

DIAGNÓSTICO Y PRONÓSTICO DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA PROVINCIA DE MATANZAS

Mercedes Alemán García

Per citar o enllaçar aquest document:

Para citar o enlazar este documento:

Use this url to cite or link to this publication:

<http://hdl.handle.net/10803/398387>

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

**INSTITUTO DE MEDIOAMBIENTE
PROGRAMA DE DOCTORADO DE
GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TESIS DE DOCTORADO

**TÍTULO:
DIAGNÓSTICO Y PRONÓSTICO DE LA EMISIÓN
DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA
PROVINCIA DE MATANZAS.**

Autora: MSc. Ing. Mercedes Alemán García.

**Tutores: Dr. Ing. Roberto A. González Castellanos.
Dra. María Assumpta Gispert Negrell.**

Abril 2005

Resumen.

Como parte inicial del Diagnóstico de la Emisión de *Gases de Efecto de Invernadero (GEI)*, en la Provincia de Matanzas, se desarrolló un *Inventario Detallado de GEI* tomando como base el año 2002. Este inventario fue el primero realizado en Cuba a nivel provincial y el primero realizado en una fecha tan cercana. La metodología que se empleó para la estimación de las emisiones fue la recomendada en las *Guías Revisadas de 1996* del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (**IPCC**) y para los cálculos se utilizó el *Software para el Libro de Trabajo del Inventario de Gases de Efecto Invernadero*. La información utilizada se obtuvo de las instituciones y empresas provinciales y se utilizaron básicamente los factores de emisión proporcionados por las Guías del **IPCC** y los utilizados por los Inventarios Nacionales realizados para los años 1990, 1994 y 1996. A partir de la identificación de las principales fuentes emisoras y receptoras de **GEI** en la Provincia con el inventario detallado del 2002, y para completar el diagnóstico, se realizó un nuevo Inventario Provincial de **GEI** en el año 2004, considerando solamente los principales emisores y receptores. Se compararon las variaciones existentes entre ambos inventarios y a partir de la tendencia observada en ese periodo, y del análisis de las estadísticas provinciales y nacionales, se realizó el pronóstico de la situación que existiría en la Provincia para el año 2010, de continuar las tendencias actuales. Se analizaron además diferentes posibilidades de Mitigación de las emisiones y se propusieron las medidas que se pueden aplicar en el territorio para mejorar el balance provincial. Para el análisis de las mitigaciones se utilizó el software **GEMIS** en su versión 4.1

INDICE

<i>Resumen</i>	2
<i>Introducción</i>	6
I - Cambio Climático	6
II - Contaminación atmosférica	7
III - Gases de efecto Invernadero	8
a) Gases de Efecto Invernadero Directo	8
1. Dióxido de carbono (CO ₂).....	8
2. Metano (CH ₄).....	9
3. Oxido Nitroso (N ₂ O).....	10
b) Gases de Importancia Radiativa y Fotoquímica	10
1. Monóxido de Carbono (CO).....	10
2. Óxidos de Nitrógeno (NO _x).....	11
3. Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes del Metano (COVDM).....	11
Hidrofluorocarbonos (HFCs), Perfluorocarbonos (PFCs) y Hexafluoruro de Azufre (SF ₆).....	12
4. Dióxido de Azufre (SO ₂).....	12
IV - Efectos de los GEI	13
a) Aportes de los países industrializados y de los países subdesarrollados	14
b) Iniciativas para reducir las emisiones	16
<i>Antecedentes y Objetivos</i>	19
<i>Capítulo 1. Descripción de la zona de estudio: Provincia de Matanzas</i>	22
1.1 Ubicación Geográfica	22
1.2 Hidrografía	22
1.3 Clima	23
1.4 Relieves y Suelos	24
1.5 Desarrollo económico	25
<i>Capítulo 2. Metodología</i>	27
2.1 Planteamiento experimental	27
2.2 Metodología General de Cálculo de las Emisiones de GEI	28
2.2.1 Módulo Energía	29
2.2.1.1 Emisiones de CO ₂	29
2.2.1.2 Emisiones de CO ₂ , método por Categorías de Fuentes.....	31
2.2.1.3 Gases Distintos del CO ₂ Procedentes de la Quema de Combustible por Categorías de Fuentes.....	32
2.2.1.4 Quema de Combustibles: Emisiones producidas por la Generación de Electricidad y las Fuentes Móviles.....	33
Generación de Electricidad.....	33
Metodología de Cálculo.....	34
Fuentes Móviles.....	35
2.2.2 Módulo de Procesos Industriales	37
2.2.2.1 Producción de Cal.....	37
2.2.2.2 Pavimentación de Calles y Carreteras con Asfalto.....	38
2.2.2.3 Producción de Ácido Sulfúrico.....	38
2.2.2.4 Producción de Alimentos y Bebidas Alcohólicas.....	39
Producción de Bebidas Alcohólicas:.....	39

Producción de alimentos:.....	39
Producción de Pan	40
Tostado del Café.....	40
2.2.3. Módulo de utilización de solventes y otros productos.....	41
2.2.3.1 Aplicación de Pinturas	41
2.2.3.2 Desengrase de Metales y otros materiales.	42
2.2.3.3 Industria de las Impresiones (Artes Gráficas).....	42
2.2.3.4 Usos Domésticos de Solventes.....	43
2.2.4 Módulo de Agricultura.	43
2.2.4.1 Ganado Doméstico	44
Emisiones de Metano Procedentes de la Fermentación Entérica.....	44
Emisiones de Metano Procedentes de los Sistemas de Manejo del Estiércol.....	45
2.2.4.2 Emisiones de Metano Producidas Durante el Período de Cultivo del Arroz.....	46
2.2.4.3 Quema en el Campo de Residuos Agrícolas.....	47
Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Distintos del CO ₂ , Producidos por la Quema de Campos de Caña de Azúcar.	47
2.2.4.4 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Procedentes de los Suelos Agrícolas.	48
Emisiones de N ₂ O Procedentes de los Campos de Cultivos excluyendo el Cultivo en Histosoles.....	49
Estimación de las emisiones indirectas de N ₂ O procedentes de la deposición atmosférica de NH ₃ y NO _x y de la lixiviación.....	49
2.2.5 Módulo de Cambio y Uso de la Tierra y la Silvicultura (CUTS).....	49
2.2.5.1 Cambios de Biomasa en Bosques y en Otros Tipos de Vegetación Leñosa.....	50
2.2.6 Módulo de Desperdicios.	51
2.2.6.1 Emisiones de Metano (CH ₄) por la Disposición en la Tierra de Desechos Sólidos.	52
2.2.6.2 Características generales de los residuos sólidos municipales en la provincia de Matanzas... ..	53
2.2.6.3 Cálculo de las Emisiones de Metano (CH ₄).	54
2.2.6.4 Emisiones de Metano Procedentes del Tratamiento de las Aguas Residuales.	56
2.2.6.5 Aguas Residuales Domésticas y Comerciales.....	57
2.2.6.6 Oxido Nitroso Procedente del Excremento Humano.	59
2.3 Metodología para la realización del pronóstico de los escenarios de Mitigación	60
<i>Capítulo 3. Presentación y Discusión de Resultados de los Inventarios de GEI</i>	
<i>(Diagnóstico)</i>	62
3.1 Resultados del Inventario Detallado Año 2002	62
3.1.1 Módulo de Energía.....	62
3.1.1.1 Emisión de CO ₂ en el Módulo Energía.	62
Emisión de CO ₂ en el Sector de la Industria de la Energía.	62
Emisión de CO ₂ en el Sector de la Industria Manufacturera y de Construcción.....	63
Emisión de CO ₂ en el Sector del Transporte.....	63
Emisión de CO ₂ en el Sector Comercial Institucional.	65
Emisión de CO ₂ en el Sector Residencial.	65
Emisión de CO ₂ en el Sector Agricultura , silvicultura y pesca.	66
Emisión de CO ₂ en Otros Sectores no Especificados.	66
Consumos totales de portadores energéticos y emisión de CO ₂ en la provincia.	66
3.1.1.2 Emisiones de SO ₂ en el módulo de Energía.....	69
3.1.2 Módulo de Procesos Industriales.	70
3.1.3 Módulo de Uso de Solventes y Otros Productos.....	70
3.1.4 Módulo de Agricultura.	70
3.1.4.1 Emisiones producto de la Fermentación Entérica y Manejo de Estiércol.	71
3.1.4.2 Emisiones de metano procedente del cultivo de arroz.....	71
3.1.4.3 Emisiones producto de la quema de campos de Caña.	71
3.1.4.4 Emisiones directas procedentes de los suelos agrícolas.	72
3.1.4.5 Emisiones Indirectas de los suelos agrícolas.	72
3.1.5 Módulo de Cambios en el Uso de la Tierra y Silvicultura.	72
3.1.5.1 Absorción de CO ₂	72

3.1.5.1 Estimación del carbono liberado por la quema de la biomasa aérea fuera del bosque.....	74
3.1.5.2 Resumen del módulo	74
3.1.6 Módulo de Desperdicios.....	74
3.1.7 Resumen de los resultados del inventario provincial año 2002.	75
3.2 Resultados del Inventario del año 2004.	77
3.3 Comparación de resultados con inventarios nacionales.	79
3.4 Diagnóstico de la situación actual de los GEI en la Provincia de Matanzas	83
3.5 Conclusiones parciales.....	84
<i>Capítulo 4. Pronóstico para el año 2010 y análisis de posibilidades de mitigación de efectos.</i>	<i>86</i>
4.1 Pronóstico para el año 2010.	86
4.2 Análisis de posibilidades de Mitigación de Efectos.....	89
4.2.1 Introducción a la Mitigación de efectos de los GEI.	89
4.2.2 Posibilidades de Mitigación de Emisiones en las condiciones de Matanzas.	93
4.2.2.1 Módulo de Energía.	93
a) Generación de Electricidad.	93
b) Otros portadores energéticos	94
c) Consumo de combustible en el Transporte.....	94
4.2.2.2 Módulo CUTS.	95
4.2.2.3 Módulo de Desperdicios	95
4.2.2.4 Resumen de las propuestas de Mitigación	97
4.2.3 Evaluación de los escenarios de mitigación.....	98
4.3 Conclusiones parciales.....	104
<i>Conclusiones y Recomendaciones.</i>	<i>106</i>
Conclusiones	106
Recomendaciones.....	107
<i>Referencias Bibliográficas.....</i>	<i>109</i>
<i>ANEXOS:</i>	<i>118</i>

Introducción.

I - Cambio Climático

Hasta hace pocos decenios se contemplaba el Clima como algo esencialmente inamovible. Los climatólogos trataban el clima, a todos los efectos prácticos, como algo estadísticamente estacionario; se centraban en obtener largas series de datos representativos y en resumir las características e impactos de la variabilidad climática tales como los ciclos estacionales, las pautas espaciales, los extremos, etc. Sin embargo, el tema del cambio climático ha subrayado la importancia que tienen también las alteraciones del clima medio y sus consecuencias para los ecosistemas y el hombre [32, 61].

Desde 1896 se sabe que el dióxido de carbono ayuda a impedir que los rayos infrarrojos escapen al espacio, lo que hace que se mantenga una temperatura relativamente cálida en nuestro planeta y esto es lo que constituye el denominado *efecto invernadero*, de importancia vital para todo el ecosistema terrestre. Sin embargo, el incremento de los niveles de dióxido de carbono puede alterar este efecto normal y provocar un aumento de la temperatura global, lo que podría originar importantes cambios climáticos con graves implicaciones globales [2, 69].

En enero de 2001 la Comisión Intergubernamental de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sobre el Cambio Climático presentó un informe en el que se ponía de manifiesto que la temperatura media de la Tierra había aumentado 0,6 grados en el siglo XX. Asimismo este informe prevé que la temperatura media del planeta subirá entre 1,4 y 5,8 °C entre 1990 y 2100. Este aumento provocará cambios en el nivel del mar (desde finales de la década de 1960 ha crecido entre 0,1 y 0,2 m y aumentará entre 0,09 y 0,88 m entre 1990 y 2100), disminución de la cubierta de hielo y nieve (desde finales de la década de 1960 ha disminuido un 10%) y aumento de la temperatura media de los océanos [17].

Algunos científicos han planteado que este incremento en la temperatura podría ser sólo parte de una fluctuación natural. Sin embargo, este último informe de la ONU pone de manifiesto que la actividad humana contribuye sustancialmente a este cambio climático. El calentamiento de la superficie terrestre parece deberse, principalmente, al aumento de la concentración en la atmósfera de gases como el dióxido de carbono.

Por todo esto se considera que el mayor reto que enfrenta la humanidad en estos momentos es la potencialidad que nuestras actividades económicas resulten en el calentamiento global con serias consecuencias para el ecosistema global de la tierra, y eso afectará la forma de vida de las sociedades ricas y pobres por igual. Las consecuencias esperadas –aumento del nivel del mar, afectación a la agricultura, disminución de lluvias, incrementos de riesgos para la salud, turbulencias del tiempo, tensiones sociales- sugieren que hay buenas razones para preocuparse, tanto para los países desarrollados como los países en vías de desarrollo. No se puede permitir que los daños a los sistemas que soportan la vida humana lleguen a ser irreversibles, teniendo en cuenta que el costo de implementar medidas adaptativas futuras sería prohibitivo, por lo que resulta de gran urgencia aplicar de inmediato medidas tendientes a revertir esta situación [6].

II - Contaminación atmosférica

Los problemas relacionados con el medio ambiente en general, y la contaminación atmosférica en particular, son cuestiones de gran actualidad. La introducción a la atmósfera de productos que no forman parte de ella de una forma natural y que de forma directa e indirecta tienen efectos nocivos sobre el ser humano o cosas, es el origen del fenómeno denominado contaminación atmosférica [6].

La atmósfera está compuesta por una mezcla de gases, formada mayoritariamente por nitrógeno y oxígeno, y en cantidades algo inferiores por argón, dióxido de carbono y vapor de agua. Existen además, una gran variedad de otros gases en forma de trazas, algunos de los cuales se presentan, en algunas zonas y momentos, con concentraciones mayores que los niveles normales. Ello es debido a la emisión directa e indirecta de dichos gases como consecuencia de la actividad humana en general, por lo que todo proceso que modifique la composición de la atmósfera puede ser considerado como una fuente de emisión de contaminantes atmosféricos [34].

Entre los principales procesos contaminantes podemos considerar la generación de energía eléctrica, el transporte y los procesos industriales y agrícolas. Los contaminantes que se emiten en cada fuente dependen, cualitativa y cuantitativamente, tanto del combustible utilizado, como del proceso industrial. Así por ejemplo, en un proceso de combustión se emiten: óxidos de nitrógenos (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de

carbono (CO), partículas y dióxido de azufre (SO₂), aunque la contribución de cada uno de ellos depende del combustible utilizado y de las características del proceso de combustión [16].

Una vez que los contaminantes son emitidos a la atmósfera, ésta actúa como medio receptor en el cual tienen lugar reacciones químicas [66]. A veces ocurre que los contaminantes atmosféricos más perjudiciales no son los emitidos directamente como contaminantes primarios, y se forman productos de reacciones químicas entre compuestos emitidos y componentes naturales de la atmósfera [20].

III - Gases de efecto Invernadero

Dentro de los principales efectos que produce la emisión de agentes contaminantes a la atmósfera, se destaca, por su importancia y significado para la tierra, el **efecto de invernadero**, el cual se produce por la acumulación en las capas bajas de la atmósfera de un grupo específico de gases [18]. Por conveniencia, todos son genéricamente referidos como **Gases de Efecto de Invernadero** aunque algunos de ellos no lo son por lo que pueden subdividirse en **Gases de Efecto Invernadero Directo** como el Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Oxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFCs), Perfluorocarbonos (PFCs) y Hexafluoruro de Azufre (SF₆) y **Otros Gases de Importancia Radiativa y Fotoquímica** como el Monóxido de Carbono (CO), Oxidos de Nitrógeno (NO_x), Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos al Metano (COVDM) y Dióxido de Azufre (SO₂). La importancia de estos otros gases viene dada de su papel como precursores de los GEI, modificadores de sus concentraciones en la atmósfera o precursores de aerosoles como es el caso del SO₂ [69-72].

a) Gases de Efecto Invernadero Directo

1. Dióxido de carbono (CO₂).

Es el **GEI** más común producido por las actividades antropogénicas, ya que aporta cerca del 60 % del incremento en el forzamiento radiactivo desde la época preindustrial[27], como se aprecia en la Figura 1. Es tanto un subproducto gaseoso de la naturaleza como un nutriente esencial para las plantas verdes. En su ciclo natural, este es emitido en importantes cantidades por la biosfera y reabsorbido por diferentes sumideros del carbono,

fundamentalmente los océanos y los bosques, y normalmente no permanece en la atmósfera en niveles de concentraciones capaces de provocar problemas sobre el clima.



Estos sumideros naturales captan también cerca de la mitad de las emisiones antropogénicas actuales pero son incapaces de absorber todas estas emisiones, lo que produce la acumulación de este gas en la atmósfera con el consiguiente aumento de las concentraciones, proceso que se ve también incrementado por la destrucción y daño que vienen sufriendo de forma paralela los sumideros. Se estima [55] que anualmente son liberadas a la atmósfera más de 28 billones de toneladas de CO₂ y que de estas, alrededor de 22.4 billones de toneladas provienen de la quema de combustibles fósiles 16.4 billones de toneladas de los países industrializados. Otros 6 billones de toneladas de CO₂ son liberadas en las quemas de los bosques tropicales y otras quemas de biomasa. Durante la época preindustrial, alrededor del año 1750 las concentraciones atmosféricas de CO₂ se mantenían a un nivel cercano a los 280 ppm. En los últimos 200 años este nivel se ha incrementado en un 27 % alcanzando casi los 360 ppm.

Figura 1: Cambios ocurridos en la composición atmosférica durante el último milenio [7]

2. Metano (CH₄).

Es el segundo gas de invernadero en importancia. Aunque sus emisiones son menores que las del CO₂ su potencial de calentamiento global es 21 veces la del CO₂ en un horizonte temporal de 100 años. El CH₄ afecta tanto directa como indirectamente al balance radiactivo del planeta. Además, consume oxidantes en la atmósfera lo que afecta el nivel de ozono troposférico y es también una fuente sustancial de H₂O en la estratosfera. Cerca del 70 % de las emisiones totales de metano (cerca de 370 millones de toneladas) se originan de las actividades humanas. De estas, más del 30 % provienen del minado del carbón, la extracción de petróleo y escapes de gases y otro 60 % proviene de la ganadería, los campos de arroz inundados, la quema de biomasa y la disposición de desechos en los rellenos sanitarios

La mayor parte del metano es destruido en la troposfera por los radicales OH mediante un

mecanismo natural y realmente sólo permanece en la atmósfera el 10 % de las emisiones. Muy poco metano es disuelto en el océano. Sin embargo, las emisiones antropogénicas de CO han contribuido a disminuir la presencia en la atmósfera de los radicales OH, lo que reduce la capacidad de destrucción del metano, aspecto que se señala entre las posibles causas del incremento observado de las concentraciones de este gas de efecto de invernadero.

El valor de fondo preindustrial para las concentraciones de metano en la atmósfera parece ser cercano a 700 ppbv con fluctuaciones naturales del 15 % alrededor de la media. Este valor de fondo se ha más que duplicado en los últimos 200 años. Su distribución atmosférica refleja la geografía de sus fuentes y sumideros. Amplias regiones con elevadas concentraciones de metano, se observan sobre regiones fuentes potentes debido a que la distribución no es completamente homogeneizada por la circulación atmosférica.

3. Oxido Nitroso (N₂O).

Es al igual que el CO₂ y el CH₄ uno de los componentes naturales de la atmósfera terrestre. Es un gas de invernadero y desempeña un importante papel en la química de la estratosfera. Este gas tiene un largo tiempo de vida en la atmósfera, unos 120 años. Como resultado de las actividades humanas, las concentraciones atmosféricas de este gas se han incrementado en cerca del 13 % desde la época preindustrial desde unos 275 ppbv a unos 310 ppbv. Sus mecanismos de formación no se conocen aún con suficiente detalle, aunque se estima que aproximadamente la mitad de los cerca de 13 millones de toneladas de N₂O emitidos cada año a la atmósfera, provienen del uso excesivo de nitrógeno para la fertilización de tierra de cultivos y la producción de ácido adípico (nylon)[73].

La mayor parte de N₂O atmosférico es de origen biológico pues las bacterias en los suelos y océanos liberan N₂O durante diferentes procesos. Las actividades humanas tienden a incrementar la producción biológica de este gas. La agricultura, el cambio del uso de la tierra, la deforestación y los procesos de fijación de nitrógeno, estimula la producción bacteriana del N₂O.

b) Gases de Importancia Radiativa y Fotoquímica

1. Monóxido de Carbono (CO).

El monóxido de carbono no es un gas de invernadero pero influye sobre las concentraciones

de otros gases de efecto de invernadero, ya que este descompone los radicales OH mediante reacciones químicas en la atmósfera y controla las concentraciones atmosféricas del CH₄. Este gas aparece siempre como un producto intermedio del proceso de combustión, aunque la importancia del CO liberado de las instalaciones de combustión no es muy grande. La oxidación de todos los hidrocarburos conduce al CO.

El CO tiene un tiempo de vida químico de aproximadamente tres meses y puede ser ampliamente destruido en la atmósfera. Este gas representa un sumidero fundamental para el radical OH. Existen dificultades para la determinación de sus niveles de concentración y tendencias globales debido a que el número de estaciones de vigilancia en la red mundial es aún insuficiente.

2. Óxidos de Nitrógeno (NO_x).

Los NO_x tienen un corto tiempo de vida atmosférico de un día a una semana lo que provoca grandes variaciones en sus concentraciones. Tienen muy poco efecto sobre el calentamiento global sin embargo, controlan las concentraciones de los radicales OH que conducen a la descomposición del CO₂ y el CH₄ mediante reacciones químicas. Participan también en la formación de ozono. La distribución global de estos gases no está bien definida mediante las observaciones debido a los complejos patrones de fuentes y sumideros y su corto tiempo de vida.

Estos gases poseen dos mecanismos diferentes de formación: la formación del "NO_x del combustible" a partir de la conversión del nitrógeno que forma parte del propio combustible y la formación del "NO_x térmico" a partir de la fijación del nitrógeno de la atmósfera en el proceso de combustión. El primer mecanismo contribuye con más del 80 % del NO_x generado. La segunda vía representa cerca del 20 % y en dependencia de la temperatura de combustión puede reducir su aporte a menos del 10 % [21].

3. Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes del Metano (COVDM).

Constituye una clase de emisiones que incluye una amplia gama de sustancias orgánicas específicas. Los **COVDM** desempeñan un importante papel en la formación de ozono en la troposfera, el cual es un gas de efecto invernadero. Es un importante contaminante local y regional del aire, que causa daños significativos a la salud y al medio ambiente. Puesto que contribuyen a la formación de ozono, los **COVDM** se consideran gases de efecto

invernadero indirecto.

Hidrofluorocarbonos (HFCs), Perfluorocarbonos (PFCs) y Hexafluoruro de Azufre (SF_6).

Los **HFCs** son sustancias químicas que contienen solamente hidrógeno, carbono y flúor y no están controlados por el Protocolo de Montreal, porque no afectan a la capa de ozono y por ello son utilizados para sustituir a los **CFC** que sí afectan esa capa. Uno de los **CFC** más utilizados, el **CFC-12** tiene como principal sustituto al **HFC-134a** en muchas aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado. Otros **HFC** pueden ser utilizados también en aplicaciones de refrigeración, sobre todo como componentes de mezclas.

Los **PFCs** son sustancias químicas que contienen solamente carbono y flúor. Estas sustancias químicas causan preocupación debido a su elevado potencial de calentamiento de la Tierra y a su largo período de permanencia en la atmósfera, pero tampoco están controlados por el **Protocolo de Montreal**, ya que no contribuyen al agotamiento de la capa de ozono estratosférico.

El **SF_6** es un gas de invernadero particularmente potente, cuyo potencial de calentamiento de la Tierra durante 100 años se eleva a 23 900 y tiene una permanencia estimada en la atmósfera de 3 200 años [18].

4. Dióxido de Azufre (SO_2).

Las emisiones de **SO_2** dependen directamente del contenido de azufre en el combustible. Los resultados de los sistemas de observación sobre las diferentes especies atmosféricas del azufre, verifican que las emisiones antropogénicas están influyendo en el ciclo atmosférico global del azufre aún sobre regiones remotas del océano. Estas perturbaciones provienen fundamentalmente de las emisiones de **SO_2** producidas por la quema de combustibles fósiles, las que generan incrementos en las concentraciones de los aerosoles troposféricos. El incremento en las concentraciones de los aerosoles troposféricos por la vía anterior y también por la quema de biomasa y otras fuentes provoca un forzamiento negativo directo e indirecto conducen al enfriamiento de la atmósfera. Este forzamiento no es uniforme en todo el mundo sino que se manifiesta fundamentalmente en aquellas regiones con abundante presencia de aerosoles.

El efecto directo viene dado por la reflexión de la luz solar por parte de las partículas, un proceso que es controlado fundamentalmente tanto por el número como por el tamaño de

las partículas de aerosol, aunque también algunos resultados indican que la masa de las partículas puede ser un factor más importante que el tamaño[14]. El efecto indirecto de los aerosoles que ocurre debido a que, en las nubes, las partículas de origen antropogénico ejercen también un efecto de enfriamiento por la formación adicional de gotas de nube, lo que incrementa la reflexión de la radiación solar por parte de las nubes.

IV - Efectos de los GEI

Dentro de los efectos que produce la emisión y acumulación de los **GEI** [17] se encuentran: el incremento de la temperatura mundial, el incremento de los períodos de sequía en algunas regiones del planeta, el aumento de las inundaciones en algunas regiones con la disminución de las lluvias y aumento de las sequías en otras, deshielo de los casquetes polares y glaciares continentales, con el resultado de severas inundaciones y aumento en el nivel del mar mundial, migraciones de la flora y la fauna de una latitud a otra, aumento de las enfermedades, sobre todo las infectocontagiosas, variaciones en el ciclo e intensidad de los huracanes, y otras muchas, en su mayoría negativas [6].

Diversas fuentes especializadas se refieren a las altas temperaturas que caracterizaron al decenio del 80, como una posible consecuencia del calentamiento global[32]. En efecto, en esta década comenzaron a notarse los años más calurosos desde que se tienen registros confiables, e incluye a seis de los años más calurosos (1989, 1988, 1983, 1981 y 1980). Esta tendencia ha continuado manteniéndose, al punto de que la década del 1990 fue aún más caliente.

La posibilidad de un cambio climático a escala mundial se hace real, debido al significativo incremento observado en las concentraciones de gases de invernadero proveniente de la actividad humana. Esto se ha convertido en una preocupación importante para la comunidad internacional de negociaciones que condujo a la aprobación de la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC** por sus siglas en inglés) siendo el objetivo final de esta Convención lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto de invernadero en la atmósfera, a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.

De acuerdo con estimaciones del **Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC** por sus siglas en inglés) si se mantienen las actuales tendencias en las emisiones de gases

del efecto de invernadero, el calentamiento puede ser mayor o más rápido que cualquier otro cambio ocurrido en el planeta durante los últimos siglos. En consecuencia se producirían cambios climáticos de consecuencias impredecibles [17].

En los debates internacionales sobre medio ambiente y desarrollo, el sector energético ha sido identificado como la fuente más importante de emisión de gases que contribuyen al efecto de invernadero o calentamiento global y, consecuentemente, las medidas para el control de los cambios climáticos están dirigidas en lo fundamental a modificar los actuales patrones de producción y consumo de energía[1, 2]. Se calcula que el sector energético es el responsable de más de la mitad del calentamiento global, debido al predominio de los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo y gas natural) en el consumo de energía. Los combustibles fósiles representan más del 90 % del balance mundial de energía comercial y aportan alrededor de un 70 % de las emisiones de CO₂, que es el principal gas del efecto de invernadero.

a) Aportes de los países industrializados y de los países subdesarrollados

A nivel internacional, los países industrializados con sólo el 15 % de la población mundial son los mayores emisores de los gases que aceleran el calentamiento global. Estos países han basado su desarrollo, en alto grado, en la utilización intensiva de combustibles fósiles y en la actualidad, según cálculos conservadores, consumen el 50 % de la demanda mundial de combustibles fósiles y generan más del 50 % de las emisiones totales de gases del efecto de invernadero [7].

En este sentido, resulta oportuno recordar que la mayoría de los gases del efecto de invernadero tienen una larga permanencia en la atmósfera, de modo que no sólo se trata de analizar la contribución actual de los países industrializados al calentamiento global, sino además los efectos acumulados de tales emisiones, lo cual evidencia la necesidad de examinar la deuda ecológica de estos países con la humanidad desde una perspectiva histórica. Los óxidos nitrosos tienen una permanencia en la atmósfera de alrededor de ciento cincuenta años, el CO₂ entre sesenta y setenta años y los CFC mas de cien años.

Los países subdesarrollados, donde residen las tres cuartas partes de la población mundial, utilizan alrededor del 28 % del consumo global de combustibles fósiles. En el caso del petróleo, por ejemplo, mientras el consumo per cápita de los países altamente industrializados era de 17,1 barriles en 1990, 23,9 barriles en Estados Unidos-, en los países

subdesarrollados eran de apenas 1,7 barriles [45].

El principal aporte de los países subdesarrollados al calentamiento global, está asociado a la destrucción de sumideros de CO₂ por la vía de la deforestación. La deforestación en el Tercer Mundo es provocada básicamente, por las nuevas colonizaciones para fines agrícolas, la extracción de madera y el empleo ineficiente de combustibles tradicionales de la biomasa, como la leña y el carbón vegetal. En general, se estima que a nivel mundial la deforestación aporta alrededor de 14 % del efecto de invernadero (49 % es aportado por el sector energético, 24 % por la industria y 13 % por la agricultura) [7].

En la década de 1973 a 1983 se produjo una notable desaceleración de las emisiones de carbono, al registrarse una tasa de crecimiento del 1 % promedio anual. Esta desaceleración fue el resultado de la severa contracción del consumo energético mundial, condicionada por las elevadas cotizaciones del petróleo vigentes en esa etapa. Bajo el efecto de los altos precios de la energía, que caracterizaron al período 1973-1985, se produjeron importantes cambios en el sector energético de los países desarrollados. Uno de los cambios más trascendentales ocurridos en esos años fue el rápido desarrollo de nuevas tecnologías para la producción y consumo de energía, que se tradujeron en una notable reducción de la intensidad energética de esas economías. En efecto, la intensidad energética de los países altamente industrializados se redujo en alrededor de un 20 % en ese periodo, y se estima que la caída de este indicador se explica entre un 66 % y un 75 % por la innovación tecnológica. Sin embargo, la capacidad de ajuste de los países subdesarrollados a los altos precios del petróleo, prevalecientes durante el decenio del 70 y comienzos de los años 80, fue extremadamente limitada debido, en buena medida, a las severas restricciones financieras y tecnológicas que enfrentan estas naciones en el proceso de industrialización.

En el período de 1990-2030 es probable que la población mundial crezca en 3 700 millones de habitantes y el 90 % de ese crecimiento tendría lugar en las naciones subdesarrolladas; en consecuencia, se estima que la participación de los países subdesarrollados en las emisiones globales de CO₂ aumentaría de un tercio en la actualidad a más de un 50 % en el año 2030 [19, 65]. En el curso de las negociaciones internacionales sobre cambios climáticos, además de observarse el principio de que cada habitante del planeta tenga igual acceso a los recursos de la atmósfera, deben promoverse aquellas fórmulas que permitan a las naciones subdesarrolladas limitar las emisiones de gases del efecto de invernadero y, al

propio tiempo, sentar las bases para un proceso de desarrollo socioeconómico sostenido.

b) Iniciativas para reducir las emisiones

Con el propósito de estabilizar y luego reducir las emisiones de CO₂, se ha lanzado en algunos países desarrollados la propuesta de poner en práctica nuevos impuestos energéticos lo que ha chocado con la oposición del empresariado, el cual aduce las posibles pérdidas de competitividad asociadas a esta práctica y está condicionada a la aplicación de acciones similares en otros países. En el área subdesarrollada los más afectados con la generalización de los impuestos energéticos serían los países exportadores de petróleo, los cuales han expresado su rechazo a tales políticas impositivas, por considerarlas como "una amenaza a sus medios de vida". Si llegaran a generalizarse las políticas de impuestos energéticos en el área industrializada y se hicieran realidad los pronósticos antes señalados, los países desarrollados debieran asumir la responsabilidad que les corresponde en la compensación de las pérdidas que puedan sufrir los países subdesarrollados. Por ejemplo, una parte de los recursos captados mediante impuestos energéticos pudiera transferirse al Tercer Mundo como financiamiento para el desarrollo sustentable.

