

Inventario de Gases de Efecto Invernadero

Yucatán 2005

SEPTIEMBRE 2013



SEDUMA
Secretaría de Desarrollo Urbano
y Medio Ambiente
Comprometidos con tu bienestar
2012 • 2018



Unidad de
Energía Renovable

El calentamiento global es un fenómeno de aumento de la temperatura promedio del planeta, debido al incremento en la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero, tales como bióxido de carbono, metano, óxido nitroso, compuestos clorofluorocarbonados, entre otros. Cuando este desequilibrio atmosférico es de origen antropogénico, como el ocasionado por el uso y obtención de energía, industria, uso y explotación de los recursos naturales, toma una importancia relevante en las cuestiones socioeconómicas y de desarrollo de los países, ya que las consecuencias de este cambio climático comprometen la sustentabilidad de los ecosistemas.

México ha realizado el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) conforme a lo establecido en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que comprende estimaciones de las emisiones por fuente y sumidero para el período 1990 al 2010.

El Gobierno del Estado de Yucatán a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA), en colaboración con el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. (CICY), y con apoyo del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno Federal, realizaron el presente inventario para dar cuenta del nivel de emisiones generadas en la entidad, con la finalidad de sentar las bases cuantitativas para definir políticas y proyectos de mitigación eficaces de los gases causantes del Cambio Climático.

Este instrumento de política climática es un insumo estratégico para el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático y contribuye con el esfuerzo nacional para identificar opciones eficaces para la transición a mediano y largo plazo a una economía de bajas emisiones y ambientalmente sustentable.

Resumen de las tendencias del Estado relativas a las emisiones y absorciones

Las emisiones reportadas en este inventario, están clasificadas de acuerdo a su fuente de origen en las siguientes categorías propuestas por el IPCC: Energía (Sector 1), Procesos Industriales (Sector 2), Agricultura (Sector 4), Uso del Suelo, Cambio del Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS, Sector 5), y Desechos (Sector 6). Como año base, y en relación a la disponibilidad de los datos, se tomó el año 2005. Sin embargo, en la subcategoría Procesos Industriales las emisiones corresponden al año 2004, ya que los datos de actividad fueron obtenidos del censo económico 2004 del INEGI. Las emisiones incluyen los seis principales gases de efecto invernadero contemplados en el Protocolo de Kioto, bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC's), perfluorocarbonos (PFC's) y hexafluoruro de azufre (SF₆) y otros gases indirectos de efecto invernadero tales como CO, COVDM, NO_x y SO₂. Dado que los gases indirectos de efecto invernadero no poseen equivalencia en términos de CO₂, se reportan en unidades de Gigagramos (Gg) emitidos para cada tipo de gas. Un resumen de los gases de efecto invernadero se reportan en la tabla RE.1. Los resultados de todas estas emisiones se pueden encontrar a detalle en el Anexo 1 de este documento.

Tabla RE.1 Emisiones totales de gases de efecto invernadero del Estado de Yucatán para el año 2005 por sectores*

Sector o categoría	Emisiones (Gg)			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ equivalente***
1. Energía	5,976.54	0.65	0.05	6,006.28
2. Procesos Industriales*	427.60	--	--	588.73**
3. Agricultura	-	41.86	3.12	1,844.80
4. USCUSS	1,334.30	1.08	0.01	1,360.08
5. Desechos	0.22	14.24	0.10	330.30
TOTAL	7,738.66	57.83	3.28	10,130.19

* Las emisiones de la categoría Procesos Industriales corresponde al año 2004. **Incluidos los Halocarburos, detalles en capítulo 3. *** El valor del Potencial de Calentamiento Global para CH₄ y N₂O es de 21 y 310 respectivamente (IPCC, 1996)

Las emisiones totales de bióxido de carbono (CO_2) en el Estado, estimadas para las cinco categorías, son de 7,738.66Gg; mientras que las emisiones de gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), son 57.83 Gg y 3.28 Gg respectivamente, que hacen un total del 10,130.19 Gg de CO_2 equivalente. Las estimaciones de las emisiones de los otros gases contaminantes de la atmósfera arrojaron que se emite 182.94 Gg de monóxido de carbono (CO), 53.20 Gg de compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), 34.26 Gg de óxidos de nitrógeno (NO_x) y 11.15 Gg de óxido de azufre (SO_2).

Los halocarburos como el HFC-134a y HCFC-22 también juegan un papel importante en las emisiones a la atmósfera, ya que contribuyen con 1300 y 1500 veces más que el CO_2 al calentamiento global, respectivamente. Las emisiones potenciales de estos gases son contabilizados dentro del sector Procesos Industriales, arrojando los siguientes valores: 0.082 Gg de HFC-134a (106.25 Gg de CO_2 equivalente) y 0.037 Gg de HCFC-22 (54.88 Gg de CO_2 equivalente).

Como puede observarse en la figura RE.1, el sector que mayores emisiones de CO_2 equivalente aporta al estado, para el año 2005, es Energía con un porcentaje de 59.29%, seguido por Agricultura, USCUS, Procesos Industriales, y Desechos contribuyendo con el 18.21%, 13.43%, 5.81% y 3.26% respectivamente.

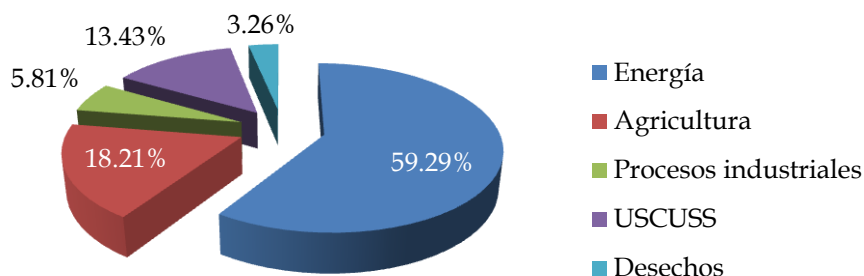


Figura RE.1 Porcentaje de contribución en las emisiones de CO_2 equivalente en el año 2005 para el Estado de Yucatán.

Panorama general de las estimaciones y tendencias de las emisiones por categorías de fuentes y sumideros

Energía

Las emisiones de gases de efecto invernadero que se contabilizan en el sector energía incluyen las emisiones de bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y gases indirectos de efecto invernadero, también llamados precursores de ozono, tales como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM) y bióxido de azufre (SO₂).

Estas emisiones provienen, en su mayoría, de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas de combustión y fuentes móviles de combustión.

Tabla RE.2 Emisiones totales del sector Energía en el año 2005 para el estado de Yucatán

Subcategorías del sector Energía	Emisiones de GEI (Gg)				Emisiones de GEI indirectos(Gg)			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total CO ₂ equivalente	NO _x	CO	COVDM	SO ₂
Industrias de la Energía	3,445.71	1.58E-01	2.87E-02	3457.93	12.91	1.22	0.36	9.57
Industrias Manufactureras	387.29	1.17E-02	2.4E-03	388.29	8.99E-01	6.21E-02	0.02	0.53
Transporte	2,139.66	4.71E-01	0.02	2,155.97	20.18	172.21	32.45	0.83
Servicios	3.89	5.33E-03	0.00	4.09	0.01	1.08E-03	0.00	0.01
Total	5,976.55	0.65	0.05	6,006.28	33.99	173.49	32.83	10.94

* El valor del Potencial de Calentamiento Global para CH₄ y N₂O es de 21 y 310 respectivamente (IPCC, 1996)

Para el Estado de Yucatán, el sector Energía estimó una emisión de 6,006.28 Gg de CO₂ equivalente derivado de fuentes de combustión en el año 2005.

Por otra parte, la subcategoría Industrias de la Energía es la que más contribuye en las emisiones de GEI, generando el 57.57% del total antes mencionado, seguida del Transporte con el 35.90% y la Industria Manufacturera con el 6.46%, mientras que la contribución de la subcategoría de Servicios es casi nula con un 0.07% (Ver tabla RE.2).

En cuanto a las emisiones de los gases indirectos de efecto invernadero, la subcategoría Transporte es la que mayores emisiones genera durante sus procesos de combustión, aportando un 59.37% de NO_x, 99.26% de CO, 98.84% de COVDM y 7.6% de SO₂. Sin embargo, respecto a las emisiones de SO₂, la subcategoría Industrias de la Energía es la que más emisiones genera, con 9.57 Gg que equivale al 87.46% de SO₂ del total de estimaciones del Estado.

Actualmente las actividades energéticas tienen una importante contribución a las emisiones de GEI, por ejemplo, en Yucatán la totalidad de la electricidad generada utiliza tecnología de consumo de combustibles, que al ser quemados generan los GEI, por lo que es adecuado enfocarnos en tecnologías donde se dependa cada vez menos de este tipo de combustibles y utilizar fuentes de energía alternas.

Procesos Industriales

En el sector de Procesos Industriales se emitieron 588.73Gg de CO₂ equivalente (Tabla RE.3), de los cuales el 18.04% fue debido al consumo de HFC-134a y el 9.32% a HCFC-22.

Las emisiones provenientes del sector de Procesos Industriales representan el 5.81% con respecto a los otros sectores del inventario estatal (Figura RE.1). Dentro de este contexto, los principales gases que se emiten son CO₂ y COVDM. De los datos estimados se tiene que la producción del cemento generó 336.80 Gg de CO₂, la industria de los alimentos y bebidas 0.99 Gg de COVDM y pavimentación con asfalto 18.50Gg de COVDM. A

pesar de que el COVDM no figura dentro de los gases con potencial de calentamiento global, es considerado como gas de efecto invernadero indirecto por ser precursor del ozono troposférico.

Tabla RE.3 Emisiones totales del sector Procesos Industriales en el año 2005 para el estado de Yucatán.

Subcategorías del sector Procesos Industriales	Emisiones de GEI (Gg)				Emisiones de GEI indirectos (Gg)			
	CO ₂	HFC	HCFC	CO ₂ equivalente	NO _x	CO	COVDM	SO ₂
Productos Minerales No Metálicos	427.54	-	-	427.54	-	-	18.50	2.09E-01
Industria Química	-	-	-	-	-	-	0.89	-
Industria de los Metales	0.07	-	-	0.07	5.44E-04	1.36E-05	4.08E-04	1.00E-03
Alimentos y Bebidas	-	-	-	-	-	-	0.99	-
Consumo de Halocarburos y SF ₆	-	8.2E-02	0.037	161.13*	-	-	-	-
TOTAL	427.61	8.2E-02	0.037	588.73	5.44E-04	1.36E-05	20.38	2.09E-01

* El valor del Potencial de Calentamiento Global para HFC y el HCFC es de 1300 y 1500 respectivamente (IPCC, 1996)

Los halocarburos también juegan un papel importante en las emisiones de los procesos industriales y su acumulación en la atmósfera ha ido en aumento en los últimos años. Son considerados como los de mayor potencial de calentamiento global y son causa de preocupación, ya que una vez que son liberados continúan teniendo impacto negativo a largo plazo por su tiempo de vida media elevado. Aunque en Yucatán no se producen estos gases, existen muchos aparatos de uso doméstico, comercial e industrial que lo contienen, como los refrigeradores y aires acondicionados. Por lo tanto, los halocarburos pueden ser liberados en la construcción, operación y en la eliminación de estos equipos.

Agricultura

Según el manual de las directrices del IPCC, son cinco las actividades consideradas fuentes de GEI en la categoría de Agricultura: explotación del ganado doméstico (fermentación entérica y manejo del estiércol), arrozales anegados, quema prescrita de sabanas, quema en el campo de residuos agrícolas y suelos agrícolas. En el Estado de Yucatán, como en muchos otros estados del país, la agricultura es una de las fuentes más importantes de ingresos económicos, por tal razón se llevan a cabo muchas de las actividades reportadas como fuentes de GEI.

Particularmente en el Estado de Yucatán, de acuerdo a las actividades agropecuarias con las que cuenta, se considera que existen dos actividades como fuentes importantes de emisiones de GEI: explotación del ganado doméstico (bovino, porcino, caprino, ovino y ave de corral) y suelos agrícolas (uso de fertilizante y producción de cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno). Se considera que estas dos fuentes reportadas emiten principalmente CH₄, producto de la fermentación entérica, y también N₂O, resultado del manejo del estiércol y labores agrícolas.

Tabla RE.4 Emisiones totales del sector Agricultura en el año 2005 para el estado de Yucatán.

Subcategorías del sector agricultura	Emisiones de GEI (Gg)			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ equivalente
Fermentación Entérica	-	41.86	-	879.06
Manejo del Estiércol	-	-	0.61	187.64
Suelos Agrícolas	-	-	2.51	778.10
TOTAL	-	41.86	3.12	1,844.80

Se estimó que el Estado de Yucatán, emite en promedio un total de 1774.25 Gg de CO₂ equivalente/año dentro de un periodo evaluado de diez años (2001-2010), para las dos actividades del sector agricultura identificadas como fuentes de GEI. En el año 2005, específicamente, el total de GEI emitido fue de 1,844.8 Gg de

CO₂ equivalente (Tabla RE.4), del cual 47.65% es CH₄ y el 52.35% es N₂O, de este último el 80.65% de las emisiones son atribuidas a las actividades agrícolas y el resto al manejo del estiércol de la actividad pecuaria. En cambio, del total de CH₄ emitido, únicamente es responsable la fermentación entérica, principalmente del ganado bovino (carne y leche) el cual aporta el 78% de la emisión total de CH₄.

De las emisiones totales estimadas en el Estado, la categoría agricultura aporta el 18.21%

Uso del Suelo, Cambio del Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS)

En el Estado de Yucatán están presentes diversas comunidades de selvas nativas cuya diversidad se incrementa de norte a sur, siempre relacionada a un gradiente de humedad.

