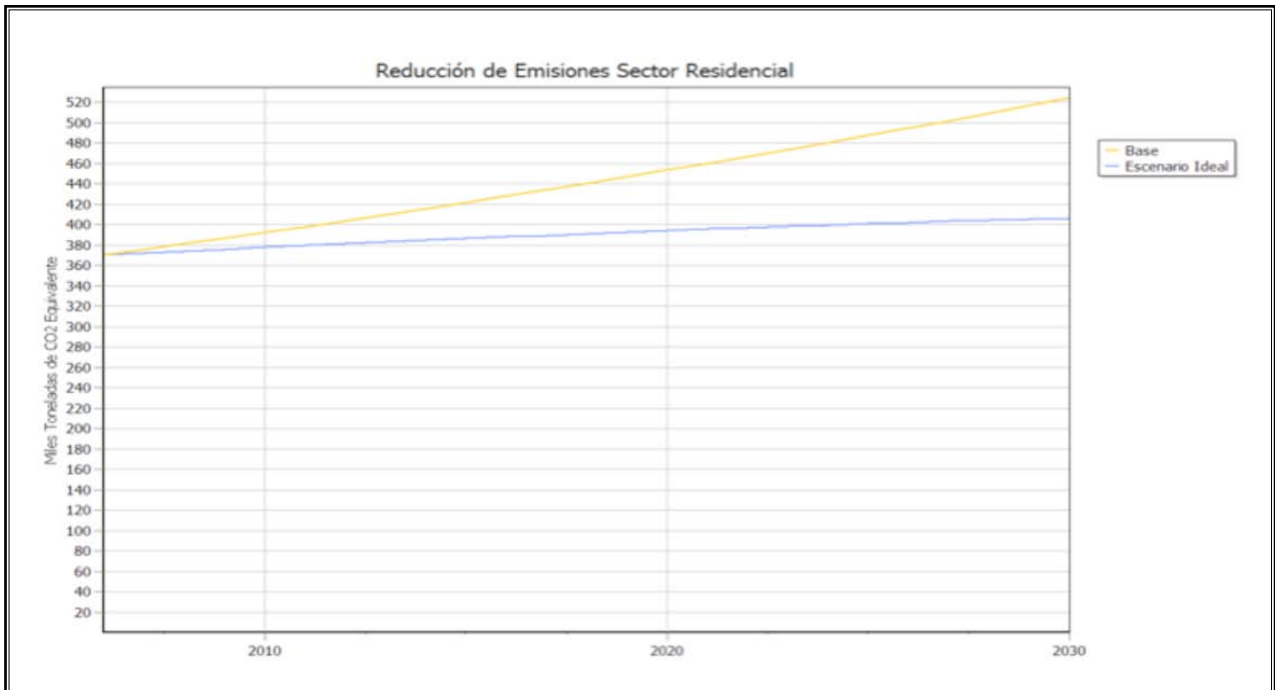


Figura 5.2. Reducción de las emisiones a partir de la implementación de las medidas mitigación.