Dentro del conjunto de propuestas con vista al logro de un acuerdo internacional para enfrentar los cambios climáticos, los permisos de emisión negociables suelen presentarse como los más efectivos, flexibles y equitativos. De acuerdo con los partidarios de estos mecanismos, el objetivo fundamental sería evitar la contaminación por la vía de la elevación de los costos, de tal manera que resulte más conveniente reducir las emisiones que asumir los costos.

Una de las principales ventajas que ofrecen los permisos de emisión negociables, a juicio de sus promotores, es que contribuyen a limitar las emisiones de gases del efecto de invernadero y, al mismo tiempo, garantizan los necesarios flujos de recursos financieros y de tecnologías hacia los países subdesarrollados. Se parte del supuesto de que se realice, por ejemplo, una distribución per cápita de los permisos de emisión, de tal forma que los países subdesarrollados tengan un "excedente" de permisos de emisión y los países desarrollados un déficit. Así, los países subdesarrollados que vendan los permisos "sobrantes", recibirían a cambio recursos financieros o tecnologías, que implicarían para realizar inversiones dirigidas a mejorar la eficiencia de sus economías.

Este mecanismo de mercado, aplicado entre agentes económicos con niveles de desarrollo tan desiguales, tiende a favorecer a aquellos que tienen mayor poderío económico. Teniendo en cuenta este peligro, algunos autores han propuesto un esquema alternativo de intercambio de permisos de emisión que excluye al sistema de libre formación de precios de los permisos y, de esta forma, se tiende a proteger a los países más pobres. En sentido general, cualquier iniciativa para hacer frente a los cambios climáticos debe partir de reconocer la responsabilidad de los países altamente industrializados con las emisiones históricas de gases del efecto de invernadero importante componente de la deuda ecológica.

Inventarios de Gases de Efecto Invernadero.

Una de las técnicas que existen para conocer la cantidad de gases que se emiten a la atmósfera en un área determinada es mediante la realización de **Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero**, lo que constituye una de las partes fundamentales de este trabajo. El inventario, como procedimiento metodológico de gran utilidad y de alcance internacional ha sido preparado en el marco del Programa Ramal Científico Técnico “**Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano**” coordinado por la Agencia del Medio Ambiente de Cuba y también como parte de las actividades del Proyecto del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (**PNUD**).

Los inventarios no solo contribuyen a mejorar los estimados de las emisiones globales sino que proporciona el basamento para la ejecución de diferentes acciones según sea necesario, las proyecciones de las probables emisiones en el futuro, así como la identificación y evaluación de estrategias de mitigación de las emisiones en el territorio. Los inventarios nacionales de **GEI**, no constituyen un ejercicio académico, sino una necesidad vital para conservar y mantener al ser humano y su entorno. Aquí se manifiesta una contradicción entre la conservación del medio ambiente y el desarrollo, que serán antagónicos, si los encargados de tomar las decisiones, desde la base hasta los más altos niveles, no toman en consideración estas realidades, si por el contrario, actúan en forma consecuente, se puede materializar un desarrollo sostenible [46]. He aquí la importancia del inventario, pues enseña dónde se está en relación con las emisiones, a dónde se puede llegar y qué se debe hacer. Esta interiorización del fenómeno es tarea de todos, dirigidos y dirigentes, de esta

forma, con la confección del inventario se logra la apropiación de una herramienta que ayuda a preservar las especies y elevar la calidad de vida [36].

El primer **Inventario de Gases de Efecto de Invernadero** en una Provincia cubana, fue el desarrollado en este trabajo con datos base del año 2002 y permitió valorar las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera por los diferentes sectores de la economía y determinar los que más aportan al balance provincial. Posteriormente, se realizó un **Inventario Parcial de Emisión de GEI** para el año 2004, considerando en ese caso solamente las fuentes emisoras más importantes detectadas en el inventario del 2002, lo que permitió completar el diagnóstico de la situación actual de la Provincia y realizar el **pronóstico** del para el año 2010, de mantenerse la tendencia actual sin aplicar medidas especiales de mitigación, y proponer las medidas de mitigación de emisiones con mayores posibilidades de aplicación en las condiciones actuales del territorio.

Antecedentes y Objetivos.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (**UNFCCC** por sus siglas en inglés) fue firmada por Cuba durante la **Cumbre de la Tierra**, ratificada en 1994 y entró en vigor el 5 de abril de 1994. Con ello el país se comprometió a: “Elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la **Conferencia de la Partes**, inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el **Protocolo de Montreal**, utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la **Conferencia de las Partes**” [16].

Todos los países signatarios de la **UNFCCC** realizan Estudios de Inventarios de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero a nivel nacional, con el empleo de las metodologías definidas por el *Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)* [40], las que constituyen un valioso documento metodológico aplicable no solo a escala nacional sino también a nivel regional [36]. En Cuba se ha trabajado en el tema de cambio climático desde hace algunos años previos a la Cumbre de la Tierra, y las actividades se fortalecieron posteriormente a ésta. A finales de 1996, con la incorporación de Cuba a la Segunda Fase de Programa del Cambio Climático y la creación del Grupo Nacional del Cambio Climático, se realizó el primer **Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto de Invernadero** [43] con datos base del año 1990 y alcance nacional, luego se realizaron otros dos inventarios nacionales con datos bases del año 1994 y 1996 [5, 62] y en la actualidad se encuentran en fase de elaboración el inventario del año 1998.

El desarrollo económico y social del país en los últimos años ha estado muy ligado a la influencia de la situación internacional, la desaparición del campo socialista en Europa y especialmente la desintegración de la Unión Soviética, lo que repercutió drásticamente en la economía cubana y hace que el país se vea obligado a depender de sus recursos propios, a reorientar su economía a sectores generadores de ingresos, como el turismo, y a la búsqueda de nuevos mercados y fuentes de financiamiento. Todo lo anterior ha introducido modificaciones considerables e inevitables en la situación actual, la que difiere bastante de los inventarios antecedentes, siendo su influencia muy variada a partir de un análisis regional.

Todas las provincias del país introducen modificaciones en sus emisiones pero con diferente intensidad y variedad de sectores, sin embargo hasta el momento no se han realizado en el país **Inventarios de Emisiones de GEI** por provincias, lo que permitiría identificar y evaluar esta problemática a nivel territorial, y ayudaría a sensibilizar a la opinión pública, al sector empresarial y a las autoridades regionales con un problema que es de todos. La recopilación de información territorial constituye un elemento importante de apoyo a los Inventarios Nacionales, ya que con ellos se reduce la influencia de los datos no identificados y la incertidumbre de los estimados.

Casi la totalidad de los inventarios de **GEI** realizados en el mundo han sido a nivel nacional, y sólo hay unos pocos realizados a nivel regional, entre los que se destaca el proyecto “**Medidas para implementar la Convención Marco sobre Cambio Climático**”, que consistió en un estudio regional desarrollado en la provincia de *Quang Ninh* de la República de Viet Nam, [60] provincia que cuenta con los mayores yacimientos de carbón de Viet Nam y que tiene además un fuerte desarrollo turístico. La filosofía de ese proyecto estuvo muy ligada a los objetivos del programa internacional, pero se centró en resolver los problemas locales en la provincia que pueden tener efectos positivos sobre el sistema climático global, teniendo en cuenta que a la vez, la protección del clima puede abrir nuevas oportunidades para resolver los problemas regionales.

Por su parte, la provincia de *Matanzas* presenta particularidades importantes dentro del balance económico del país y la dinámica de desarrollo en los últimos años que hacen que su papel en Cuba sea muy similar al de la Región de Quang Ninh en Viet Nam. Por lo antes expuesto se aprecia que el **Problema Científico** a resolver es el siguiente:

En Cuba no se han realizado hasta el momento Inventarios de GEI a nivel Provincial, y eso ha impedido que se obtenga la información necesaria para elaborar Diagnósticos de la situación actual de las provincias con relación a los GEI, hacer el Pronóstico de las perspectivas de cambio en un horizonte dado de tiempo y Recomendar un conjunto de medidas para Mitigar las emisiones, lo que es especialmente importante en el caso de una Provincia como Matanzas de tanto peso en la situación nacional.

Como **Hipótesis del trabajo** para la solución de este problema se propone:

“La dinámica de desarrollo de la Provincia de Matanzas, la disponibilidad de información en la base, el personal calificado y los recursos locales, hacen posible realizar Inventarios Provinciales de Emisión de Gases de Efecto Invernadero con la misma metodología utilizada para los Inventarios Nacionales, con lo que se puede obtener la información necesaria para realizar el Diagnóstico de la situación actual de la Provincia de Matanzas con relación al Balance de GEI, realizar el Pronóstico de la evolución futura de esta situación y proponer la Mitigación de los efectos de los GEI, mediante la promoción de soluciones a nivel territorial, para el control de dichas emisiones”.

Por consiguiente el **Objetivo General del Trabajo** es:

“Realizar, con el uso del personal calificado y los recursos locales, el Diagnóstico de la situación actual de la Provincia de Matanzas en relación con los Gases de Efecto de Invernadero (GEI) y el Pronóstico de la magnitud de la emisión y fijación de los GEI para el año 2010 a partir del análisis de las informaciones acopiadas con Inventarios Provinciales de emisiones de GEI, y con esa base Proponer un grupo de Medidas de Mitigación de Emisiones que en las condiciones de la Provincia, permitan mejorar la situación futura”.

Desarrollo

Capítulo 1. Descripción de la zona de estudio: Provincia de Matanzas.

1.1 Ubicación Geográfica.

La Provincia de Matanzas se ubica desde los 22° 01' hasta los 23° 15' de latitud norte y desde los 80° 31' hasta los 82° 09' longitud oeste [50]. El área total del territorio es de 11978.2 km², lo que hace a Matanzas la segunda provincia en extensión del país y la novena en el país por su población. La Provincia limita al norte con el estrecho de la Florida, al este con las Provincias de Villa Clara y Cienfuegos, al sur con el Mar Caribe y al oeste con la Ensenada de la Broa y la Provincia de La Habana. En la figura 1.1 se muestra su ubicación geográfica [57].

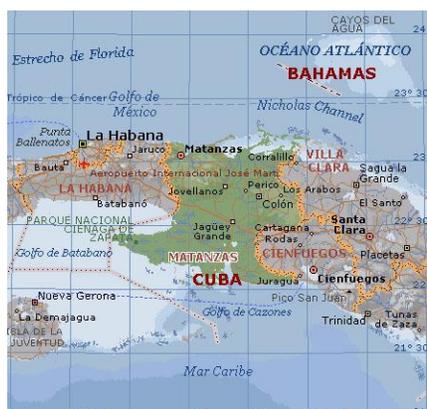


Figura 1.1 Ubicación Geográfica de la Provincia (56)

1.2 Hidrografía.

El potencial hídrico de la provincia es de 3044.02 Hm³, de los cuales corresponden el 48% a las aguas superficiales y el 52% a las aguas subterráneas. En el territorio están presentes 7 cuencas subterráneas. Otro receptor de agua dulce es la Laguna del Tesoro con 9 Km²,



ubicada al sur de la provincia, aunque la explotación de los recursos hídricos en la provincia se realizan fundamentalmente sobre la base de las aguas subterráneas [57]. En la figura 1.2 se muestra la red de corrientes

superficiales en la Provincia [50].

Figura 1.2 Aguas superficiales en Matanzas (49).

1.3 Clima.

De acuerdo a la clasificación de Köppen en el territorio se presenta un clima *Tropical Húmedo de Sabana* con dos estaciones claramente definidas: período lluvioso, donde precipita alrededor del 70 % de la lluvia que cae en el territorio y estación poco lluviosa [4],[9] con apenas un 30 % del acumulado provincial. En el territorio provincial se definen también cuatro períodos térmicos, un verano, un invierno y dos períodos de transición, los que difieren ligeramente en tiempo de ocurrencia en dependencia de la ubicación geográfica. La temperatura promedio mínima y máxima son 19.3° C y 30° C siendo la temperatura promedio general de 24.9° C [9].

La provincia se caracteriza por tener 3 principales franjas climáticas, dos costeras, una al norte y otra al sur, y en el centro de la provincia, coincidiendo con la gran llanura central. La diferencia principal entre las fajas costeras y el centro de la provincia está dada en la variación diurna de la temperatura en cada una de ellas, siendo en la región central de la provincia la zona de más variación, donde suelen ocurrir los eventos extremos de temperatura mínima y máxima.

El evento más peligroso que afecta la provincia es la tormenta tropical (depresión, ciclón o huracán), aunque aparecen también con cierta frecuencia tormentas locales severas de gran poder destructor.

Sobre el territorio influye mayormente masas de aire con alto contenido de humedad, siendo esta una de las características más importantes de la provincia la elevada humedad relativa en todos los meses del año [11], factor este que influye en el empeoramiento de la calidad del aire al ponerse en contacto con los gases emitidos producto de la combustión originándose nuevas reacciones químicas perjudiciales para la flora, la fauna y el hombre en general.

En áreas de desarrollo urbano e industrial la transformación del medio es marcada. A éstas se asocian la contaminación ambiental con la emisión de sustancias químicas y partículas en suspensión en la atmósfera, unido a lo cual se establecen nuevas relaciones y, por ende, se transforma el clima local que, en ocasiones, atenta contra el bienestar de la población. Es

conocido cómo en algunas ciudades altamente industrializadas del mundo, se dan muchos efectos nocivos al hombre, precisamente productos de la contaminación atmosférica. El caso más importante en nuestra provincia se tiene en la ciudad de Matanzas, pero hasta el momento no se ha podido establecer los efectos de la urbanización y el desarrollo industrial sobre el clima local.

1.4 Relieves y Suelos.

El relieve de la provincia es mayormente llano. Sus suelos son de alta agro productividad, predominando los ferralíticos con 57.50 %, los húmicos calcimórficos con 20.04 % y los pardos con carbonatos con 10.44%. Las llanuras alcanzan aproximadamente el 80% del territorio provincial. Destacándose la gran llanura central, de tierras muy fértiles y donde se lleva a cabo la mayor parte de la explotación agrícola y azucarera de la provincia. Otra gran región llana lo constituye la Ciénaga de Zapata, una gran área de terrenos bajos, que limitan al norte con la llanura central y que se destaca por ser el mayor humedal del Caribe Insular,



la que se diferencia fundamentalmente por el grado de humedecimiento del territorio y por el tipo de suelo turboso sobre el cual se desarrolla una exuberante vegetación. Todo esto le impone peculiaridades a esta región que se manifiestan en su mesoclima. En la Figura 1.3 se muestra un refugio de aves en la Ciénaga de Zapata.

Figura 1.3 Humedal Ciénaga de Zapata (3)

Este gran paisaje llano se ve interrumpido por dos grupos de pequeñas elevaciones, uno, en la porción noroeste del territorio, perteneciente al grupo Habana – Matanzas (Figura 1.4) y otro, cubriendo un área al centro y oeste de la provincia, perteneciente al grupo Bejucal - Madruga – Coliseo [4].

Las principales alturas son, en el grupo Habana – Matanzas, el Pan de Matanzas con 389 metros sobre el nivel medio del mar (msnmm) y en grupo Bejucal-Madruga-Coliseo, la Loma de Jacán con 316 msnmm. En esas regiones de las alturas Habana Matanzas y del bloque Bejucal-Madruga-Coliseo, su complicado relieve, caracterizado de forma general por valles, elevaciones, mogotes, etc., sugiere el desarrollo de mecanismos locales de circulación y de fenómenos meteorológicos asociados a las mismas, pero que aún no han

sido estudiados. Se tienen sólo algunos criterios muy elementales de las peculiaridades micro climáticas en el área del Valle del Yumurí.



En la actualidad, cuando se habla de las condiciones físico-geográficas, el factor hombre, como agente modificador del medio adquiere gran importancia, si tenemos en cuenta que la mayor parte de la naturaleza presenta ya un alto grado de antropización. En Matanzas, escasas zonas han escapado a la mano del hombre. La agricultura incorpora las **Figura 1.4**

Alturas Habana Matanzas (4)

tierras al laboreo, lo que en muchos casos, independientemente de que se establece un tipo de vegetación cultural, hace que durante su preparación los suelos queden totalmente expuestos, lo que altera la intensidad y la dirección del intercambio entre la tierra y la atmósfera [50].

1.5 Desarrollo económico.

La provincia de Matanzas tiene nivel de desarrollo económico relativamente alto y ejerce por ello una considerable atracción para la migración interna. En la figura 1.5 se muestra la tasa de migración interna por 1000 habitantes para las provincias de Cuba en el año 2003, y en la misma se aprecia que Matanzas tiene la segunda más alta tasa de migración interna positiva en el país [19].

Se debe señalar además que en Matanzas se encuentra el mayor Plan cítrico del país, el mayor yacimiento de petróleo del país, cuya explotación se incrementa continuamente, ,está ubicada la principal **Base de Super Tanqueros**, la que constituye el nudo de recepción, tratamiento y distribución de los mayores volúmenes de combustible manipulados en el país, asegura el suministro de este combustible a las principales centrales eléctricas del país, principales consumidoras del crudo nacional, y además es sede del principal polo turístico del país, ubicado en la playa de Varadero. En el territorio se encuentra instalada la **Central Termoeléctrica Antonio Guiteras**, la mayor unidad del país, la cual en la actualidad y desde septiembre del año 2002 se encuentra quemando petróleo crudo para la generación de electricidad, por lo que es responsable de una parte considerable de la emisión de gases de

efecto de invernadero a la atmósfera. Y está instalada además la unidad de generación de electricidad con turbinas de gas de la Empresa Energas, que emplea el moderno ciclo combinado con una alta eficiencia [50]

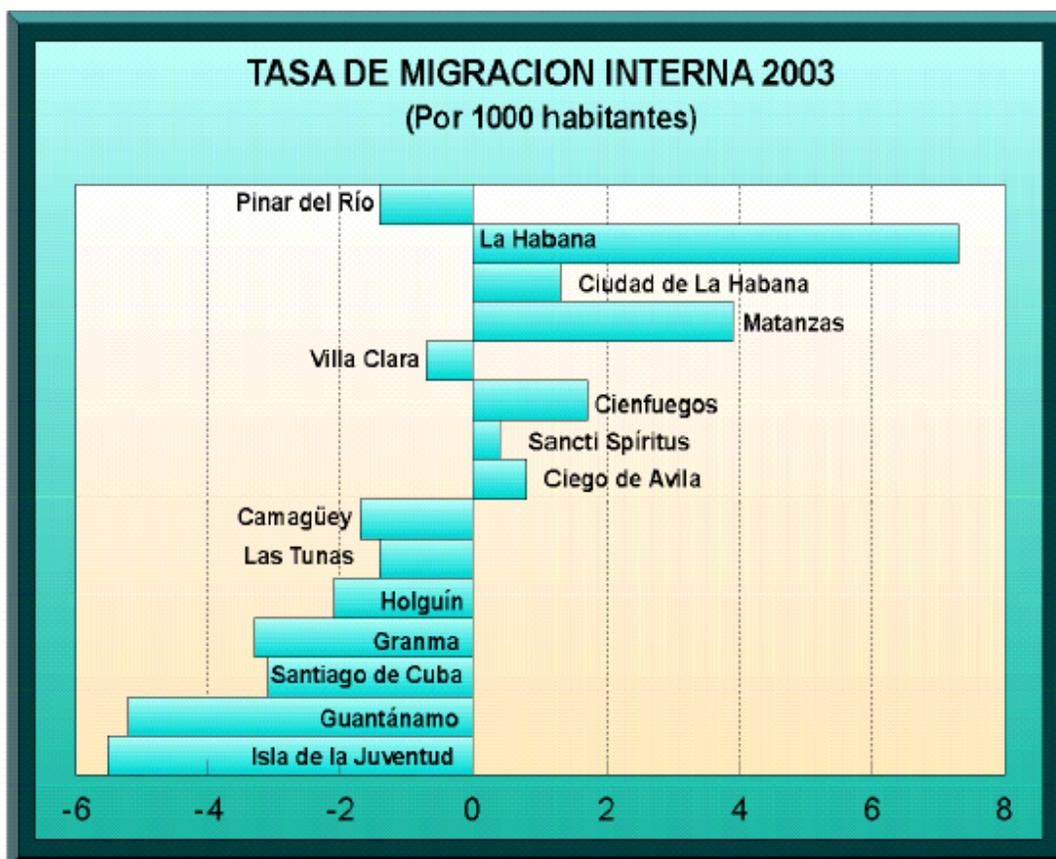


Figura 1.5 Tasa de migración interna en Cuba, año 2003 (18).

Capítulo 2. Metodología

2.1 Planteamiento experimental

Como base inicial para el trabajo se planificó la realización de un **Inventario Detallado de los GEI en la Provincia de Matanzas**, para poder conocer cuáles son las principales fuentes emisoras y receptoras de los **GEI** en la Provincia. El año escogido para ese Inventario fue el 2002, por ser el año más reciente del que se podía obtener información completa al inicio de la investigación. A partir del análisis de la información obtenida con ese inventario, se planificó un **Segundo Inventario Provincial de GEI** lo más actual posible, por lo cual sólo se tuvieron en cuenta las fuentes emisoras y receptoras más importantes del territorio, y para ello se seleccionó el año 2004. De esa forma se estaría en condiciones de realizar el **Diagnóstico de la situación actual de la Provincia de Matanzas** con respecto a los **GEI** y se tendría información sobre la tendencia en la variación del balance de **GEI**, lo que unido a las previsiones de desarrollo del territorio, permitirían realizar el **Pronóstico del Balance de GEI en la Provincia para el año 2010**.

Para la realización de los dos Inventarios de **GEI** en la Provincia se siguieron los procedimientos normados por el **IPCC** y empleados en los Inventarios Nacionales realizados en los años 1990 y 1994. En la figura 2.1 se muestra en diagrama de flujo de los procedimientos llevados a cabo para alcanzar los objetivos propuestos en este capítulo.

Las tareas a desarrollar para la elaboración de un inventario de **GEI** son las siguientes [40, 41]:

- a) **Especificar el área geográfica de estudio**: En este caso es la provincia de Matanzas en sus límites socio políticos
- b) **Definir las fuentes emisoras que se pretenden tener en consideración**: Los módulos propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (**IPCC**) para un inventario completo de **GEI** son: *Energía, Procesos Industriales, Solventes y Uso de Otros productos, Agricultura, Cambios en el Uso de la Tierra y la Silvicultura (CUTS) y Desperdicios*, [40] por lo cual en el Inventario Detallado se consideraron todos estos módulos, mientras que para el inventario parcial se tomaron en cuenta solamente los módulos que resultaron más significativos en el Inventario Detallado.

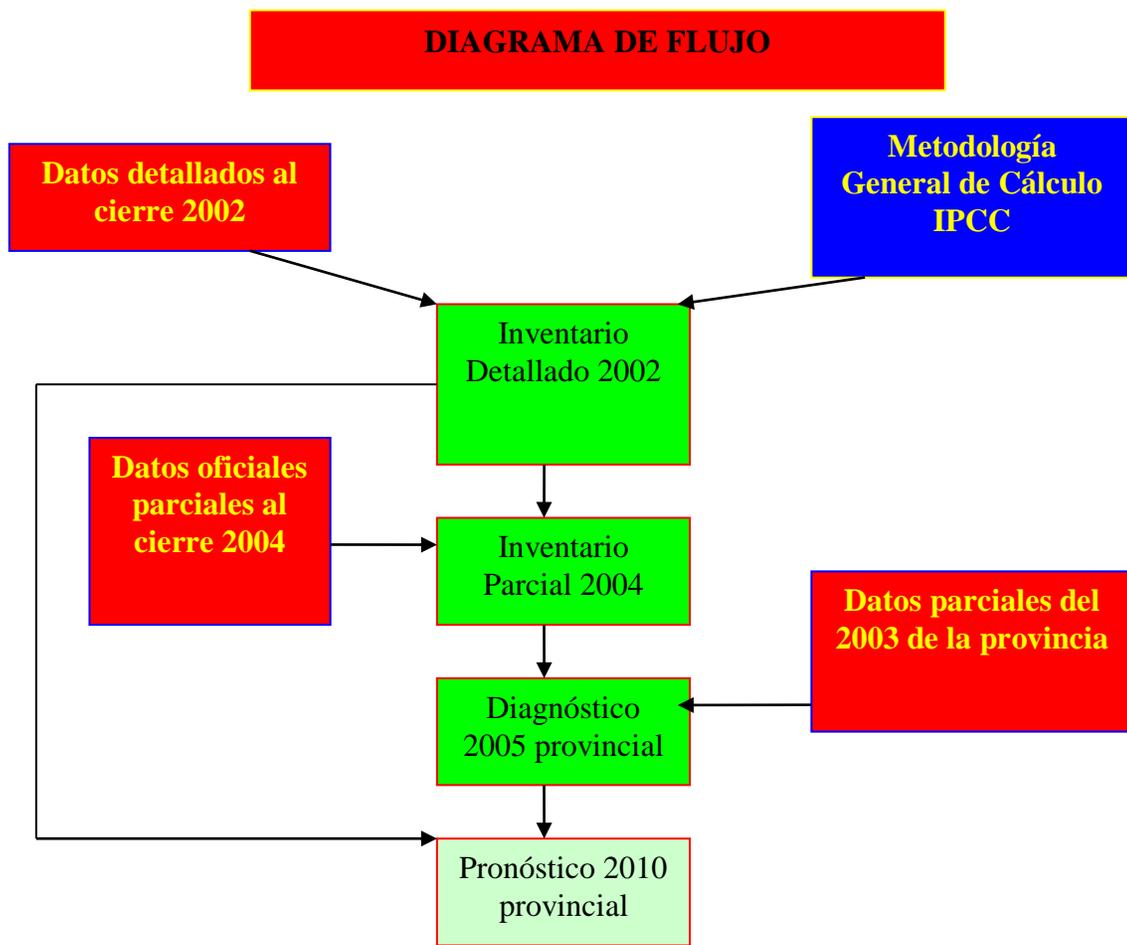


Figura 2.1 Diagrama de flujos de procedimientos para alcanzar el Pronóstico 2010.

- c) **Definir la resolución temporal con que se va a describir las emisiones.** La resolución temporal seleccionada fue un año, escogiéndose el año 2002 para el Inventario Completo y el año 2004 para el Inventario Parcial, de manera de poder contar con la información más actual en el territorio
- d) **Calcular la emisión de los diferentes gases provocadores del efecto de invernadero.**

2.2 Metodología General de Cálculo de las Emisiones de GEI.

Para el **Inventario Detallado del 2002** se hizo uso de la metodología del software preparado por el **IPCC** para del inventario de gases de invernadero del grupo I, desarrollado en colaboración con la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (**OECD**) y la Agencia Internacional de Energía (**IEA**)[38]. Este software está

basado en la aplicación Microsoft Excel y sigue a las Guías Revisadas del **IPCC** 1996 [38, 39].

La metodología general de cálculo empleada para estimar las emisiones en cada proceso industrial comprende el producto de datos de actividad por ejemplo, cantidad de material producido o consumido y un factor de emisión asociado por unidad de consumo o producción de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{TOTAL}_{ij} = A_j \times E_{fij} \quad (1)$$

Donde:

TOTAL_{ij} = La emisión del proceso, toneladas del gas i del sector j .

A_j = Dato de la actividad del proceso en el sector j .

E_{fij} = Factor de emisión asociado con el gas i por unidad de actividad.

2.2.1 Módulo Energía.

En este módulo se aborda el estimado de las emisiones de gases de efecto invernadero y SO_2 procedentes de las actividades energéticas, específicamente debido a la quema de combustibles. Los gases más significativos originados en los procesos de combustión son el dióxido de carbono (CO_2), los óxidos de nitrógeno **NO** y **NO₂** simbolizados conjuntamente como **NO_x** y el dióxido de azufre (**SO₂**). También de significación cuantitativa son las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles (**COV**) que se desglosan en los diferentes al metano (**COVDM**) y en metano (**CH₄**), de monóxido de carbono (**CO**), de óxido nitroso (**N₂O**) y a un nivel casi marginal el amoníaco (**NH₃**).

2.2.1.1 Emisiones de CO₂.

Cuando se queman los combustibles la mayor parte del carbono se emite inmediatamente como CO_2 durante el proceso de combustión. Otra parte menor se libera como CO , CH_4 o hidrocarburos distintos al metano, los que se oxidan a CO_2 , el que se mantiene en la atmósfera desde que son emitidos hasta 10-11 años. Con este método se aborda el cálculo de las emisiones de CO_2 a partir del contenido de carbono de los combustibles suministrados al país tomado en su conjunto. En la contabilización de los combustibles suministrados a la economía se diferencian los combustibles primarios, que son aquellos que se encuentran en estado natural como el carbón, el petróleo crudo y el gas natural, y los combustibles secundarios o productos combustibles, como son la gasolina y los lubricantes

que se derivan de los combustibles primarios.

La contabilización del carbono se basa, principalmente, en el suministro de combustibles primarios y en las cantidades netas de combustibles secundarios producidos en el país. En el **anexo 1** se muestra la tabla donde se realizan estos cálculos. El Consumo Aparente es la base para la estimación del suministro de carbono en la provincia y para su cálculo se procede de la siguiente forma:

$$\text{Consumo Aparente} = \text{Producción} + \text{Importaciones} - \text{Exportaciones} - \text{Depósitos Internacionales} - \text{Cambios en las Existencias} \quad (2).$$

Consideraciones:

- a) Para cada combustible, se suman las cifras de producción (si procede) y las importaciones, restándose la exportación, el combustible destinado al transporte marítimo y aéreo internacional y los cambios en las existencias.
- b) En el cálculo se ignora la producción de combustibles secundarios ya que el carbono de esos combustibles está contabilizado en el suministro de los combustibles primarios de los que se derivan.
- c) No todo el combustible que ingresa a la provincia se quema para obtener energía calorífica. Parte se utiliza sin finalidad energética en que no ocurre oxidación de carbono, como es el caso del asfalto para pavimentación y la nafta que se utilice como materia prima.
- c) Las emisiones procedentes del uso de los combustibles en el transporte marítimo aéreo internacional se excluyen de los totales nacionales de emisiones. Estas emisiones se asignan a "depósitos internacionales" lo que se puede apreciar en los anexos 4 y 5.
- d) Un incremento en las existencias es un cambio positivo de las mismas, una reducción de las existencias es un cambio negativo que aumentará el Consumo Aparente.

El Consumo Aparente se convierte a una unidad común de energía (TJ) al multiplicarlo por el Valor Calorífico Neto (VCN) de cada combustible (anexo 2). Los factores de conversión (TJ/10³ t) están calculados sobre la base de los valores calóricos que son utilizados en las estadísticas oficiales de la provincia. Posteriormente el Consumo Aparente en unidades de energía es multiplicado por un Factor de Emisión de Carbono para obtener el contenido de carbono[22]. A este contenido de carbono se le resta el carbono almacenado para obtener las Emisiones Netas de Carbono, las que se multiplican por la fracción de carbono oxidado

para obtener las Emisiones Reales de Carbono ocurre oxidación incompleta debido a ineficiencias en los procesos de combustión lo que deja parte del carbono no quemado o parcialmente oxidado como hollín o cenizas. Las Emisiones Reales de Carbono se multiplican por 44/12 para obtener el total de Dióxido de Carbono (CO₂) emitido durante la quema de combustibles como se puede apreciar en el anexo 3.