La selva baja caducifolia y la mediana subcaducifolia forman las comunidades más extensamente distribuidas. Sin embargo, en las últimas décadas estas se han visto fragmentadas por pastizales inducidos en la zona ganadera y por terrenos para agricultura de temporal en la denominada zona milpera. Estos cambios debidos a las actividades humanas contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (especialmente de CO₂).

Se ha comprobado a nivel mundial que el manejo adecuado de bosques, selvas y sistemas agroforestales reduce las emisiones de CO₂. Bajo esta perspectiva, el manejo silvícola y la reforestación de los bosques y selvas no solo representan una alternativa de corto y mediano plazo en la mitigación del cambio climático, sino también contribuyen de manera directa, a las comunidades indígenas mediante el aprovechamiento sustentable de sus recursos forestales.

En el presente inventario se reúne información actualizada y reciente derivada de las estimaciones de carbono correspondiente

al sector forestal, uso de suelo y tipos de vegetación en el estado para el 2005.

Tabla RE.5 Emisiones totales del sector USCUS en el año 2005 para el Estado de Yucatán

Subcategorías del USCUS	Emisiones de GEI (Gg)					
	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO ₂ equivalente
Cambios en bosques y otras reservas de biomasa leñosa.	805.99	-	-	-		805.99
Bióxido de carbono procedente de la conversión de bosques y praderas	528.31	-	-	-	-	528.31
Emisiones de gases traza distintos al CO ₂ derivados de la combustión <i>in situ</i> de la biomasa forestal	-	9.45	1.08	0.01	0.27	25.78
TOTAL	1,334.30	9.45	1.08	0.01	0.27	1,360.08
	REMOCIONES GEI (Gg)					
Abandono de las tierras cultivadas	1,833.99	-	-	-	-	1,833.99
TOTAL	1,833.99	-	-	-	-	1,833.99

Esta categoría aporta un total de emisiones de 1360.08 Gg CO₂ equivalente, siendo 1334.3 Gg provenientes del CO₂ y 25.78 Gg derivados de gases traza (1.08 Gg de CH₄ y 0.01 Gg N₂O). Estas emisiones son provenientes de la conversión de los diferentes tipos de vegetación y de la combustión *in situ* de la biomasa forestal. Por otra parte, los resultados también mostraron que el Estado es una región que absorbe 1,833.99 Gg de CO₂ e de CO₂ debido al incremento de biomasa en tierras abandonadas que fueron utilizadas para la agricultura o ganadería. Con la finalidad de reducir las emisiones en esta categoría se recomienda llevar a cabo un mejor manejo forestal de las selvas, que permitan proteger las capacidades de renovación de la biomasa, mediante acciones de conservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable.

Desechos

La generación de residuos sólidos y líquidos es parte de la actividad diaria del ser humano, con un impacto perjudicial sobre el medio ambiente y la salud de las personas si no son tratados adecuadamente. Uno de los principales impactos ambientales de estos residuos es la generación de GEI que son causantes del calentamiento global y su consecuente cambio climático.

En el 2005, el Estado de Yucatán contaba con 1,818,948 habitantes que generaron 504,028.50 toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 60% fueron depositados en sitios de disposición final. De las aguas residuales generadas por la población, el 1.28% fue tratada en tanques sépticos municipales y la mayoría fue tratada *in situ* en sumideros (pozos someros de aproximadamente 6 m de profundidad) diseñados en algunos hogares. Este tipo de confinamiento de aguas residuales es diferente a las letrinas.

La descomposición biológica y el tratamiento por incineración de los residuos generados en el Estado de Yucatán representaron fuentes potenciales de generación GEI, por lo tanto, fueron evaluados estos gases procedentes de sitios de disposición final de residuos sólidos, plantas de tratamiento de aguas residuales y los gases generados por la incineración de residuos.

Tabla RE.6 Emisiones totales del sector Desechos en el año 2005 para el Estado de Yucatán

Subcategorías del sector desechos	Emisiones de GEI Gg			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ equivalente
Residuos Sólidos Municipales	-	14.08	-	295.68
Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	-	0.16	-	3.36
Excrementos Humanos	-	-	0.10	31.04
Incineración de RPBI	0.22	-	-	0.22
TOTAL	0.22	14.24	0.10	330.30

Los resultados mostraron que se emitieron un total de 330.30 Gg de CO₂ equivalente (Tabla RE.6), de los cuales el 89.52% fueron generados de la disposición final de residuos sólidos, seguido por las emisiones generadas por excretas humanas (9.40%), tratamiento de aguas residuales (1.02%) y por la incineración de residuos peligrosos biológico infecciosos (0.06%). Está claro que se deben aplicar medidas para mitigar estas emisiones que van desde la reducción en el origen de los residuos, la reutilización, programas de reciclaje hasta el aprovechamiento de algunos gases para emplearlos como combustibles en sistemas de cogeneración y producir energía eléctrica.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestros agradecimientos a las siguientes instituciones que contribuyeron para el desarrollo de este inventario por la información, disponibilidad y facilidades proporcionadas.

Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche (ECOSUR)

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)

Ecología del Mayab, S.A. DE C.V

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

Instituto Nacional de Salud Pública (INSP)

Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY)

Petróleos Mexicanos (PEMEX)

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación (SAGARPA)

Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)

Servicios de Salud de Yucatán (SSY)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

RESUMEN EJECUTIVO	I
Resumen de las tendencias del estado relativas a las emisiones y absorciones	II
Panorama general de las estimaciones y tendencias de las emisiones por categorías de fuentes y sumideros	IV
Energía	IV
Procesos Industriales	V
Agricultura	VII
Uso del suelo, cambio del uso de suelo y silvicultura	VIII
Desechos	X
AGRADECIMIENTOS	XII
CONTENIDO	XIII
CAPÍTULO 1: Introducción	1
CAPÍTULO 2: Energía (Sector 1)	3
2.1 Metodología	6
2.1.1 Datos de actividad	6
2.1.1.1 Fuentes fijas de combustión	6
2.1.1.1.A Generación de energía eléctrica	7
2.1.1.1.B Industrias de la Manufactura y la Construcción	8
2.1.1.2 Fuentes móviles de combustión	9
2.1.1.2.A Transporte carretero, aviación y marítimo	9
2.1.1.3 Otras fuentes de combustión	10
2.1.1.3.A Servicios	10
2.1.2 Métodos y factores de emisión	11
2.2 Resultados	20
2.3 Conclusiones y recomendaciones	22
2.3.1 Propuestas de medida de mitigación de GEI	24
CAPÍTULO 3: Procesos Industriales (Sector 2)	28
3.1 Metodología	30

3.1.1	Productos Minerales No Metálicos	30
3.1.1.1	Producción de cemento	30
3.1.1.1.1	Datos de actividad	30
3.1.1.1.2	Factor de emisión	31
3.1.1.1.3	Incertidumbre	31
3.1.1.2	Producción de cal	31
3.1.1.2.1	Datos de actividad	32
3.1.1.2.2	Factor de emisión	32
3.1.1.2.3	Incertidumbre	32
3.1.1.3	Pavimentación con asfalto	33
3.1.1.3.1	Datos de actividad	33
3.1.1.3.2	Factor de emisión	33
3.1.1.3.3	Incertidumbre	33
3.1.2	Industria Química	33
3.1.2.1	Uso de solventes	34
3.1.2.1.1	Datos de actividad	35
3.1.2.1.2	Factor de emisión	35
3.1.2.1.3	Incertidumbre	35
3.1.3	Producción de Metales	35
3.1.3.1	Hierro y acero	36
3.1.3.1.1	Datos de actividad	36
3.1.3.1.2	Factor de emisión	37
3.1.3.1.4	Incertidumbre	37
3.1.4	Industria de Alimentos y Bebidas	37
3.1.4.1	Alimentos	38
3.1.4.1.1	Datos de actividad	38
3.1.4.1.2	Factores de emisión	38
3.1.4.2	Bebidas	39
3.1.4.2.1	Datos de actividad	39
3.1.4.2.2	Factores de emisión	39
3.1.4.3	Incertidumbre	39
3.1.5	Consumo de Halocarburos y Hexafluoruro de Azufre	39
3.1.5.1	Datos de actividad	40
3.1.5.1.1	Refrigeración residencial: aires acondicionados y refrigeradores	40
3.1.5.1.2	Refrigeración comercial: exhibidores	41

5.1.1.1 Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa	75
5.1.1.2 Bióxido de carbono procedente de la conversión de bosques y praderas	76
5.1.1.3 Emisiones de gases traza distintos al CO ₂ derivados de la combustión <i>in situ</i> de la biomasa forestal	76
5.1.1.4 Abandono de las áreas manejadas	77
5.1.1.5 Cambios en el carbono con los suelos minerales	78
5.1.2 Estimación de emisiones	78
5.1.2.1 Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa	80
5.1.2.2 Bióxido de carbono procedente de la conversión de bosques y praderas	80
5.1.2.3 Emisiones de gases traza distintos al CO ₂ derivados de la combustión <i>in situ</i> de la biomasa forestal	81
5.1.2.4 Abandono de las tierras cultivadas	82
5.2 Resultados de las emisiones	83
5.2.1 Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa	83
5.2.2 Bióxido de carbono procedente de la conversión de bosques y praderas	84
5.2.3 Emisiones de gases traza distintos al CO ₂ derivados de la combustión <i>in situ</i> de la biomasa forestal	84
5.2.4 Abandono de las áreas manejadas	85
5.2.5 Cambios en el carbono con los suelos minerales y carbono del suelo en áreas impactadas por la agricultura	85
5.3 Incertidumbres asociadas a los cálculos	86
5.4 Conclusiones	87
5.4.1 Recomendaciones	88
CAPÍTULO 6: Desechos (Sector 6)	90
6.1 Metodología	92
6.1.1 Emisiones de metano procedentes de los residuos sólidos municipales	92

6.1.1.1 Datos de actividad	92
6.1.1.2 Factores de Emisión	94
6.1.2 Emisión de Metano procedente de las Aguas Residuales Municipales	95
6.1.2.1 Datos de actividad	95
6.1.2.2 Factores de emisión	958
6.1.3 Emisión de Metano procedente de las Aguas Residuales industriales	96
6.1.4 Emisiones de óxido nitroso procedente de excretas humanas	96
6.1.4.1 Datos de actividad	97
6.1.4.2 Factores de emisión	97
6.1.5 Emisiones de óxido nitroso y bióxido de carbono procedentes de la incineración de residuos peligrosos	98
6.1.5.1 Datos de actividad	98
6.1.5.2 Factores de emisión	98
6.2 Resultados	99
6.2.1 Emisiones de metano procedentes de residuos sólidos municipales	99
6.2.2 Emisiones de metano procedentes de las aguas residuales municipales	99
6.2.3 Emisiones de bióxido de carbono procedentes de la incineración de residuos peligrosos	100
6.2.4 Emisiones de óxido nitroso procedente de excretas humanas	100
6.2.5 Distribución de las Emisiones de la categoría de desechos en el Estado de Yucatán 2005	100
6.2.6 Discusión	101
6.3 Conclusiones y recomendaciones	102
6.3.1 Medidas para la mitigación de gas metano procedentes de residuos sólidos municipales	103
6.3.1.1 Utilización del gas metano procedente de sitios de disposición final de residuos sólidos	103
6.3.1.2 Utilización de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales	103

6.3.2 Medidas para la mitigación de gas metano procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales	104
6.3.2.1 Utilización de la materia orgánica procedente de plantas de tratamiento de aguas residuales	104
REFERENCIAS	107
Energía	107
Procesos Industriales	107
Agricultura	109
Uso del Suelo y Cambio del Uso de Suelo y Silvicultura	110
Desechos	111
Responsables Técnicos del Presente Inventario	112
ANEXO 1: Tabla Resumen de Emisiones	114
ANEXO 2: Procesos Industriales	115
ANEXO 3: Agricultura	116
ANEXO 4: Estatus de los sectores	119

Introducción

El calentamiento global es un fenómeno de aumento de la temperatura promedio del planeta, debido al incremento en la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero (GEI) tales como bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC's), entre otros. Cuando este desequilibrio atmosférico es de origen antropogénico, es decir procedentes de las actividades del ser humano tales como el uso y obtención de energía, industria, uso y explotación de los recursos naturales, toma una importancia relevante en las cuestiones socioeconómicas y de desarrollo de los países, ya que las consecuencias de este cambio climático compromete la sustentabilidad de los ecosistemas.

En respuesta a esta situación, en 1988, se constituyó el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) por medio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial. Entre sus actividades más importantes está fomentar la realización de Inventarios de Emisiones que permitan evaluar la situación actual y proponer alternativas para su mitigación. México, por su parte, ha realizado el Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (INEGEI) conforme a lo establecido en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que comprende estimaciones de las emisiones por fuente y sumidero para el período 1990 al 2006.

El Gobierno del Estado a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA) en colaboración con el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY) realizaron el presente inventario como producto del compromiso tomado por los Estados de la Península de Yucatán en la Conferencia de la Naciones Unidas Sobre Cambio Climático COP16 efectuado en Cancún, Quintana Roo.

El “Inventario de Emisiones de Gases Efecto Invernadero del Estado de Yucatán, 2005”, al ser el primero en la entidad, funge como base y abre camino hacia los siguientes proyectos, planes y trabajos de mitigación de gases de efecto invernadero.

El Inventario Estatal de Emisiones de Gases Efecto Invernadero fue desarrollado en cinco etapas:

- 1) Inicio: reunión de personal, plan de trabajo y metodologías a seguir.
- 2) Desarrollo: obtención de datos de actividad y estimación de emisiones por categoría.
- 3) Compilación: Control de calidad de los informes
- 4) Generación del Informe: Integración de un informe final con un formato estándar
- 5) Revisión y publicación: revisión externa y versión final del inventario para publicación

El trabajo se distribuyó de tal forma que cada sector fue desarrollado por un coordinador con aptitudes y experiencia previa en el área de su responsabilidad, siguiendo la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático incluida en el libro de trabajo “Directrices del IPCC para los inventarios de gases efecto invernadero, versión revisada en 1996” y “Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 2000”.