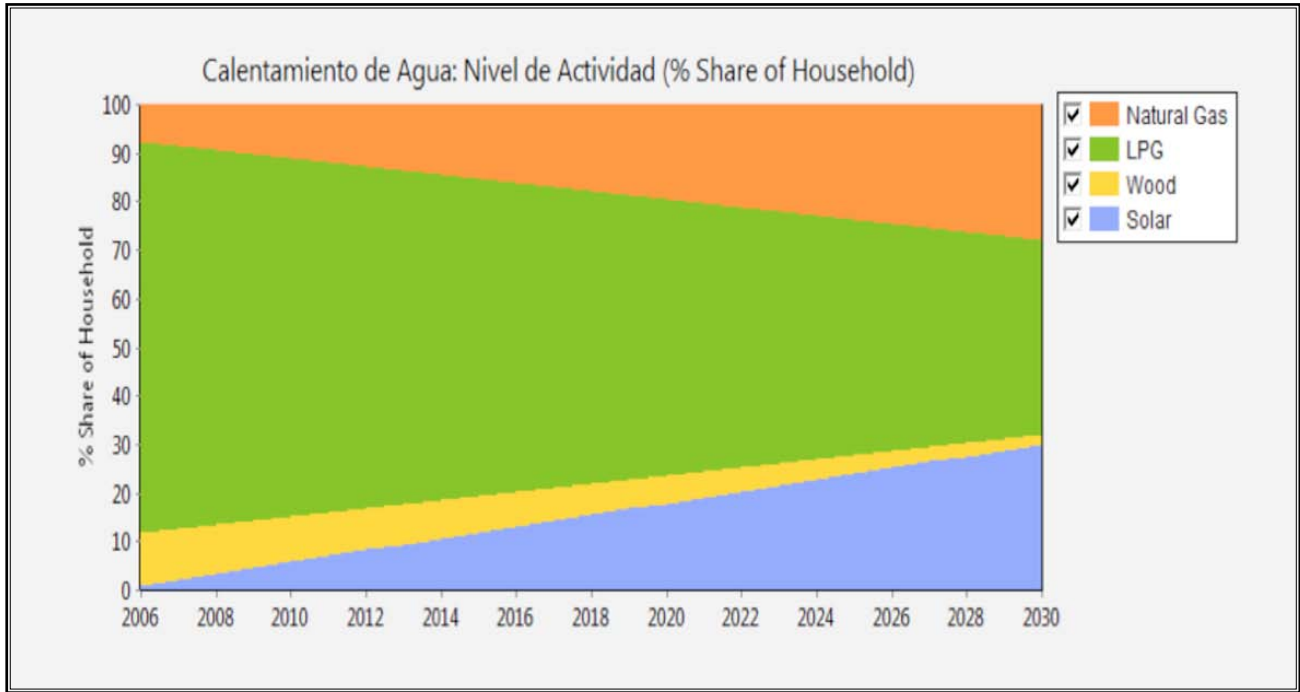


Figura 5.3. Reducción de las emisiones para el año 2030 por la quema de gas L.P. a partir del uso de fuentes alternativas de energía.