2.2.1.2 Emisiones de CO₂, método por Categorías de Fuentes.

En este método se aborda el cálculo de las emisiones a partir del contenido Carbono de los combustibles suministrados a las principales actividades combustión categorías de fuente. El desglose por sectores responde a la necesidad de disponer de esta información para la vigilancia y la formulación de políticas de reducción de las emisiones. El procedimiento a seguir para los cálculos es en esencia similar, en contenido, al descrito en el epígrafe anterior para el Método de Referencia. Se calculan aquí las emisiones para los diferentes combustibles y cada una de las principales categorías de fuente del IPCC[38]. Se parte, para el cálculo, del consumo de cada combustible en las siguientes categorías de fuentes.

- Industrias de la Energía
- Industrias Manufactureras y Construcción
- Transporte
- Sector Comercial /Institucional
- Sector Residencial
- Agricultura / Silvicultura / Pesca
- Otros

Atención especial se brinda al sector de Energía al considerar la utilización del combustible para evitar la contabilización doble. Del anexo 6 al anexo 21 se realiza el cálculo de emisión real de dióxido de carbono procedente de la quema de combustible por categoría de fuente y tipos de combustible en los sectores: industria de la energía (anexos 6 y 7), industrias manufactureras y construcción (anexos 8 y 9), transporte (anexo 10, 11, 12 y 13), sector comercial institucional (anexos 14 y 15), sector residencial (anexos 16 y 17), agricultura, silvicultura y pesca (anexos 18 y 19) y otros sectores no especificados (anexos 20 y 21).

Los anexos 22 al 29 muestran la determinación de los consumos de cada tipo de

combustible en toneladas durante el año 2002 y las emisiones de CO₂ por cada tipo de combustible incluyendo todos los sectores mencionados anteriormente. En los análisis de resultados se muestra un resumen de las emisiones de CO₂ obtenidas por este método y que totalizan 1185.74 Gg. La información sobre las cantidades de combustible consumidos por los diferentes sectores se obtiene de los registros de Cuba Petróleo (**CUPET**) y los reportes de ventas por organismos[48].

2.2.1.3 Gases Distintos del CO₂ Procedentes de la Quema de Combustible por Categorías de Fuentes.

Los gases distintos del CO₂ procedentes de la quema de combustible por categorías de fuentes se estiman aquí de acuerdo a las emisiones de **CH₄, N₂O, CO COVDM, y NO_x** aplicando factores de emisión a las estadísticas de consumo anual de combustibles, organizadas por sectores de actividades principales. Los cálculos realizados para determinar la emisión de cada uno de estos gases se muestra en los anexos desde el 30 hasta el 40. Para determinar las emisiones de metano se utilizaron los anexos 30, 31 y 32 para el cálculo de emisión del óxido nítrico los anexos 30, 33 y 34, para determinar la emisión de los óxidos de nitrógeno los anexos 30, 35 y 36, para la emisión del monóxido de carbono los anexos 30, 37 y 38, así como para el cálculo de los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano se utilizaron los anexos 30, 39 y 40.

En este método, los combustibles se agrupan en los siguientes tipos principales: Carbón, Gas natural, Petróleo (gasolina para el transporte, gasóleo para el transporte, otros productos del petróleo), Biomasa (madera/desperdicios de madera, carbón vegetal, otras biomásas residuos).

El consumo de combustible se desglosó en las siguientes actividades principales (los depósitos internacionales no se incluyen en los totales):

- ❖ Industrias de la Energía.
- ❖ Industrias Manufactureras y Construcción.
- ❖ Transporte (aviación nacional, por carretera, ferrocarriles, navegación nacional).
- ❖ Otros sectores (comercial / institucional, residencial, agricultura, silvicultura, pesca).
- ❖ Otros.

Se calculan también las emisiones de SO₂ sobre la base de hipótesis adicionales sobre el

contenido de azufre de los combustibles este calculo se muestra en el anexo 41. Estas emisiones guardan relación con la composición de los combustibles y no con las tecnologías de combustión. Para el petróleo combustible incluyendo petróleo combustible pesado el contenido de azufre varía desde 0.3 % hasta más del 5 %, mientras que los; productos ligeros pueden contener cantidades mínimas de azufre (< 0.3 %).

El petróleo crudo cubano presenta un contenido variable de azufre, aunque el consumo principal está representado por un petróleo con un contenido entre el 6 y el 8 % en peso de azufre. El factor de emisión de SO₂ fue estimado de acuerdo a la siguiente expresión (SO₂+SO₃ expresado como masa equivalente de SO₂):

$$EF = 2 \cdot \left(\frac{s}{100} \right) \cdot \frac{1}{Q} \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{100-r}{100} \right) \cdot \left(\frac{100-n}{100} \right), \text{ (Kg/TJ)} \quad (3)$$

donde:

EF= Factor de emisión para el SO₂;

2 = SO₂/S, [kg/kg].

s = Contenido de azufre en el combustible, [%].

r = retención de azufre en la ceniza [%]

Q = Valor calorífico neto [TJ/kt].

10⁶ = Factor de conversión.

n = Eficiencia de la tecnología de depuración y/o eficiencia de reducción [%].

2.2.1.4 Quema de Combustibles: Emisiones producidas por la Generación de Electricidad y las Fuentes Móviles.

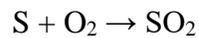
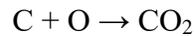
Por su importancia, para las emisiones dentro de este módulo se presenta en este epígrafe un análisis más detallado de las emisiones provenientes de la producción de electricidad y el transporte, con el uso de métodos diferentes a los establecidos por defecto en las Guías del IPCC. El objetivo de estos cálculos es complementar los resultados obtenidos utilizando las Guías.

Generación de Electricidad.

La potencia instalada en Matanzas en centrales termoeléctricas es de 570 MW, 365 en turbina de vapor y el resto en turbinas de gas y ciclo combinado.

Metodología de Cálculo.

Al no disponerse de datos experimentales se realizó el cálculo de las emisiones en este sector, mediante el paquete de programas Decades elaborado por el Organismo Internacional de Energía Atómica [22, 37]. La concentración teórica de CO₂ y SO₂ en los gases de la expulsión se calculan a partir de la estequiometría de las reacciones de combustión y de las condiciones reales en que estas ocurren. Como las reacciones de combustión del carbono y el azufre presentes en la combustión son:



La concentración de estos contaminantes en los gases de la expulsión se calcula por las siguientes ecuaciones:

$$[SO_2] = [S] \frac{64 \cdot 10^6}{32V_{real}}, (mg / m^3) \quad (4)$$

$$[CO_2] = [C] \frac{44 \cdot 10^6}{12V_{real}}, (mg / m^3) \quad (5)$$

donde V_{real} es el volumen real de aire que se necesita para lograr la combustión completa de la unidad de masa del combustible y que se calcula a partir del volumen teórico (V_s) por la expresión:

$$V_{real} = V_s \frac{O_2}{21 - O_2}, m^3/kg \text{ comb.} \quad (6)$$

A su vez V_s se obtiene como:

$$V_s = 8.887C + 3.3174S + 20.96H - 2.6 O + 0.8(N + Cl + F) \quad (7)$$

donde O_2 es el exceso de oxígeno necesario para lograr una combustión completa, y C, S, H, O, Cl y F son las concentraciones de estos elementos en el combustible.

Como el nitrógeno no se quema, la concentración de los óxidos de nitrógeno en los gases de escape no se puede calcular utilizando la metodología descrita anteriormente. Estos óxidos se forman debido a la reacción del nitrógeno contenido en el combustible o en el aire con el oxígeno de este último a elevadas temperaturas. Como no se dispone de metodologías adecuadas para calcular la formación de los óxidos de nitrógeno, así como

para determinar los factores de emisión de **CO**, **CH₄**, **COVDM** se asumieron estos factores en mg/m³N como se presentan en la tabla 2.1 a partir de los reportados en la literatura y en bases de datos [35, 52].

En las evaluaciones se utilizaron los valores promedios de composición química y características de los combustibles reportados por CUPET (Cuba Petróleos) [48]. A partir de los factores de emisión calculados, teniendo en cuenta las eficiencias de las plantas generadoras, la generación anual, el consumo específico de combustible incluidos los consumos de gasóleo durante el arranque y los valores calóricos de los combustibles, se calcularon las emisiones anuales por tipos de combustible y totales de los **GEI**. Estos resultados no incluyen las emisiones directas que se generan en los diferentes pasos de las cadenas energéticas como la extracción, transporte y procesamiento de los combustibles.

Tabla 2.1. Factores de Emisión por tipo de tecnología (34, 51).

Tipo de Tecnología	CO, mg/m ³ N	NO _x mg/m ³ N	N ₂ O mg/m ³ N	CH ₄ mg/m ³ N	COVDM mg/m ³ N
Turbinas de vapor convencional.	230	700	10	10	10
Turbinas de gas.	200	400	3	5	9

Fuentes Móviles.

Las fuentes móviles compuestas en su mayoría por vehículos automotores de carretera, equipos ferroviarios, aeronaves, equipos agrícolas y de construcción, mediante la combustión de los combustibles producen **GEI** directos, como **CO₂**, **CH₄** y **N₂O**, así como también otros que indirectamente coadyuvan a la formación de los primeros, entre los que se pueden mencionar los **NO_x**, **CO**, compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (**COVDM**), y otros [8].

Las emisiones de gases por estos equipos varían en dependencia del tipo de vehículo, combustible consumido, características de explotación, calidad del servicio técnico, edad y tecnologías de los vehículos, etc., aspectos que dificultan la exactitud y fiabilidad de los cálculos de la cantidad de emisión de **GEI** por las diferentes fuentes móviles. Sin embargo existen metodologías de cálculo provenientes de estudios realizados en países con alto

desarrollo tecnológico que permiten determinar aproximadamente la magnitud de estas emisiones [68]

Para el estimado de las emisiones por las fuentes móviles se empleó la expresión:

$$E = FE \times A, \text{ Gg} \quad (8)$$

donde:

E = Emisión (Gg).

FE == Factor de emisión (Gg/kg de combustible consumido o g/distancia recorrida).

A = Nivel de actividad (kg de combustible consumido o distancia recorrida)

En relación con los datos de actividad debe señalarse aquí algo fundamental que permita la comprensión de los datos de emisión reportados en el inventario para este sector. Debe tenerse presente, que las emisiones reportada están basadas en el consumo para el sector del transporte que aparece en los datos ofrecidos por el ministerio de transporte provincial. No se incluyen en estas emisiones las que proceden de las actividades de transporte que se ejecutan en el resto de los sectores de la economía que si se considera en las restantes actividades de los sectores que se analizan.

Por el motivo anterior y para obtener una visión más completa de las emisiones que genera el transporte se procedió a la ejecución de un análisis más detallado a nivel de sectores, organismos, empresas y otras instituciones e instancias.

Emisiones Procedentes del Transporte Aéreo.

Las emisiones procedentes del transporte aéreo obedecen a la utilización de queroseno de para aviones de reacción y de gasolina de aviación para otros tipos de aviones. La categoría de fuente del **IPCC** comprende las emisiones a partir de todo el uso comercial, civil de las aeronaves internacional y doméstico incluyendo el transporte de pasajeros y mercancías así como el transporte privado y el uso de la aviación agrícola.

Las aeronaves emiten CO₂, CH₄, N₂O y también CO, COVDM, SO₂, NO_x y material particulado (**PM**). Las emisiones de gases distintos de CO₂ varían considerablemente dependiendo del modo de operación y de diseño de los motores y sus estimaciones fiables, por lo que esto requiere de un análisis detallado de la característica de la flota.

Para la realización de los cálculos, en las Guías del **IPCC** se dispone de una metodología de

Nivel 1 basado en la distinción entre el uso nacional e internacional de los combustibles. El Nivel 1 está fundamentalmente basado en el combustible. El método simple de Nivel 1 está basado en el consumo total de combustible por la aviación multiplicado por factores de emisión promedios para la flota. Los factores de emisión han sido promediados sobre todas las fases de vuelo asumiendo que el 10 % del combustible es utilizado en el ciclo de aterrizaje y de despegue. Las emisiones se calculan de acuerdo con:

$$\text{Emisiones} = \text{Consumo de combustible} \times \text{Factor de emisión} \quad (9)$$

2.2.2 Módulo de Procesos Industriales.

En este módulo se tratan las emisiones de gases de invernadero producidas en las actividades industriales que no están relacionadas con la energía. Las principales fuentes aquí son aquellos procesos de producción industrial que transforman los materiales física o químicamente. La metodología general de cálculo empleada para estimar las emisiones en cada proceso industrial comprende el producto de datos de actividad por ejemplo, cantidad de material producido o consumido y un factor de emisión asociado por unidad de consumo o producción.

Los cálculos de las emisiones en este módulo se efectuaron para las siguientes categorías principales de fuentes de emisiones que ocurren en la provincia.

- ❖ Industria Química.
- ❖ Otras Producciones.
- ❖ Alimentos y Bebidas Alcohólicas.

Para cada una de estas categorías principales, se efectuaron también los cálculos de emisiones por tipo de fuentes.

2.2.2.1 Producción de Cal.

La cal es un producto de la calcinación de la piedra caliza la que contiene entre el 97 y 98 % de carbonato de calcio en base seca. El resto incluye magnesio, carbonates, óxido de aluminio, óxido de hierro y sílice. Algunas piedras calizas contienen entre 35-45 % de carbonato de magnesio y son clasificadas como dolomitas[21]. La producción de cal comprende varios pasos comparables a los que se ejecutan en la producción de clinker de cemento Portland, entre ellos la calcinación. La estimación de las emisiones de CO₂ a partir de la producción de cal se efectuó mediante la aplicación de un factor de emisión a los

datos de actividad.

La cal es producida en diferentes tipos de hornos por una de las siguientes reacciones:

$\text{CaCO}_3 + \text{calor} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaO}$ (Horno de cal alimentado con calcita).

$\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3 + \text{calor} \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{CaO} \cdot \text{MgO}$ (Horno de cal alimentado con dolomita).

En la provincia se produjo en el año 2002 un total de 2333 t de cal viva. Para los cálculos se utilizó el factor de emisión de 0.79 t CO₂/ t cal viva producida, por lo que la cantidad emitida se calculó en un total de 1.84 Gg de CO₂ por este concepto, y este cálculo se muestra en el anexo 42.

2.2.2.2 Pavimentación de Calles y Carreteras con Asfalto.

Las superficies asfaltadas de calles y carreteras están compuestas de agregados compactados gravilla natural, piedra manufacturada, subproductos de la refinación del petróleo etc. y un aglutinante asfáltico. Se producen emisiones de COVDM tanto en las plantas de producción de asfalto como en las operaciones de revestimiento de las carreteras. También ocurren desprendimientos posteriores de COVDM desde la superficie de las carreteras.

Las emisiones dependen del tipo de asfalto utilizado de curado lento, medio o rápido y de la cantidad de diluyente utilizado. El cemento asfáltico es semisólido y debe ser calentado antes de mezclarse con agregados en plantas de mezclado caliente. Esta mezcla no produce emisiones significativas de COVDM durante las operaciones de pavimentación. Los asfaltos licuados que se utilizan como selladores en la pavimentación, y en otras funciones, sí constituyen una fuente significativa de COVDM.

Se ha propuesto en las Guías un factor de emisión por defecto de 320 kg de COVDM por tonelada de material de pavimentación utilizado. Por su procedencia, este factor pudiera sobrestimar las emisiones calculadas para los países cálidos como es el caso de Cuba dado que en estos por lo general se emplea una menor cantidad de diluyente. No obstante, dada la ausencia de factores de emisión regionales o para el país en este proceso, para el cálculo, se utilizó el factor anteriormente citado mediante el cual se obtuvo una emisión total de 7.70 Gg COVDM como se muestra en el anexo 43.

2.2.2.3 Producción de Ácido Sulfúrico.

Dentro de la industria química inorgánica los procesos de fabricación de ácido sulfúrico

tienen una especial importancia por su contribución a la contaminación atmosférica especialmente con relación a los óxidos de azufre. El dato de la actividad básica utilizado es la producción de ácido sulfúrico en el 2002 que alcanzó las 16526 t.

Se usó un factor de emisión de 17.5 kg SO₂ / t de ácido sulfúrico producido, recomendado en las Guías y procedente de (21). Para el año analizado por este concepto se emitieron un total de 0.29 Gg SO₂ mostrado en el anexo 44.

2.2.2.4 Producción de Alimentos y Bebidas Alcohólicas.

Se tratan en este epígrafe las emisiones procedentes de la fabricación de alimentos y bebidas alcohólicas. Se emiten en estos procesos fundamentalmente COVDM. Los estimados de emisión están basados en los datos de producción anual de diferentes tipos de alimentos y bebidas alcohólicas.

Producción de Bebidas Alcohólicas:

En este grupo se incluyen la producción de ron, el aguardiente, los licores de frutas y vinos. En la preparación de cualquier bebida alcohólica el azúcar es convertida en etanol mediante la levadura (proceso de fermentación).



Se producen emisiones de COVDM (fundamentalmente etanol) en cualquiera de las cuatro etapas de producción de la bebida alcohólica preparación de la materia prima, fermentación, destilación y maduración. Las emisiones se estimaron a partir de la cantidad anual producida, en el 2002, de rones, vinos, aguardientes y otras bebidas alcohólicas (en hectolitros) y los factores de emisión recomendados por las Guías y procedentes de EMEP/CORINAIR, [21]. Se produjo una emisión total de 0.09 Gg COVDM en este sector para el año analizado. Este valor es mostrado en el anexo 45. En la fermentación de las mieles para la producción del alcohol se producen también emisiones de CO₂, aunque estas no se consideran netas por el carácter biológico y sostenible de la fuente.

Producción de alimentos:

Se producen emisiones de COVDM durante el calentamiento de grasas, aceites y otros comestibles que los contengan, el horneado de cereales, harina, fermentación en la elaboración de pan, y la preparación de comidas para animales etc. La producción de

alimentos es dividida en categorías cada una con sus propios factores de emisión tales como para galletas, pan; pienso para animales y tostado del café.

Los factores de emisión disponibles en este sector proceden en su mayoría de experimentos y resultados obtenidos para Europa por lo que pueden tener diferencias para otras zonas del mundo. Por este motivo en los cálculos pese a su importancia para Cuba no se incluyeron en esta versión del inventario las emisiones de COVDM procedentes de la producción de azúcar, pues los factores de emisión presentados en las Guías y procedentes de EMEP/CORINAIR [21] se refieren a la producción de azúcar de remolacha. En la preparación del inventario no se conoció de resultados experimentales obtenidos sobre este tema en el país lo que es un aspecto a abordar en futuras actualizaciones del inventario y las Guías del IPCC. Para el resto de las categorías citadas sí fueron abordados los cálculos de emisiones, las que en general aportaron 0.22 Gg mostrándose este resultado en el anexo 46 donde la producción de pan tuvo la mayor influencia en la emisión de este tipo de gas.

Producción de Pan

En esta actividad las emisiones provienen de los procesos de fermentación con levadura y dependen del tiempo de fermentación de la masa. Las emisiones fundamentales son de COVDM y en un elevado porcentaje (95 %) corresponden al etanol proveniente de la fermentación. El dato de actividad utilizado es la producción de pan la que en esta año analizado alcanzó las 27173.4 t y el factor de emisión 8 kg COVDM/t pan para una emisión de 0.21 Gg COVDM.

Tostado del Café

Comprende el procesamiento del café en grano para su transformación en productos de café tostado. Las emisiones fundamentales, en este proceso, corresponden a los COVDM y su estimación se efectuó combinando datos de producción anual para esos productos con factores de emisiones seleccionados de [61] y el Manual EMEP/CORINAIR, [21, 22, 61]. El dato de actividad utilizado es la cantidad de café tostado que en 2002 alcanzó las 1153.36 t y el factor de emisión 0.55 kg COVDM/t café tostado, para una emisión de 0.0006 Gg COVDM.

2.2.3. Módulo de utilización de solventes y otros productos.

En este módulo se calculan las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes del Metano (COVDM) procedentes de una gran variedad de procesos antropogénicos de producción y consumo en los que se aplican solventes orgánicos. En la versión actual de las Guías del IPCC no se ha incluido ningún método para calcular las emisiones de GEI procedentes de la utilización de solventes. Por este motivo, en el inventario se utilizan en lo fundamental los métodos y factores de emisión propuestos en la Guía de inventario de emisión atmosférico [21].

En el inventario se aborda el cálculo de emisiones desde algunos sectores fundamentales como son la aplicación de pinturas, la industria de las artes gráficas y los usos de solventes en el hogar. No se incluyeron las emisiones por el lavado en seco de textiles y prendas de vestir con solventes orgánicos no acuosos, pues no se dispone de los datos de actividad necesarios para acometer los cálculos. No obstante se considera que las emisiones procedentes de esa actividad, en la provincia, son insignificantes.

2.2.3.1 Aplicación de Pinturas

Comprende la aplicación en forma líquida o en polvo de materiales protectores o decorativos sobre las superficies. Estos revestimientos incluyen pinturas, barnices y lacas con solventes -generalmente orgánicos o pinturas diluidas en agua. En este caso sólo se calcula la emisión para el caso de producción de pinturas emulsionadas ya que en la provincia no se llevan a cabo procesos de producción de pinturas de aceites, esmaltes, lacas y barnices. Las emisiones de COVDM se producen por la evaporación del solvente orgánico utilizado como disolvente y en los procesos de limpieza.

En este sector, pueden incluirse diferentes actividades, entre ellas aplicaciones en construcciones y edificios en actividades constructivas profesionales usos domésticos aplicaciones por los propios moradores de las viviendas recubrimientos en vehículos, equipos, maquinarias etc. En el inventario, los cálculos de emisiones de COVDM fueron efectuados a partir del consumo de pinturas emulsionadas, y la aplicación de factores de emisión. Durante el año analizado se emitió un total de 0.34 Gg de COVDM por esta actividad como se muestra en el anexo 47.

2.2.3.2 Desengrase de Metales y otros materiales.

El desengrase consiste en la aplicación de solventes orgánicos a las superficies para eliminar de estas las materias adheridas no solubles en agua. La vía simple de cálculo de las emisiones se basa en la estadística de consumo de solventes en esta actividad.

Dado de que no se dispone de estadística confiables en el país para estas actividades, en el inventario se exploró la posibilidad de usar factores de emisión en bases percapitas como los recomendados en [21] para operaciones pequeñas de desengrase, en limpieza en frío, se asumió un factor de emisión de 1.8 Kg/personas anual según el anexo 48 el cálculo de emisión de COVDM en esta actividad es de 1.20 Gg pero dado el grado de incertidumbre por los valores asumido no fueron considerado en el total del módulo.

2.2.3.3 Industria de las Impresiones (Artes Gráficas)

Diferentes tipos de industrias se incluyen en esta categoría entre ellas: la prensa, impresiones de libros, revistas etc., la impresión de productos para embalajes cartones, plásticos, metales, películas de celulosa, decoración y otras. En forma general las tintas para impresiones se clasifican en cuatro clases principales: tintas para tipografía, litografía, flexografía y rotograbado. Las dos primeras son tintas de aceite o pasta y las dos segundas son conocidas como tintas de solventes. Estas tintas varían considerablemente en apariencia física, composición, método de aplicación y mecanismos de secado.

Las tintas pueden también subdividirse de acuerdo al contenido de solventes en: contenido elevado (30-90 %), contenido bajo (5-30 %) y con base de agua (5-20 %). Este contenido de solventes puede evaporarse a temperatura ambiente o mediante el calentamiento en hornos. En Cuba entre los solventes principales utilizados en este sector se encuentran la gasolina y la trementina. También en estos procesos se utilizan soluciones ácidas compuestas por ácidos gálico, nítrico, sulfúrico y crómico que se diluyen en espacio abierto y que generan emisiones de otros gases no considerados en el módulo.

En ausencia de mejores datos se utilizaron en el inventario factores de emisión basados en el consumo de tintas en los diferentes tipos de técnicas aplicada para el caso de nuestra provincia para las impresiones solo se aplica la técnica de (offset frío). El factor de emisión fue seleccionados de EMEP/CORINAIR[21].

Se incluyen también las emisiones de COVDM por las actividades de limpieza, típicas para este tipo de actividades. Según los cálculos realizados en el anexo 49 la cantidad de

COVDM producidos por la técnica empleada fue de 0.000189Gg.

2.2.3.4 Usos Domésticos de Solventes.

Comprende las emisiones de COVDM procedentes del uso de diferentes productos por la población en general, aunque parte de estos pueden también ser utilizados por la industria. Entre estas actividades pueden incluirse: el uso de cosméticos y productos para la higiene personal, productos para conservar y mejorar la apariencia de las construcciones, vehículos etc. Pueden incluirse aquí, además, parte de los insecticidas y pesticidas utilizados en el hogar aunque la mayor parte de estos es producida para uso agrícola. Las emisiones ocurren debido a la evaporación de los COV contenidos en los productos durante su uso.

La metodología simple utiliza un factor de emisión seleccionado de EMEP/CORINAIR[21] expresado en base per cápita. Este factor fue obtenido de datos del Reino Unido, Canadá y los Estados Unidos y no refleja las características y circunstancias de Cuba. No se dispone de factores de emisión, sobre la base de consumos, que conduciría a la obtención de valores de emisión con una menor incertidumbre.

Como cálculo indicativo, y dado el poco aporte relativo de este sector a las emisiones en la provincia, se incluyó en el inventario el cálculo de emisiones basándose en el uso de productos de limpieza, utilizando los menores valores de los factores de emisión citados anteriormente y que correspondieron con los obtenidos para el Reino Unido. Se emitieron por este concepto un total de 1.16 Gg COVDM en el año 2002 mostrado en el anexo 51 siendo esta la mayor emisión de COVDM en este módulo como se aprecia en el análisis de resultados.

2.2.4 Módulo de Agricultura.

Matanzas es una provincia que desarrolla una fuerte actividad agrícola, la que para su atención se divide en "agricultura cañera", que responde al Ministerio del Azúcar y "agricultura no cañera", que es atendida por el Ministerio de la Agricultura. En el Módulo Agricultura se consideran las emisiones de gases de invernadero procedentes de cinco fuentes:

- Ganado doméstico: fermentación entérica y manejo del estiércol.
- Cultivo del arroz: arrozales anegados.
- Suelos agrícolas.

Los datos utilizados en la ejecución de los cálculos de emisiones, proceden de las siguientes fuentes [49, 53, 54]:

- ❖ Oficina Provincial de Estadísticas.
- ❖ Ministerio de la Agricultura (MINAG).
- ❖ Ministerio del Azúcar.
- ❖ Entrevistas con expertos.

Debe destacarse que la metodología utilizada en este sector se corresponde con el método simple establecido por el IPCC. Los GEI tratados en este módulo fueron: el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO), y el dióxido de carbono (CO_2) las emisiones de este último no se contabiliza en los totales de emisión del módulo por proceder de la quema de campos de caña y asumirse una captación similar de este gas en la próxima estación de crecimiento del cultivo.

2.2.4.1 Ganado Doméstico

En esta sección se tratan las emisiones de metano originadas por la fermentación entérica y el manejo del estiércol, aplicando la metodología del nivel I establecida en las Guías.

Emisiones de Metano Procedentes de la Fermentación Entérica.

La producción del metano debido a la fermentación entérica, consiste en un proceso normal que ocurre en el sistema digestivo de los animales herbívoros. El metano así generado es un producto que se forma mediante la descomposición de los hidratos de carbono por microorganismos existentes en el sistema, y los incorporados con el alimento.

El metano producido por los animales, está en dependencia del tipo de alimentación y la cantidad consumida, de la edad y el peso del animal, así como del sistema digestivo, siendo este el elemento más importante. De acuerdo con el sistema digestivo, corresponde a los rumiantes la mayor producción de metano. Otros animales como los caballos, asnos y cerdos seudorumiantes los dos primeros y monogástrico el último, presentan una menor producción.

Con relación a la alimentación se debe tener presente al analizar las emisiones que a mayor cantidad de alimentos y menor calidad de los mismos que resultan menos digeribles por el animal se obtiene un aumento en la producción de metano.

Para realizar la presente estimación, se tuvieron en cuenta las principales categorías de

animales, establecidas en las Guías del IPCC, no se distribuyeron los animales según diferentes regiones climáticas, considerándose que los mismos están sometidos a un clima cálido, al no ser ostensibles las diferencias acordes a la clasificación establecidas por el IPCC.

Además, por no contarse con la información necesaria y suficiente que refleje las diferencias de peso, tamaño, ganancia másica por día, producción de leche diaria por tipo y raza, hábitos alimentarios, edad y otros parámetros, se decidió aplicar la misma solución adoptada en el primer Inventario Nacional Cubano [43], y hacer uso de una media ponderada aplicando los factores apropiados a un conjunto de muestras tomadas de aquellas poblaciones que se encontraban mejor caracterizadas. Estos cálculos se consideran representativos para una primera aproximación, aunque incorporan cierto grado de incertidumbre en los resultados que se presentan [43].

En los resultados puede observarse que las mayores emisiones de metano (CH_4) provienen del ganado bovino (83.37%) y dentro de este, el ganado lechero con 55.01 %. También se puede constatar que para Matanzas en la etapa analizada el segundo gran emisor está constituido por las aves de corral con 9.73 %.

Emisiones de Metano Procedentes de los Sistemas de Manejo del Estiércol.

A partir de las excretas de los animales domésticos puede producirse la emisión de gas metano, encontrándose que las emisiones más importantes proceden del ganado vacuno y el porcino. Este metano es producido por la descomposición del estiércol en condiciones fundamentalmente anaerobias y la cantidad del mismo que es emitido a la atmósfera depende de varios factores tales como: la población animal, el promedio diario de sólidos volátiles excretados, la producción potencial de metano del estiércol y del sistema de manejo de ese estiércol, entre otros.

El sistema de manejo deviene en un factor de gran importancia habida cuenta que a través del mismo pueden crearse las condiciones que implican una mayor o menor emisión de este gas en dependencia que se propicie o no la descomposición anaerobia. En este sentido puede plantearse que cuando el estiércol está tratado en forma líquida se produce una cantidad significativa de metano, todo lo contrario ocurre cuando el manejo se realiza en forma sólida, ya que la descomposición se produce fundamentalmente en forma aeróbica y

se emite poco o ningún metano.

Del análisis de las tablas mostradas en los anexos 52, 53, 54 se pueden obtenerse las siguientes conclusiones relativas a las emisiones de metano (CH₄) en esta sección:

- ❖ Que las mayores emisiones de metano (CH₄) corresponden a la fermentación entérica que son producidas por el ganado vacuno lechero y no lechero.
- ❖ Debido al manejo de estiércol, la mayor emisión de CH₄ proviene de los cerdos y del ganado vacuno.
- ❖ Que en orden de importancia para el período analizado, le siguen las emisiones totales de las aves de corral.

2.2.4.2 Emisiones de Metano Producidas Durante el Período de Cultivo del Arroz.

En Matanzas el cultivo de arroz se ha incrementado, debido a la aplicación de medidas agrotécnicas de mejoramiento. El arroz es una planta *hidrófila* y por ese motivo se cultiva por regla general en terrenos cenagosos drenados y en los que pueda aplicarse regadío. Para la preparación de este inventario las Guías establecen tres formas de cultivo: cultivos en campos continuamente anegados, cultivos en campos intermitentemente anegados, cultivos en tierras altas. En Cuba el cultivo se realiza en campos intermitentemente anegados con una altura promedio de las aguas que no superan los 40 cm.

Durante el tiempo que dura el cultivo de arroz se produce gas metano como consecuencia de la descomposición anaerobia, por microorganismos del suelo, de la materia orgánica que queda bajo las aguas de anegamiento. El CH₄ se produce mediante la reducción de CO₂ con hidrógeno, reacción que depende de la cantidad de agentes donadores de hidrógeno y del tipo de suelo.