Los datos de actividad fueron obtenidos de bases de datos oficiales de instituciones gubernamentales, referenciados en el documento. El manejo de esta información fue a través de equipos de cómputo oficiales del CICY, además de estricta confidencialidad y para uso exclusivo del presente inventario.

Energía (Sector 1)

Un aspecto fundamental en la planeación de proyectos en energía, y el cual se debe de considerar como fundamental para lograr la sustentabilidad hacia un futuro promisorio, corresponde a la mitigación de las emisiones de los gases que producen el efecto invernadero en la atmósfera terrestre y los cuales, son responsables de varias de las alteraciones climáticas a nivel mundial.

Actualmente, las actividades energéticas tienen una importante contribución a la emisión de estos gases, por ejemplo en Yucatán la totalidad de la electricidad generada utiliza tecnología de consumo de combustibles fósiles. Debido a esto, se hace necesario enfocarnos en tecnologías para la generación de energía que no dependan de la utilización de combustibles de origen fósil, por ejemplo las energías renovables. Por todo lo anterior, el Gobierno de Estado de Yucatán ha tomado en cuenta la sustentabilidad del desarrollo social y económico del Estado sin poner en riesgo los recursos naturales. Esto se ve reflejado en el Plan Estatal de Desarrollo 2012-2018, siendo uno de sus objetivos reducir la vulnerabilidad de los sectores productivos o sociales ante el impacto del cambio climático

Como punto de referencia hacia la sustentabilidad energética en el Estado, es necesario conocer con precisión la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten por los distintos sectores de la sociedad actual para posteriormente implementar proyectos de mitigación, así como para determinar el impacto logrado por los proyectos realizados en la entidad para alcanzar su mitigación.

En esta categoría se incluyen las industrias dedicadas a la generación de electricidad, así como el transporte, servicios, industrias de manufactura y transformación. Los sectores residencial, comercial y agricultura no se incluyeron, ya que no se contó con los datos de actividad. En este apartado se calculan las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de las

principales fuentes de combustión reportadas por las categorías definidas por el IPCC adaptadas para el Estado de Yucatán.

La categoría Energía, que es de las más importantes en los inventarios de GEI de México, se subdivide en consumo de combustibles fósiles y en emisiones fugitivas de metano (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Subcategorías del sector energía

1A Consumo de combustibles fósiles	1B Emisiones fugitivas de metano
1A1 Generación de energía	1B2 Por las actividades del petróleo y gas natural
1A2 Manufactura e industria de la construcción	1B1 Por el minado y manipulación del carbón
1A3 Transporte	
1A4 Otros (comercial, residencial y agricultura)	

Fuente: IPCC, 1996.

Se toma en consideración las recomendaciones del IPCC descritas en la sección referente a las instrucciones del reporte, donde se menciona la clasificación que debe seguirse para cada categoría de fuentes incluidas en el inventario estatal de gases de efecto invernadero. La clasificación que corresponde a la categoría de Energía se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Categorías definidas por el IPCC

Clave del IPCC	Categoría y subcategorías de fuente
1	Energía
1A	Fuentes fijas de combustión
1A1	Industrias de la energía
1A2	Industrias de la manufactura y construcción
1A3	Fuentes móviles de combustión
1A3a	<i>Transporte automotor</i>
1A3b	<i>Transporte aéreo</i>
1A3c	<i>Transporte ferroviario</i>
1A3d	<i>Transporte marítimo</i>
1A4	Otros sectores
1A4a	<i>Sector comercial</i>
1A4b	<i>Sector residencial</i>
1A4c	<i>Sector agropecuario</i>
1B	Emisiones fugitivas
1B1	Minado de carbón
1B2	Petróleo y gas natural

Fuente: IPCC, 1996.

Las emisiones de gases de efecto invernadero que se contabilizan en la categoría de energía incluyen las emisiones de bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), y óxido nitroso (N₂O) expresadas en unidades de CO₂ equivalente. Estas emisiones provienen en su mayoría de la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas de combustión y en fuentes móviles de combustión. Adicionalmente a estas emisiones hay emisiones de otros gases denominados precursores de ozono o gases indirectos de efecto invernadero, como son el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM), y bióxido de azufre (SO₂). Dado que los gases indirectos de efecto invernadero no poseen equivalencia en términos de CO₂, se reportan en unidades de masa (Gg) emitidos para cada tipo de gas.

Cabe destacar que en el Estado de Yucatán no se tienen actividades (referentes a este sector) que generen emisiones fugitivas de metano, por lo cual esta subcategoría no se tomó en cuenta para la realización de este inventario.

2.1 Metodología

2.1.1 Datos de actividad

Al momento de contabilizar las emisiones es importante distinguir la fuente de la emisión así como destino final de los combustibles y clasificarlos según su proceso de combustión. De acuerdo con la guía del IPCC se consideraron para la realización de este inventario las siguientes categorías (Figura 2.1):



Figura 2.1 Fuentes consideradas para la categoría de Energía en Yucatán.

2.1.1.1 Fuentes fijas de combustión

Para este apartado se evalúan las emisiones de GEI provenientes de la generación de electricidad, así como las derivadas de los procesos de la industria manufacturera y de la construcción, dentro de las cuales destacan la de alimentos y bebidas, cal y cemento, química, manufacturera, construcción y transformación, exponiéndolas a continuación en orden decreciente de la demanda de energéticos:

2.1.1.1.A Generación de energía eléctrica

Yucatán cuenta (en 2005) con una capacidad de generación eléctrica total de 1,581 megawatts, la cual es distribuida en cinco plantas (Tabla 2.3):

Tabla 2.3 Plantas generadoras de energía eléctrica en Yucatán.

Nombre	Fuente de generación	Capacidad instalada (MW)	Localización	Año de establecimiento
Nachi-Cocom	Termoeléctrica	49	Mérida	1962
	Turbo gas	30		1987
Mérida II	Termoeléctrica	168	Mérida	1981
	Turbo gas	30		1981
Mérida III	Ciclo combinado	484	Mérida	2000
Felipe Carrillo Puerto	Termoeléctrica	75	Valladolid	1992
	Ciclo combinado	220		1994
Valladolid III	Ciclo combinado	525	Valladolid	2006

Fuente: Secretaría de Fomento Económico (<http://www.sefoe.yucatan.gob.mx/esp/ventajas/infraestructura-electrica.php>).

Estas plantas utilizan dentro de sus procesos de generación gas natural, combustóleo y diesel. De tal manera, como se muestra en la Tabla 2.4, el gas natural es el principal combustible consumido por esta industria con el 56.60% del total de energía requerida para la generación de energía.

Tabla 2.4 Consumo energético para generación de energía eléctrica en Yucatán en 2005

Combustible	Consumo (TJ)	%
Diesel	19,650.04	36.85
Combustóleo	3,493.08	6.55
Gas Natural	30,177.95	56.60
TOTAL	53,321.07	100.00

Fuente: Datos obtenidos a partir de la información proporcionada por la Cédula de Operación Anual (COA) Federal, 2005.

2.1.1.1B Industrias de la Manufactura y la Construcción

Por su contribución a la generación de empleo y su aportación al valor agregado, el sector industrial podría considerarse el más importante económicamente de Yucatán y dentro de éste, la industria manufacturera y la industria de la construcción, tienen un elevado efecto multiplicador en los demás sectores económicos (Secretaría de Fomento Económico, perfil económico).

La subcategoría Industria Manufacturera tiene el segundo lugar en la escala de consumos de energía con una demanda de 4,689.07 TJ al año 2005 debido al tipo de industria establecida. Como se puede observar en la tabla 2.5, el coque de petróleo es el combustible que más se demanda en esta subcategoría con un 42.19% de consumo.

Por otro lado en la tabla 2.6, se puede observar que la industria de cal y cemento es la que más consumo de energía demanda con un 53.01% del total de la energía requerida para esta subcategoría.

Tabla 2.5 Consumo energético para la industria manufacturera y de la construcción en Yucatán

Combustible	Consumo (TJ)	%
Diesel	247.75	5.28
Combustóleo	1,615.69	34.46
Gas Natural	758.58	16.18
Gas LP	88.57	1.89
Coque	1,978.48	42.19
TOTAL	4,689.07	100.00

Fuente: Datos obtenidos a partir de la información proporcionada por la Cédula de Operación Anual (COA) Federal y Estatal, 2005.

Tabla 2.6 Demanda de energía de la industria manufacturera y de la construcción en Yucatán por rama

Industria	Consumo (TJ)	%
Alimentos y bebidas	987.75	21.07
Cal y cemento	2,485.63	53.01
Química	572.98	12.22
Manufactura	8.73	0.19
Transformación	626.11	13.35
Construcción	7.85	0.17
TOTAL	4,689.05	100.00

Fuente: Datos obtenidos a partir de la información proporcionada por la Cédula de Operación Anual (COA) Federal y Estatal, 2005.

2.1.1.2 Fuentes móviles de combustión

2.1.1.2.A Transporte carretero, aviación y marítimo

La gasolina y el diesel son los combustibles más utilizados en el Estado (Tabla 2.7), dan marcha a la operación de aproximadamente 226,935 automóviles, 2,223 camiones de pasajeros, 72,623 camiones y camionetas de carga, así como 42,749 motocicletas (INEGI. Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación en Yucatán, para 2005). Estos combustibles son utilizados para el transporte terrestre, el cual representa mayor consumo de energía con un 91.15% del total de energía requerida por este sector (Tabla 2.8).

Cabe destacar, que el cálculo de las emisiones generadas por fuentes móviles, se basaron en la cantidad de combustibles (gasolina, diesel, diesel marino y queroseno) vendida por PEMEX al Estado de Yucatán en el año 2005. Para el caso particular del diesel, la cantidad consumida por los otros subsectores (industria de la manufactura y construcción, industrias generadoras de energía y servicios) fue descontada de la cantidad reportada por PEMEX. Asumiendo entonces, que la cantidad restante es utilizada para transporte.

Mientras que, para el caso de las emisiones generadas por las actividades de aviación, el cálculo de estas se realizaron únicamente tomando en cuenta la cantidad de combustible vendido al Estado reportada por PEMEX para el año 2005.

Estas estimaciones se debieron a que no se contó con datos de actividad más precisos.

Tabla 2.7 Consumo energético del transporte en Yucatán

Combustible	Consumo (TJ)	%
Gasolina	20,453.86	66.94
Diesel	7,460.77	24.42
Diesel marino	957.64	3.13
Turbosina	1,682.53	5.51
TOTAL	30,554.8	100%

Fuente: Datos obtenidos a partir de información proporcionada por PEMEX.

Tabla 2.8 Demanda de energía del sector Transporte

Transporte	Consumo (TJ)	%
Terrestre	27,914.63	91.36
Aviación	1,682.53	5.51
Marítimo	957.64	3.13
TOTAL	30,554.80	100.00

Fuente: Datos obtenidos a partir de información proporcionada por PEMEX.

2.1.1.3 Otras fuentes de combustión

2.1.1.3A Servicios

El sector comercio y servicios es el que más aporta al producto interno bruto estatal. El sector servicios, hace uso de combustibles como diesel, y gas licuado de petróleo (Gas LP), siendo el diesel el más utilizado en su actividad, con una demanda de energía proveniente de este combustible de un 85.15% del total de energía requerida por este sector (Tabla 2.9)

En esta categoría se contabilizaron las emisiones generadas por la quema de combustibles de los diferentes los hoteles de Yucatán.

Tabla 2.9 Consumo energético de sector servicios en Yucatán

Combustible	Consumo (TJ)	%
Diesel	46.18	85.16
Gas LP	8.05	14.84
TOTAL	54.23	100%

Fuente: Datos obtenidos a partir de la información proporcionada por la Cédula de Operación Anual (COA) Estatal, 2005.

2.1.2 Métodos y Factores de emisión

El cálculo de las emisiones generadas de bióxido de carbono equivalente se realizó mediante la cuantificación de CO₂, CH₄ y N₂O emitidos como resultado de la combustión.

De acuerdo con la información disponible, se elaboró la estimación de las emisiones de acuerdo a los árboles de decisiones para la categoría de energía (Figuras 2.2, 2.3 y 2.4), obteniendo un nivel metodológico de complejidad básico Tier 1. En la figura 2.2 se aprecia el árbol de decisiones para seleccionar el método de estimación de las emisiones de CO₂ procedentes de fuentes fijas de combustión.