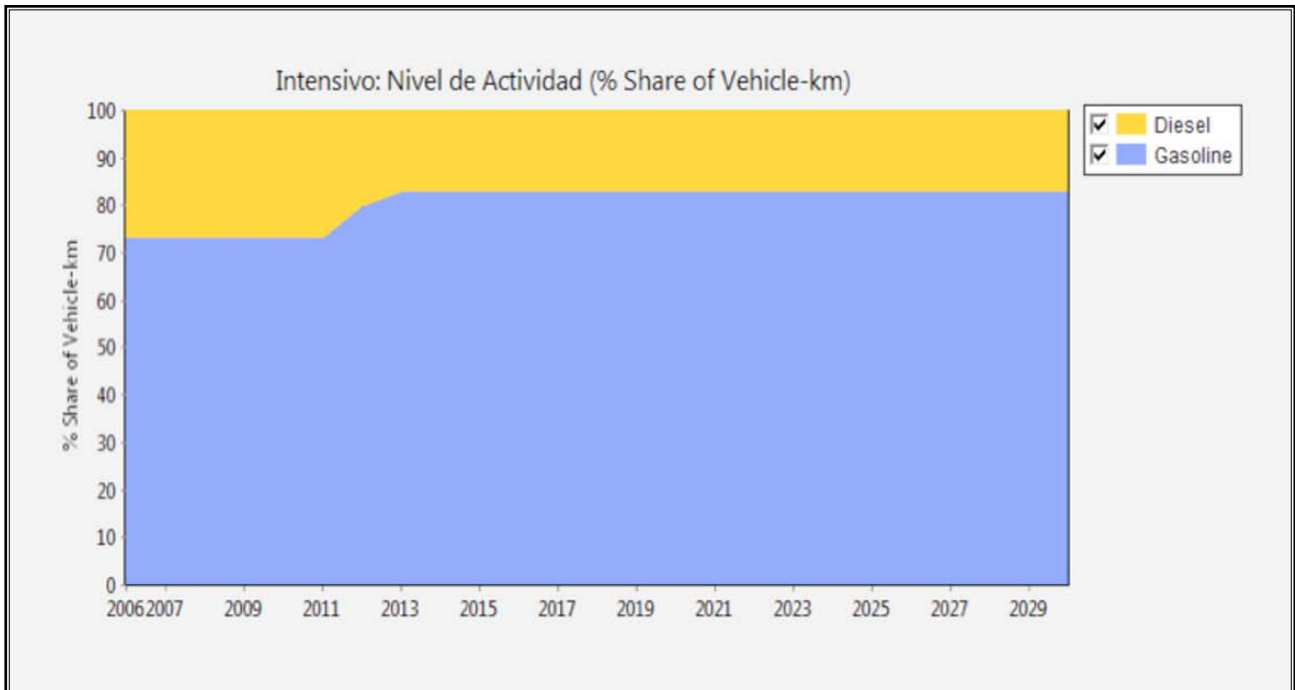


Figura 5.4.Reducción de emisiones por el uso excesivo del transporte privado a gasolina.

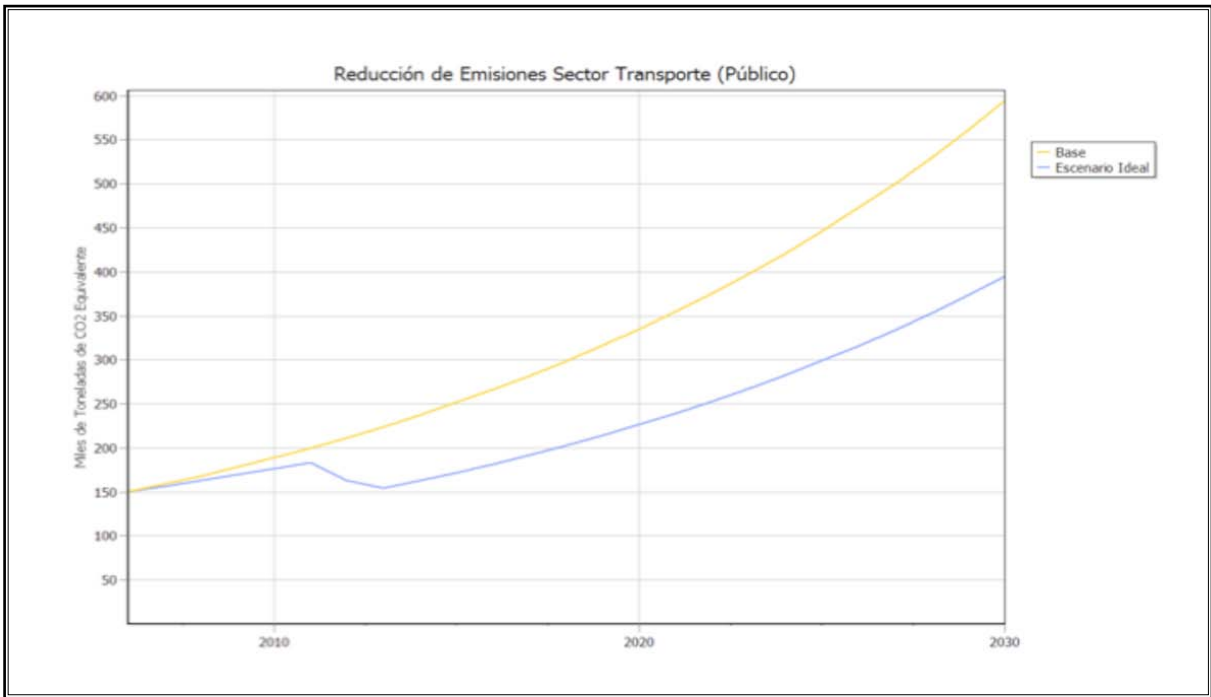


Figura 5.5.Reducción de emisiones por el uso de transporte público.