En el proceso de anegamiento, el agua desplaza al oxígeno atrapado en los suelos, y la ausencia de este favorece que los microorganismos metanogénicos descompongan los materiales orgánicos y produzcan metano. Las emisiones de este gas varían mucho durante el crecimiento del cultivo, dependiendo entre los más importantes factores, del estado fonológico, de la fotosíntesis, de la respiración, de la temperatura, de la concentración de oxígeno en el medio potencial Redox, la disponibilidad en los suelos de nutrientes sobre todo orgánicos, de las condiciones de insolación, y del tipo de suelo.

El metano producido se incorpora a la atmósfera por transporte difusivo en los campos de arroz a través de tres vías: por burbujeo en las aguas de anegamiento, por difusión desde la

superficie del agua de anegamiento y a través de los tejidos de las plantas parénquima durante el crecimiento, considerándose esta última la vía más importante. El IPCC ha estimado que las emisiones de metano desde los campos de arroz inundados, representan de un 5 a un 30 % de las emisiones totales de dicho gas. En el trabajo se obtiene el valor de 0.1 Gg de emisión de metano según se muestra en el anexo 55 dado por la superficie cultivada de arroz en la provincia.

2.2.4.3 Quema en el Campo de Residuos Agrícolas

La agricultura en cualesquiera de sus manifestaciones genera una gran cantidad de residuos, siendo una de las formas de su eliminación la quema de los mismos en el campo, otra variante la constituyen el uso de tales residuos como alimento para el ganado y otros animales; su incorporación al suelo, como nutrientes orgánicos, para favorecer el crecimiento y desarrollo de las siembras así como su uso para producción de energía.

En el caso de Cuba (Matanzas) son principalmente herbazales y no exactamente sabanas. En Matanzas la quema de residuos al igual que la quema de sabanas y pasturas esta institucionalmente prohibida como práctica común y solo en casos excepcionales es admitida. En esta sección se aborda una de las excepciones autorizadas, la quema de campos de caña de azúcar, que si bien no se enmarca propiamente en el concepto de "quema de residuos agrícolas", desde el punto de vista de sus efectos como generador de GEI, puede aplicársele un tratamiento similar al calcular las emisiones producidas.

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Distintos del CO₂, Producidos por la Quema de Campos de Caña de Azúcar.

Para este cálculo se aplicó la metodología establecida en las Guías que basa sus cálculos en la cantidad total de carbono liberado con la aplicación de tasas de emisión de metano (CH₄) y monóxido de carbono (CO) así como de óxido nitroso (N₂O) y óxidos de nitrógeno (NO_x) con respecto a las emisiones de nitrógeno provenientes de la quema de biomasa. Además, partiendo de las consideraciones realizadas en la elaboración del Primer Inventario Nacional Cubano de GEI [42], se asumió que todos los residuos se quemaron al 100 %, se utilizó el valor de 0.4 para el factor de fracción de masa seca y el valor de 0.4709 para la fracción de residuo de carbón. En los anexos 56, 57 y 58 se muestran todos

los valores de emisión de metano, monóxido de carbono, óxidos nitrosos y óxido de nitrógeno.

2.2.4.4 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Procedentes de los Suelos Agrícolas.

Se acepta, que los suelos agrícolas constituyen una fuente importante desde donde se emiten gases nitrogenados entre ellos el GEI N_2O . En esta sección se calculan las emisiones directas de N_2O procedentes de los suelos agrícolas, las emisiones directas de N_2O de los suelos dedicados a la producción animal y las emisiones indirectas de N_2O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura fundamentalmente el aplicado como fertilizante.

Como es conocido, la incorporación de nitrógeno al suelo puede ser el resultado de:

- ❖ La descomposición en los campos de los residuos de las cosechas.
- ❖ La presencia de estiércol animal en los pastizales.
- ❖ Las deposiciones atmosféricas.
- ❖ Los fertilizantes sintéticos.
- ❖ La fijación biológica.
- ❖ La mineralización de materias orgánicas.

También a partir de los suelos se pueden emitir y capturar otros GEI tales como el CO_2 y el CH_4 . Las tasas de emisiones de los GEI desde los suelos suelen ser muy variables y están condicionados por un amplio espectro de procesos naturales. La producción de N_2O desde los suelos se realiza de forma natural a través de dos procesos biológicos:

- La desnitrificación, consistente en la acción de los microorganismos del suelo, que ante la falta de oxígeno propician la reducción de los nitratos (NO_3), siendo el N_2O uno de los productos intermedios que puede ser liberado a la atmósfera.
- La nitrificación, consistente en la oxidación del ión amonio (NH_4) a nitrato.

También dentro de este contexto el N_2O desempeña a su vez un papel importante en la formación de O_3 además de sus efectos directos sobre la acidificación del aire y la lluvia. El volumen de las emisiones de N_2O desde los suelos agrícolas está en dependencia de factores tales como: contenido de humedad del suelo, temperatura, concentraciones de NO_3 o NH_4 , contenido de C y el pH del suelo.

En las Guías se consideran para el N_2O , dos vías de emisiones:

- ❖ Directa, que tiene como fuente los fertilizantes aplicados, la fijación biológica y los

residuos de cultivo, los cálculos y resultados se pueden apreciar en los anexos 59, 61, 62 y 63.

- ❖ Indirectas, que se corresponde con el N que ha sido perdido por otras vías y que retorna a la atmósfera como N_2O . Cuenta con fuentes tales como la deposición atmosférica de NH_3 y NO_x y la desnitrificación de nitratos lixiviados de los suelos calculados en el anexo 60.

Emisiones de N_2O Procedentes de los Campos de Cultivos excluyendo el Cultivo en Histosoles.

Como aporte de nitrógeno por residuo animal se utilizó el 2 % dado por los expertos del Ministerio de Agricultura. El cálculo del nitrógeno fijado por las cosechas se efectuó solamente sobre la base del cultivo del fríjol y la soya y la cosecha, en los cálculos, se multiplicó por (1- 0.0125) para descontar el contenido de agua. Estos cálculos de emisión se muestran en el anexo.

Estimación de las emisiones indirectas de N_2O procedentes de la deposición atmosférica de NH_3 y NO_x y de la lixiviación.

Las emisiones atmosféricas de N_2O tienen lugar después que el nitrógeno es perdido desde el suelo como NO_x , NH_3 u otras vías como el escurrimiento superficial. El nitrógeno utilizado en la agricultura como fertilizante aumenta las emisiones indirectas de N_2O mediante la volatilización y subsecuente deposición desde la atmosfera de NO_x y NH_3 . Se reconoce que además de estas, otras fuentes de aporte atmosférico de los compuestos del nitrógeno hacia los suelos agrícolas son también importantes. Sin embargo, en las guías del IPCC solamente las emisiones de nitrógeno originadas desde la aplicación de fertilizantes son actualmente consideradas los cálculos relacionados con estas emisiones indirectas se muestran en los anexos 64 y 65.

2.2.5 Módulo de Cambio y Uso de la Tierra y la Silvicultura (CUTS).

En este módulo, se priorizaron los cálculos de las emisiones producidas por el cambio del uso de la tierra y la silvicultura en tres actividades que son fuentes o sumideros de dióxido de carbono. A escala mundial, los cambios más importantes respecto al uso de la tierra y las prácticas de manejo que redundan en la emisión y absorción de CO_2 son:

- los cambios de biomasa en bosques y en otros tipos de vegetación leñosa
- la conversión de bosques y pastizales
- el abandono de las tierras cultivadas

Se calculó el incremento total de la absorción de carbono partiendo de la superficie de la existencias de bosques biomasa y del incremento anual de la biomasa, conociéndose los tipos de plantaciones existente en la provincia. Anexo 71. Debe señalarse que aún estos cálculos llevan aparejados, intrínsecamente, incertidumbres [58].

La metodología del IPCC para la realización de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, recomienda en el módulo **CUTS** se base en la cobertura de la vegetación, para la determinación de las "Emisiones o Absorciones de CO₂ en los Suelos debido al Manejo y Cambio de Uso de la Tierra". En el inventario se aplicó para todo el módulo una clasificación climática sencilla acoplándose mejor con la forma en que se obtienen los datos. La clasificación aplicada fue la siguiente.

- **Tropical Seco:** Temperatura media superior a los 20°C y la precipitación inferior a los 1000 mm.
- **Tropical Húmedos con Estación Seca Larga:** Temperatura media superior a los 20°C y la precipitación entre 1 000 mm y 2 000mm con una estación seca superior a los 5 meses.
- **Tropical Húmedo con Estación Seca Corta:** Temperatura media superior a los 20°C y la precipitación entre 1 000 mm. y 2 000mm con una estación seca inferior a 5 meses,
- **Tropical Muy Húmedo:** Temperatura media superior a los 20°C y la precipitación superior a los 2000 mm.

2.2.5.1 Cambios de Biomasa en Bosques y en Otros Tipos de Vegetación Leñosa.

En este epígrafe se estiman las emisiones o remociones de carbono y de dióxido de carbono que obedecen a los cambios en la biomasa de los bosques y de otros tipos de vegetación leñosa que resultan de la actividad humana. Como fuente de los datos se partió de la información suministrada por el Ministerio de la Agricultura (**MINAG**). En la captación de datos efectuada, no se detectó la existencia de resultados obtenidos en la provincia sobre un grupo importante de coeficientes necesarios para efectuar los cálculos de emisión por lo que se utilizaron los datos recomendados por las Guías del IPCC.

Para calcular la absorción neta de CO₂ se estimó el incremento anual de la biomasa en las plantaciones, los bosques talados o aprovechados de otra manera, así como todas las demás existencias importantes de biomasa leñosa. Anexo 72. Se estimó también la madera aprovechada para leña, así como la madera comercial para la construcción y para otros usos. A continuación se calculó la absorción neta de carbono correspondiente a esas actividades. Si la cifra es positiva, se considera remoción de CO₂ y si la cifra es negativa, se toma como emisión. Por último, la absorción o emisión neta de carbono se expresa en términos de CO₂. Anexo 73.

Estudios sobre la absorción de carbono de las plantaciones forestales tropicales indican que el máximo crecimiento y absorción de carbono ocurre durante las edades de 0-5 y 6-10 años. En cambio, la absorción de carbono disminuye en un 50% en los 5 años siguientes y se reduce aun más después de los 16 años de edad [15]. Debido a esto y en ausencia de mejor información el incremento anual de biomasa para los bosques naturales fue asumido en el inventario como el 50 % del correspondiente al de una plantación de especies semejantes por predominar en los primeros los árboles maduros.

La cuantificación de los árboles aislados independientes es una tarea compleja y de gran incertidumbre pues no se poseen datos completos al respecto. Pese a esto se consideró incluir por su importancia a la Palma Real sobre la cual pudo captarse información. Se estimó a partir de datos de la Dirección de Forestales del MINAG que de la Palma Real (*Roystonea regid*), planta representativa de la nación cubana, había en 2002 alrededor de 4 millones de árboles aislados. Es una de las plantas nativas de mayor utilidad material para el cubano, y la de más variado uso. Debe llamarse la atención que esto significa una porción pequeña del total de árboles aislados, los cuales son muy frecuentes en ciudades, poblados y en el espacio rural.

2.2.6 Módulo de Desperdicios.

En este módulo se estiman las emisiones de metano (CH₄) desde los vertederos de residuos sólidos (VRS) y el tratamiento de las aguas residuales así como las emisiones de óxido nitroso (N₂O) procedentes de los excrementos humanos. El metano es el GEI más importante generado por la disposición y tratamiento de los desechos, especialmente desde los sistemas anaerobios utilizados para el manejo de los desechos biodegradables resultantes de las actividades humanas: los rellenos sanitarios y el tratamiento de las aguas

residuales.

2.2.6.1 Emisiones de Metano (CH₄) por la Disposición en la Tierra de Desechos Sólidos.

En esta sección se aborda la estimación de las emisiones de metano procedentes de los vertederos de residuos sólidos. La descomposición anaerobia de la materia orgánica en los vertederos de residuos sólidos por parte de las bacterias metanogénicas es fuente de emisiones de CH₄ que escapan a la atmósfera. Se estima que esta fuente representa entre el 5 % y el 20 % de las emisiones antropogénicas de CH₄ en todo el mundo [39-41, 52].

Al contrario de las emisiones al aire y los efluentes líquidos donde los tipos de contaminantes están por lo general bien definidos, en los desechos sólidos y peligrosos se presentan mezclas complejas de sustancias inertes, orgánicas, tóxicas., grasas etc. [20]. Estos desechos, por lo general, se clasifican en categorías en base a su origen utilizando como criterio, para este propósito, su potencial de contaminación del suelo o el agua. Para la clasificación de los variados tipos de fuentes de desechos sólidos puede utilizarse el sistema propuesto por el Banco Mundial /OMS/PNUMA que establece las siguientes seis categorías principales y varias subcategorías:

- ❖ Desechos Inorgánicos.
- ❖ Desechos Grasos.
- ❖ Desechos Orgánicos.
- ❖ Desechos Orgánicos Putrecibles.
- ❖ Alto Volumen /Desechos Poco Peligrosos.
- ❖ Desechos Infecciosos.

Los desechos sólidos municipales pertenecen en su mayoría a la categoría general de desperdicios orgánicos putrecibles. Se consideran residuos sólidos urbanos a todos aquellos residuos sólidos generados en fuentes domiciliarias, comerciales y de servicios cuyo contenido no representa ningún riesgo de peligrosidad para el medio ambiente en general y principalmente para la salud de la población. Este es el tipo de residuo tratado en el inventario de acuerdo a las Guías es decir no se incluyen aquí los desechos peligrosos.

El mal manejo de los residuos sólidos municipales tiene impactos adversos diversos tanto sanitarios como estéticos, incluyendo los fuegos ocasionados por la ignición espontánea del

biogás emitido en la descomposición anaerobia del material orgánico contenido en estos. En las Guías, los vertederos de residuos sólidos (VRS) se dividen en "controlados" y "no controlados" dependiendo del grado y del tipo de control activo en el vertedero. Un vertedero "controlado" debe disponer de una ubicación controlada de los residuos áreas específicas de disposición, control de fuegos etc, e incluirá al menos uno de los siguientes aspectos: material para cobertura, compactación mecánica, o nivelación del residuo. Todos los otros VRS que no caen en la anterior categoría son definidos como vertederos "no controlados " y son subdivididos en profundos (> 5m profundidad) o poco profundos o superficiales (< 5 m de profundidad).

En nuestro país, al igual que en la mayoría de los países subdesarrollados, predominan los vertederos no controlados y los que se consideran controlados, en realidad casi nunca cumplen con los requisitos rigurosos que garantizan ese control [13]. Los países que incluyen zonas donde no se realiza de forma organizada la colección y disposición de los residuos por ejemplo las zonas rurales deben utilizar para los cálculos solo los datos de la población urbana y de los residuos sólidos municipales. Los residuos sólidos en las áreas rurales son normalmente esparcidos sobre el suelo donde tienden a descomponerse aeróbicamente con muy bajas emisiones de CH₄.

2.2.6.2 Características generales de los residuos sólidos municipales en la provincia de Matanzas.

La generación de residuos sólidos está íntimamente vinculada al desarrollo socioeconómico, por lo que el comportamiento de la cuantificación y caracterización de los residuos sólidos urbanos en la provincia ha tenido importantes cambios en el tiempo. Respecto a la composición física de los residuos urbanos, también se ha observado cambios importantes, principalmente en la disminución de algunos conceptos, como materia orgánica y metales y el aumento de residuos de plástico, vidrio y metales no ferrosos como el aluminio entre otros.

El manejo de los residuos sólidos comprende las etapas de almacenamiento, recogida, transporte y barrido de los residuos sólidos urbanos, servicio que es brindado por las direcciones de los servicios comunales. En Cuba se han operado pocos tipos de tratamiento de los residuos sólidos a lo largo de su historia. Estos han constituido principalmente

sistemas físicos y de forma no permanente. Algunos de los tipos de tratamiento empleados incluyen la utilización de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos (48 %) para la alimentación de ganado porcino y en menor escala el compostaje, el uso de la lombricultura y la utilización de material estabilizado como abono inorgánico.

Otra actividad desarrollada desde hace más de tres décadas es la gestión de recuperación, procesamiento y comercialización de los residuos sólidos reciclables lo que posibilita el aprovechamiento de importantes renglones de desechos que son reutilizados o reciclados como materia prima secundaria. Esta recuperación cubre los residuos generados por los sectores industrial y comercial y parcialmente los de la población.

2.2.6.3 Cálculo de las Emisiones de Metano (CH₄).

En el relleno sanitario el desecho orgánico primero se descompone aeróbicamente y es entonces atacado por bacterias anaerobias no metanogénicas que convierten el material orgánico a formas más simples como la celulosa, aminoácidos, azúcares, y grasas. Esas sustancias simples son posteriormente transformadas a gases y a compuestos orgánicos de cadena corta que forman el sustrato para las bacterias metanogénicas. Se asume que el biogás resultante consiste de aproximadamente el 50 % de CO₂ y 50 % de CH₄ por volumen aunque en la práctica el porcentaje de CO₂ puede ser menor debido a que parte del CO₂ se disuelve en el agua del relleno sanitario.

La tasa de generación de metano en el relleno sanitario depende de muchos factores vinculados tanto a las prácticas de manejo utilizadas como a otras características. En estas se incluyen:

- a) La composición del desecho.
- b) La humedad del desecho.
- c) Temperatura.
- d) Acidez.

El contenido de humedad es un aspecto crítico para la descomposición anaerobia debido a que el agua proporciona un medio adecuado para la distribución de las bacterias y nutrientes.

Las bacterias son afectadas por la temperatura y se estima que la tasa de producción de metano alcanza niveles máximos entre 50 y 60 °C, aunque este puede producirse desde 10 a 60 °C. Igualmente el sistema es sensible al pH, con un rango óptimo entre 6.8 y 7.2, aunque

la producción de metano puede ocurrir entre 6.5 y 8.0. Además de los factores críticos citados anteriormente, existen un número importante de factores físicos que influyen, tales como la densidad y consistencia de la basura, el diseño del relleno etc[50].

La metodología por defecto en las Guías establece para el cálculo de las emisiones (Gg/año) la siguiente expresión:

$$\text{Emisión}(\text{CH}_4) = (\text{RSU}) \bullet \text{RSU}_f \bullet \text{FCM} \bullet \text{COD} \bullet \text{COD}_f \bullet F \times (16/12 - R) \bullet (1-\text{Ox}) \quad (10)$$

donde:

RSUt = Total de residuos sólidos generados (Gg/año)

RSUf = Fracción de RSU eliminados en los VRS.

FCM = Factor de corrección para el metano (fracción).

COD = Carbono orgánico degradable (fracción).

CODf = Fracción de COD asimilado

F = Fracción de CH₄ en el gas del vertedero (valor por defecto 0.5).

R = Metano recuperado (Gg/año).

Ox = Factor de oxidación (el valor por defecto es 0)

La aproximación del IPCC supone que el metano se libera en el mismo año en que los desechos se disponen en el relleno. Esto no es lo que sucede realmente, pero proporciona una primera aproximación a las emisiones reales. También la descomposición del carbono orgánico que se deposita en los VRS no es total y parte de este permanece durante largo tiempo en el relleno. El metano producido cuando no es recuperado es emitido totalmente a la atmósfera.

A partir de la generación media de residuos sólidos per cápita en la provincia para el año 2002 que fue de (1.15 kg/hab/día), del índice de producción de residuos sólidos en los asentamientos de población urbana, se estimó un total de 253.83 Gg de residuos sólidos.

El segundo paso del cálculo lo constituyó la determinación del factor de corrección para el metano. Para esto, se estimó la proporción de desperdicios por peso para cada tipo de vertedero, del total anual de residuos sólidos dispuestos y a partir de estos se seleccionaron los factores de corrección para el metano y se calculó el factor ponderado de corrección para cada tipo y el total mostrándose en el anexo 67

El tercer paso, comprendió la estimación de la tasa de producción de metano por unidad de desperdicios. Para esto, se calculó la fracción de carbono orgánico degradable (COD) en los

residuos sólidos urbanos (RSU). Esta se calculó sobre la base de la composición de los desechos en la provincia y valores por defecto, indicados en las Guías, para el carbono orgánico degradable de cada fracción de los desechos. Se utilizó para esta estimación la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de COD por peso} = 0.4(A) + 0.17(B) + 0.15(C) + 0.30(D) \quad (11)$$

donde:

A = porcentaje de los RSU que corresponden al papel y los textiles.

B = porcentaje de los RSU que corresponden a los desechos de jardín y de los parques u a otros desechos orgánicos putrecibles excluidos los alimentos.

C = porcentaje de los RSU que corresponde a los restos de alimentos.

D = porcentaje de los RSU que corresponde a madera y paja.

Se utilizan datos de la caracterización de los desechos sólidos comunales de la provincia, combinados con valores por defecto de las Guías para desechos húmedos o frescos.

El carbono orgánico degradable no se descompone del todo y parte del material degradable permanece en el vertedero, incluso durante largos períodos. Aunque este es un tema de estudio dentro de las Guías se utiliza un valor por defecto de 0.77 como la fracción de COD que realmente se degrada. Al no disponerse de datos locales con relación a la fracción de carbono liberado como metano se utilizó el valor por defecto de las Guías de 0.5.

A partir de estos datos, se calculó la tasa potencial de generación de metano por unidad de desperdicios, la tasa real de generación de metano para la provincia, así como el total bruto anual de metano generado. A este total bruto se le deduce la recuperación anual de metano correspondiente a la quema en antorchas o a los sistemas de recuperación para energía se asume como 0 para el año en que se realiza el inventario con lo cual se obtuvo la generación neta anual de metano. Esta última se corrige por la oxidación del metano para obtener la emisión neta anual que resultó 8.99 Gg CH₄ resultado mostrado en el anexo 66. Debe señalarse que el valor utilizado como factor de corrección para la oxidación del metano es $1 - 0 = 1$ que es el que por el momento recomiendan las Guías.

2.2.6.4 Emisiones de Metano Procedentes del Tratamiento de las Aguas Residuales.

El tratamiento anaerobio de las aguas residuales con elevado contenido de material orgánico incluidas las aguas residuales domésticas y comerciales y algunos efluentes industriales, puede dar origen a cantidades considerables de metano. En el inventario se

calculan por separado, las emisiones generadas por el tratamiento de dos tipos principales de aguas residuales:

- Aguas residuales domésticas y comerciales
- Efluentes industriales

El factor principal que determina el potencial de generación de metano de las aguas residuales, es la cantidad de materia orgánica en ellas. En el caso de las aguas residuales y lodos domésticos y comerciales, esta cantidad es medida a través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), mientras que en los efluentes industriales se emplea la Demanda Química de Oxígeno (DQO). La DBO indica la cantidad de carbono biodegradable aeróbicamente, mientras que la DQO indica la cantidad total de carbono tanto biodegradable como no biodegradable que puede oxidarse.

Con relación a los datos necesarios para los cálculos, debe decirse que no pudo disponerse de datos de calidad a nivel local. Una parte importante de los datos necesarios para la estimación de las emisiones de GEI en este sector, no se captan de forma sistemática por el sistema de la Oficina de Estadísticas, por lo que su inclusión en este sistema se considera como un aspecto fundamental para poder abordar las próximas ediciones del inventario.

Esta situación motivó la utilización de valores por defecto recomendados por las Guías del IPCC y otras metodologías (9, 11, 32), así como, estimaciones de la generación de aguas residuales sobre la base de los datos de actividad disponibles, especialmente datos de población, producción industrial en los diferentes tipos de fuentes etc., así como información acerca de los sistemas de tratamiento utilizados.

La metodología utilizada da cuenta de las emisiones procedentes de las aguas residuales y los lodos. En ambos casos, el método incluye tres partes: el total de materia orgánica; los factores de emisión; y las estimaciones de las emisiones. El material orgánico en las aguas residuales o los lodos medido como DBO o DQO se multiplica por el factor medio de emisión para cada fuente de aguas residuales o de lodos a fin de obtener una estimación de las emisiones.

2.2.6.5 Aguas Residuales Domésticas y Comerciales.

El primer paso para el cálculo de las emisiones es la estimación del total de las aguas residuales y los lodos orgánicos generados. Esta estimación depende de la población cuyas

aguas residuales reciben tratamiento. Al igual que para los desechos sólidos, se parte aquí del total de población urbana de la provincia con algunas correcciones derivadas del sector rural, asumiendo que en las zonas rurales el tratamiento de las aguas residuales es limitado o nulo.

En el año 2002 el sector urbano contaba con una cobertura de alcantarillado del 24.37 % lo que representa un total aproximado de 63 207 personas que disponían de este servicio.

Para el cálculo, se utilizó un valor de 14 600 kg DBO/1000 personas/año a nivel general en Cuba. Este valor es el recomendado en las Guías para América Latina y el Caribe. Se asume como cero a la fracción del componente orgánico retirado como lodos. Estos datos proporcionaron un estimado total de 9 838419.4 KgDBO/año de las aguas residuales orgánicas domésticas /comerciales generado en la provincia mostrado en el anexo 68.

El siguiente paso correspondió a la estimación del factor de emisión para los sistemas de tratamiento de las aguas residuales y los lodos domésticos y comerciales. A continuación se ofrecen los datos utilizados para esta estimación considerando los valores por defecto de las Guías del IPCC para el caso general de sistema de tratamiento no especificado. El valor por defecto (teórico) para la capacidad máxima de producción de metano en las aguas residuales es de 0.63 kg CH₄/kg DBO si se toma en cuenta que el valor de la DQO es entre 2 y 2.5 veces mayor que la DBO (el valor de 0.63 se utilizó en sustitución al recomendado en las Guías de 0.25 para este tipo de aguas residuales). El factor de emisión medio para las aguas residuales domésticas /comerciales resultó 0.05 kg CH₄/kg DBO cálculo que es mostrado en el anexo 69.

En Matanzas, en las áreas urbanas, predomina el uso del alcantarillado centralizado y las fosas sanitarias. La letrina sanitaria es de amplio uso en las áreas rurales agrupadas mientras que la letrina no sanitaria es una práctica aún bastante extendida en las áreas de población rural dispersa [16].

Debe tomarse en cuenta, que las fosas abiertas /letrinas pueden ser una fuente de metano cuando la temperatura y el tiempo de retención son favorables y que el diseño o manejo inadecuado de los sistemas anaerobios pueden permitir aeración y producción reducida de metano. En las fosas sépticas, la extracción frecuente de sólidos reduce la producción de metano. Por otra parte, los ríos de aguas estancadas deficientes en oxígeno, permiten la descomposición anaeróbica.

De igual forma, a la expuesta anteriormente, se procede a la estimación de los factores de emisión para los sistemas de tratamiento de los lodos domésticos y comerciales. Estos factores no fueron estimados por no disponerse de la información necesaria para el cálculo. No obstante, se estima que las emisiones en la provincia por este concepto son insignificantes.

Para la estimación de las emisiones de metano procedentes de las aguas residuales domésticas comerciales, se partió del total de las aguas residuales orgánicas domésticas/comerciales de la provincia del año 2002 y el factor de emisión medio calculado. Esto proporciona una emisión neta de 0.1898 Gg CH₄ por este concepto, considerando como cero la cantidad de metano recuperado y/o quemado en antorchas valor este que se muestra en el anexo 70.

2.2.6.6 Oxido Nitroso Procedente del Excremento Humano.

En este epígrafe se calculan las emisiones indirectas de N₂O procedentes del excremento humano. El contenido de nitrógeno en los excrementos humanos depende de la dieta, salud y actividad física de los individuos. Se estima que una persona activa con un ingreso diario de cerca de 300 g de carbohidratos, 100 g de grasas y 100 g de proteínas, excreta alrededor de 16 g de nitrógeno. Los riñones evacuan el 95 % del nitrógeno y el 5 % residual es excretado como nitrógeno en las heces fecales. Una persona de dieta europea evacua 80-90 % del nitrógeno como urea [21].

Para el cálculo, se parte del consumo medio anual per capita de proteína en la provincia en kg/persona/año y del número de población. Se asume un valor de 0.16 kgN/kg proteína como la fracción de nitrógeno en la proteína. Se asume también al igual que en módulo Agricultura un factor de emisión de 0.01 kg N₂O-N/kg de N en el excremento producido. No se dispone, de esta información necesaria para efectuar los cálculos, por lo que estas emisiones no fueron determinadas. No obstante, según valoración de expertos en esta rama consideran que la contribución por esta fuente, las emisiones de N₂O, es despreciable.

2.3 Metodología para la realización del pronóstico de los escenarios de Mitigación



Para el análisis de los escenarios de Mitigación se utilizó el **GEMIS** (**G**lobal **E**mission **M**odel for **I**ntegrated **S**ystems), el que es, tanto un modelo computarizado de análisis de ciclo de vida, como una base de datos de ciclo de vida y un sistema de análisis de costos de emisión. **GEMIS** se puede utilizar para evaluar impactos ambientales de sistemas de transportes, materiales y energía, como por ejemplo

contaminantes atmosféricos (SO_2 , NO_x , materia particulada, CO ,

Figura 2.2 Base de datos de Gemis 4.1 (29).

NMVOC, etc.), gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 , N_2O etc.), residuales sólidos y líquidos y uso de la tierra.

La familia de software **GEMIS** se comenzó a desarrollar por el **Öko-Institut** (Instituto para Ecología Aplicada) de Alemania en 1987 y a finales del año 2000 se mejoró considerablemente con una versión multilingüe que integró todos los modelos integrantes de la familia en uno sólo, el **GEMIS 4.0**, que será el que se utilice en este trabajo [29]. En la actualidad la versión existente y que se utiliza en este trabajo es la 4.1, desarrollada en el 2002. La parte más importante de **GEMIS 4.1** es su base de datos, la que se ajusta al esquema que se muestra en la Figura 2.2 [30]. Como acercamiento inicial al software se puede hacer uso de las Instrucciones por etapas (Tour) [31], con el que se pueden comprender fácilmente su principio de funcionamiento.

El **GEMIS** se puede utilizar para analizar los sistemas de interés a escala local, regional, nacional o global, así como cualquier combinación de sub sistemas sectoriales o intersectoriales como plantas, facilidades o ciclos de vida especiales. Además **GEMIS** puede determinar el costo económico de escenario de opciones.

En **GEMIS** se consideran dos tipos de Costos, los denominados Internos o Privados y los Externos o Sociales. Como Costos Internos (Privados) se considera la suma de los costos de inversión, costos fijos anuales, costos variables y costos de combustibles y los valores monetarios de los productos y servicios brindados por los procesos. Como Gastos Externos (Sociales) se consideran los costos ambientales monetizados, los que representan el valor asociado de los daños asociados con las emisiones o residuos de los procesos.

Los costos externos no forman parte de los cálculos económicos usuales, los que son normalmente de índole privada. Los costos externos se denominan precisamente así por estar fuera del alcance de las consideraciones económicas privadas. Sin embargo, desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto resulta importante incluir esos denominados costos externos en las decisiones relacionadas con las inversiones relacionadas para la protección del medio ambiente. Los datos básicos del **GEMIS** se derivan de los costos que se requieren para evitar y controlar esas emisiones.

Capítulo 3. Presentación y Discusión de Resultados de los Inventarios de GEI (Diagnóstico)

3.1 Resultados del Inventario Detallado Año 2002

3.1.1 Módulo de Energía.

3.1.1.1 Emisión de CO₂ en el Módulo Energía.

Emisión de CO₂ en el Sector de la Industria de la Energía.

La tabla 3.1 muestra, dentro del sector de la Industria de la Energía, los consumos de los diferentes portadores energéticos utilizados en la provincia durante el año 2002, así como, las emisiones de CO₂ producidas por la quema de estos combustibles.

Tabla 3.1 Portadores energéticos utilizados, consumo y emisiones de CO₂.