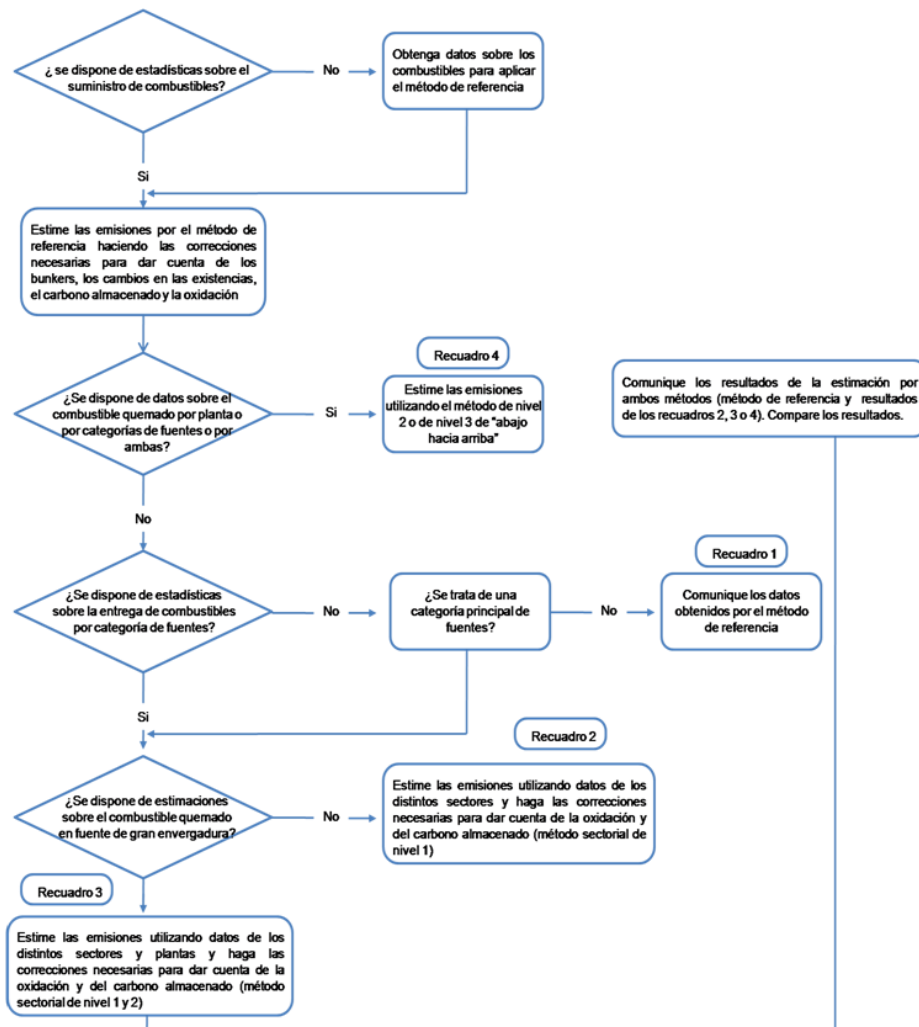


Figura 2.2 Árbol de decisiones para seleccionar el método de estimación de las emisiones de CO₂ procedentes de fuentes fijas de combustión. Fuente: IPCC, 1996.

Los pasos seguidos en este árbol se aplican a cada uno de los sectores: Industrias Energéticas, Manufactura y Construcción, Transporte y Servicios, siguiendo el árbol de decisiones y se numeran a continuación:

1. Se dispone de estadísticas sobre el suministro de combustibles.
2. Se estiman las emisiones por el método de referencia, haciendo las correcciones necesarias para dar cuenta de los bunkers, los

cambios en las existencias, el carbono almacenado y la oxidación descrita en las Directrices del IPCC 1996.

3. No se dispone de datos sobre el combustible quemado por tipo de planta.
4. Sí se dispone de estadísticas sobre la entrega de combustible por categoría de fuentes.
5. No se dispone de estimaciones sobre el combustible quemado en fuentes de gran envergadura por tipo de planta.
6. Por tanto se estiman las emisiones mediante las ecuaciones correspondientes utilizando los datos de actividad y los factores de emisión de los distintos sectores según el Método Sectorial de Nivel 1 descrito en las Directrices del IPCC 1996.

En Yucatán no se cuenta con valores de factores de emisión propios, por lo que fue necesario adoptar los del documento Directrices del IPCC 1996. Por lo anterior, la elección de los factores de emisión de CO₂ se realizó con ayuda del Árbol de decisiones para seleccionar los valores caloríficos y los factores de emisión de carbono, descrito en la figura 2.3.

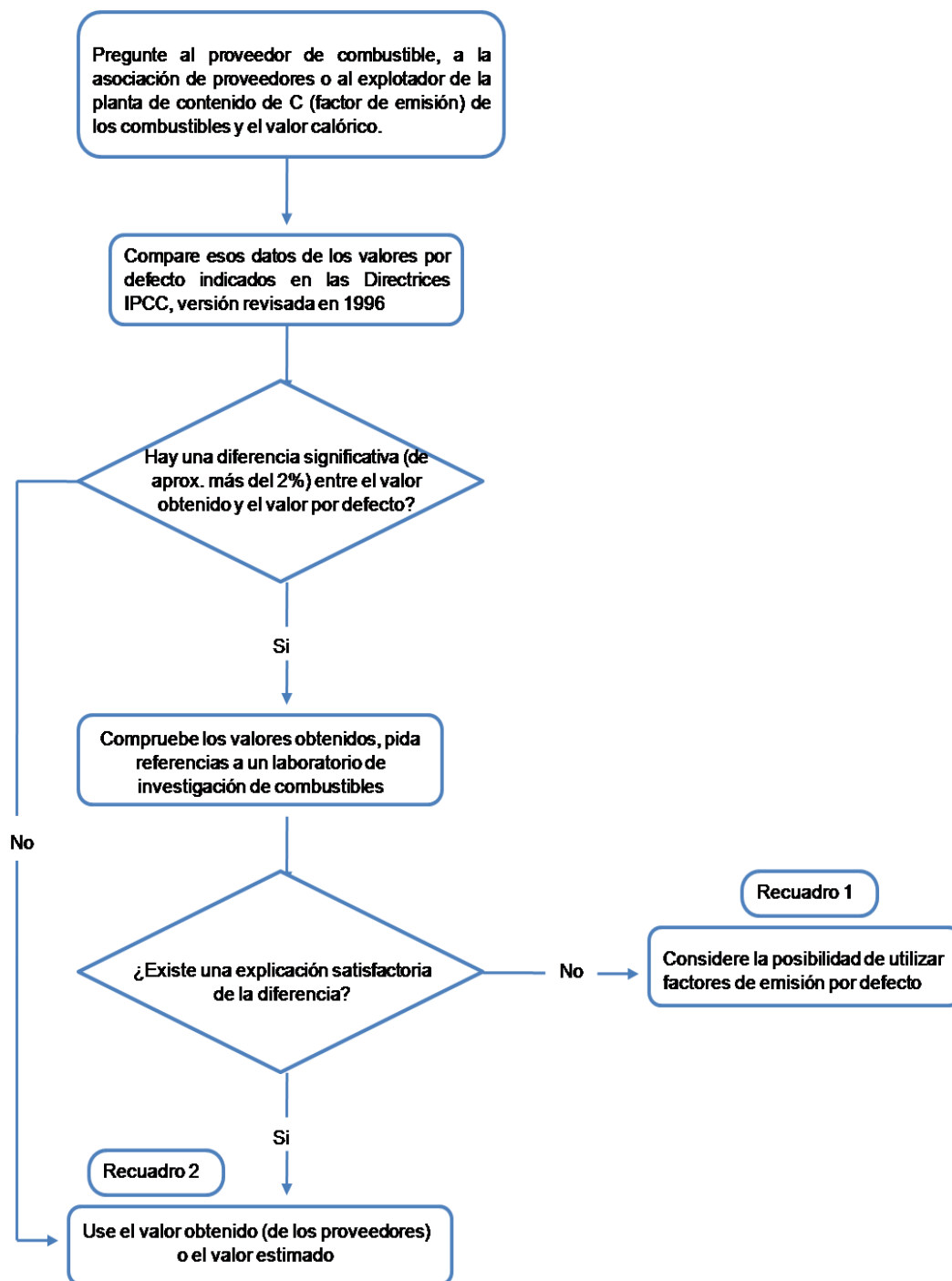


Figura 2.3 Árbol de decisiones para seleccionar los valores caloríficos y los factores de emisión de carbono. Fuente: IPCC, 1996.

Los pasos seguidos en la elección de los factores de emisión del carbono se aplican a cada uno de los sectores de las Industrias

Energéticas, Manufactura y Construcción, Transporte y Servicios, de acuerdo al correspondiente árbol de decisiones y se numeran a continuación:

1. El proveedor de combustible no reporta el contenido de carbono de los combustibles. Sí reporta el valor calórico.
2. Por tanto, no se puede hacer una comparación con los valores por defecto reportados en las Directrices del IPCC 1996.
3. Se usan los factores de emisión por defecto del IPCC.

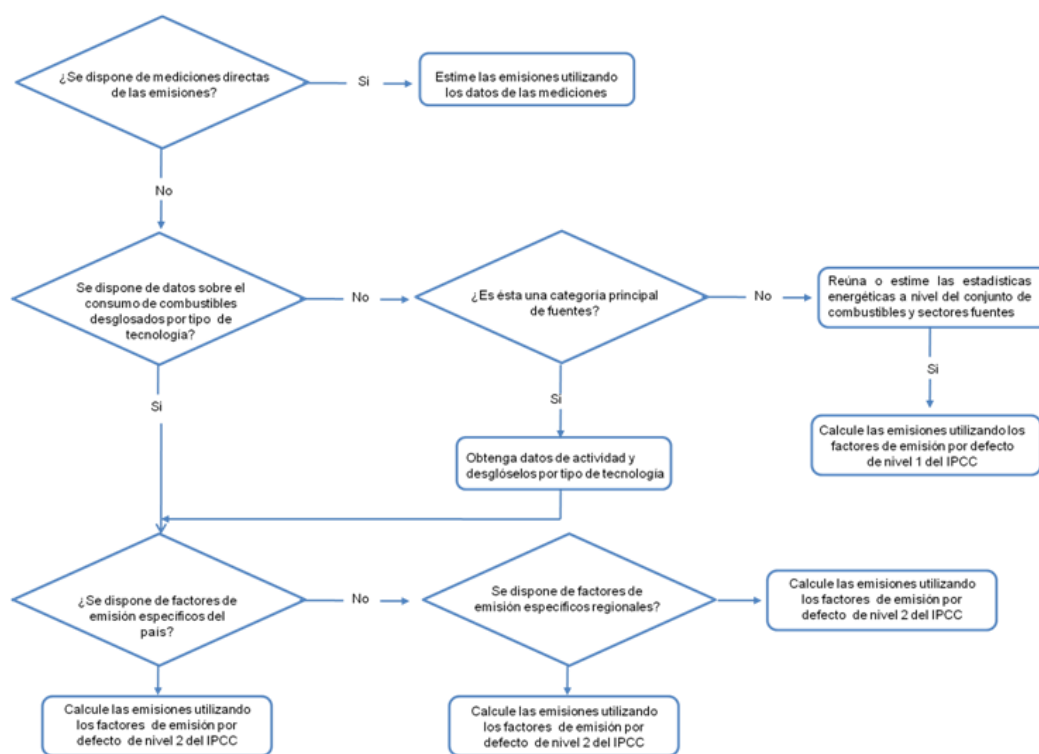


Figura 2.4 Árbol de decisiones para seleccionar el método de estimación de las emisiones de gases distintos al CO₂ procedentes de fuentes fijas de combustión.

Para este árbol de decisión (Figura 2.4) se considera que se disponen de los mismos datos que en los árboles anteriores, en este contexto, el método de cálculo para gases distintos del CO₂ difiere solo en los factores de emisión según el tipo de gas, a continuación se propone a manera muy general el método de estimación

descrito en las directrices del IPCC 1996, que hace uso de la ecuación:

$$\text{Emisión de GEI} = \sum abc \text{ (Factor de emisión abc * Consumo de combustible abc * Factor de oxidación abc)}$$

Donde:

- a = tipo de combustible
- b = sector
- c = tipo de tecnología.

Es importante mencionar que fueron consideradas similares las tecnologías de consumo de combustibles para el Estado de Yucatán con las reportadas en las categorías Industrias Energéticas, Manufactureras y Construcción del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del año 2002.

A continuación se muestran los valores calóricos netos utilizados para en los cálculos que se emisionen de GEI, cabe mencionar que se tomaron en cuenta los valores calóricos netos reportados en Balance Nacional de Energía de México, 2010 (Tabla 2.10), siguiendo los lineamientos del IPCC, 1996.

Tabla 2.10 Valor Calórico Neto por tipo de combustible

Combustible	Valores calóricos netos del año 2005 (Obtenidos del BNE México, 2010)	Unidades
Combustóleo	6,019	MJ/bl
Diesel	5,426	MJ/bl
Gas Natural (asociado)	44,077.	kJ/m ³
Gas licuado de Petróleo (GLP)	3,765	MJ/bl
Coque de petróleo	30,675	MJ/t
Gasolina	4,872	MJ/bl
Turbosina (queroseno)	5,223	MJ/bl
Diesel marino	5,426	MJ/bl

Fuente: Datos obtenidos del BNE-México, 2010.

De manera más detallada, para el cálculo de la estimación de emisiones de CO₂, se utilizó la siguiente ecuación, donde se obtiene un resultado en Gigagramos al año.

$$\text{Emisiones de GEI} = [(\sum(\text{combustible consumido}) * (\text{FE GEI})) * F_{ox}]$$

Donde:

- *Emisiones de GEI*: emisiones de GEI (CO₂) por tipo de combustible
- *Combustible consumido*: cantidad de combustible quemado (TJ)
- *FE GEI*: factor de emisión predeterminado de GEI según el tipo de combustible
- *F_{ox}*: factor de Oxidación o Fracción de carbón oxidado.

En las tablas 2.11 y 2.12 se muestran los factores de emisión, y fracción de carbono oxidado utilizado para la estimación de gases de efecto invernadero tomados de las directrices del IPCC, 1996.

Tabla 2.11 Factores de emisión de carbono

Combustible	(t C/TJ)
Gasolina	18.9
Gasóleo/fuelóleo	20.2
Fuelóleo residual	21.1
Queroseno para aviones de reacción	19.5
Gas Licuado de Petróleo	17.2
Coque	27.5
Gas Natural	15.3

Fuente: Directrices de IPCC Manual de referencia, 1996.

Tabla 2.12 Fracción del carbono oxidado

Tipo de combustible	Valor del Factor
Carbón	0.980
Petróleo y derivados del petróleo	0.990
Gas	0.995

Fuente: Directrices de IPCC Manual de referencia, 1996.