Industria de la energía.		
Tipo de Combustible.	Consumo (1000 t)	Emisiones reales de CO₂ (Gg)
Petróleo Crudo	124.57	384.38
Gasolina	0.189	0.58
Otros tipos de queroseno	0.00064	0.0020
Gas/Diesel oil	70.99	226.44
Fueloleo residual	0.857	2.68
GLP	0.0049	0.01
Nafta	20.843	67.94
Lubricante	2.68	7.96
Gas natural	245.280	716.06

Los mayores consumos de portadores energéticos en el sector de la energía se reportan en el gas natural, el petróleo crudo y el diesel, destacándose el gas natural como el principal emisor de CO₂ en la provincia. El gas natural se emplea en la generación de electricidad en turbinas de gas con ciclo combinado (205 MW) en la empresa ENER GAS y a partir del año 2002 se generalizó la utilización del combustible crudo cubano en la generación de electricidad en la provincia (365 MW) en las CTE “A. Guiteras” y “José Martí” [3].

Emisión de CO₂ en el Sector de la Industria Manufacturera y de Construcción.

En el sector de la industria manufacturera y de construcción se destaca el consumo de combustible diesel, principalmente para el transporte y equipos pesados, como se aprecia en la tabla 3.2. En la provincia no existen fábricas de cemento consumidoras de crudo cubano. La información se obtiene de CUPET Provincial [48].

Tabla 3.2. Consumo de los diferentes portadores energéticos y emisiones de CO₂ en el sector de la industria manufacturera y de construcción. Año 2002.

Industria Manufacturera y de construcción.		
Tipo de Combustible.	Consumo (1000 t)	Emisiones reales de CO₂ (Gg)
Gasolina	0.0084	0.03
Gas/Diesel oil	2.20	7.03
Fueloleo residual	0.00073	0.00228
Nafta	0.005082	0.016
Lubricante	0.002	0.005

Emisión de CO₂ en el Sector del Transporte.

Este sector considera el transporte terrestre, aéreo y naval, incluyéndose el transporte internacional. El transporte terrestre sólo considera el transporte público y no las diferentes agencias de transporte empresarial, dentro de las cuales se incluyen las de servicio al turismo.

En el territorio existe el Aeropuerto Internacional “Juan G. Gómez” con un elevado consumo de combustible de aviación, siendo este el mayor emisor de CO₂, aunque esta emisión no se considera en el territorio ya que se destina a aviación internacional (tabla 3.3). La información se obtiene de los reportes anuales de consumos de combustible brindados por Aeropuerto, Ministerio de Transporte Provincial, Taller de Equipos Ferroviarios y Cuba Petróleo [33, 48, 49, 51, 53, 54].

Tabla 3.3. Tipos de combustibles, consumos y emisiones de CO₂ en el sector del transporte, por tipos de transporte Año 2002.

Transporte.		
Tipo de Combustible.	Consumo (1000 t)	Emisiones reales de CO₂ (Gg)
Aviación nacional		
Gasolina	0.123	0.40
Queroseno para aviación	3.33	9.69
Trasporte por carretera		
Gasolina	3.12	10.17
Gas/Diesel	4.98	15.88
Transporte Ferroviario		
Gas/Diesel	0.775	2.47
Navegación Nacional		
Gas/Diesel	1.183	3.71
Lubricantes	0.98	2.91
Navegación internacional		
Flueloleo residual	3.245	10.17
Aviación internacional		
Gasolina	0.018	0.06
Queroseno para aviones	44.48	129.43

En la tabla 3.4 se muestran las emisiones de CO₂ producidas por fuentes móviles, exceptuando el transporte internacional, con un total de 45.23 Gg donde se destaca el transporte por carretera como el principal emisor con un 58 %. Todos estos tipos de transporte son de propiedad estatal.

Tabla 3.4 Emisiones de CO₂ por categorías de tipo de transporte en Gg. Año 2002.

Tipo de Transporte	Emisión de CO₂
Aviación Nacional	10.09
Transporte por Carretera	26.06
Transporte Ferroviario	2.47
Navegación Nacional	6.62
Total	45.23

Emisión de CO2 en el Sector Comercial Institucional.

Este sector abarca la mayoría de las empresas de la provincia incluyendo el sector turístico de gran peso en la región. En la tabla 3.5 se muestran los consumos y emisiones de CO₂ de cada portador energético. En este sector se destaca el consumo de diesel y gasolina, debido a la influencia del sector turístico y fundamentalmente debido al transporte dentro del sector turístico, con varias agencias de viajes. Ello repercute en el inventario del territorio donde se encuentra el principal polo turístico del país, la playa de Varadero.

Tabla 3.5. Tipos de combustibles, consumos y emisiones de CO₂ en el sector comercial institucional. Año 2002.

Sector comercial / institucional		
Tipo de Combustible.	Consumo (1000 t)	Emisiones reales de CO₂ (Gg)
Gasolina	24.77	76.31
Queroseno aviones	0.241	0.70
Otros Queroseno	0.01	0.03
Gas/Diesel	55.64	177.79
Fueloleo residual	0.095	0.3
GLP	0.564	1.68

Emisión de CO2 en el Sector Residencial.

El sector residencial del territorio solo incluye los consumos de queroseno y GLP destinado exclusivamente a la cocción de alimentos. La tabla 3.6 muestran estos consumos y las emisiones de CO₂ por cada portador. Los datos de consumos de los portadores energéticos son tomados de CUPET [48].

Tabla 3.6. Tipos de combustibles, consumos y emisiones de CO₂ en el sector residencial. Año 2002.

Sector residencial.		
Tipo de Combustible.	Consumo (1000 t)	Emisiones reales de CO₂ (Gg)
Otros tipos de queroseno	5.76	17.98
GLP	3	8.32

Emisión de CO₂ en el Sector Agricultura, silvicultura y pesca.

En este sector los consumos de combustible y las emisiones de CO₂ se muestran en la tabla 3.7. Se destaca el consumo de diesel como el mayor emisor de CO₂ en el sector, dado por su utilización en equipos agrícolas, regadío y transporte.

Tabla 3.7. Tipos de combustibles, consumos y emisiones de CO₂ en el sector agrícola, silvicultura y pesca. Año 2002.

Agricultura , silvicultura y pesca.		
Tipo de Combustible.	Consumo (1000 t)	Emisiones reales de CO₂ (Gg)
Gasolina	2.47	7.62
Otros tipos de queroseno	0.03	0.09
Gas/Diesel	43.77	139.62
Fueloleo residual	0.095	0.30
GLP	0.033	0.10

Emisión de CO₂ en Otros Sectores no Especificados.

Este sector considera organizaciones no gubernamentales, religiosas, etc., con muy poca demanda de portadores energéticos. La tabla 3.8 muestra los consumos y emisiones de CO₂ del sector, las cuales son muy pequeñas en comparación con otros sectores.

Tabla 3.8. Tipos de combustibles, consumos y emisiones de CO₂ en otros sectores. Año 2002.

Otros sectores no especificados.		
Tipo de Combustible.	Consumo (1000 t)	Emisiones reales de CO₂ (Gg)
Gas/Diesel oil	0.0087	0.03
GLP	0.004	0.01
Lubricante	0.0065	0.02

Consumos totales de portadores energéticos y emisión de CO₂ en la provincia.

Las tablas 3.9 y 3.10 resumen los consumos de energía (en TJ) de los diferentes tipos de combustibles por sectores dentro del módulo de energía y los consumos totales de la provincia, en TJ y la figura 3.1 muestra la distribución del consumo de energía (TJ) entre los diferentes portadores en la provincia.

Tabla 3.9 Consumos de portadores por tipos y por categorías de fuente del módulo de energía, en TJ. Año 2002

	Ind. Energía	Man y Const.	Transp.	Com/Inst	Resid.	Agric.	Otros
Tipo de Combustible.	TJ						
Petróleo Crudo	5294.52						
Gasolina	8.49	0.38	145.61	1112.31		111.3	
Otros tipos queroseno	0.03			0.44	252.68	1.31	
Gas/Diesel oil	3088.15	95.83	298.72	2420.6		1904	0.38
Fueloleo residual	35.05	0.03		3.89		3.89	
GLP	0.23			26.85	133.18	1.57	0.19
Nafta	935.85	0.23					
Lubricante	109.61	0.08	40.08				0.27
Gas natural	12828.14						
Queroseno aviones			136.86	9.91			

Tabla 3.10 Consumos Provinciales de portadores por tipos y emisiones totales. Año 2002

Tipos de Combustible.	Consumos (TJ)	Emisión CO₂ (Gg)
Petróleo Crudo	5294.52	384.38
Gasolina	1378.09	95.12
Otros tipos de queroseno	254.46	18.10
Gas/Diesel oil	7807.68	572.67
Fueloleo residual	42.86	3.28
GLP	162.02	10.12
Nafta	936.08	67.96
Lubricante	150.04	10.89
Gas natural	12828.14	716
Queroseno aviones	146.77	10.39

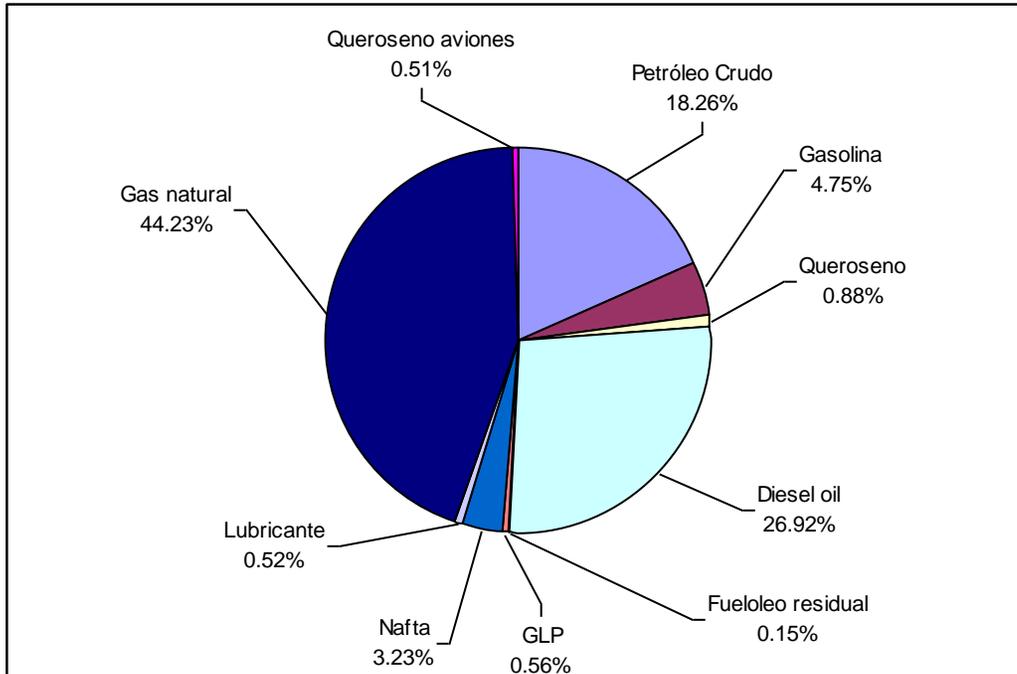


Figura 3.1 Consumo de energía (TJ) de los diferentes portadores en la provincia. Año 2002.

En la Figura 3.2 se muestran las emisiones de CO₂ por Sectores dentro del módulo de energía, a partir de la quema de combustible, de donde se aprecia que la Industria de la Energía es el Sector que más consume combustible y a la vez el que más emite GEI.

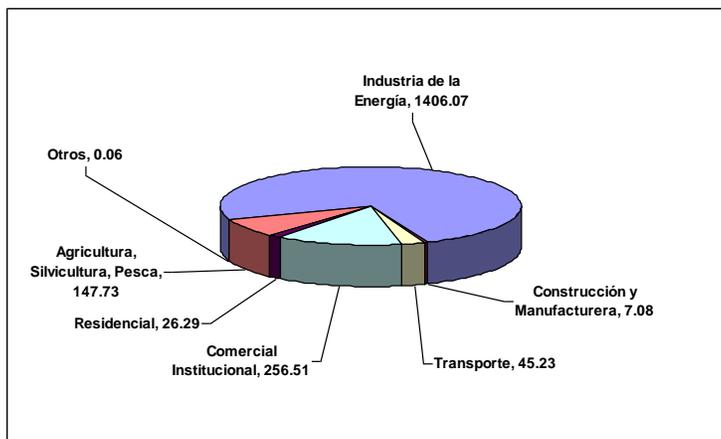


Fig. 3.2 Emisiones de CO₂ por categorías de fuentes a partir de la quema de combustibles. Matanzas, Año 2002.

3.1.1.2 Emisiones de SO₂ en el módulo de Energía.

Las emisiones de dióxido de azufre producidas por la quema de diferentes combustibles aparecen en la tabla 3.12. Se debe destacar el contenido de azufre del crudo nativo lo que origina las mayores emisiones.

Tabla 3.12 Emisiones de SO₂ por tipo de combustible. Año 2002.

Emisiones de SO ₂		
Tipo de Combustible.	Consumo (TJ)	Emisiones de SO ₂ (Gg)
Petróleo Crudo	5294.52	18.586
Gasolina	1378	0.006
Otros tipos de queroseno	254.46	0.005
Gas/Diesel oil	7724.29	0.044
Fueloleo residual	42.85	0.062
Gas Natural	12828.14	0
Nafta	936.08	0.045
Queroseno aviación	146.77	0.002

3.1.3 Emisión de gases de efecto de Invernadero distintos del CO₂ en el Módulo de Energía

En la tabla 3.13 se muestra que dentro de los gases de efecto de invernadero diferentes del dióxido de carbono, las mayores emisiones están dada por los NO_x y el CO. Estas emisiones son mayores en los sectores de la energía y el transporte respectivamente.

Tabla 3.13 Emisión de gases de efecto de Invernadero Distintos del CO₂ en Mg, procedente de la quema de combustibles por categorías de fuentes (sectores). Año 2002.

	CH ₄	N ₂ O	NO _x	COVDM	CO
Industria de la Energía	156.69	6.966	3818.6	111.5	398.64
Industria Manufacturera y de la Construcción	0.19	0.058	19.31	0.483	0.966
Transporte	4.56	0.572	411.43	276.722	1466.836
Comercial Institucional	35.74	2.144	357.4	17.87	3574
Residencial	3.8	0.232	38.58	1.929	7.71
Agricultura Silvicultura y Pesca	10.109	1.213	202.198	10.11	40.44
Otros	0.0083	0	0.057	0.004	0.011
Emisiones Totales	211.0973	11.185	4847.575	418.618	5488.603

3.1.2 Módulo de Procesos Industriales.

En la provincia los únicos procesos industriales emisores de gases de efecto invernadero son: la producción de ácido sulfurico (SO₂), producción de cal viva (CO₂), la pavimentación de carreteras y la producción de bebidas alcoholicas y alimentos (COVDM). La tabla 3.14 muestra los valores de emisionas para estos gases a partir de los procesos antes mencionados.

Tabla 3.14 Gases de efecto invernadero en el módulo de procesos industriales. Año 2002.

Procesos	Emisiones de gases de efecto invernadero (Gg)		
	CO2	COVDM	SO2
Acido Sulfúrico			0.29
Cal viva	1.84		
Pavimentación		7.7	
Bebidas alcoholicas		0.09	
Alimentos		0.22	
Totales	1.84	8.01	0.29

3.1.3 Módulo de Uso de Solventes y Otros Productos.

En el uso de solventes se destaca sólo los solventes de uso doméstico en comparación con las impresiones y aplicación de pinturas. Los resultados de las emisiones de COVDM se muestran en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Emisión de COVDM procedente del uso de solventes por tipos de fuentes. Año 2002.

Procesos	Total Emisión de COVDM (Gg)
Usos Domésticos	1.21
Ind. De Impresiones	0
Aplicación de Pinturas	0.34

3.1.4 Módulo de Agricultura.

En este modulo se consideran las emisiones procedentes de la fermentación entérica y tratamiento de estiérco de los animales, la quema de caña de azucar, las emisiones de los cultivos de arroz, la fertilización de los suelos, los cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno, así como, los residuos de las cosechas.

3.1.4.1 Emisiones producto de la Fermentación Entérica y Manejo de Estiércol.

La tabla 3.16 muestra las emisiones procedentes de la fermentación entérica y del manejo de estiércol. En la provincia el ganado bovino lechero y no lechero son los tipos de animales de mayor emisión de metano.

Tabla 3.16 Emisiones totales de metano a partir de la fermentación entérica y sistemas de manejo de estiércol, en Gg. Año 2002.

Tipo de Animales	Emisiones procedentes de la Fermentación Entérica	Emisiones procedentes del manejo del estiércol	Total	% del total
	Gg	Gg	Gg	%
Ganado lechero	11.245	0.278	11.522	55.01
Ganado no lechero	5.822	0.119	5.941	28.36
Búfalos	0.199	0.011	0.209	1.00
Ovejas	0.242	0.010	0.252	1.20
Cabras	0.051	0.002	0.053	0.25
Camellos	0.000	0.000	0.000	0
Caballos	0.538	0.065	0.603	2.88
Mulas y Asnos	0.003	0.000	0.004	0.016
Cerdos	0.046	0.273	0.319	1.523
Aves de corral	2.019	0.020	2.039	9.735
Totales	20.164	0.779	20.943	100

3.1.4.2 Emisiones de metano procedente del cultivo de arroz.

La superficie cultivada de arroz en la provincia es de 25189715 m² (21), lo cual aporta 0.1 Gg de metano.

3.1.4.3 Emisiones producto de la quema de campos de Caña.

Las emisiones producidas por la quema de campos de caña de azúcar [49] aparecen en la tabla 3.17, con predominio de monóxido de carbono.

Tabla 3.17 Emisiones GEI por quema de campos de caña en Gg. (2002).

Gases de Efecto Invernadero	Emisión	
	Gg	%
Metano CH ₄	0.12	4.31
Monóxido de Carbono	2.52	90.51
Oxido de Nitrógeno	0.14	5.028
Oxido Nitroso	0.004	0.143
Total	2.784	100

3.1.4.4 Emisiones directas procedentes de los suelos agrícolas.

El estiércol es el mayor emisor de óxido nitroso procedente de los campos agrícolas. La tabla 3.18 muestran estos resultados..

Tabla 3.18 Emisiones directas de N₂O-N procedente de los suelos agrícolas, en Gg. Año 2002.

Tipo de aporte de Nitrógeno en el suelo	Emisiones directas de los suelos	
	(Gg N ₂ O-N/año)	%
Fertilizante sintético(FSN)	0.006	5.317
Estiércol (FE)	0.109	92.101
Cultivos fijadores de nitrógeno (FBN)	0.001	1.496
Residuos de las cosechas (FCR)	0.001	1.084
Total	0.118	100

3.1.4.5 Emisiones Indirectas de los suelos agrícolas.

Los resultados obtenidos aplicando el método por defecto de las guías se muestra en la tabla 3.19, donde aparecen los resultados obtenidos acerca de las emisiones indirectas totales de N₂O por la deposición atmosférica de amoníaco (NH₃) y óxido de nitrógeno (NO_x) y la lixiviación.

Tabla 3.19 Emisiones indirectas totales de N₂O-N, en Gg. Año 2002.

Concepto de la emisión	Emisión Total Indirecta de N ₂ O	
	Gg N ₂ O-N/año	%
Deposición atmosférica de NH ₃ y NO ₂	0.01802	20.5895795
Lixiviación	0.0695	79.4104205
Total	0.08752	100

3.1.5 Módulo de Cambios en el Uso de la Tierra y Silvicultura.

3.1.5.1 Absorción de CO₂

Para calcular la absorción neta de CO₂ se estimó el incremento anual de la biomasa en las plantaciones, los bosques talados o aprovechados de otra manera, así como todas las demás existencias importantes de biomasa leñosa. Se estimó también la madera aprovechada para leña, así como la madera comercial para la construcción y para otros usos. Se calculó la absorción neta de carbono correspondiente a esas actividades. Si la cifra es positiva, se considera remoción de CO₂ y si la cifra es negativa, se toma como emisión. Por último, la absorción o emisión neta de carbono se expresa en términos de CO₂.

Estudios sobre la absorción de carbono de las plantaciones forestales tropicales indican que el máximo crecimiento y absorción de carbono ocurre durante las edades de 0-5 y 6-10 años. En cambio, la absorción de carbono disminuye en un 50% en los 5 años siguientes y se reduce aun más después de los 16 años de edad [27]. Debido a esto y en ausencia de mejor información el incremento anual de biomasa para los bosques naturales fue asumido en el inventario como el 50 % del correspondiente al de una plantación de especies semejantes por predominar en los primeros los árboles maduros.

En la tabla 3.20 aparece la absorción de carbono debido al incremento anual de la biomasa en estos bosques. De la tabla puede apreciarse el peso, que en el total, tiene un cultivo permanente y arbustivo como los cítricos. La cuantificación de los árboles aislados independientes es una tarea compleja y de gran incertidumbre pues no se poseen datos completos al respecto. Pese a esto se consideró incluir por su importancia a la Palma Real sobre la cual pudo captarse información. Se estimó a partir de datos de la Dirección de Forestales del MINAG [53] que de la Palma Real (*Roystonea regid*), planta representativa de la nación cubana, había en 2002 alrededor de 2.5 millones de árboles aislados. Es una de las plantas nativas de mayor utilidad material para el cubano, y la de más variado uso. Debe llamarse la atención que esto significa una porción pequeña del total de árboles aislados, los cuales son muy frecuentes en ciudades, poblados y en el espacio rural.

Tabla 3.20 Absorción de carbono debido al incremento anual de la biomasa en la provincia. Año 2002.

		Incremento total de la absorción de carbono. (kt C).
Plantaciones	Latifolias	77.43
	Coníferas	40.88
	Cítricos	165.37
Otros bosques	Tropical húmedo con estación seca larga.	802.70
	Manglares	127.32
Árboles en zonas no boscosas	Palma Real	6.25
Total		1219.95

Tabla 3.21 Absorción anual de CO₂ debido a los cambios en los bosques y otros tipos de vegetación leñosa. Año 2002.

Absorción anual de carbono (kt C)	Liberación anual de carbono (kt C)	Absorción neta de carbono (kt C)	Absorción anual de CO ₂ (Gg CO ₂)
1219.95	92.76	1127.19	4133.04

Tomando en cuenta los datos de las tablas 3,20 y 3.21 del incremento total de la absorción de carbono y de la liberación anual de carbono se obtuvo como resultado que el año analizado se produjo una absorción neta de 1127.19 kt C ó lo que es lo mismo 4133.04 Gg CO₂.

3.1.5.1 Estimación del carbono liberado por la quema de la biomasa aérea fuera del bosque.

En Cuba no se practica la quema de bosques para obtener tierras de cultivos, por lo que se estima que el carbono liberado de la biomasa quemada fuera del bosque es cero.

3.1.5.2 Resumen del módulo

El balance total de este módulo se muestra en la Tabla 3.22, en la que se aprecia que, a partir del incremento total de la absorción de carbono y de la liberación anual de carbono, se obtuvo como resultado que en el año analizado se produjo una absorción neta de 1205.07 kt C ó lo que es lo mismo 4418.59 Gg CO₂.

Tabla 3.22 Absorción anual de CO₂ debido a los cambios en los bosques y otros tipos de vegetación leñosa.

Absorción anual de carbono (kt C)	Liberación anual de carbono (kt C)	Absorción neta de carbono (kt C)	Absorción anual de CO ₂ (Gg CO ₂)
1219.95	14.88	1205.07	4418.59

3.1.6 Módulo de Desperdicios.

A partir de la cantidad de residuos sólidos generados en las zonas urbanas 273.72Gg, se obtiene la cantidad de metano procedente de los vertederos de desechos solidos de 8.99

Gg/año [12].El otro agente emisor considerado es las aguas residuales las cuales emiten 0.4919 Gg/año de metano.

3.1.7 Resumen de los resultados del inventario provincial año 2002.

La tabla 3.23 muestra el resumen completo de las emisiones y absorciones de los GEI, tanto los de efecto directo como los indirectos. Además para un mejor análisis y comparación, a continuación se presenta el balance de las emisiones de gases de efecto invernadero directo, representadas en su equivalente como CO₂. Para esta representación se hizo uso del **Potencial de Calentamiento Global (GWP)**, ya que las emisiones de los **GEI** tienen diferente fuerza radiativa, por lo cual sus efectos relativos en el calentamiento de efecto invernadero pueden variar de manera significativa de un gas a otro.

Tabla 3.23 Resumen del Balance Total de GEI en Matanzas (año 2002).

	Emisión CO2	Absorción CO2	CH4	N2O	NOx	CO	NMVOC	SO2
1 Energía	1888.91		0.2211	0.0111	4.84	5.45	0.41	21.579
2 Procesos Industriales	1.842		0	0	0	0	8.013	0.289
3 Solventes y otros productos	0			0			1.5	
4 Agricultura			21.163	0.685	0.1429	2.516		
5 Uso de la tierra y bosques	0	-4418.89	0	0	0	0		
6 Desperdicios			8.9867624	0				
Totales	1890.76	-4418.89	30.3715	0.6961	4.9905	7.9714	9.9325	21.8615

Para medir esa fuerza radiativa específica se utilizaron los factores de peso máxicos conocidos como **Potenciales de Calentamiento Global (GWP)** por sus siglas en inglés), los que dependen del tiempo de vida atmosférico y de la capacidad específica de absorción del gas en cuestión. Los **GWP** se calculan tomando como referencia al CO₂ y de la Tabla 3.24 se obtiene para el CH₄ un valor de 21 y para el N₂O un valor de 310. Para calcular la suma de los efectos de todos los gases en el calentamiento global se utiliza la sumatoria de la masa emitida de cada gas multiplicada por el factor correspondiente, o sea:

$$CEq. = \sum Gi * GWPi$$

Tabla 3.24 Potencial de Calentamiento Global [30]

Greenhouse Gas	Time Horizon 100 years
CO2	1
CH4	21
N2O	310
HFC-23	11700
HFC-32	650
HFC-43-10mee	1300
HFC-125	2800
HFC-134	1000
HFC-134a	1300
HFC-152a	140
HFC-143	300
HFC-143a	3800
HFC-227	2900
HFC-236	6300
HFC-245	560
SF6	23900
Perfluoromethan	6500
Perfluoraethan	9200
Perfluorocyclobutan	8700
Perfluorhexan	7400
Perfluorpropan	7000
Perfluorbutan	7000
Perfluorpentan	7500

all values based on GHG mass

Donde CEq. Es el equivalente en CO₂, G_i es el flujo másico del GEI_i y GWP_i es el Potencial de Calentamiento Global del GEI_i. Los resultados del Inventario de Gases de Efecto Directo de Invernadero del 2002, expresados como CO₂ equivalente; se muestran en la figura 3.3 y de la misma se aprecia que la mayor parte de la emisión de **GEI** directos la produce el Sector de la Energía y que el otro elemento decisivo lo constituye la fijación de CO₂ que produce el módulo de Cambio del Uso de la Tierra y la Silvicultura (**CUTS**), cuyo valor resulta muy superior a la emisión existente, por lo cual el Balance de la Provincia es de **-1674.49 Gg de CO₂ equivalente**, lo que constituye un aporte para mejorar la situación del Balance nacional.

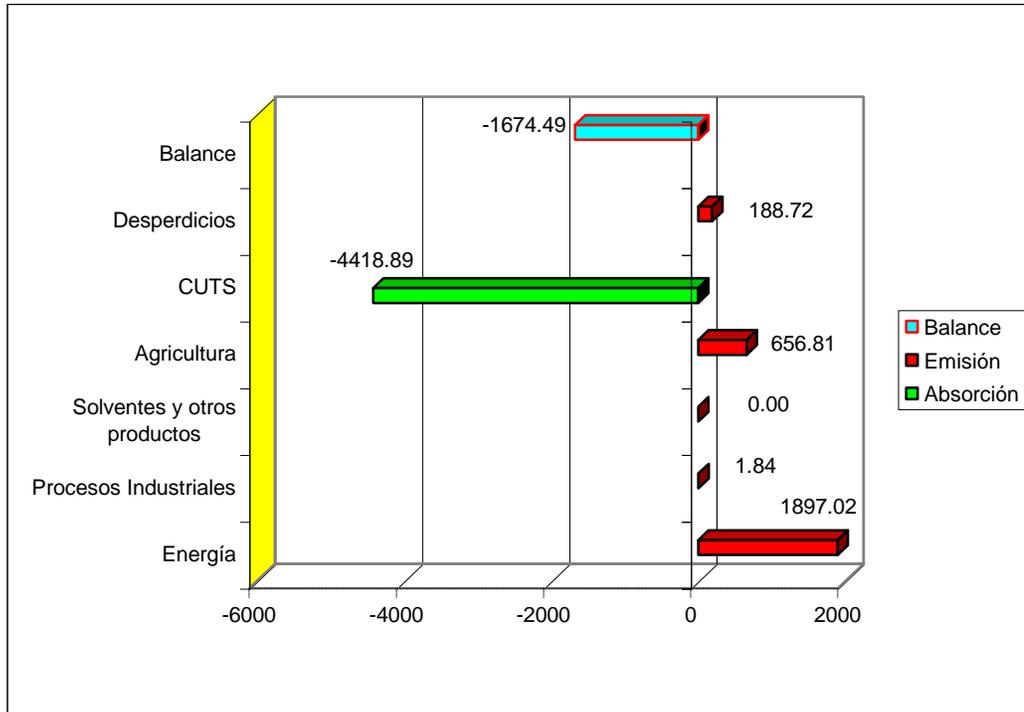


Figura 3.3 Balance de Emision y Absorción de CO2 equivalente en Matanzas (2002)

3.2 Resultados del Inventario del año 2004.

A partir de los resultados del **Inventario de GEI del año 2002**, para el **Inventario de GEI del año 2004** se decidió realizar el inventario completo de los tres módulos que contaban con la totalidad de los datos necesarios para su cálculo (Energía, CUTS y Desperdicios) Anexos (75 al 119). El otro módulo importante, la Agricultura, se estimó a partir de los datos estadísticos del comportamiento de la economía cubana en el periodo comprendido entre 1997 y 2003 [23], a falta de los datos estadísticos oficiales del año 2004. Dada las diferencias en las tendencias de crecimiento entre el sector agrícola y el pecuario, motivada por la mayor afectación que ha tenido el sector pecuario por la sequía, se consideró más representativa la tendencia del cambio del Producto Interno Bruto (PIB) en ese periodo. En la Figura 3.4 se aprecia la variación existente del PIB y con esa base se calculó el incremento que se podía esperar en el 2004, a partir del valor obtenido para el módulo en el inventario del 2002 [23].

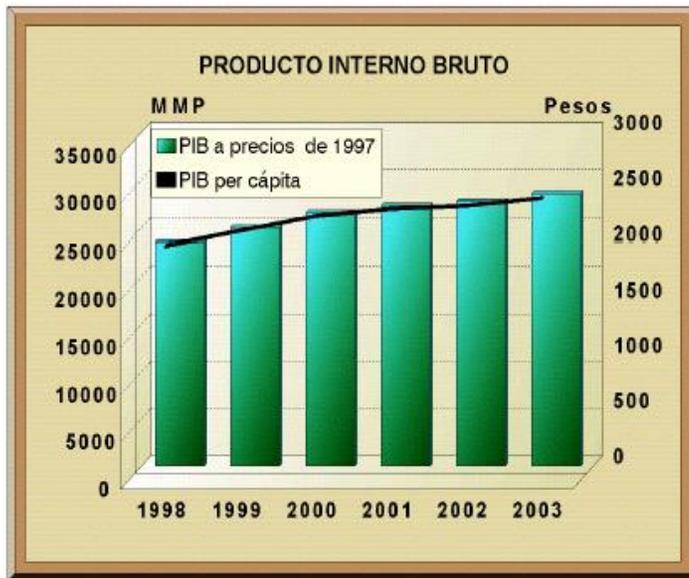


Figura 3.4 Variación del PIB en el país (1997 – 2003), (22).

De esa forma se obtuvieron los resultados globales que se muestran en la Figura 3.5, los que se pueden considerar un estimado adecuado del nivel de emisión y fijación de CO₂ equivalente en ese año. En la figura se aprecia un aumento en la fijación de CO₂ por el módulo CUTS, pero un incremento mayor en la emisión de CO₂ por el módulo de Energía, con lo que se reduce el valor de balance. Este incremento se debe a que la **Central Termoeléctrica “Antonio Guiteras”** aumentó su generación y por consiguiente el consumo de combustible crudo nacional. Aún así, debido a averías presentadas en esta unidad, aunque el consumo se incrementa con respecto al año 2002, este es inferior al del año 2003, lo cual se explica en el epígrafe 3.4.

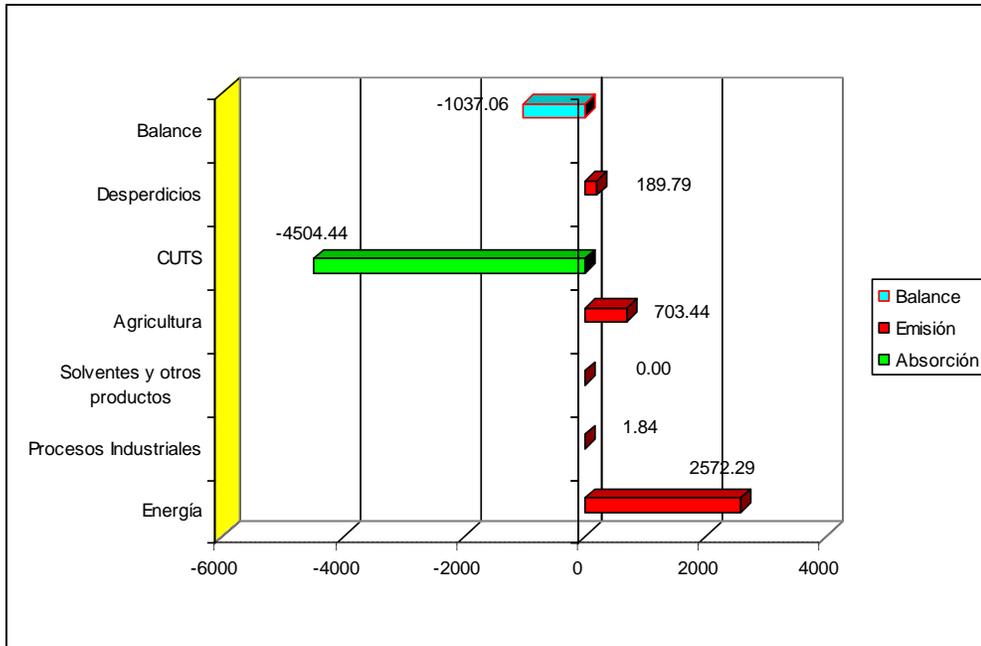


Figura 3.5 Balance de Emision y Absorcion de CO2 equivalente en Matanzas (2004)

3.3 Comparación de resultados con inventarios nacionales.

Desde el año 1995 se viene trabajando en la determinación de las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI) en Cuba. Hasta la fecha, se han culminado los inventarios correspondientes al año base 1990 [43] y al año base 1994 [62], así como el del año 1996 [10] y está en proceso de elaboración el Inventario correspondiente al año 1998. Los años 1990 y 1994 son los establecidos por la UNFCCC como opciones de año base y además, para Cuba, representan años muy cercanos a los valores máximo y mínimo de emisiones de GEI observados en el período posterior a 1989. Los resúmenes de esos inventarios, en Gg de CO₂ equivalente se presenta en las figuras 3,6, 3.7 y 3.8. Se dispone también de información sobre otros Inventarios Nacionales de GEI y entre ellos resulta de especial importancia para Cuba, la referencia del reporte realizado por la comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Nicaragua (Marena) sobre el Inventario Nacional de GEI de Nicaragua [56] basado en el año 1994 (Figura 3.9) y el análisis de sus resultados.

Los primeros Inventarios Provinciales de GEI en Cuba son los que se realizan en este trabajo y no se pueden hacer comparaciones directas con los Inventarios Nacionales, pero

como los inventarios se han realizado con igual metodología, o sea con las guías revisadas del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático de 1996 (IPCC), la comparación relativa es posible, si se tienen en cuenta las diferencias de área geográfica que abarcan y el año específico en que se llevan a cabo. Por ello, la comparación de los resultados entre los tres Inventarios Nacionales Cubanos y el Inventario Nicaragüense (figura 3.9), resulta ilustrativa y brinda elementos útiles para la valoración de los resultados obtenidos en los Inventarios de la Provincia de Matanzas [56].

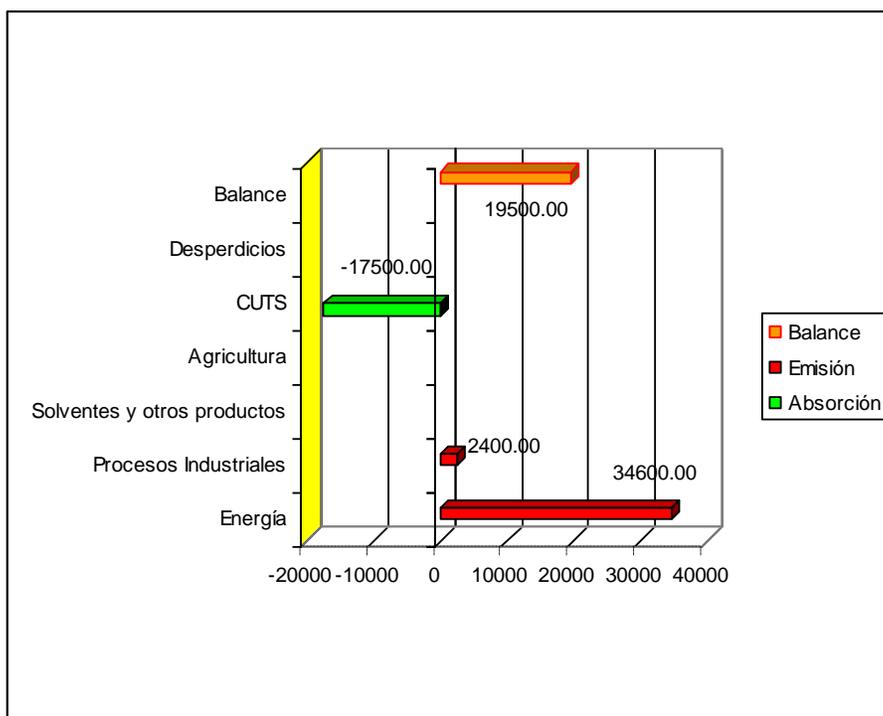


Figura 3.6 Balance de emisiones y fijaciones CO2 equivalente en Gg (Cuba 1990)

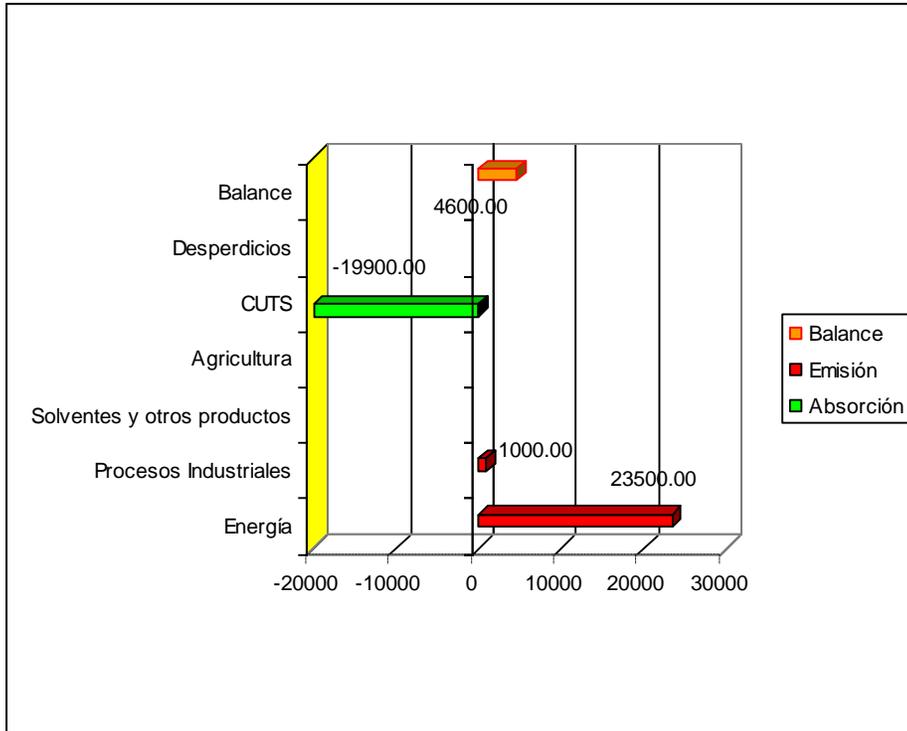


Figura 3.7 Balance de emisiones y fijaciones CO2 equivalente en Gg (Cuba 1994)

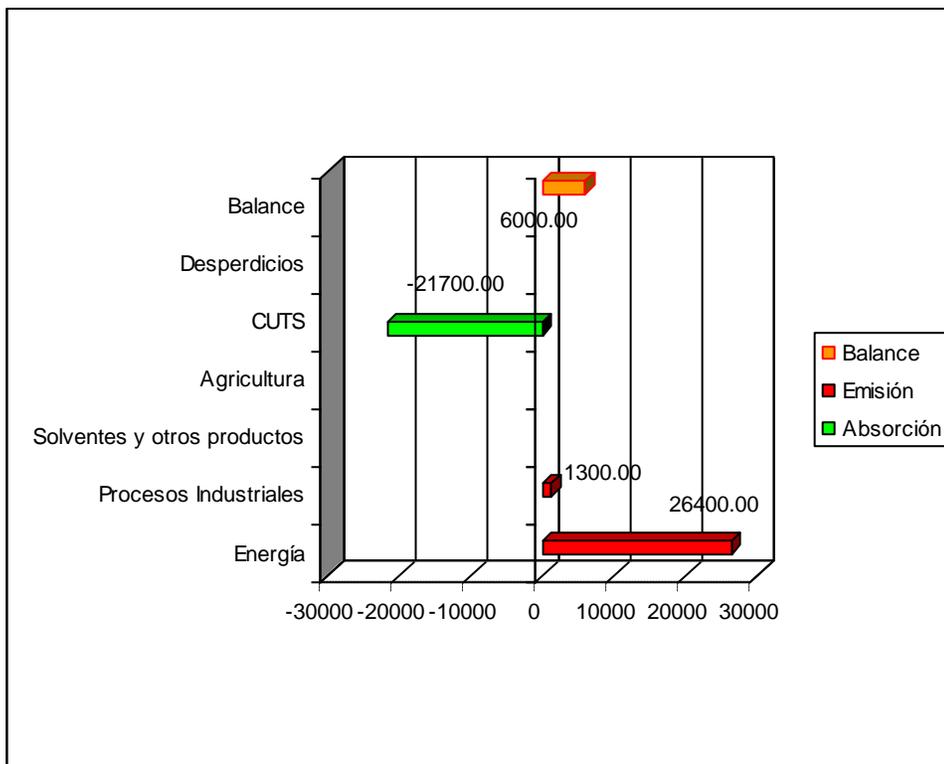


Figura 3.8 Balance de emisiones y fijaciones CO2 equivalente en Gg (Cuba 1996)

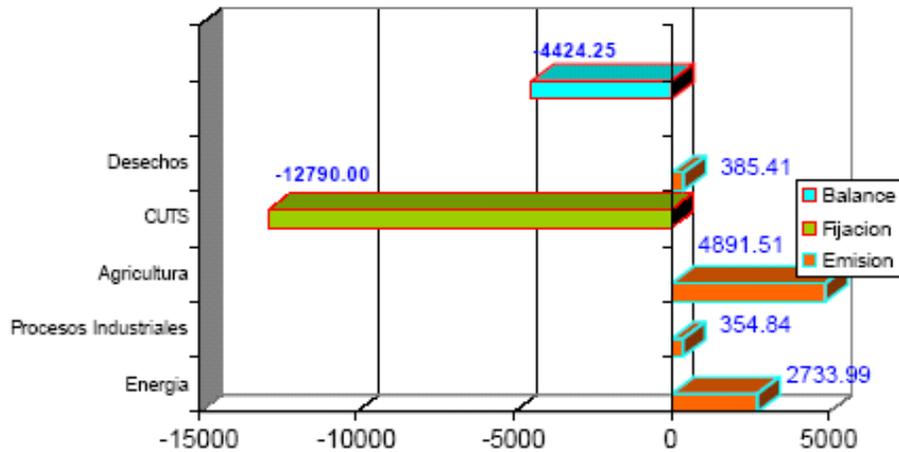


Figura 3.9. Balance de emisiones y fijaciones CO2 equivalente en Gg (Nicaragua 1994) (55).

Cuando se comparan los resultados obtenidos en los inventarios nacionales de 1990 y 1994, se ve reflejada la situación económica y social del país en este periodo de tiempo, caracterizada por una grave crisis económica provocada por la desaparición del Socialismo en Europa del Este, con lo que Cuba perdió casi la totalidad de sus mercados de comercio exterior, el que además se realizaba en condiciones de intercambio muy favorables. A consecuencia de ello se produjo una gran contracción económica, las reservas del país se agotaron rápidamente y se produjo además en esa misma época la intensificación del bloqueo económico financiero y comercial de los Estado Unidos. Esto se aprecia en el hecho de que los consumos de portadores energético y por consiguiente las emisiones de GEI, sufrieron una brusca reducción entre 1990 y 1994, sin que se hubieran aplicado medidas específicas de mitigación (Figura 3.10) [23].

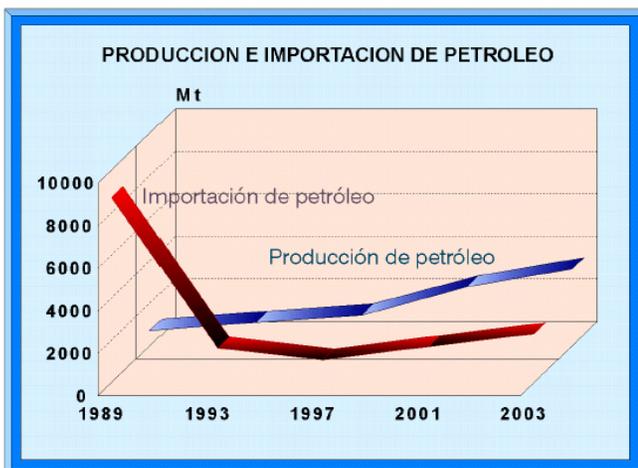


Figura 3.10 Producción e importación de petróleo en Cuba (22).

En la actualidad, aunque el bloqueo se mantiene en las mismas condiciones, la economía cubana se ha ido recuperando paulatinamente, lo que se refleja en los inventarios nacionales de 1994 y 1996, en los cuales las emisiones comienzan a incrementarse, aunque todavía muy por debajo del año 1990. En el caso de la provincia, los inventarios realizados en Matanzas en el 2002 y el 2004 ya reflejan una actividad económica más cerca de la que existía en el año 1990 (Figura 3.3 y 3.5), antes de la caída brusca de la economía cubana, antes mencionada y por ello una comparación con los resultados del Inventario Nacional de 1990, nos permite tener una idea de lo que representa Matanzas para la situación de Cuba en su conjunto.

En la Tabla 3.25 se muestra el resumen del Balance de los Inventarios Nacionales realizados en Cuba en 1990, 1994 y 1996 [5] y en Nicaragua en 1994, así como los inventarios de la Provincia de Matanzas en los años 2002 y 2004. Del análisis comparativo de los resultados se puede apreciar el peso relativo de la provincia de Matanzas dentro de las emisiones y más aún, dentro de las fijaciones de CO₂ en el país. El nivel de fijaciones de Matanzas es comparable con el de Nicaragua, un país que se destaca por su área forestal y en ello influyen apreciablemente las plantaciones de cítricos y el humedal Ciénaga de Zapata.

Tabla 3.25 Comparación entre Inventarios Nacionales y Provinciales de GEI (Gg de CO₂ equivalente)

	Emision	Fijación	Balance
Cuba 1990	37000	-17500	+19500
Cuba 1994	24500	-19900	+4600
Cuba 1996	27700	-21700	+6000
Nicaragua 1994	8365.75	-12790.00	-4427.25
Matanzas 2002	2741.76	-4130.51	-1388.73
Matanzas 2004	3467.37	-4504.43	-1037.06

3.4 Diagnóstico de la situación actual de los GEI en la Provincia de Matanzas

Para el diagnóstico de la situación actual de la Provincia de Matanzas se tuvo en cuenta que en el 2002 la CTE “Antonio Guiteras”, la mayor unidad generadora del país, con 330 MW de potencia instalada, permaneció fuera de servicio durante 8 meses debido a los trabajos de remodelación para la quema del combustible crudo en su caldera, lo que

influyó significativamente en los consumos de portadores energéticos de la provincia. Precisamente el incremento de emisiones en el 2004 se debe al trabajo de esa CTE con crudo nacional, pero también en ese año estuvo fuera de funcionamiento la central por una avería de importancia, lo que hace que todavía el nivel de emisión de CO₂ alcanzado no sea el que corresponde a su capacidad potencial.

Teniendo en cuenta esta situación, se consideró que para tener una representación más cercana a la realidad, se debe añadir al resultado del inventario del año 2004 la emisión que le correspondería a la **CTE Antonio Guiteras** funcionando normalmente todo el año utilizando los datos de consumo de combustible del 2003. Eso significa un incremento de las emisiones hasta 4025.33 Gg de CO₂ equivalente y como la fijación de CO₂ se considera constante con respecto al 2004, el balance se reduce a -479.1, como se aprecia en la Tabla 3.26, con lo que se obtiene un mejor estimado del balance de emisiones actuales en la Provincia, el que se puede considerar como el Diagnóstico de la situación actual de la provincia de Matanzas con relación a los Gases de Efecto Invernadero.

Tabla 3.26 Diagnóstico de la situación actual de la provincia de Matanzas (Gg de CO₂ equivalente).

	Emisión	Fijación	Balance
Diagnostico	4025.33	-4504.43	-479.1

3.5 Conclusiones parciales.

1. El inventario de emisión de gases de efecto invernadero realizado en la provincia de Matanzas tomando como base el año 2002, constituye el primer Inventario Provincial de GEI en Cuba y recoge la información detallada y actualizada de la región acorde a las Guías del Panel Intergubernamental del Cambio Climático.
2. En este inventario se comprobó que la mayor emisión de GEI está en el Sector de la Industria de la Energía, por la combustión del gas natural y el crudo nacional, la que representa el 51.43 % del CO₂ equivalente y en los Sectores de Transporte y Comercial Institucional, por la combustión del diesel, la que representa el 9.39 % del total.
3. La emisión bruta de GEI en la provincia alcanzó 2744.39. Gg de CO₂ equivalente, la que se compensa con la absorción de CO₂ que producen las áreas boscosas y

plantaciones del territorio, por lo cual la Provincia actúa como sumidero de CO₂ y aporta al Balance Nacional una reducción de **1674.49 Gg de CO₂ equivalente**.

4. En el inventario parcial del 2004 se aprecia un incremento en la emisión de CO₂ debido al aumento en la generación de electricidad a partir de combustible crudo nacional, y aunque el incremento del área de bosques y plantaciones fue en menor proporción al incremento de emisiones, se mantuvo la condición de la Provincia como fijadora de CO₂ equivalente.
5. Los datos aportados por los dos inventarios permitieron realizar el Diagnóstico de la situación actual de la provincia de Matanzas, para lo que se consideró el trabajo sin interrupciones imprevistas de la CTE “Antonio Guiteras” lo que provocó el incremento de las emisiones, pero el valor del mismo no afectó la condición de la provincia como fijadora de CO₂ equivalente.
6. Se compararon los resultados obtenidos en los inventarios nacionales de 1990, 1994 y 1996 y se vio reflejada en los mismos la situación económica y social del país en ese periodo, con una brusca reducción de las emisiones en 1994 y un ligero aumento en 1996, pero aún en valores muy bajos comparados con 1990; sin embargo esta reducción de emisiones no llegó a ser compensada con el incremento de la masa boscosa y plantaciones y el país se mantuvo en los tres años como emisor neto de CO₂ equivalente.
7. Se compararon los resultados obtenidos en los inventarios provinciales de Matanzas, con los inventarios nacionales de Cuba y de Nicaragua y, aunque la resolución espacial y temporal es diferente, se aprecia como la situación de Matanzas se compara con la de Nicaragua, por la relativamente alta área forestal y por ello ambos inventarios arrojan un balance similar (sumidero); sin embargo en comparación con los inventarios cubanos se aprecia una situación particular en Matanzas, ya que ésta se comporta en todos los casos analizados como sumidero, mientras que la nación en su conjunto se comporta como emisora neta de CO₂ equivalente.

Capítulo 4. Pronóstico para el año 2010 y análisis de posibilidades de mitigación de efectos.

4.1 Pronóstico para el año 2010.

Para la realización de los pronósticos de emisiones en un horizonte de tiempo dado, tiene un peso fundamental el estimado del incremento del consumo de energía [47], sin embargo en el caso de la Provincia de Matanzas ocurre una situación especial ya que la provincia es exportadora de energía, tanto de energía eléctrica como de portadores energéticos, como el caso del petróleo crudo del Yacimiento Varadero. En ese caso, su demanda de energía eléctrica, por ejemplo, es muy inferior a la potencia instalada y el incremento de esta potencia instalada se hace teniendo en cuenta los intereses del país [64].

Por esa situación, para el pronóstico de emisión por el módulo de Energía se considera que al nivel actual de las plantas generadoras de electricidad del territorio (las CTE “Antonio Guiteras” y “José Martí” y la planta de Energas Varadero) se le sumará el correspondiente a las ampliaciones previstas. La secuencia óptima de entrada de las nuevas unidades generadoras [47] en relación con la provincia de Matanzas, considera la ampliación de Energás y una nueva unidad en la CTE “Antonio Guiteras”. La variante de ampliación de la CTE “Antonio Guiteras” se previó para el año 2013 por lo que quedó fuera del alcance de este pronóstico. La ampliación de Energas se considera como la introducción de un nuevo ciclo combinado con tres turbinas de gas de 35 MW y una turbina de vapor de 80 MW, con iguales características que el ya existente. Ello duplica el consumo de gas natural de esta empresa en el territorio con un consumo total estimado de 587000 T/año.

El módulo de Procesos Industriales se mantuvo constante, ya que no están previstas nuevas inversiones ni cierre de plantas hasta el año 2010 y de igual forma se consideró el módulo de Uso de Solventes y otros productos. Sin embargo para el módulo de Agricultura, de mucho mayor peso y complejidad, se considera un incremento en el período y para su estimado se requirió de un análisis basado en el PIB, continuando la tendencia que se utilizó para estimar las emisiones del año 2004 (Figura 4.1).

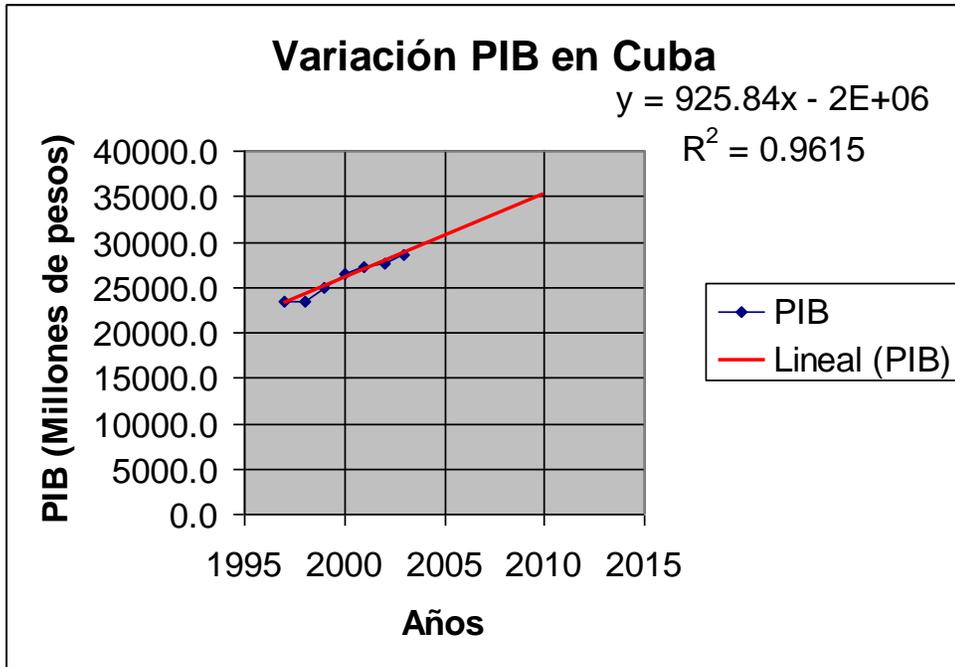


Figura 4.1 Tendencia de incremento del PIB hasta el año 2010

El Módulo de CUTS es otro de gran complejidad e importancia, ya que representa una gran fuente de fijación de CO₂, por lo que se dedicó un especial esfuerzo para estimar el incremento del área de bosques en la Provincia. Se partió de los datos estadísticos oficiales de las áreas de distintos tipos de bosques y plantaciones en la Provincia durante los años 2002, 2003 y 2004 [23] y a partir de la misma se estimó la tendencia de comportamiento y se calcularon las áreas para el año 2010 (Figura 4.2), donde se destaca el incremento de los bosques naturales de acuerdo con el plan de reforestación vigente.

En el caso del Módulo de Desperdicios se consideró que las emisiones del mismo se incrementan de forma proporcional a la población [12, 13], con un coeficiente de 1.15 kg/hd. Se tomó el pronóstico oficial de crecimiento de la población de la provincia entre 2002 y 2012 [59] y se obtuvo el resultado que se muestra en la Figura 4.3.

Para el resumen se consideró, como en los casos anteriores, los GEI directos y su equivalente en CO₂ y se obtuvo el balance final de emisiones (Figura 4.4) en el que se observa, por primera vez, una emisión neta de CO₂, ya el incremento del área boscosa no es suficiente para compensar el incremento de la nueva unidad de generación de electricidad en Energías.

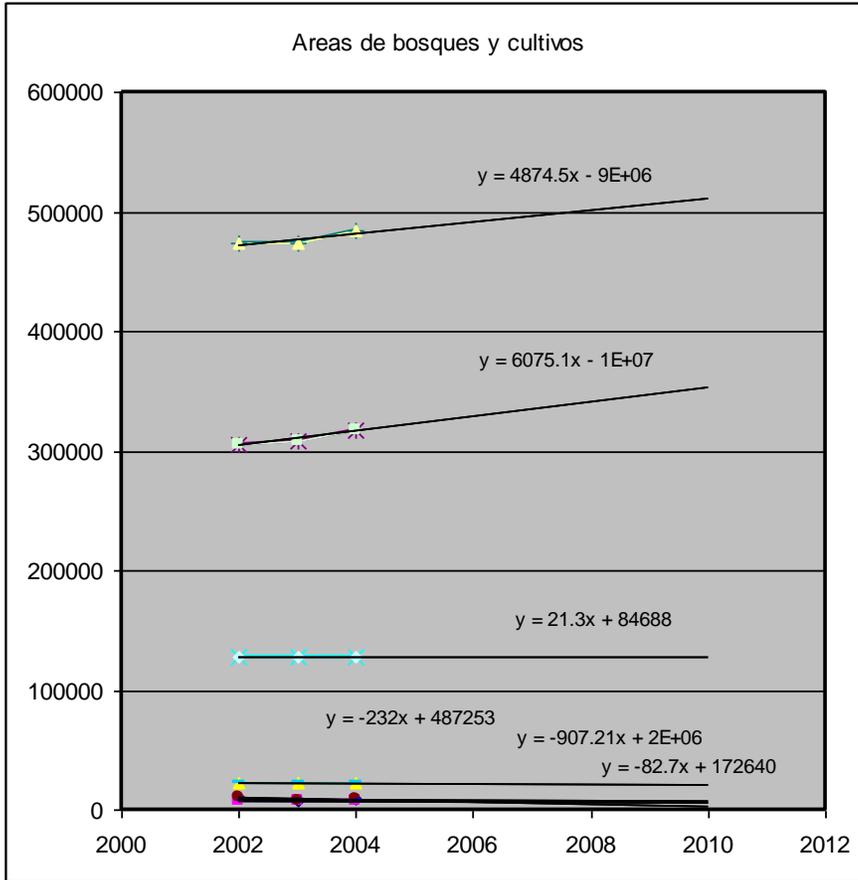


Figura 4.2 Tendencia de variación de las áreas de bosques y plantaciones hasta 2010

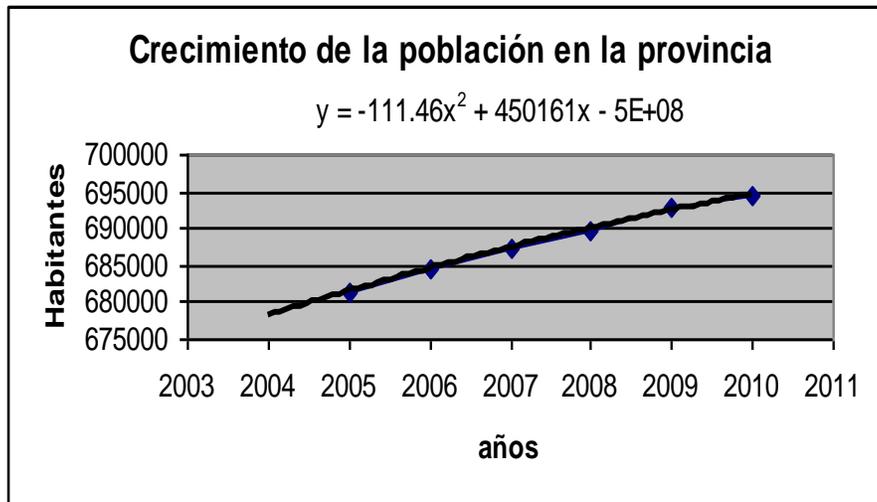


Figura 4.3 Tendencia de variación de la población de la provincia hasta 2010

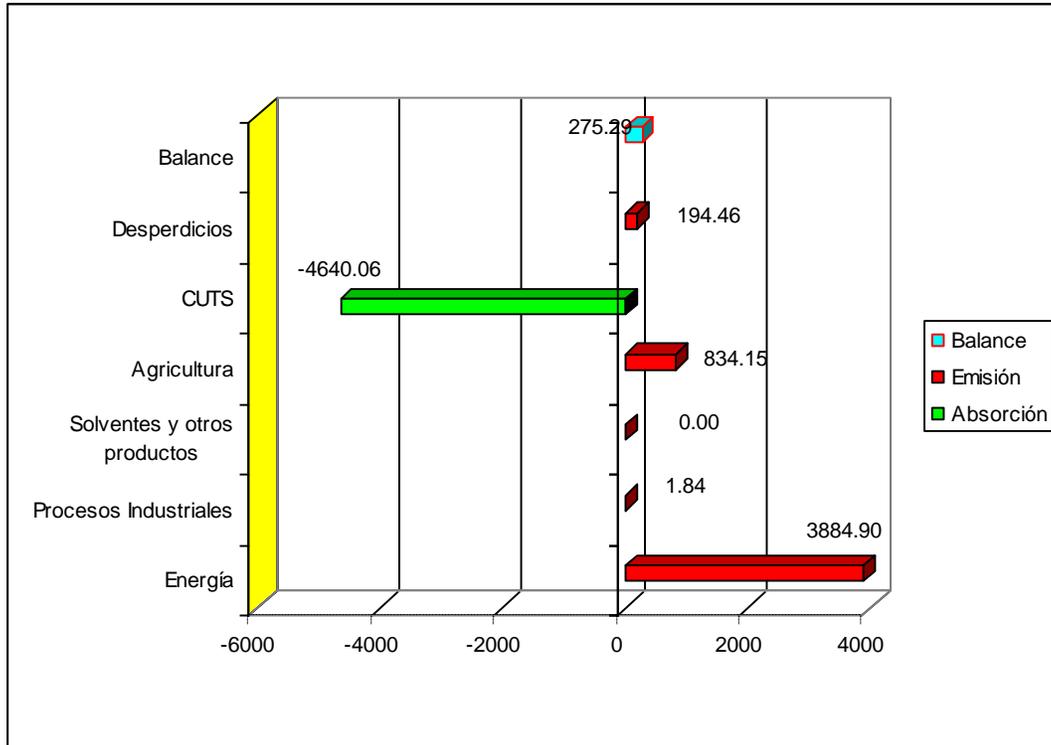


Figura 4.4. Balance de emisiones y fijaciones CO2 equivalente en Gg. (Matanzas 2010)

4.2 Análisis de posibilidades de Mitigación de Efectos

4.2.1 Introducción a la Mitigación de efectos de los GEI.

En la actualidad se dispone de información abundante relacionada con la mitigación de efectos. Por ejemplo están los eventos internacionales como Cambio Climático 2001 [63] y la 22 Sesión del IPCC en Nueva Dehli [36]. Desde el Segundo Informe Evaluativo del IPCC se ha realizado un importante progreso tecnológico en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, y dicho progreso ha sido más rápido de lo que se había anticipado [7]. Se están haciendo avances en una amplia gama de tecnologías en diferentes etapas de desarrollo, por ejemplo, la introducción en el mercado de turbinas eólicas; la rápida eliminación de gases que son subproductos industriales, como el N₂O resultante de la producción de ácido adípico y los perfluorocarbonos a partir de la producción de aluminio; automóviles con motores híbridos eficientes; el desarrollo de la tecnología de células energéticas; y la demostración del almacenamiento subterráneo de CO₂.