Mientras que, para el cálculo de la estimación de emisiones de CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC y SO₂, se utilizó la siguiente ecuación, donde se obtiene un resultado en gigagramos al año.

$$\text{Emisiones} = \sum (\text{FE}_{ab} * \text{Actividad}_{ab})$$

Donde:

- *Emisiones*: emisiones de GEI o del GEI indirecto por tipo de combustible
- *FE*: factor de emisión predeterminado de GEI según el tipo de combustible (kg/TJ)
- *Actividad*: energía (TJ)
- *a*: tipo de combustible
- *b*: sector o actividad.

En las tablas 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17 y 2.18 se muestran los factores de emisión CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC y SO₂ tomados de las directrices del IPCC, 1996.

Tabla 2.13 Factores de emisión de CH₄ (kg/TJ).

Subsectores		Carbón	Gas Natural	Petróleo	
Industrias de la energía		1	1	3	
Industrias manufactureras y de la construcción		10	5	2	
Transporte	Aviación	-	-	0.5	
	Terrestre	-	50	Gasolina	Diesel
		-	-	20	5
	Ferrovionario	10	-	5	
	Marítimo	10	-	5	
Otros sectores	Comercial/institucional	10	5	10	
	Residencial	300	5	10	

Fuente: Directrices de IPCC Manual de referencia, 1996.

Tabla 2.14 Factores de emisión de N₂O (kg/TJ)

Subsectores		Carbón	Gas Natural	Petróleo	
Industrias de la energía		1.4	0.1	0.6	
Industrias manufactureras y de la construcción		1.4	0.1	0.6	
Transporte	Aviación			2	
	Terrestre		0.1	Gasolina	Diesel
				0.6	0.6
	Ferrovionario	1.4		0.6	
	Marítimo	1.4		0.6	
Otros sectores	Comercial/institucional	1.4	0.1	0.6	
	Residencial	1.4	0.1	0.6	

Fuente: Directrices de IPCC Manual de referencia, 1996.

Tabla 2.15 Factores de emisión de NO_x (kg/TJ)

Subsectores		Carbón	Gas Natural	Petróleo	
Industrias de la energía		300	150	200	
Industrias manufactureras y de la construcción		300	150	200	
Transporte	Aviación			300	
	Terrestre		600	Gasolina	Diesel
				600	800
	Ferrovial	300		1200	
Marítimo	300		1500		
Otros sectores	Comercial/institucional	100	50	100	
	Residencial	100	50	100	

Fuente: Directrices de IPCC Manual de referencia, 1996.

Tabla 2.16 Factores de emisión de CO (kg/TJ)

Subsectores		Carbón	Gas Natural	Petróleo	
Industrias de la energía		20	20	15	
Industrias manufactureras y de la construcción		150	30	10	
Transporte	Aviación			100	
	Terrestre		400	Gasolina	Diesel
				8000	1000
	Ferrovial	150		1000	
	Marítimo	150		1000	
Otros sectores	Comercial/institucional	200	50	20	
	Residencial	200	50	20	

Fuente: Directrices de IPCC Manual de referencia, 1996.

Tabla 2.17 Factores de emisión de NMVOC (kg/TJ)

Subsectores		Carbón	Gas Natural	Petróleo	
Industrias de la energía		5	5	5	
Industrias manufactureras y de la construcción		20	5	5	
Transporte	Aviación			50	
	Terrestre		5	Gasolina	Diesel
				1500	200
	Ferrovial	20		200	
Marítimo	20		200		
Otros sectores	Comercial/institucional	200	5	5	
	Residencial	200	5	5	

Fuente: Directrices de IPCC Manual de referencia, 1996.

Tabla 2.18 Valores por defecto de contenido de azufre en los combustibles

Combustible	Valor por defecto (%)	
Carbón	Bajo S	0.5
	Medio S	1.5
	Alto S	3.0
Combustóleo pesado	Bajo S	1.0
	Medio S	3.0
	Alto S	4.0
Combustóleo ligero/ Diesel	Bajo S	0.3
	Alto S	1.0
Diesel (terrestre)	0.3	
Gasolina (terrestre)	0.1	
Turbosina	0.05	
Gas natural	Despreciable	

Fuente: Directrices de IPCC Manual de referencia, 1996.

2.2 Resultados

Para el Estado de Yucatán se estimó una emisión de 6,006.28 Gg de CO₂ equivalente derivado de las fuentes de combustión en el año 2005 (Tabla 2.19). Por otra parte en la figura 2.5 se puede observar que la subcategoría Industrias de la Energía es la más contribuye en las emisiones de GEI generando el 57.57% del total de GEI generados por esta categoría, seguida del transporte con el 35.9% y la industria manufacturera con el 6.46%, mientras que la contribución de la subcategoría de Servicios es casi nula con un 0.07%.

Tabla 2.19 Emisiones de GEI por tipo de actividad. Potencial de Calentamiento Global para CH₄=21 y N₂O=310 (IPCC, 1996)

Subcategoría	Consumo al 2005 (TJ)	Emisiones (Gg)			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ equivalente
Industrias de la energía	53,321.07	3,445.71	15.78E-02	2.87E-02	3,457.93
Industrias manufactureras	4,689.07	387.29	11.65E-03	2.40E-03	388.29
Transporte	30,554.8	2,139.66	47.12E-02	20.69E-03	2,155.96
Servicios	54.23	3.89	53.3E-04	3.00E-03	4.09
TOTAL	8,8619.17	5,976.54	64.60E-02	5.20E-02	6,006.28

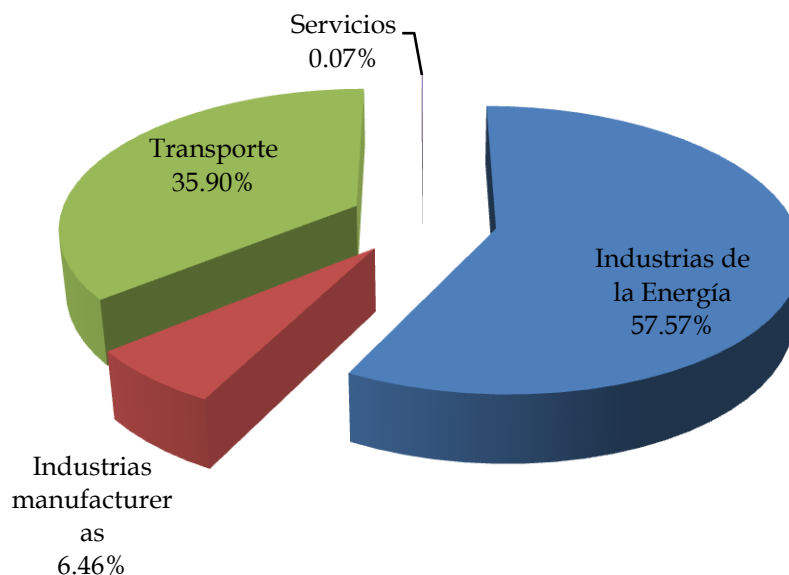


Figura 2.5 Porcentaje de contribución de las emisiones de CO₂ equivalente por subcategoría.

En la tabla 2.20 a manera de información adicional, se muestran las emisiones en unidades de Gg de los gases indirectos de efecto invernadero como los son CO, NO_x, COVDM y SO₂. Estos gases como su nombre lo indica no son considerados gases de efecto invernadero propiamente, sin embargo, son precursores de ozono (O₃). Debido a lo anterior es importante conocer las cantidades de emisiones que se tienen de cada uno de los gases indirectos de efecto invernadero.

Tabla 2.20 Emisiones de GEI indirecto por tipo de actividad

Subcategoría	Consumo al 2005 (TJ)	Emisiones (Gg)			
		NO _x	CO	COVDM	SO ₂
Industrias de la energía	53,321.07	12.9055	1.2178	0.36	9.57
Industrias manufactureras	4,689.07	0.8999	0.0621	0.02	0.53
Transporte	30,554.80	20.18	172.21	32.45	0.83
Servicios	54.23	0.01	0.00108	0.00	0.01
TOTAL	88,619.17	33.99	173.49	32.83	10.94

En la tabla 2.20 y en la figura 2.6, se observan las cantidades y los porcentajes de los gases precursores de ozono emitidos por las diferentes fuentes de combustión para la categoría de Energía en el año 2005. En esta figura se puede ver que el transporte es el que mayores emisiones de estos gases generan durante sus procesos de combustión. Con un 59.37% de las emisiones de NO_x, 99.26% de CO, un 98.84% de COVDM, sin embargo en cuestiones de SO₂ las industrias de la energía son las que más emisiones generan con un 87.46%.

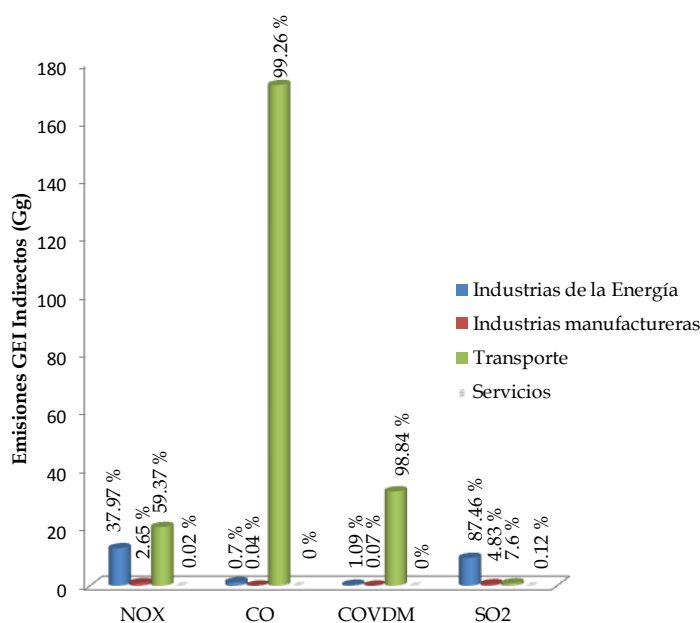


Figura 2.6 Porcentaje de contribución de las emisiones de GEI indirectos por subcategoría.

2.3 Conclusiones y recomendaciones

Se realizó el inventario con las estimaciones de gases de efecto invernadero con base en el consumo de combustibles fósiles quemados en forma directa en los sectores generadores de electricidad, industria, transporte y servicios.

Se obtuvo una estimación de 6,006.28 Gg de CO₂ equivalente derivado de las fuentes de combustión en el año 2005.

Las emisiones obtenidas no reflejan la aportación específica de gases de efecto invernadero dado que para su cuantificación, no se contó con parámetros específicos de eficiencia energética para cada una de las subcategorías incluidas, así como de algunos datos de actividad de subcategorías, que deberían incluirse, tales como: residencial, comercial/institucional y agropecuario.

Por lo tanto, las estimaciones aquí presentadas muestran tan sólo un panorama de emisiones de GEI que se producen por la quema de combustibles en la categoría de energía.

Para los cálculos se consideró el consumo reportado por las empresas, y registrado en la cédula de operación anual tanto estatal como Federal (para el año 2005), así como la distribución de combustibles para transporte por parte de PEMEX al Estado de Yucatán. Por lo tanto, los datos pueden variar considerablemente con el consumo real de estos combustibles en el Estado.

Asimismo, de acuerdo con lo establecido en la metodología del IPCC y con el fin de estimar con la mayor exactitud posible las emisiones derivadas de la generación de energía se realizan las siguientes recomendaciones:

Elaborar un diagnóstico energético sectorial el cual permita determinar indicadores de consumo de energía con base en los procesos productivos de las distintas empresas en el Estado y que permitan ser aplicados a los balances de energía estatales con el fin de aumentar con mayor precisión la cuantificación realizada.

Contar con un censo de las industrias, especificando el tipo de combustibles y la cantidad que cada una de ellas emplea, para sus actividades, así como sus principales productos.

Contar con un censo de población que incluya el tipo de combustible, así como la cantidad empleada para uso doméstico.

Contar con centros de verificación vehicular para que de esta forma se tengan datos de actividad más precisos, en cuanto a al

tipo y la cantidad de combustibles empleados por los distintos vehículos.

Impulsar la investigación científica a fin de determinar factores de emisión específicos para la región.

Contar con un balance de energía actualizado, así como con un sistema de información energética para el Estado.

2.3.1 Propuestas de medida de mitigación de GEI

La mitigación implica modificaciones en la cotidianidad de las personas y en las actividades económicas, con el objetivo de lograr una disminución en las emisiones de los gases de efecto invernadero a fin de reducir o hacer menos severos los efectos del cambio climático. Cabe destacar, que las acciones de mitigación no implican necesariamente un “dejar de usar”; más bien se encuentran ligadas con el ahorro energético mediante el uso eficiente de la energía, lo que produce además, menores costos para las personas, empresas y los gobiernos.

Por lo tanto, para tratar de reducir las emisiones de GEI provenientes del sector energía, las medidas de mitigación deben basarse en:

- Incremento de la eficiencia energética,
- la sustitución de combustibles,
- y la instrumentación de estándares y normas para reducir el consumo de energía

En cuanto al incremento de la eficiencia energética, lo que se propone es la implementación de plantas generadoras de energía de ciclo combinado (Figura 2.7). De esta forma los gases a alta temperatura, que se escapan de la turbina de gas, pueden ser utilizados para aportar calor al generador de vapor. Así se estaría aprovechando al máximo la energía obtenida del combustible, en vez de que esta energía se perdiera, lo cual implica la utilización de una mayor cantidad de combustibles.

Aunque en Yucatán existen centrales generadoras de ciclo combinado, se recomienda la implementación de este proceso en las plantas generadoras que aún trabajan con otras tecnologías menos eficientes y limpias.