Entre las opciones tecnológicas para la reducción de emisiones figura la mejor eficiencia de



dispositivos para los usuarios finales y las tecnologías de conversión energética, la adopción de tecnologías energéticas con un consumo muy bajo o nulo de carbono, la mejora de la gestión energética, la reducción de las emisiones de gases y subproductos industriales, y la retirada y el

Figura 4.5 Cambio climático: un enfoque integrado (62)

almacenamiento de carbono.

La Tabla 4.1 resume los resultados de muchos estudios sectoriales, sobre todo a nivel regional, nacional y de proyecto, y algunos a nivel mundial, que ofrecen estimaciones de las reducciones potenciales de emisiones de gases de efecto invernadero para el marco cronológico 2010 y 2020. [7].

En la actualidad se cuenta con centenares de tecnologías y prácticas para la eficiencia energética de uso final en edificios, transporte e industria de fabricación representan más de la mitad de esas posibilidades. Sin embargo, al menos hasta 2020, en el suministro y conversión de energía seguirán predominando los combustibles fósiles relativamente baratos y abundantes. El gas natural, cuando sea económicamente factible transportarlo, desempeñará una importante función en la reducción de las emisiones, junto con la mejora en la eficiencia de conversión, y un mayor uso de plantas de ciclo combinado y cogeneración.

Los sistemas de suministro de energía con pequeño porcentaje de carbono pueden hacer una importante contribución mediante la biomasa, desde subproductos forestales y agrícolas, desechos municipales e industriales hasta la energía, plantaciones de biomasa exclusivas, cuando se dispone de tierra y agua adecuadas, metano de vertederos, energía eólica e hidroeléctrica, y mediante la utilización y ampliación de la vida útil de centrales nucleares.

Después de 2010, las emisiones de centrales de energía alimentadas por combustibles fósiles y/o biomasa pueden reducirse sustancialmente merced a la eliminación y

almacenamiento de carbono antes o después de la combustión. Las preocupaciones por el medio ambiente, la seguridad, la fiabilidad y la proliferación pueden condicionar el uso de algunas de esas tecnologías [67].

Tabla 4.1 Potenciales estimados de reducción de GEI

Cuadro 7-1 Estimaciones del potencial de reducciones mundiales de emisiones de gases de efecto invernadero el año 2010 y 2020 (GTIII RRP Cuadro RRP-1).					
Sector	Emisiones históricas en el año 1990 [Mt C _{eq} año ⁻¹]	Nivel histórico de crecimiento anual del C _{eq} en el periodo 1990-95 [porcentaje]	Reducciones potenciales de emisiones en el año 2010 [Mt C _{eq} año ⁻¹]	Reducciones potenciales de emisiones en el año 2020 [Mt C _{eq} año ⁻¹]	Costo neto directo por tonelada de carbono evitado
Construcción ^a sólo CO ₂	1,650	1.0	700-750	1,000-1,100	La mayoría de las reducciones se obtienen con costos netos directos negativos.
Transporte sólo CO ₂	1,080	2.4	100-300	300-700	La mayoría de los estudios muestran costos netos directos de menos de USD 25 por t C pero dos sugieren que los costos netos directos han de superar los USD 50 por t C.
Industria sólo CO ₂ – eficiencia energética	2,300	0.4	300-500	700-900	Má de la mitad se obtienen con un costo neto directo negativo. Los costos son inciertos.
– eficiencia de materiales			-200	-600	
Industria gases que no son CO ₂	170		-100	-100	Los costos de la reducción de emisiones de N ₂ O son de USD 0-10 por t C _{eq}
Agricultura ^b sólo CO ₂	210	n/a	150-300	350-750	La mayoría de las reducciones han de costar entre USD 0-100 por t C _{eq} con oportunidades limitadas para opciones de costos netos directos negativos.
gases que no son CO ₂	1,250-2,800				
Residuos ^b sólo CH ₄	240	1.0	-200	-200	Cerca del 75 por ciento de los ahorros, como recuperación de CH ₄ de vertederos a costo neto directo negativo; 25 por ciento a un costo de USD 20 por t C _{eq} .
Aplicaciones de sustitución en virtud del Protocolo de Montreal gases que no son CO ₂	0	n/a	-100	n/a	Cerca de la mitad de las reducciones debidas a la diferencia en los datos de referencia de los estudios y valores de referencia del IEEF. La mitad restante de las reducciones se obtienen con costos netos directos negativos por debajo de USD 200 por t C _{eq} .
Suministro de energía y reconversión ^c sólo CO ₂	(1,620)	1.5	50-150	350-700	Existen opciones con costos netos directos negativos; hay muchas opciones disponibles por menos de USD 100 por t C _{eq} .
Total	6,900-8,400 ^d		1,900-2,600 ^e	3,600-5,050 ^e	

Es fundamental que exista un equilibrio entre las actividades de mitigación en los distintos sectores con respecto a otros objetivos, como los relacionados con el desarrollo, la equidad y la sostenibilidad. Los bosques, las tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres albergan un potencial de mitigación importante, aunque a menudo provisional. En general debe

imponerse un enfoque integrado en todo lo relacionado con el cambio climático, las medidas de mitigación y adaptación y el desarrollo socio económico (Figura 4.5) [63].

Un factor clave para lograr que las actividades de mitigación del Carbono sean eficaces y sostenibles es equilibrarlas con otros objetivos ecológicos o medioambientales, económicos y sociales del uso de la tierra. Muchas estrategias de mitigación biológica pueden ser neutrales o favorables a los tres objetivos y aceptarse como soluciones “sin pesar” o soluciones “en las que todos ganan”. En otros casos puede ser necesario adoptar soluciones de compromiso. Entre los posibles impactos medioambientales importantes cabe mencionar los efectos en la diversidad biológica, los efectos en la cantidad y la calidad de los recursos hídricos (particularmente cuando son escasos) e impactos a largo plazo en la productividad de los ecosistemas.

Los países no tropicales también tienen oportunidades de mantener los actuales depósitos de Carbono, aumentar esos depósitos o utilizar biomasa para compensar el uso de combustibles de origen fósil. Cabe citar como ejemplos de estrategias el control de los incendios o de los insectos, la conservación de los bosques, la plantación de especies de rápido crecimiento, la modificación de las prácticas de silvicultura, la plantación de árboles en zonas urbanas, el mejoramiento de las prácticas de gestión de desechos, la gestión de las tierras agrícolas para almacenar más carbono en el suelo, el mejoramiento de la gestión de las tierras de pastoreo y la replantación de gramíneas o árboles en tierras cultivadas.

La madera y otros productos biológicos desempeñan varias funciones importantes en la mitigación del carbono: actúan como un reservorio de carbono; pueden sustituir materiales de construcción que suponen un mayor consumo de combustibles de origen fósil, y pueden quemarse en lugar de los combustibles fósiles para obtener una fuente de energía renovable. Los productos de la madera ya contribuyen en cierta medida a la mitigación del cambio climático, pero si pudieran desarrollarse las infraestructuras y los incentivos necesarios, la madera y los productos agrícolas podrían convertirse en un elemento fundamental de una economía sostenible, ya que están entre los pocos recursos renovables disponibles a gran escala.

4.2.2 Posibilidades de Mitigación de Emisiones en las condiciones de Matanzas.

Las opciones de mitigación que se proponen tienen que ser identificadas en base a las condiciones del futuro desarrollo del país y la provincia, tomando en cuenta las particularidades económicas, sociales y ambientales [44, 74]. Se tomó como escenario base para la planificación de las opciones de mitigación, el pronosticado para el año 2010 y a partir del mismo se analizaron varios escenarios alternativos de mitigación.

4.2.2.1 Módulo de Energía.

a) Generación de Electricidad.

En el caso de las emisiones relacionadas con la generación de energía eléctrica, el territorio se caracteriza por tener la mayor unidad termoeléctrica del país, con muy alta eficiencia, por lo que generalmente trabaja en régimen base, a altas cargas [64] de acuerdo a los cálculos del Despacho Económico del Sistema Electro Energético Nacional. La otra unidad importante del territorio, Energas, utiliza el combustible más barato y tiene el proceso energético más eficiente (ciclo combinado vapor-gas), por lo que también trabaja en régimen base, a carga máxima.

Por esa causa, las reducciones de consumo de energía eléctrica en la Provincia, no se traducen directamente en la reducción de la emisión de los GEI en el territorio, aunque si participan en el balance a nivel nacional y se ayuda con ello a mejorar la situación del país en su conjunto. Además un incremento en la eficiencia en estas instalaciones para reducir el consumo de combustible y las emisiones es difícil. Sin embargo existe la posibilidad de introducir los quemadores de alta eficiencia para petróleo crudo cubano en la CTE Antonio Guiterras [42], con lo que se pudiera reducir las emisiones, lo que sería una de las medidas de mitigación que se deben evaluar.

Por lo antes expuesto, sin quitar la importancia que los planes de ahorro de energía eléctrica (PAEC) [44, 64, 74] tienen para la economía y para la reducción de las emisiones de GEI en el país, en este Análisis de Mitigación de Emisiones de GEI no se considerarán las medidas de esta índole por no ser significativas a nivel territorial.

b) Otros portadores energéticos

En el caso de los otros portadores energéticos, se aprecian posibilidades de reducción en los consumos de combustibles para uso doméstico y comercial (cocinas fundamentalmente), a partir del estudio de la mejor variante de sustitución de esos combustibles. Si se tiene en cuenta que el costo interno (privado) de la electricidad es muy inferior al del keroseno y el Gas Licuado del Petróleo [31], se puede considerar la sustitución de ambos combustibles por electricidad, si se tiene en cuenta el incremento previsto de la disponibilidad del Sistema Electro Energético Nacional (SEN) [64], el incremento de la eficiencia de las plantas generadoras, con el aumento del uso de las plantas de gas de ciclo combinado [44, 52, 73] y la no afectación del consumo de electricidad en el balance provincial de GEI. Como estimado se pudiera considerar la sustitución hasta el 2010 del 100% del keroseno y el 50% del GLP.

c) Consumo de combustible en el Transporte

En este sector los problemas existentes con la infraestructura de la red vial urbana y la rural esta unida al hecho de que el transporte colectivo importa en ocasiones unidades usadas, con rendimientos inferiores a los modelos nuevos y que en realidad no existe una política adecuada de importación de vehículos ni de control de emisiones. Las unidades de transporte colectivo no están todas en buen estado y esto es más agudo en el sector particular, en el que predominan las unidades con muchos años de explotación y en el que las dificultades con la adquisición de piezas de repuesto dificulta que los equipos alcancen el estado técnico adecuado para una reducción de las emisiones.

Entre las medidas a considerar puede estar el incremento de la importación de equipos más eficientes, la mejora del mantenimiento vial y de los vehículos y el aumento del control sobre las emisiones de los vehículos. En conjunto, priorizando las medidas organizativas y sin poder asegurar una reposición adecuada del parque existente por limitaciones económicas, se pudiera esperar una reducción modesta del consumo de combustible y por lo tanto de las emisiones de ese sector de un 5% con respecto al valor estimado para el año 2010.

4.2.2.2 Módulo CUTS.

En este módulo hay que considerar que según el IPCC el sector forestal puede contribuir a la mitigación del Cambio Climático por dos vías:

- a) aumentando la capacidad de fijación de carbono, creando o mejorando los sumideros.
- b) previniendo o reduciendo la tasa de liberación del carbono ya fijado en los sumideros existentes.

Las actividades de fijación de carbono podrían incluir tratamientos silviculturales, agroforestería, aforestación, reforestación y restauración de áreas degradadas. La no emisión enmarca actividades de conservación y manejo forestal sostenible incluyendo la protección del bosque. Matanzas cuenta con la segunda mayor área boscosa del país, sólo superada por la Provincia de Pinar del Río [23] y ha mantenido un trabajo sostenido en el sector forestal. Por ello resulta posible considerar que se pueda obtener un incremento de las áreas de bosques por encima de lo previsto para el 2010, especialmente en cítricos, coníferas, latifolias y bosques naturales.

4.2.2.3 Módulo de Desperdicios

Finalmente, con relación al módulo de desperdicios la posibilidad que existe es la aplicación de procesos de tratamiento de los Residuos Sólidos de las principales ciudades, de manera tal que se evite la emisión de Metano, a lo que se puede añadir la recuperación de dicho Metano como biogás, y el consecuente uso del mismo en la cogeneración [13]. La forma más extendida de manejar esos residuos es mediante los rellenos sanitarios y precisamente esa solución es la que ofrece un mayor peligro desde el punto de vista climático, ya que son los rellenos sanitarios, especialmente en los países en desarrollo, que no colectan, limpian y utilizan el gas que producen, la principal causa de daño al clima por su elevada incidencia global de emisiones gaseosas, particularmente en la forma de metano [24-26].

La otra solución utilizada, más costosa y compleja, es la incineración pero incluso la mayoría de los incineradores de residuales en los países emergentes son una fuente de grandes problemas, debido a sus inadecuadas capacidades de control de emisiones. Además esas instalaciones son poco accesibles para esos países, tanto en términos de complejidad de operación como de inversión inicial. En consecuencia, las únicas alternativas prácticas

para disposición de los residuos y recirculación en los países en desarrollo, desde el punto de vista de la protección climática, son el compostaje y la fermentación [13].

El proceso de compostaje también presenta problemas de emisiones, ya que en dependencia de la calidad y la uniformidad de la ventilación de la pila de compost, algunas partes de la pila pueden permanecer anaerobias y de esa forma el metano puede emitirse y escapar hacia la atmósfera. La ventilación forzada que se puede utilizar para evitar esto, requiere normalmente de gastos substanciales de energía (usualmente en la forma de combustibles fósiles), lo cual también tiene efectos climáticos negativos. Si la ventilación adecuada se asegura simplemente moviendo manualmente el material, los requerimientos de energía serán por supuesto menores, pero eso también aumenta la posibilidad de que se produzcan zonas anaerobias y que se emita metano.

Sin embargo las emisiones de metano generadas por los procesos anaeróbicos pueden ser utilizadas como una fuente de energía para el proceso y pueden llegar incluso hasta el punto de generar energía adicional, que puede ser utilizada en lugar de fuentes fósiles de energía. Esto constituye la mayor contribución a la protección del clima en el sector de tratamiento de residuales y es por lo tanto la solución preferible para lograr la mayor mitigación de emisiones.

Específicamente en el caso de la Ciudad de Matanzas se cuenta con un estudio que determinó que la mejor alternativa para el tratamiento de los residuales sólidos municipales de la ciudad, con un máximo aprovechamiento de materia prima y energía y mejor efecto climático es el tratamiento combinado aerobio-anaerobio en el que se produzca compost y biogás [13]. El compost sirve para sustituir fertilizante químico y el biogás se utiliza en unidades de cogeneración, con lo que se pueden lograr reducciones apreciables de emisión de GEI.

Tabla 4.2 Efectos climáticos de los procesos de tratamiento de desperdicios

	Fermentación con utilización de gas	Relleno sanitario*			Compostaje
		sin captura de gas	captura del gas + incineración	captura del gas + utilización	
Evita emisiones de metano	si	no	si/no**	si/no**	si
Reduce emisiones por sustitución de energía para usuarios externos	si	no	no	si	no

	Fermentación	Relleno sanitario*			Compostaje
Bajos requerimientos de combustibles fósiles	si	si	si	si	no

* En dependencia del grado en que el aire pueda o no entrar a un relleno sanitario dado, el proceso de degradación resultante es, en principio, un "proceso anaerobio" controlado o incontrolado.

** Evitar en este sentido, es una función de la calidad de captura del gas, o sea de la magnitud en la cual se puede prevenir el escape de los gases del relleno sanitario.

Como ilustración de las ventajas del proceso de digestión anaerobia de residuos sólidos municipales, se puede apreciar en la Tabla 4.2 la comparación entre las alternativas de fermentación, compostaje y relleno sanitario, analizando este último las variantes sin captura de gas, con quema de gas y con utilización de gas.

Las plantas de tratamiento de residuos sólidos municipales, con el proceso combinado aerobio anaerobio, son factibles de instalar en las ciudades grandes como Matanzas y Cárdenas – Varadero, pero la producción de compostaje puede realizarse en cualquier vertedero controlado, lo que permitiría lograr una reducción apreciable de las emisiones de metano por los desechos sólidos municipales. Teniendo en cuenta las dificultades organizativas y la necesidad de recursos para aplicar estos tratamientos, se puede planificar la construcción y puesta en marcha de una planta de tratamiento en la ciudad de Matanzas e implementar la producción de compost en varios vertederos municipales controlados en la Provincia y de esa forma alcanzar reducciones de emisión de metano hasta un máximo de un 50% del total.

4.2.2.4 Resumen de las propuestas de Mitigación

En la Tabla 4.3 se resumen las medidas de Mitigación propuestas, con el porcentaje máximo de posibilidad de reducción de CO₂ equivalente que se estima que resulte de la aplicación de cada una de ellas y la cifra total de reducción de CO₂ equivalente que se podría alcanzar con la aplicación simultánea de todas esas medidas. Esa máxima reducción estimada se considera como el Escenario 1 de Mitigación y además del mismo se analizaron otros dos escenarios con menor reducción de emisiones (Escenarios de Mitigación 2 y 3) para poder, a partir del análisis comparativo de esos escenarios, seleccionar las medidas de mitigación que puedan tener un mayor efecto y sean además factibles de aplicar, de manera tal de lograr que la Provincia pase a ser en el 2010 un

sumidero de GEI en lugar de una fuente de emisión, para ayudar de esa forma al Balance Nacional de GEI.

Tabla 4.3. Medidas de mitigación consideradas para la Provincia

Número	Medida de Mitigación	% Variación
1	Uso de atomizadores de combustible más eficientes en la CTE “Antonio Guiteras”(atomizadores CECYEN)	-1
2	Reducción consumo de GLP en cocinas	-50
3	Reducción consumo de keroseno en cocinas	-100
4	Reducción consumo de combustible en el transporte	-5
5	Aumento áreas boscosas	+10
6	Aplicación de Tratamiento de los desechos sólidos municipales	-50
Total	Máxima reducción neta total de CO2 equivalente	612.79 Gg

4.2.3 Evaluación de los escenarios de mitigación.

En la Tabla 4.4 se muestran los tres escenarios de Mitigación considerados y el Escenario de Referencia, basado en el año 2010. Para el escenario 1 se consideró el 100% de todas las reducciones máximas estimadas, mientras que para los escenarios 2 y 3, solamente se consideró el 100% de reducción en las medidas 1 y 3 ya que en los tres escenarios se consideró introducir en la CTE Antonio Guiteras el mismo tipo de quemador y sustituir completamente el keroseno. Para las otras medidas se asumió obtener un 80 % de las reducciones máximas en el Escenario 2 y un 60% en el escenario 3 (Tabla 4.4). El cálculo del efecto de la aplicación de esas medidas de mitigación, en cada uno de los escenarios considerados, se muestra en la Tabla 4.5

Tabla 4.4 Variación de emisiones en cada Escenario de Mitigación (%)

Medida No.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
1	-1	-1	-1
2	-50	-40	-30
3	-100	-100	-100
4	-5	-4	-3
5	-10	-8	-6
6	-50	-40	-30

Tabla 4.5 Balance de Emisión y absorción CO₂ equivalente en cada Escenario (Gg)

	Emisión CO ₂ eq.	Absorción CO ₂ eq.	Balance
Escenario de referencia	4915.34	-4640.05	275.29
Escenario Mitigación 1	4719.98	-5057.56	-337.50
Escenario Mitigación 2	4756.67	-4973.99	-217.32
Escenario Mitigación 3	4786.49	-4890.55	-104.06

Del análisis de la tabla 4.5 y Anexo 75 se aprecia que con los tres escenarios considerados la Provincia pasa de emisor neto de GEI a sumidero, lo que sería un aporte positivo al Balance nacional. Teniendo en cuenta esa situación, se seleccionó para el análisis de las Medidas de Mitigación a aplicar en el territorio el Escenario 3, por ser el de menor reducción prevista y por tanto el de más posibilidades de cumplimiento. Como punto de partida de ese análisis se consideró por separado cada una de las reducciones previstas para cada medida de mitigación en ese módulo, las que se muestran en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Emisión de CO₂ equivalente en el Escenario 3 (Gg)

	Mitigación 3	Referencia	Reducción
CTE	1379.52	1393.44	13.92
T gasolina	0.14	0.14	0.000
T diesel	9.59	9.89	0.300
IC gasolina	16	16.49	0.490
IC diesel	164.67	169.74	5.070
keroseno	0	53.28	53.280
GLP	9.36	13.37	4.010
Desperdicio	136.08	194.47	58.390
CUTS	-4890.55	-4640.05	250.500
Totales	-4554.71	-2789.23	372.04

El efecto mayor de reducción de las emisiones se alcanza con el incremento del área boscosa y como el incremento necesario para ello no es de gran magnitud (sólo el 6 % sobre el área de bosques prevista para el año 2010), resulta conveniente priorizar esta medida de mitigación dentro del Plan de Medidas para la reducción de los GEI en la Provincia, la que incluso resulta de gran importancia para el balance nacional.

La otra medida de mayor peso en la reducción de las emisiones de CO₂ equivalente es la de la aplicación de procesos de tratamiento, tanto aerobios como combinados aerobios y

anaerobios, para los desechos sólidos municipales. En ese caso, el tratamiento combinado aerobio-anaerobio es el más eficiente desde el punto de vista climático, pero requiere de mayores inversiones y aunque se deberá priorizar al máximo la realización del proyecto propuesto para la ciudad de Matanzas [13] no es muy probable que se pueda poner en marcha esa planta antes del 2010, por lo cual el cumplimiento de esta medida se debe garantizar mediante la aplicación de procesos aerobios sencillos para la producción de compost en la mayor cantidad posible de vertederos controlados en la provincia.

También debe priorizarse otra de las medidas de mayor reducción de emisiones, la eliminación del uso del keroseno en la cocción de alimentos y su sustitución por el uso de la electricidad. En este último caso hay que tener en cuenta que, a diferencia de las anteriores, esta medida es más importante para el territorio que para el país, ya que la reducción que se tendría a nivel de país sería menor que la considerada para la provincia, pues la electricidad que se utilice para la cocción de alimentos también produce emisiones de GEI que no se contemplan en el balance provincial. En este caso resulta de gran utilidad el empleo del software **GEMIS** para evaluar la emisión de CO₂ equivalente que representa cada una de las opciones posibles para la cocción de alimentos: la electricidad, el GLP y el keroseno, así como el costo tanto interno como externo y total que representan esas alternativas.

Como el objetivo es poder evaluar el efecto que tiene la consideración de uno u otro medio de cocción, se tomarán los datos genéricos del **GEMIS**, por lo que para una evaluación más precisa posterior deberán introducirse las correcciones correspondientes en la base de datos del **GEMIS** teniendo en cuenta los costos específicos cubanos. Los resultados obtenidos con relación al Costo Interno se presentan en la Figura 4.6, en la que se aprecia la ventaja económica de utilizar la electricidad para la cocción de alimentos y como el uso del keroseno es la variante más cara. Ese comportamiento es el que justifica la preferencia general de la electricidad como medio de cocción de alimentos. Sin embargo, si se consideran los costos externos, y mejor aún los costos totales, o sea la suma del costo interno (privado) con el costo externo (social), el cuadro cambia completamente y resulta ser el uso de la electricidad el método más caro. Eso se explica por la mayor emisión de CO₂ equivalente (Figura 4.7) y de SO₂ equivalente (Figura 4.8) y los costos ambientales que representan esas emisiones.

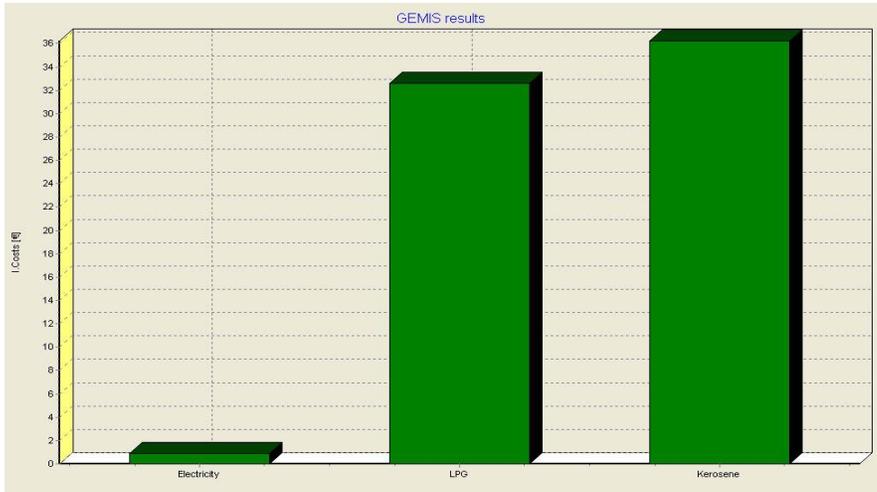


Figura 4.6 Costos internos del uso de electricidad, keroseno o GLP para la cocción de alimentos.

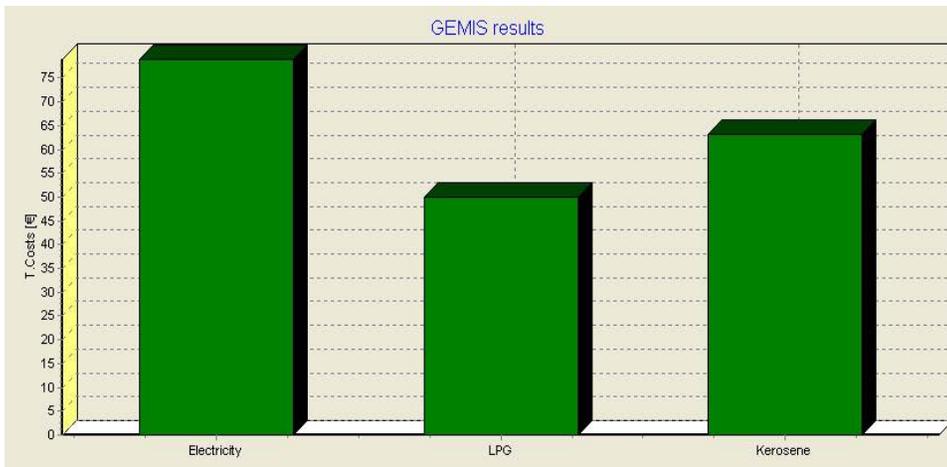


Figura 4.7 Costos totales (externos + internos) del uso de electricidad, GLP o keroseno en la cocción de alimentos.



Figura 4.8 Emisión de GEI por cada alternativa (CO₂ equivalente).

Como elemento de comparación final se hará uso de la opción del **GEMIS** que relaciona dos resultados diferentes (Costo Total y Emisión de CO₂ equivalente), tomando como referencia los resultados obtenidos para una de las alternativas (la electricidad). En la figura 4.10 se muestra el resultado de dicha comparación (“*trade-off*”) en la cual se aprecia como es la opción del uso de la electricidad la que tiene la mayor emisión y a la vez el mayor costo total para la sociedad. El Keroseno tiene un comportamiento intermedio y el mejor comportamiento es el del GLP, por lo cual ese debe de ser el combustible de elección para la cocción de alimentos, cuando el análisis se hace desde el punto de vista nacional. Sin embargo, como se dijo anteriormente, si el análisis se hace desde el punto de vista territorial, la mejor elección es la electricidad, por su menor costo interno y su no incidencia en el balance de GEI del territorio.

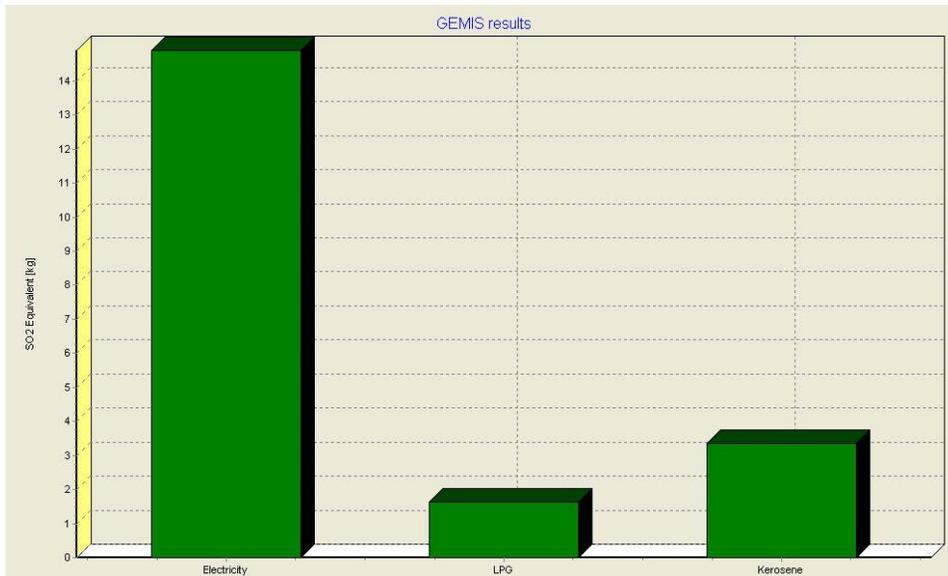


Figura 4.9 Emisión de contaminantes atmosféricos por cada alternativa (SO₂ equivalente).

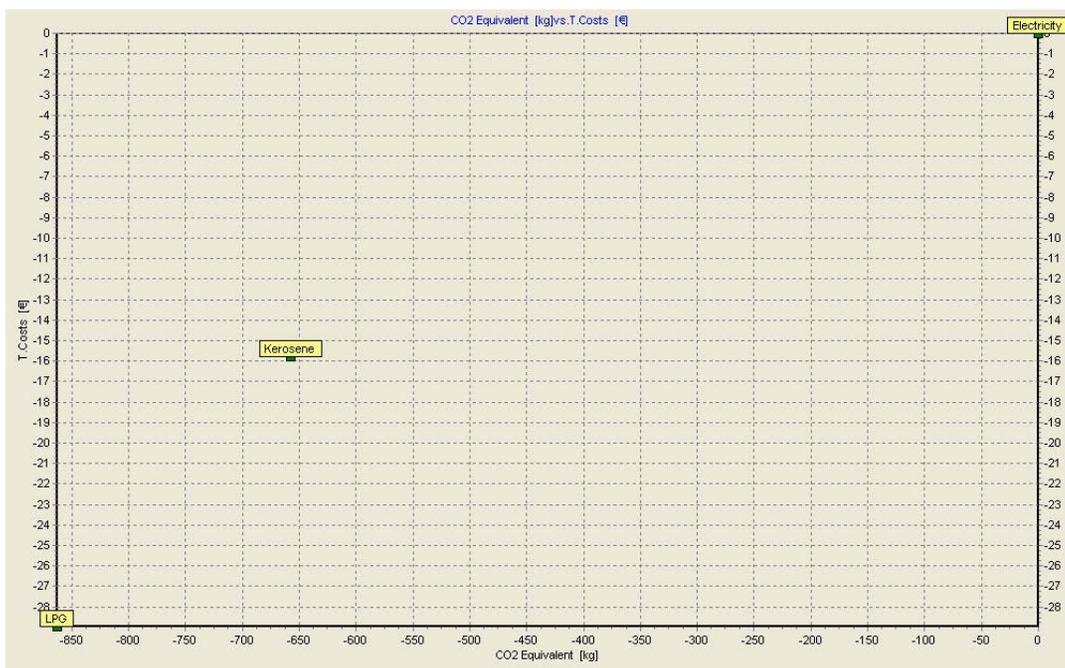


Figura 4.10 Relación entre el costo total y la emisión de GEI para cada alternativa.

La otra medida de efecto significativo es la de introducir en la CTE “Antonio Guiteras” los atomizadores CECYEN de alta eficiencia, ya probados con éxito en la CTE “José Martí” y que es uno de los resultados científicos destacados del Centro de Estudios de Combustión y Energía de la Universidad de Matanzas (CECYEN), resultado que además fue

recientemente galardonado con el premio de la Academia de Ciencias de Cuba [42]. Con la introducción de estos atomizadores, en las pruebas realizadas en la CTE José Martí, se obtuvo una reducción del consumo de combustible de más del 2% [28], por lo cual la cifra estimada de un 1% de reducción en la CTE Antonio Guiteras debe ser alcanzada sin grandes problemas.

Finalmente quedan las medidas necesarias para reducir el consumo del combustible utilizado en el transporte y del análisis de la tabla se comprueba que dentro del transporte, las mayores posibilidades de ahorro están en la reducción del consumo de diesel en el sector Institucional y Comercial, por lo cual se deben priorizar las medidas organizativas y de control en este sector.

4.3 Conclusiones parciales.

1. El pronóstico realizado para el año 2010 dio como resultado una emisión neta de CO₂ equivalente 275.29 Gg., ya que el incremento programado del área boscosa no es suficiente para compensar el incremento programado de las emisiones, provocado fundamentalmente por el incremento de la capacidad de generación de electricidad a partir de gas natural.
2. Se seleccionaron un grupo de Medidas para la Mitigación de las Emisiones de GEI, para tratar que la Provincia recupere su condición de sumidero en el año 2010:
 - Introducción de los atomizadores CECYEN en la CTE Antonio Guiteras
 - Reducción del consumo de GLP en la cocción de alimentos
 - Eliminación del uso de keroseno en la cocción de alimentos
 - Reducción del consumo de combustible en el transporte
 - Incremento en el área forestal
 - Aplicación de tratamiento a los desechos sólidos municipales
3. Se definieron tres escenarios de Mitigación, en los cuales se consideraron diferentes porcentajes de aplicación de dichas medidas y finalmente se seleccionó, por ser el de mayores posibilidades de cumplimiento, el Escenario de Mitigación 3, como el que se debía de aplicar para lograr la reducción de emisiones netas necesarias.

4. La evaluación del escenario de mitigación propuesto se realizó con la ayuda de las herramientas de los Inventarios de GEI del IPCC y del software GEMIS y se obtuvo que con su aplicación, la Provincia podría alcanzar nuevamente la condición de sumidero, y se destacan por su importancia las medidas de Incremento del área forestal y de tratamiento de desechos sólidos municipales, por lo cual se les debe aplicar una atención prioritaria en los planes de desarrollo de la Provincia.
5. En el caso de la otra medida de importancia provincial, la sustitución de keroseno por electricidad, se debe tener en cuenta que su importancia positiva es para el nivel territorial solamente, ya que a nivel nacional los cálculos realizados con el software GEMIS dan como resultado que tiene un impacto ambiental negativo lo que provoca un costo externo alto.

Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

1. Con la realización en la provincia de Matanzas en el año 2002 del primer Inventario Provincial de GEI en Cuba, se obtuvo la información completa sobre las emisiones y absorciones de estos gases, y en la misma se destaca que:
 - El Sector de la Industria de la Energía es el que aporta la mayor emisión, debido principalmente a la combustión del crudo nacional. y gas natural
 - La emisión bruta de GEI en la provincia alcanzó 2744.39 Gg de CO₂ equivalente
 - Producto de la absorción de CO₂ que producen las áreas boscosas y plantaciones del territorio, la Provincia actúa como sumidero de CO₂, con una **emisión neta de -1674.49 Gg de CO₂ equivalente.**
2. Para completar la información necesaria para la realización del Diagnóstico de la situación actual de la provincia, fue necesario realizar un inventario parcial de las emisiones de GEI en el año 2004, partiendo de la información disponible del cierre del año 2004 y estimando las emisiones correspondientes de los sectores en que no se dispuso de información estadística oficial, y esto dio como resultado que, en las condiciones actuales, se puede continuar considerando a la provincia como fijadora de CO₂ equivalente, con una **emisión neta de -479.1 Gg de CO₂ equivalente.**
3. Tomando como base el diagnóstico realizado y las perspectivas de crecimiento de la Provincia, se realizó el pronóstico de la emisión y absorción de CO₂ equivalente para el año 2010, y en ese caso la situación cambió y se obtuvo una **emisión neta de +275.29 Gg de CO₂ equivalente**, ya que el incremento programado del área boscosa no fue suficiente para compensar el incremento programado de las emisiones
4. Para mejorar la situación de la provincia de manera de que ésta recupere su condición de sumidero de GEI, se seleccionaron un grupo de Medidas para la Mitigación de las Emisiones de GEI:
 - a. Introducción de los atomizadores CECYEN en la CTE Antonio Guiteras
 - b. Reducción del consumo de GLP en la cocción de alimentos
 - c. Eliminación del uso de keroseno en la cocción de alimentos
 - d. Reducción del consumo de combustible en el transporte
 - e. Incremento en el área forestal

- f. Aplicación de tratamiento a los desechos sólidos municipales.
5. Se realizó la evaluación del efecto de la aplicación de las medidas propuestas con la ayuda de las herramientas de los Inventarios de GEI del IPCC y del software GEMIS y se comprobó que el efecto mayor se obtiene con el incremento del área boscosa en un 6% por encima de lo programado y en la introducción de procesos de tratamiento de residuales sólidos municipales y que con su aplicación la Provincia podría alcanzar nuevamente la condición de sumidero en el año 2010.

Recomendaciones.

1. Por su gran peso dentro de las medidas de mitigación propuesta, el Consejo de Administración Provincial debe de considerar:
 - Dar una especial atención a la actividad de reforestación, para garantizar que se cumpla con la cifra de incremento prevista y analizar además la posibilidad de lograr mayores incrementos, dadas las potencialidades existentes en la provincia y lo que esto puede aportar a la mejora del balance nacional.
 - Tomar las medidas necesarias para lograr que se aplique, en la mayor cantidad posible de vertederos controlados, el proceso de producción de compost a partir de los residuales sólidos municipales, así como que se prioricen las tareas relacionadas con el proyecto de instalación de una planta de tratamiento de los residuales sólidos de la ciudad de Matanzas que incluya la producción de biogás y el uso del mismo para la cogeneración.
 - Realizar un estudio detallado de las posibilidades de ahorro de combustible en el transporte en la Provincia, priorizando dentro del mismo los consumidores de combustible diesel. relacionados en el sector Institucional y Comercial.
2. Hacer un estudio detallado de las alternativas existentes para la cocción de alimentos, de manera tal de poder tener una mejor evaluación del efecto que tendría la aplicación de las distintas variantes tanto a nivel Provincial como a nivel nacional, para lo cual puede utilizarse el software GEMIS, incorporándole a la base de datos del mismo los costos reales de los combustibles y procesos relacionados.

3. Continuar trabajando en la realización de Inventarios Detallados Provinciales de GEI, de manera tal de ir acumulando información que permita mejorar el Pronóstico para el año 2010 y poder realizar el pronóstico para el año 2020.
4. Divulgar los resultados obtenidos con este trabajo con vistas a lograr que se realicen trabajos similares en las demás provincias del país y que los resultados de los Inventarios Provinciales constituyan una mejor base para los Inventarios Nacionales.

Referencias Bibliográficas.

1. Dispersión de Contaminantes Atmosféricos: Modelos de Emisiones. Mundo Científico 14:1040 (2000)
2. Efecto de Invernadero. Subdesarrollo y Crisis Energética (2002)
3. Estrategia Ambiental Provincial. (UMA) UdMAdM (ed)Delegacion CITMA Matanzas (1999)
4. Provincia de Matanzas. Ediciones Oriente, Santiago de Cuba (1978)
5. Reportes para los años 1990, 1994 y 1996. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, La Habana (2002)
6. Ahlonsou, E., Ding, Y., Schimel, D. The Climate System: an Overview. Bolin B, Pollonais S (eds) Climate Change 2001. UNFCCC, pp 14 (2001)
7. Albritton, D. L., Barker, T. Cambio Climático 2001:Informe de síntesis. Watson, R.T (ed) Cambio Climatico 2001. UNFCC, pp 210 (2001)
8. Alea, J. J., Díaz, R. Influencia del transporte automotor en la contaminación ambiental en Cuba. Centro de Investigación y Desarrollo del Transporte, La Habana (1997)
9. Alfonso, P. , A. Florido, El Clima de Matanzas. Editorial Academia, La Habana (1993)

10. Ambiente, Agencia de Medio Medio Ambiente en Cifras, Cuba 2003. Oficina Nacional de Estadística, La Habana, pp 36 (2004)
11. ANL DECPAC Environmental Analysis Module. (1994)
12. Armenteros, E. Informe analítico para la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos. Dirección Provincial Servicios Comunes de Matanzas, Matanzas (2003)
13. Bernaza, A. M. Propuesta tecnológica para el máximo aprovechamiento de energía y materia prima en los residuos sólidos municipales de la ciudad de Matanzas. Centro de Estudios de Combustion y Energia. Universidad de Matanzas, Matanzas, pp 97 (2003)
14. Brick, H.T., Khlystov, A. Aerosol Particles have a Nonlinear Effect on Climate Change 38:11-13 (1997)
15. Brown, S. Tropical forest and the global carbon cycle: Estimating state and change in biomass density. News York (1996)
16. Centro de Información, Divulgación y Educación Ambiental (CIDEA) Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo: Adecuación cubana al documento Agenda 21. Agencia de Medio Ambiente, CITMA, La Habana (1995)
17. Christy, J.R., Clarke, R.A., Gruza, G.V., Jouzel, J., Mann, M.E., Oerlemans, J., Salinger, M.J., Wang, S.W. Observed Climate Variability and Change. UNFCCC (ed) Climate Change 2001. UNFCCC, pp 84 (2001)

18. Dentener, F., Derwent, R., Dlugokencky, E., Holland, E., Isaksen, I., Katima, J., Kirchhoff, V., Matson, P., Midgley, P., Wang, M. Atmospheric Chemistry and Greenhouse Gases. Joos F, McFarland M (eds) Climate Change 2001. UNFCCC, pp 50 (2001)
19. Department of Economic and Social Affairs, Population Division World Population Prospects The 2004 Revision_Highlights. United Nations (2005)
20. Economopoulos, A. P. Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution. World Health Organization, Geneva (1993)
21. EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. (1996)
22. EPA, United State Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42. (1995)
23. Estadísticas, Oficina Nacional de Anuario Nacional de Estadísticas 2003. ONE (2004)
24. Euler, H. Anaerobic Method of waste treatment. GTZ, Eschborn, pp 40 (2000)
25. Euler, H. Promotion of Anaerobic Technology for the treatment of Municipal and Industrial Waste and Wastewater. Energy and Agriculture toward the millennium. Athens (1999)
26. Euler, H., Kraemer, P., C.Mueller. Biocomp Integrated Municipal Solid Waste Management Scheme Chon Buri Thailandia. TDBWGmbH, Frankfurt, pp 30 (2002)

27. Farquhar, G.D., Goulden, M.L. The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. Pitelka L, Rojas AR (eds) Climate Change 2001. UNFCCC, pp 56 (2001)
28. Fernandez, D., Lopez, H., Hernandez, J. Prueba evaluativa de quemadores CTE Jose Marti. INEL-UNE, La Habana (2003)
29. Fritsche, Uwe R. The GEMIS model family. Oeko-Institute, Darmstad (2002)
30. Fritsche, Uwe R. Introducing the Gemis software family. Oeko Institute, Darmstad (2002)
31. Fritsche, Uwe, Schmidt, Klaus How to Work with Gemis 4.0. Oeko Institute, Darnstad (2002)
32. Gates, W.L., Mata, L.J., Underdal, A. Advancing Our Understanding. Bolin B, Rojas AR (eds) Climate Change 2001. UNFCCC (2001)
33. Gómez", Aeropuerto Internacional "J. G. Informe de Balance Anual: Consumos de Combustible. Archivos Aeropuerto Internacional JGG. Matanzas (2002)
34. Group, World Bank Pollution Prevention and Abatement Habdbbook. Group WB (ed) (1998)
35. GTZ Environment Manual for Power Development User's Manual. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (1995)

36. Gytarsky, M., Hiraishi, T., Irving, W. Progress Report, National Greenhouse Gas Inventories Programme. 22nd Session of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Nueva Dehli (2004)
37. IAEA The DECADES Computer Tools, User's Manual. IAEA, Viena (1996)
38. IEA/OECD CO₂ Emissions From Fuel Combustion. A new Basis for Comparing Emissions of a Major Greenhouse Gas, 1972-1995. IEA/OECD, Paris (1997)
39. IEA/OECD Emissions from Fuel Combustion, 1971-1997. IEA Statistics. IEA/OECD, Paris (1999)
40. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Revised 1996. IPCC, Bracknell (1997)
41. IPCC/OECD/IEA Greenhouse Gas Inventory Software for the Workbook. Instruction Manual. (1998)
42. Lincheta, E. T. Estudio para elevar la eficiencia en la atomizacion de petroleos pesados. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Matanzas, Matanzas, pp 105 (2005)
43. López, C. M. República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto de Invernadero. Ediciones GEO, La Habana (1999)
44. López, I., Pérez, D. El cambio climático y opciones de mitigación en el sector eléctrico. V Taller Cátedra de Medio Ambiente. La Habana (1999)

45. Lovins, A. B. Climate: Making Sense and Making Money. International NGOs Research Conference Sustainability/Vision 21: Energy Policies and CO₂ Reduction Technologies. Kyoto (1997)
46. Madruga, R. Desarrollo, Equidad y Sostenibilidad en el Debate sobre el Cambio Climático. Reunion Expertos IPCC La Habana 2000. Centro de Investigaciones sobre la Economía Mundial, La Habana, pp 13 (2000)
47. Martín, D. Generalización de experiencias y ampliación de capacidades para la planificación integral del desarrollo electroenergético. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía, La Habana (2001)
48. Matanzas, CUPET Informe de Balance: Anual Consumos de Combustible. Ministerio de la Industria Básica, Matanzas (2002)
49. Matanzas, Delegación Provincial del Minaz en Reporte de Producción: Sector Agrícola. Ministerio del Azúcar de Cuba, Matanzas (2002)
50. Matanzas, Dirección Provincial de Planificación Física de Trabajo de Diagnóstico de la Provincia de Matanzas. Asamblea Provincial del Poder Popular Matanzas (2000)
51. Matanzas, Taller de Equipos Ferroviarios de Informe de Balance Anual Consumos de Combustible. (2002)
52. Methane, United States./Japan Working Group on Technological Option for Reducing Methane Emissions., pp 196 (1992)

53. MINAGRI, Delegación Provincial Matanzas del Informe de Producción. Ministerio de la Agricultura de Cuba, Matanzas (2002)
54. MINAZ, Delegación Provincial Matanzas del Informe de Producción de Azúcar. Ministerio del Azúcar de Cuba (2002)
55. Nature, World Wide Fund For Climate Change. World Wide Fund For Nature, Gland (1995)
56. Nicaragua, Comision de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Primera comunicacion nacional sobre cambio climatico. Marena, Managua (1999)
57. Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia Síntesis Geográfica, Económica y Cultural. Ediciones Geo, La Habana (2000)
58. Pardo, J., Ivar A., Birdsey, R., Boehm, M., Daka, J., Kobayashi, S., Lund, H., Gyde, M., Roman, T. M. Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types. 21st session IPCC Plenary. IPCC, Vienna (2003)
59. Peña, E. Anuario Estadístico de Salud Cuba, 2003. Minsap (2004)
60. Province, Regional Study Quang Ninh "Measures to Implement the Framework Convention on Climate Change".
61. Rentz, O., Jourdan, M., Roll, C., Schneider, C. Emissions of COV from Stationary Sources and Possibilities for their Control. Institute of Industrial Production, University of Karlsruhe, Karlsruhe (1991)

62. Ricardo, W., Manso, J., A., Wallo Presentación, Revisión y Análisis del Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero de la República de Cuba. Boletín de SemetCuba 5 (1999)
63. Robinson, John. Climate Change Mitigation and Sustainable Development: A Framework for Integration. Climate Change 2001. IPCC (2001)
64. Rodriguez, Juan L. Tecnologia para la Optimizacion ded Regímenes en CTE con unidades de 100 MW. Centro de Estudios de Combustion y Energia. Universidad de Matanzas, Matanzas, pp 160 (2004)
65. Sanchez, C. Comentarios sobre perspectivas poblacion mundial, revision 2004. Infomed, La Habana (2005)
66. Spadaro, J.V. Quantifying the Health Impacts of Air Pollution. IAEA (ed) Planning and Economics Studies. International Atomic Energy Agency, Vienna (1999)
67. Suarez, A. Relatoria Seccion A del Tercer Informe de Evaluacion del IPCC. IES/CITMA (ed) Evaluacion Resultados del Grupo de Trabajo III. La Habana (2002)
68. Transportes. Dirección Provincial de Informe de Balance Anual: Consumos de Combustible. Asamblea Provincial del Poder Popular Matanzas, Matanzas
69. UNEP Climate Change Information Kit. UNEPs Information Unit for Conventions, Geneva (1999)

70. UNEP/UNFCCC Understanding Climate Change: A Beginners Guide to the UN Framework Convention and its Kyoto Protocol. UNEPs Information Unit for Conventions, Geneva (1999)
71. UNFCC Convention on Climate Change. UNEPs Information Unit for Convention, Geneva (1999)
72. UNFCC The Kyoto Protocol to the Convention on Climate Change. UNEPs Information Unit for Conventions, Geneva (1999)
73. Vladu, I. F. Power Plants and Energy Chains Comparative Assessment. IAEA/ANL Review of Experience in Using the Agency its Databases and Software Packages for Comparative Assessment of Nuclear Power and Other Energy Systems. Illinois (1996)
74. Zúñiga, J. F., Pérez, D. Opciones de mitigación del cambio climático en el sector residencial. V Taller Cátedra de Medio Ambiente. La Habana (1999)

ANEXOS:

En estos anexos se presentan las Tablas Oficiales del Inventario del GEI según la metodología del IPCC:

- ❖ Anexo 1. Energía. CO₂ Procedente de fuentes energéticas. Hoja de trabajo 1-1. Hoja 1-5.
- ❖ Anexo 2. Energía. CO₂ Procedente de fuentes energéticas. Hoja de trabajo 1-1. Hoja 2-5.
- ❖ Anexo 3. Energía. CO₂ Procedente de fuentes energéticas. Hoja de trabajo 1-1. Hoja 3-5.
- ❖ Anexo 4. Energía. CO₂ Procedente de fuentes energéticas. Hoja de trabajo 1-1. Hoja 4-5.
- ❖ Anexo 5. Energía. CO₂ Procedente de fuentes energéticas. Hoja de trabajo 1-1. Hoja 5-5.
- ❖ Anexo 6. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 1-16.
- ❖ Anexo 7. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 2-16.
- ❖ Anexo 8. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 3-16.
- ❖ Anexo 9. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 4-16.
- ❖ Anexo 10. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 5-16.
- ❖ Anexo 11. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 6-16.
- ❖ Anexo 12. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 7-16.
- ❖ Anexo 13. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 8-16.

- ❖ Anexo 14. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 9-16.
- ❖ Anexo 15. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 10-16.
- ❖ Anexo 16. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 11-16.
- ❖ Anexo 17. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 12-16.
- ❖ Anexo 18. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 13-16.
- ❖ Anexo 19. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 14-16.
- ❖ Anexo 20. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 15-16.
- ❖ Anexo 21. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 16-16.
- ❖ Anexo 22. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 1-8.
- ❖ Anexo 23. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 2-8.
- ❖ Anexo 24. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 3-8.
- ❖ Anexo 25. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 4-8.
- ❖ Anexo 26. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 5-8.
- ❖ Anexo 27. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 6-8.
- ❖ Anexo 28. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 7-8.
- ❖ Anexo 29. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes.

Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 8-8.

- ❖ Anexo 30. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 1-3.
- ❖ Anexo 31. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 2-3 CH₄ .
- ❖ Anexo 32. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 3-3 CH₄.
- ❖ Anexo 33. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 2-3 N₂O.
- ❖ Anexo 34. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 3-3 N₂O.
- ❖ Anexo 35. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 2-3 NO_x .
- ❖ Anexo 36. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 3-3 NO_x .
- ❖ Anexo 37. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 2-3 CO .
- ❖ Anexo 38. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 3-3 CO .
- ❖ Anexo 39. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 2-3 COVDM .
- ❖ Anexo 40. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 3-3 COVDM .
- ❖ Anexo 41. Energía. Emisiones de SO₂ procedente de quema de combustibles por categorías de fuentes. Hoja de trabajo 1-4. Hoja 1-1 Sector General .
- ❖ Anexo 42. Procesos Industriales. Producción de Cal. Hoja de trabajo 2-2. Hoja 1-1 CO₂ Emisión.
- ❖ Anexo 43. Procesos Industriales. Producción y utilización de productos minerales varios. Hoja de trabajo 2-5. Hoja 3-5. Pavimentación asfáltica. Emisiones de COVDM.
- ❖ Anexo 44. Procesos Industriales. Fabricación de otros productos químicos. Hoja de trabajo 2-10. Hoja 2-5. Emisiones de SO₂.

- ❖ Anexo 45. Procesos Industriales. Alimentos y Bebidas. Hoja de trabajo 2-13. Hoja 1-2. Emisiones de COVDM.
- ❖ Anexo 46. Procesos Industriales. Alimentos y Bebidas. Hoja de trabajo 2-13. Hoja 2-2. Emisiones de COVDM.
- ❖ Anexo 47. Uso de Solventes y Otros Productos. Aplicación de pinturas. Hoja de trabajo 3-1. Hoja 1-1. Emisiones de COVDM.
- ❖ Anexo 48. Uso de Solventes y Otros Productos. Desengrase. Hoja de trabajo 3-2. Hoja 1-1. Emisiones de COVDM.
- ❖ Anexo 49. Uso de Solventes y Otros Productos. Industria Gráfica. Hoja de trabajo 3-4. Hoja 1-1. Emisiones de COVDM.
- ❖ Anexo 50. Uso de Solventes y Otros Productos. Producción de material asfáltico para techos. Hoja de trabajo 3-4. Hoja 1-1. Emisiones de COVDM.
- ❖ Anexo 51. Uso de Solventes y Otros Productos. Uso domestico de solventes. Hoja de trabajo 3-5. Hoja 1-1. Emisiones de COVDM.
- ❖ Anexo 52. Agricultura. Emisiones de metano y óxido nitroso procedente de la fermentaciónentérica del ganado domestico y de manejo de estiercol. Hoja de trabajo 4-1. Hoja 1-2.
- ❖ Anexo 53. Agricultura. Emisiones de metano y óxido nitroso procedente de la fermentaciónentérica del ganado domestico y de manejo de estiercol. Hoja de trabajo 4-1. Hoja adicional. Nitrógeno escretado por animales. Manejo de estiercol.
- ❖ Anexo 54. Agricultura. Emisiones de metano y óxido nitroso procedente de la fermentaciónentérica del ganado domestico y de manejo de estiercol. Hoja de trabajo 4-1. Hoja 2-2. Emisión de óxido nitroso procedente de la producción pecuaria. Emisiones procedentes de los SME.
- ❖ Anexo 55. Agricultura. Emisiones de metano procedente de los arrozales anegados. Hoja de trabajo 4-2. Hoja 1-1.
- ❖ Anexo 56. Agricultura. Quema en el campo de los residuos agrícolas. Hoja de trabajo 4-4. Hoja 1-3.
- ❖ Anexo 57. Agricultura. Quema en el campo de los residuos agrícolas. Hoja de trabajo 4-4. Hoja 2-3.
- ❖ Anexo 58. Agricultura. Quema en el campo de los residuos agrícolas. Hoja de trabajo 4-

4. Hoja 3-3.

- ❖ Anexo 59. Agricultura. Suelos agrícolas. Hoja de trabajo 4-5. Hoja 1-5. Emisiones directas de óxido nitroso procedentes de los campos agrícolas excluidos los hidtsoles.
- ❖ Anexo 60. Agricultura. Suelos agrícolas. Hoja de trabajo 4-5A (adicional). Hoja 1-1. Utilización del nitrógeno del estiércol.
- ❖ Anexo 61. Agricultura. Suelos agrícolas. Hoja de trabajo 4-5B (adicional). Hoja 1-1. Aporte de nitrógeno de los residuos de las cosechas.
- ❖ Anexo 62. Agricultura. Suelos agrícolas. Hoja de trabajo 4-5. Hoja 2-5. Emisiones directas de óxidos de nitrógeno procedentes del cultivo de los histosoles.
- ❖ Anexo 63. Agricultura. Suelos agrícolas. Hoja de trabajo 4-5. Hoja 3-5. Emisiones directas de óxido nitroso procedentes del pastoreo de animales. Praderas y pastizales.
- ❖ Anexo 64. Agricultura. Suelos agrícolas. Hoja de trabajo 4-5. Hoja 4-5. Emisiones indirectas de óxido nitroso procedentes de la deposición atmosférica de NH_3 y Nox .
- ❖ Anexo 65. Agricultura. Suelos agrícolas. Hoja de trabajo 4-5. Hoja 5-5. Emisiones indirectas de óxido nitroso procedentes de la lixiviación.
- ❖ Anexo 66. Desperdicios. Emisión de metano procedente de los vertederos de residuos sólidos. Hoja de trabajo 6-1. Hoja 1-1.
- ❖ Anexo 67. Desperdicios. Factor de corrección para el metano. Hoja de trabajo 6-1C (adicional). Hoja 1-1.
- ❖ Anexo 68. Desperdicios. Emisión de metano procedente del tratamiento de las aguas residuales y de los lodos domésticos y comerciales. Hoja de trabajo 6-2. Hoja 1-4. Estimación del total de aguas residuales y lodos orgánicos.
- ❖ Anexo 69. Desperdicios. Emisión de metano procedente del tratamiento de las aguas residuales. Hoja de trabajo 6-2. Hoja 2-4. Estimación del factor de emisión para los sistemas de tratamiento.
- ❖ Anexo 70. Desperdicios. Emisión de metano procedente del tratamiento de las aguas residuales. Hoja de trabajo 6-2. Hoja 2-4. Emisión neta de metano.
- ❖ Anexo 71. Cambio del uso de la tierra y silvicultura. Cambio de Biomasa de Bosques y en otros tipos de vegetación leñosa. Hoja de trabajo 5-1 Hoja 1-3. Incremento total de la absorción de carbono.
- ❖ Anexo 72. Cambio del uso de la tierra y silvicultura. Cambio de biomasa de bosques y

en otros tipos de vegetación leñosa. Hoja de trabajo 5-1 Hoja 2-3. Consumo total de biomasa de las existencias.

- ❖ Anexo 73. Cambio del uso de la tierra y silvicultura. Cambio de Biomasa de Bosques y en otros tipos de vegetación leñosa. Hoja de trabajo 5-1 Hoja 3-3. Liberación o absorción anual de CO₂.
- ❖ Anexo 74. Tabla Resumen Reporte Inventario de Gases de Efecto Invernadero en la Provincia. Año 2002.
- ❖ Anexo 75. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 1-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 76. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 2-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 77. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 3-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 78. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 4-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 79. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 5-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 80. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 6-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 81. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 7-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 82. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 8-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 83. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 9-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 84. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 10-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 85. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 11-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 86. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 12-16. Inventario 2004.

- ❖ Anexo 87. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 13-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 88. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 14-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 89. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 15-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 90. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2. Hoja 16-16. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 91. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 1-8. . Inventario 2004.
- ❖ Anexo 92. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 2-8. . Inventario 2004.
- ❖ Anexo 93. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 3-8. . Inventario 2004.
- ❖ Anexo 94. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 4-8. . Inventario 2004.
- ❖ Anexo 95. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 5-8. . Inventario 2004.
- ❖ Anexo 96. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 6-8. . Inventario 2004.
- ❖ Anexo 97. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 7-8. . Inventario 2004.
- ❖ Anexo 98. Energía. CO₂ Procedente de quema de combustibles por categoría de fuentes. Hoja de trabajo 1-2 Aspectos Generales. Hoja 8-8. . Inventario 2004.
- ❖ Anexo 99. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 1-3. . Inventario 2004.
- ❖ Anexo 100. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 2-3 CH₄. . Inventario 2004.
- ❖ Anexo 101. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 3-3 CH₄. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 102. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles.

- Hoja de trabajo 1-3. Hoja 2-3 N₂O. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 103. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 3-3 N₂O. Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 104. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 2-3 NO_x . Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 105. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 3-3 NO_x . Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 106. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 2-3 CO. Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 107. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 3-3 CO . Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 108. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 2-3 COVDM . Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 109. Energía. Gases distintos del CO₂ procedente de quema de combustibles. Hoja de trabajo 1-3. Hoja 3-3 COVDM . Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 110. Energía. Emisiones de SO₂ procedente de quema de combustibles por categorías de fuentes. Hoja de trabajo 1-4. Hoja 1-1 Sector General . Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 111. Desperdicios. Emisión de metano procedente de los vertederos de residuos sólidos. Hoja de trabajo 6-1. Hoja 1-1. Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 112. Desperdicios. Factor de corrección para el metano. Hoja de trabajo 6-1C (adicional). Hoja 1-1. Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 113. Desperdicios. Emisión de metano procedente del tratamiento de las aguas residuales y de los lodos domésticos y comerciales. Hoja de trabajo 6-2. Hoja 1-4. Estimación del total de aguas residuales y lodos orgánicos. Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 114. Desperdicios. Emisión de metano procedente del tratamiento de las aguas residuales. Hoja de trabajo 6-2. Hoja 2-4. Estimación del factor de emisión para los sistemas de tratamiento. Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 115. Desperdicios. Emisión de metano procedente del tratamiento de las aguas residuales. Hoja de trabajo 6-2. Hoja 2-4. Emisión neta de metano. Inventario 2004.
 - ❖ Anexo 116. Cambio del uso de la tierra y silvicultura. Cambio de Biomasa de Bosques y en otros tipos de vegetación leñosa. Hoja de trabajo 5-1 Hoja 1-3. Incremento total de la

absorción de carbono. Inventario 2004.

- ❖ Anexo 117. Cambio del uso de la tierra y silvicultura. Cambio de biomasa de bosques y en otros tipos de vegetación leñosa. Hoja de trabajo 5-1 Hoja 2-3. Consumo total de biomasa de las existencias. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 118. Cambio del uso de la tierra y silvicultura. Cambio de Biomasa de Bosques y en otros tipos de vegetación leñosa. Hoja de trabajo 5-1 Hoja 3-3. Liberación o absorción anual de CO₂. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 119. Tabla Resumen Reporte Inventario de Gases de Efecto Invernadero en la Provincia. Año 2004. Inventario 2004.
- ❖ Anexo 120. Escenarios Propuestos para la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero. Año 2010.