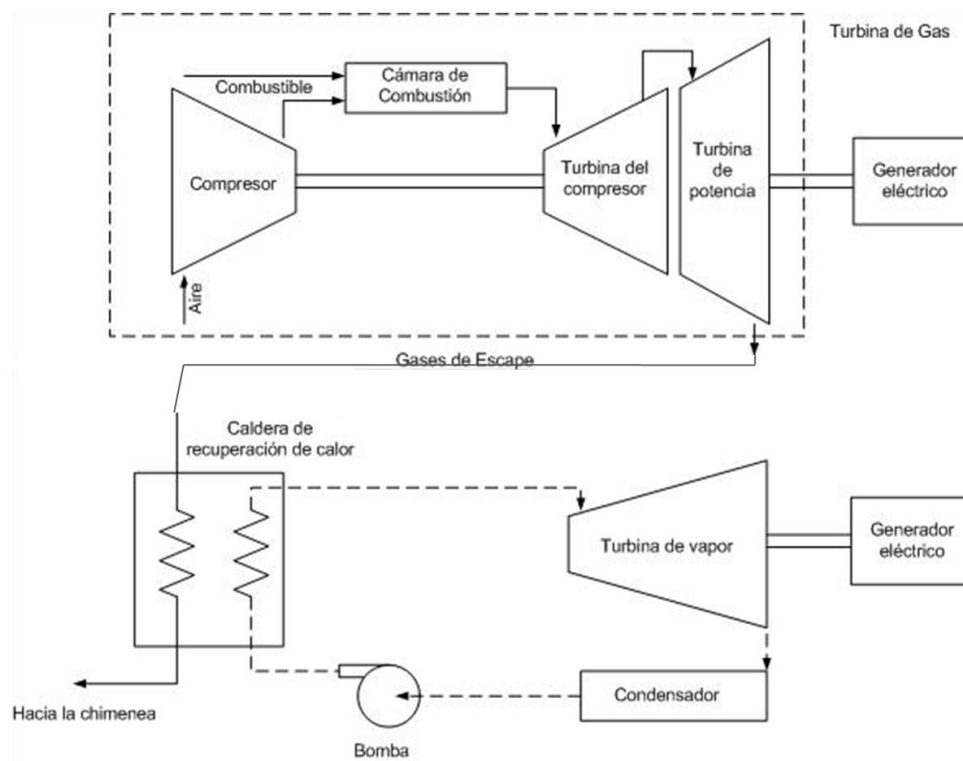


Figura 2.7 Esquema de funcionamiento de una central de ciclo combinado

De igual forma la introducción del uso de lámparas fluorescentes compactas en reemplazo de las lámparas de filamento incandescentes que se utilizan comúnmente en el sector residencial, contribuirían al uso eficiente de la energía, ya que estas lámparas fluorescentes compactas proporcionan el mismo flujo luminoso que las incandescentes, pero con una potencia aproximadamente de cuatro a cinco veces menor.

En la industria manufacturera y de la construcción, así como en el sector servicios, se recomendaría la implementación de sistemas de intercambio de cogeneración, los cuales son sistemas de producción en lo que se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil partiendo de un solo combustible.

De esta manera las industrias, así como hoteles, hospitales y edificios, podrían generar parte de la energía que demanda para sus otras actividades (calefacción, obtención de agua caliente), ya que al cogenerar se aprovecha el calor residual de los sistemas de refrigeración de los sistemas de combustión interna para la generación de energía.

Además, esta tecnología reduce el impacto ambiental debido al ahorro de energía primaria que implica. Si se tiene en cuenta que para producir una unidad eléctrica por medios convencionales se necesitan tres unidades térmicas, mientras que en cogeneración se necesitan 1,5 unidades, la cantidad total de agentes contaminantes emitidos se verá disminuida en un 50%.

Por otra parte, podrían implementar el uso de la energía solar (uso de paneles solares o calentadores solares) y la energía eólica, para satisfacer sus necesidades tanto de energía eléctrica o de energía térmica. Estas medidas podrían aplicarse en sectores industriales, comerciales, institucionales y servicios, con lo cual, sí bien no cubren por completo la demanda de energía eléctrica o térmica, al menos podrían reducirla, lo cual reduciría el uso de combustibles de origen fósil.

En cuanto al transporte, se podrían implementar el uso de biocombustibles, tales como biodiesel, bioetanol y bioturbosina de producción sustentable, o tecnologías del hidrógeno, con lo cual se podrían reducir las emisiones de CO₂ provenientes del transporte. De igual forma, se propone la implementación de leyes y reglamentos ambientales que de alguna forma exijan la utilización de automóviles más eficientes en el uso de combustibles.

Finalmente, de forma más general se propone la implementación de sistemas de captación de CO₂. Como podría ser (a manera de ejemplo), en un futuro, cuando la tecnología este más desarrollada, la implementación de biorrefinerías a partir del cultivo de microalgas como materia prima para la obtención de biodiesel (Figura 2.8). Con ese sistema se obtendría por una parte la captación del CO₂ ya emitido a la atmosfera, debido a que las microalgas captarían y fijarían el CO₂, y por otra parte se obtendría un biocombustible.

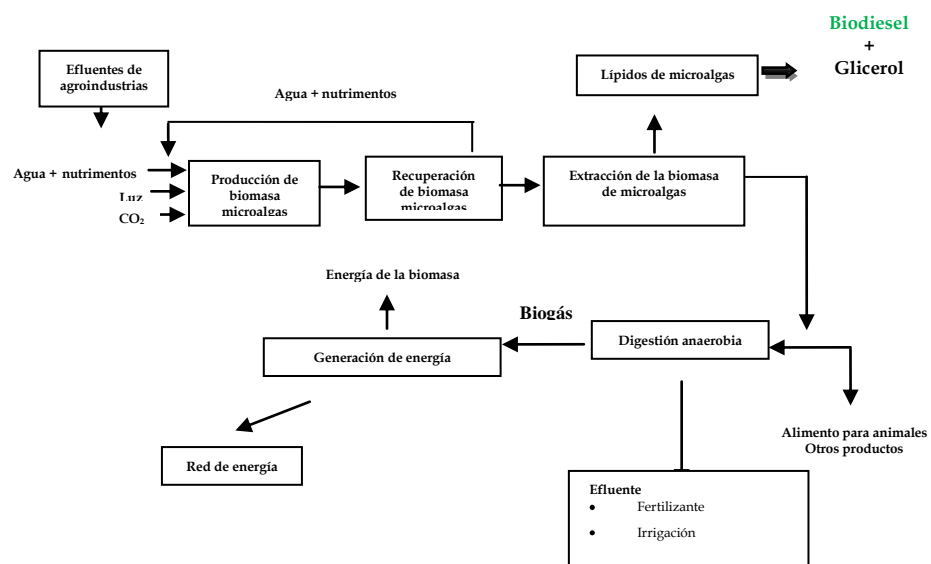


Figura 2.8 Esquema de funcionamiento de una biorrefinería a partir de microalgas
(Schenk et al., 2008)

Procesos Industriales (Sector 2)

El Estado de Yucatán cuenta con un total de 11,514 unidades económicas dedicadas a la industria manufacturera, que representa el 18.4% del total de las actividades económicas del estado (INEGI, 2004^a. Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Los sectores productivos de mayor presencia son la industria textil, alimentos, metales y madera (Figura 3.1, Tabla 3.1). Los datos de actividad, utilizados para fines de estimación de emisiones de este inventario, están basados en los censos de INEGI del año 2004.

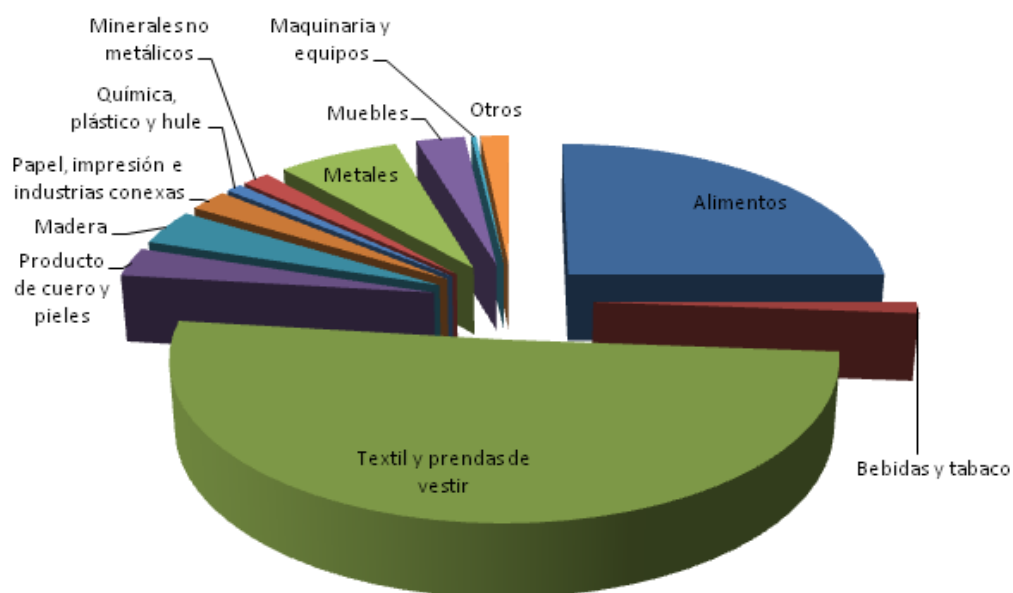


Figura 3.1. Sectores productivos del Estado de Yucatán (INEGI, 2004^a. Instituto Nacional de Estadística y Geografía).

Tabla 3.1 Unidades económicas del Estado de Yucatán por categorías, 2004. INEGI 2004^a.

Categoría	Unidades Económicas
Textil y prendas de vestir	5839
Alimentos	2878
Metales	800
Madera	427
Producto de cuero y pieles	347
Muebles	320
Papel, impresión e industrias conexas	260
Minerales no metálicos	184
Bebida y tabaco	135
Química, plástico y hule	106
Maquinaria y equipos	32
Otros	186
TOTAL	11,514

Fuente: INEGI, 2004^a (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)

De acuerdo a la clasificación propuesta por las Directrices del IPCC (1996), esta categoría se desarrolló como se muestra en la figura 3.2:

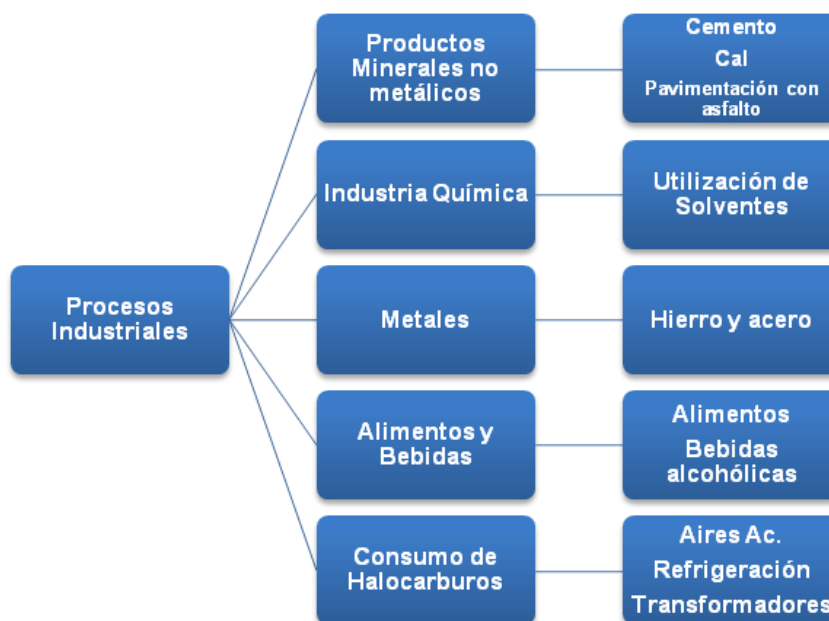


Figura 3.2 Clasificación de la categoría de Procesos Industriales en el estado de Yucatán.

3.1 Metodología

3.1.1 Productos Minerales No Metálicos

En Yucatán se elaboran productos basados en minerales no metálicos como el cemento y la cal. El proceso de producción involucra la generación de grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

3.1.1.1 Producción de cemento

El cemento es un material hidráulico de química y mineralogía compleja, compuesto principalmente de óxido de calcio (CaO), bióxido de silicio (SiO₂), óxidos de aluminio (Al₂O₃) y óxidos de hierro (Fe₂O₃). El proceso de producción del cemento se inicia con la producción de la clínca, donde el material se calienta a temperaturas de hasta 1400°C en un horno rotatorio, posteriormente la clínca se muele con otros minerales para producir el material en polvo que dará origen al cemento (WBCSD, 2012).

3.1.1.1.1 Datos de actividad

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2004) reporta a través del censo económico 2004, que en la entidad se producen 695,157 toneladas de cemento gris, que de acuerdo a la clasificación de CEMEX (2011) corresponde a cemento Portland gris. No se obtuvieron los datos de producción de clínca, pero como se conoce el total de producción de cemento Portland gris (INEGI, 2004), se consideró un 95% de clínca a partir de la producción anual (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000), lo cual dio un total de 660,399.15 toneladas.

La ecuación para calcular la producción de clínca fue la siguiente (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000):

Producción estimada de clínca = (Producción de cemento) x (Fracción de clínca)

De igual manera, se consideró que la fracción de peso por defecto de CaO en la clínca es de 65% ya que no hay datos específicos para el país (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000).

3.1.1.1.2 Factor de emisión

El factor de emisión sugerido para calcular las emisiones de CO₂ es de 0.785 t CO₂/ t de clínca (Directrices del IPCC, 1996), pero de acuerdo al estimado de la fracción de CaO en la clínca, da como resultado un factor de emisión de 0.51 t CO₂/t de clínca (Directrices del IPCC, 1996), el cual fue utilizado para las estimaciones en esta sección:

$$\text{Factor de emisión clínca} = (0.785) \times (\text{Contenido de CaO en la clínca})$$

Para calcular las emisiones de SO₂ se emplearon los datos de producción anual de cemento y un factor de emisión por defecto de 0.3 kg SO₂/t de cemento (Directrices del IPCC, 1996).

3.1.1.1.3 Incertidumbre

No se cuenta con los datos exactos de la clínca, por lo que la incertidumbre en los datos de actividad se eleva a un 35% (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000). Por otra parte, al asumir el porcentaje de CaO en la clínca da una incertidumbre en el factor de emisión de 8% (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000).

3.1.1.2 Producción de cal

La cal es un producto derivado de la calcinación de la piedra caliza, la cual es una roca sedimentaria que contiene altos niveles de calcio y/o carbonato de magnesio, y/o dolomita (carbonato de magnesio y calcio). La producción de cal comienza con la extracción de piedra caliza de las canteras y minas, la cual es tamizada y transportada a los hornos de cal. La piedra caliza es calcinada generalmente en hornos rotatorios y posteriormente se enfría para convertirse en cal viva, que a su vez puede ser

procesada en cal hidratada por medio de trituramiento y adición de agua (The National Lime Association, 2011).

3.1.1.2.1 Datos de actividad

De acuerdo al censo económico del año 2004 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2004), en el Estado se producen dos tipos de cal: cal hidratada y cal viva, con una producción de 152,517 y 1,000 toneladas respectivamente. Para calcular las emisiones de CO₂ se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones CO}_2 = (\text{Factor de emisión}) \times (\text{Producción de cal})$$

Como la producción de estos tipos de cal se obtuvieron a partir de piedra caliza con alto contenido de carbonato de calcio, se consideró que se componen principalmente de óxido de calcio (CaO) con una pureza del 95% (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000).

3.1.1.2.2 Factor de emisión

El factor de emisión por defecto es 0.79 t CO₂/ t cal viva tomando en cuenta una pureza del 100% de CaO (Directrices del IPCC, 1996). A falta de información exacta, se asumió una pureza del 95% utilizando un factor de emisión final por defecto de 0.75 t CO₂/t de cal viva y para el cálculo de las emisiones en la producción de cal hidratada se utilizó un factor de emisión por defecto de 0.59 t CO₂/t (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000).

3.1.1.2.3 Incertidumbre

Se tiene una incertidumbre máxima en los factores de emisión del 15% para la cal hidratada y 2% para cal viva (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000). La incertidumbre en los factores de emisión está asociada al volumen de producción de cal (Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002). La incertidumbre en los datos de actividad puede ser muy elevada si se omiten datos de cal no comercializada (hasta un

100%). Sin embargo, se asumirá que el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2004) contempla toda la producción de cal, por lo que la incertidumbre en los datos de actividad será máximo 15% y 2% para la cal hidratada y cal viva respectivamente (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000).

3.1.1.3 Pavimentación con asfalto

Hace referencia a los recubrimientos o carpetas de las carreteras las cuales contienen principalmente agregados minerales y asfalto.

3.1.1.3.1 Datos de actividad

En la fabricación de asfalto y revestimiento de las carreteras se generan COVDM. No se cuenta con la información exacta sobre la cantidad de asfalto utilizado para la pavimentación, pero el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2004) a través del censo económico del 2004, reporta que la cantidad de asfalto producido únicamente para pavimentación fue de 57,800 toneladas, por lo que se asumió que el total de lo producido fue destinado a esta actividad.

3.1.1.3.2 Factor de emisión

Para este apartado se utilizó un factor de emisión de 320 kg de COVDM/t de asfalto (Directrices del IPCC, 1996).

3.1.1.3.3 Incertidumbre

Las estimaciones tienen una incertidumbre elevada debido a que los datos de actividad no consideran la superficie total pavimentada o la cantidad de material empleado para esta actividad.

3.1.2 Industria Química

La industria química de base tiene poca presencia en el Estado de Yucatán. No obstante, existe la industria química de

transformación, enfocada principalmente a productos de plástico. Yucatán ocupa el lugar número 13 a nivel nacional en la producción de plásticos (ANIPAC, 2011), destinando la mayor parte de la producción a empaques y envases mediante una transformación del plástico. Aunque esta actividad puede generar grandes cantidades de COVDM, las Directrices del IPCC toman en cuenta estas emisiones solo cuando se trata de la producción del plástico en sí y no la transformación del mismo, por lo que no se contemplará en este apartado. Sin embargo, se contabilizarán las emisiones generadas por la utilización de productos basados en solventes (Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002).

3.1.2.1 Uso de solventes

La utilización de estos productos da como resultado emisiones de COVDM debido a la evaporación de los solventes y se asume que el 100% de estos se integran inmediatamente al medio ambiente al utilizarse los productos que los contienen. Las directrices del IPCC tratan esta sección de manera separada porque su naturaleza requiere de estimaciones un tanto diferentes a la de otras subcategorías y no detallan una metodología general, pero se utilizará la metodología mostrada por el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de efecto Invernadero 1990-2002 y las emisiones se clasificarán dentro de la industria química.

3.1.2.1.1 Datos de actividad

Los datos se clasificaron de la siguiente manera: barnices, esmaltes, pinturas solubles en agua sin agregados minerales, selladores, tintes, bases, fondos e impermeabilizantes (Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002).

La información obtenida sobre la producción se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Productos basados en solventes y su producción
Unidades de producción reportadas en L.

Producto	Producción (L*)
Barnices	323,000
Esmaltes	601,000
Pinturas solubles en agua sin agregados minerales	1,673,000
Selladores, Tintes, Bases, Fondos	1,582,000
Impermeabilizantes	39 Toneladas.

* Para posterior conversión de unidades se utilizaron las densidades de la tabla 3.3. Fuente: Censo Económico, INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

3.1.2.1.2 Factor de emisión

Para la estimación de las emisiones en este apartado se utilizaron los factores de emisión y las densidades que se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Densidad y factores de emisión de productos basados en solventes (Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002).

Producto	Densidad (kg/L)	FE (t COVDM/ t producto)
Barnices	0.92	0.50
Esmaltes	0.94	0.50
Pinturas solubles en agua sin agregados minerales	1.1	0.05
Selladores, Tintes, Bases, Fondos	0.9	0.25
Impermeabilizantes	0.25	0.25

3.1.2.1.3 Incertidumbre

Debido a la gran variedad de productos que difieren en el contenido de solvente no fue posible determinar la incertidumbre.

3.1.3 Producción de metales

En Yucatán no existe la actividad minera, sin embargo, hasta el año 2010 existió la actividad de la fundición de chatarra ferrosa. Esta actividad es altamente contaminante y puede generar emisiones de gases de efecto invernadero.

3.1.3.1 Hierro y acero

La producción de hierro y acero genera emisiones de CO₂, NO_x, COVDM, CO y SO₂. El proceso de producción de hierro más común es conocido como “Alto Horno” (AH) (CANACERO, 2011). Este proceso consiste en la mezcla del hierro con coque de petróleo a temperaturas elevadas, posteriormente se enciende el coque mediante aire caliente para la liberación de monóxido de carbono (CO) con el objetivo de reducir el óxido de hierro hasta formar hierro en su forma simple, que después se combina con carbón para producir acero. Finalmente el acero líquido es colado para su solidificación (Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002).

Otra manera de obtener acero es mediante el “horno de arco eléctrico” (o por sus siglas en inglés EAF), donde el hierro es fundido junto con chatarra haciendo pasar por ellos enormes cantidades de energía eléctrica. Al acero líquido se le pueden agregar otros metales para formar aleaciones.

3.1.3.1.1 Datos de actividad

Para llevar a cabo la estimación de las emisiones de CO₂ conforme a la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas (2000) se requiere saber el tipo de tecnología empleada en el estado, el tipo de agente reductor y su cantidad empleada.

En Yucatán la empresa SIYUSA era la única que se dedicaba a esta actividad, enfocándose principalmente a la fundición de chatarra ferrosa. En la actualidad esta empresa ya no existe, por lo que no se contaron con los datos específicos para las estimaciones. No obstante, se tiene conocimiento que utilizaba la tecnología de horno de arco eléctrico ya que solo fundía chatarra. Se asumió que esta planta no integraba el proceso de reducción del mineral de hierro debido a que en la COA Federal (2005) no se especifican agentes reductores dentro de sus materias primas.

Se realizaron los cálculos de emisión a partir de la cantidad de productos metálicos ferrosos producidos, que fue de 13,610 toneladas de acero (Censo económico INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía). La metodología general para el cálculo de las emisiones fue la siguiente:

$$\text{Emisión} = \sum(\text{Factor de emisión de la fase del proceso}) \times (\text{Producción})$$

3.1.3.1.2 Factor de emisión

Se utilizó un factor de emisión nivel 2 de 5 kg CO₂/ t hierro o acero producido considerando que se utilizaba el proceso EAF (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000). También se emplearon los siguientes factores de emisión: para NO_x 76 g/t hierro o acero producido en la colada y 40 g/t en laminadores; se asume que la cantidad producida es laminada COVDM, 20 g/t en la colada y 30 g/ t en laminadores; CO 112 g/t y 1 g/t; SO₂ 30 g/t y 45 g/t (Directrices del IPCC, 1996). Los factores de emisión para la fase de carga en altos hornos fueron descartados por no ser parte de la tecnología empleada.

3.1.3.1.4 Incertidumbre

La incertidumbre para el factor de emisión es del 5% y se estima una incertidumbre del 50% en los datos de actividad por desconocerse la producción del material de fundición y su contenido de carbono (Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas, 2000).

3.1.4 Industria de Alimentos y Bebidas

Uno de los sectores productivos más importantes del Estado de Yucatán es la industria de los alimentos y bebidas, que representa un 25% del total de las industrias manufactureras (Censo Económico, INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Las actividades más sobresalientes en estos ámbitos son las porcícolas, avícolas y de panificación. En cuanto a bebidas, Yucatán es principal productor y distribuidor regional de bebidas

no alcohólicas. Sin embargo, las directrices del IPCC solo contemplan las bebidas con contenido alcohólico, ya que su producción genera emisiones de COVDM.

3.1.4.1 Alimentos

3.1.4.1.1 Datos de actividad

En cuanto al procesamiento de carne, pescado y aves se consideraron los valores de la matanza de ganado y aves, cortes y empacados, embutidos, procesamiento de pescados y mariscos. En esta clasificación tuvo un total de 62,990.46 t (Censo Económico INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía).

En la clasificación de margarina y grasas sólidas de cocina se contempló principalmente a la producción de grasas vegetales que fue de 27,019 t. (Censo económico INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía).

Para la producción de pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno se tomaron los datos de pasteles, productos de repostería, galletas y pastelillos que tuvieron una producción de 35,033.68 t (Censo Económico INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía).

La producción de pan fue de 40,050 ton y pienso para animales de 346,289 t. (Censo Económico INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía).

3.1.4.1.2 Factores de emisión

Se realizaron las estimaciones de generación de COVDM utilizando los factores de emisión por defecto y clasificando los alimentos de la siguiente manera:

Tabla 3.4 Factores de emisión en la producción de alimentos

Procesamiento de Alimentos	Factor de Emisión (kg/t)
Carne, pescado y aves	0.3
Margarina y grasas solidas de cocina	10
Pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno	1
Pan	8
Pienso para animales	1

Fuente: Directrices de IPCC, 1996.

3.1.4.2 Bebidas

3.1.4.2.1 Datos de actividad

Se tuvo una producción total de bebidas alcohólicas de 17,260 hL (Censo Económico, INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía).

3.1.2.2 Factores de emisión

El factor de emisión empleado para la producción de bebidas alcohólicas fue de 15 kg COVDM/hL de bebidas (Directrices del IPCC, 1996).

3.1.4.3 Incertidumbre

La clasificación de los datos reportados por la fuente principal de información en los alimentos y bebidas (Censo Económico, INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía) tuvo que ser adaptada a la propuesta por las Directrices del IPCC (1996), por lo que se dificulta la estimación de la incertidumbre en este apartado.

3.1.5 Consumo de halocarburos y hexafluoruro de azufre

En el Estado de Yucatán no existe la industria de producción de halocarburos, por lo que en esta sección solo se considerará el consumo de los mismos por el uso de aires acondicionados y refrigeradores.

Debido a las condiciones climáticas de la región es común el uso de aires acondicionados y por las necesidades de conservación de

alimentos es indispensable el uso de refrigeradores. Los gases utilizados como refrigerantes en estos equipos representan un serio problema de calentamiento global debido a la presencia de halocarburos en su composición química.

El SF₆ es un gas con propiedades dieléctricas elevadas que es ampliamente utilizado en la industria eléctrica como aislante en transformadores de potencia para cubrir las necesidades de la distribución de electricidad. Aunque su consumo puede ser estimado en el inventario, no fue posible llevarlo a cabo por no contar con la información necesaria.

3.1.5.1 Datos de actividad

La metodología general para la emisión total de halocarburos y SF₆ fue la siguiente (Directrices del IPCC, 1996):

$$\text{Emisión total} = (\text{Emisión potencial}) \times (\% \text{ de fuga en ensamblado en el año}) \times (\% \text{ de fugas por operación en el año})$$

Donde:

$$\text{Emisión potencial} = (\text{Número de equipos}) \times (\text{Cantidad de halocarburo}) \times (\% \text{ de halocarburo1})$$

1 En caso que se trate de una mezcla, de lo contrario será igual a 1.

3.1.5.1.1 Refrigeración residencial: aires acondicionados y refrigeradores

Para la refrigeración residencial se consideraron los aires acondicionados y refrigeradores existentes en el año 2005. No fue posible contar con el número exacto de unidades en servicio en el año en curso, por lo que se tomaron datos del INEGI (Censo Económico, INEGI, 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía) y la AMAI (2003) para llevar a cabo las estimaciones.

Para el año 2005 se tuvo que 305,232 viviendas contaban con refrigerador (INEGI, 2005^a). Se consideró que cada vivienda

contaba con un refrigerador, por lo tanto el número de equipos fue igual al número de viviendas. En los refrigeradores se tiene una carga promedio de 2 kg (ASI, 2005) y el porcentaje de fugas anual por operación es del 1% (Directrices del IPCC, 1996). El refrigerante más usado es HFC-134a (ASI, 2005).

La cantidad de aires acondicionados en el año 2005 se determinó de acuerdo a la clasificación socioeconómica realizada por la AMAI (2003), que menciona que los niveles A/B, C+ y C son los de mayor poder económico, representando el 2.4%, 4% y 5.9% de las viviendas en Yucatán respectivamente. Se asumió que las viviendas con el nivel A/B pueden tener un promedio de cuatro aires acondicionados, el C+ 3 y el C solo un equipo. Considerando que para el año 2005 había 391,284 viviendas (INEGI, 2005^a), se tuvo un total de 107,603 aires acondicionados. Se tomó en cuenta que los aires acondicionados usan HCFC-22 como refrigerante y tienen una carga promedio de 2 kg (ASI, 2005) con 17% de fugas anual por la operación del equipo (Directrices del IPCC, 1996).

3.1.5.1.2 Refrigeración comercial: exhibidores

El número de unidades de refrigeración comercial se tomó de los datos proporcionados por el INEGI (Censo económico, INEGI, 2004), que menciona una producción total en el Estado de 8,424 exhibidores. Estos exhibidores son cargados con 0.35 kg de HFC-134a y pueden tener fugas en su ensamblado de 3% y en su operación 17% al año (Directrices del IPCC, 1996).

3.1.5.1.3 Refrigeración móvil: aires acondicionados en automóviles

Para el cálculo de refrigeración móvil se asumió que el 90% del parque vehicular en el año 2005 tuvo equipo de aire acondicionado instalado. Como el total de vehículos para ese año fue de 226,935 (INEGI, 2005^b), por lo tanto se tuvo un total de 204,242 vehículos con aire acondicionado. Sin embargo, se sabe que hubo una producción de 25,120 equipos de aire acondicionado para

automotores (Censo Económico INEGI, 2004), por lo que este dato también fue considerado para los cálculos de emisiones por fugas en el ensamblado, que es del 5% (Directrices del IPCC, 1996). El refrigerante más usado es el HFC-134a, se carga con 1.2 kg y puede tener fugas anuales del 30% (Directrices del IPCC, 1996).

3.1.5.2 Incertidumbre

Las estimaciones realizadas no cuentan con información precisa sobre la cantidad de los equipos de refrigeración y transformadores en operación, además de que en algunos casos no se contó con características técnicas específicas y se desconoce la cantidad de halocarburos eliminados, por lo que no fue posible determinar las incertidumbres.

3.2 Resultados

Las emisiones más representativas fueron 588.73 Gg de CO₂ equivalente y 20.38 Gg de COVDM. También se reportan emisiones de SO₂, CO, NO_x, HFC y HCFC, los cuales se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Resultados en las emisiones de Procesos Industriales

Categoría de Emisión	CO ₂ (Gg)	COVDM (Gg)	SO ₂ (Gg)	CO (Gg)	NO _x (Gg)	HFC (Gg)	HCFC (Gg)	CO ₂ eq. (Gg)
Cemento	336.80	-	0.21	-	-	-	-	336.80
Cal*	90.74	-	-	-	-	-	-	90.73
Asfalto	-	18.50	-	-	-	-	-	-
Solventes	-	0.89	-	-	-	-	-	-
Hierro y Acero	0.07	4.08E-04	6.12E-04	1.36E-05	5.44E-04	-	-	0.07
Alimentos y Bebidas	-	0.99	-	-	-	-	-	-
Consumo Halocarburos	-	-	-	-	-	0.082	0.037	161.125
Total (Gg)	427.61	20.38	0.21	1.36E-05	5.44E-04	0.082	0.037	588.73

*La emisión reportada en la producción de cal es la suma de la cal viva y cal hidratada, las cuales emitieron 0.75 y 89.99 toneladas de CO₂ respectivamente.

La incertidumbre obtenida en las emisiones de CO₂ se muestra a continuación:

Tabla 3.6 Incertidumbre asociada a las emisiones de procesos industriales

Categoría de emisión	Emisiones de CO ₂ Equivalente (Gg)	Incertidumbre (%)
Cemento	336.80	28.28
Cal	90.74	4.81
Hierro y Acero	0.07	8.00E-03
Consumo Halocarburos	161.13	No estimado
Total CO₂	588.73	28.68*

* $\sqrt{\sum \text{Incertidumbre}^2}$.

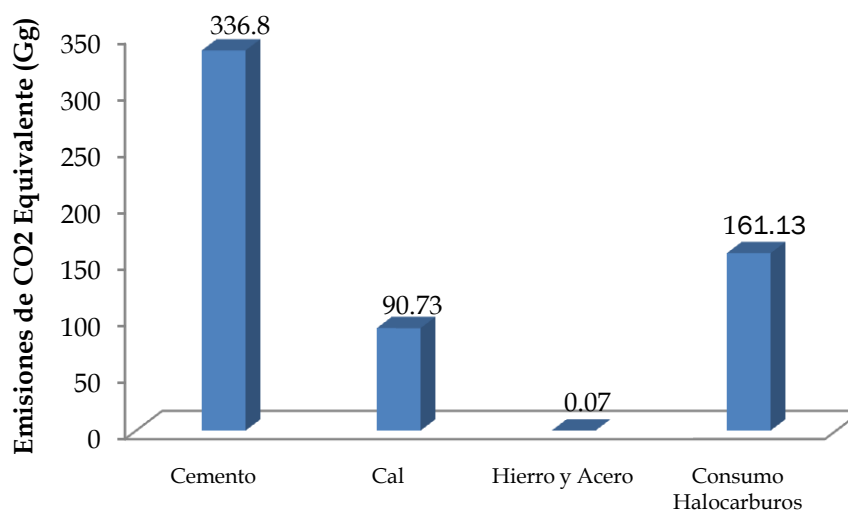


Figura 3.2. Emisiones de CO₂ procedentes de los Procesos Industriales.

3.2.1 Discusión

La mayor parte de los datos empleados para los cálculos de las emisiones fueron obtenidos a partir de una fuente de información

confiable (Censo Económico, INEGI, 2004), por lo que los resultados cuentan con mayor precisión.

La producción de cemento emitió 336.80 Gg de CO₂, siendo el principal generador de este gas en la categoría de Procesos Industriales. Las emisiones en la producción de cal fueron de 90.73 Gg y en la producción de hierro y acero fueron de 0.07 Gg. Las emisiones potenciales de la subcategoría de consumo de hidrocarburos (161.13 Gg) están subestimadas porque no incluyen las emisiones generadas por el consumo de SF₆.

La subcategoría con incertidumbre más elevada fue en la producción de cemento, con 28.28%, ya que este resultado se da en función de la incertidumbre combinada entre el factor de emisión y de los datos de actividad, al igual que la relación entre las emisiones que se generaron con respecto a las emisiones totales de la categoría. Como se tomó un valor por defecto sugerido por las directrices del IPCC para calcular la cantidad de clínca a partir de la producción general de cemento, la incertidumbre en los datos de actividad fue de 35%. Además, la generación de CO₂ que se produjo en esta subcategoría representa casi el 78.76% del total generado en los procesos industriales del estado, lo que implicó que la incertidumbre final se elevara.

3.3 Conclusiones y recomendaciones

La mayor parte de las emisiones de CO₂ correspondió a la producción de cemento y cal.

La producción de hierro y acero también genera grandes cantidades de CO₂, pero las estimaciones realizadas se basaron en que la tecnología utilizada en el Estado no integra altos hornos. De incluirse esta tecnología, las emisiones finales resultarían más elevadas, por lo que se recomienda solicitar más información al respecto para obtener resultados más exactos.

Las emisiones finales de la categoría de Procesos Industriales aportaron una incertidumbre final de 28.68%, mostrando que este

sector tiene un bajo impacto en el inventario. Se recomienda ampliar las estimaciones en la subcategoría de consumo de halocarburos e incluir estimaciones del consumo de hexafluoruro de azufre (SF₆), dado que los gases involucrados tienen un potencial de calentamiento global muy elevado. De hecho, el SF₆ es considerado como el de mayor impacto por su Potencial de Calentamiento Global de 22,200. De mejorarse esta subcategoría se obtendría un resultado más real en las emisiones de procesos industriales y de igual manera, se podrían tomar mejores estrategias para su mitigación.

Aunque es necesario reducir las emisiones, es difícil proponer estrategias de mitigación de CO₂ específicas en la categoría de Procesos Industriales, debido a la naturaleza diversa de los diferentes procesos. La recomendación más adecuada sería cambiar la tecnología del proceso por una que involucre menos emisiones. Por ejemplo, en el caso de la producción de hierro y acero, al utilizar la tecnología de reducción directa se generan menos emisiones que la de altos hornos. En la producción de cemento todo el CO₂ es producido durante la calcinación de la caliza debido a las altas temperaturas, por lo que se podrían emplear hornos con eficiencia térmica más elevada para obtener la clínca a temperaturas más bajas, ya sea cambiando su forma física o bien empleando otro tipo de materiales en su estructura. La misma recomendación se puede aplicar en la producción de cal, que de igual manera pasa por un proceso de calcinación. Otra recomendación en la producción de cal sería mejorar el sistema de triturado y cribado, ya que si se calcina fragmentos de caliza muy grandes el calor no logra penetrar completamente y provoca que el núcleo del material no se convierta a óxido de calcio, lo que significa repetir el proceso para cumplir con las normas de calidad del producto terminado y por ende, la emisión de mas gases de efecto invernadero.

En cuanto el consumo de halocarburos las emisiones pueden ser disminuidas si se le da un correcto mantenimiento a los equipos y

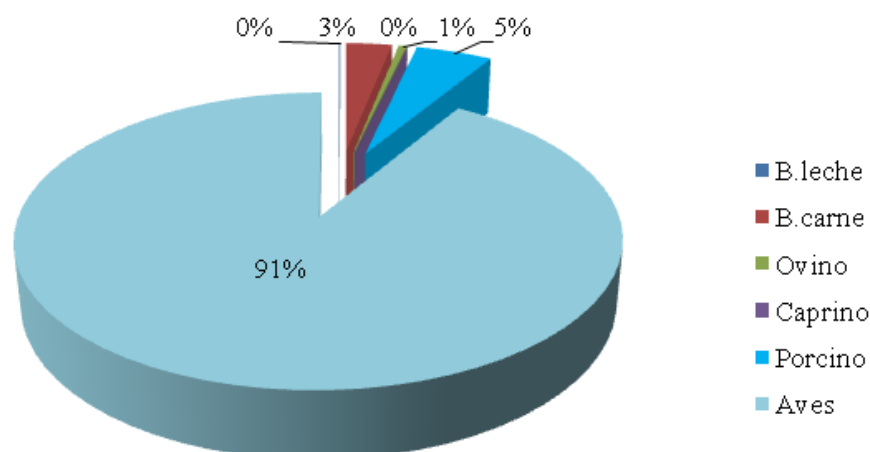
revisiones periódicas, ya que las emisiones se dan principalmente por fugas del sistema. Otra alternativa sería la sustitución de los gases refrigerantes por otros de menor impacto en el calentamiento global, así como también la implementación de un plan integral de eliminación de acuerdo al tiempo de vida del equipo.

Agricultura (Sector 4)

Para efectos de estimación del total de gases efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera, se contempla a la actividad agropecuaria como fuente de GEI, principalmente de bióxido de carbono, metano y óxido nitroso.

Puesto que el Estado de Yucatán cuenta con ciertas actividades agropecuarias consideradas fuentes de estos gases, se llevó a cabo la estimación total de gases de efecto invernadero de este sector para el Estado de Yucatán.

Dentro de las diez principales actividades económicas del Estado de Yucatán se encuentra la actividad agropecuaria que en conjunto con la silvicultura y pesca, ocupan el séptimo lugar en importancia, aportando el 3.6% del Producto Interno Bruto (PIB) del Estado. La actividad ganadera en el estado abarca la explotación principalmente de las especies de ganado vacuno, ovino, porcino y aves de corral. Para el periodo 2001-2010, la SAGARPA a través del SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera), reporta que la mayor actividad para el sector agropecuario está destinada a la explotación de las aves de corral (Figura 4.1).



Fuente: SIAP, 2011

Figura 4.1. Actividades del sector agropecuario en Yucatán (2001-2010).

De la población total ganadera nacional, Yucatán aporta el 3.8%, con una población promedio total de 20,088,139 cabezas de todas las especies, incluyendo aves de corral. De las cuatro principales especies ganaderas mayores explotadas en el Estado, la población más importante en número de cabezas de ganado está representada por la especie porcina (Figura 4.2), que a nivel nacional ocupa el cuarto lugar en producción. Aunque las especies bovina y ovina representan los porcentajes más bajos de la actividad pecuaria en el estado, estos son las que mayor superficie de suelo ocupan, debido a que se caracterizan por el uso de sistemas de pastoreo para su explotación, de tal forma que para el año 2000 se estimó que el 21% del total de la extensión territorial del estado (3852.40 ha) se destinó a la ganadería (Duran y García, 2010), principalmente bovinos y ovinos, siendo la primera, la actividad que mayor superficie abarca debido a la población total existente con respecto a la segunda (Figura 4.2).

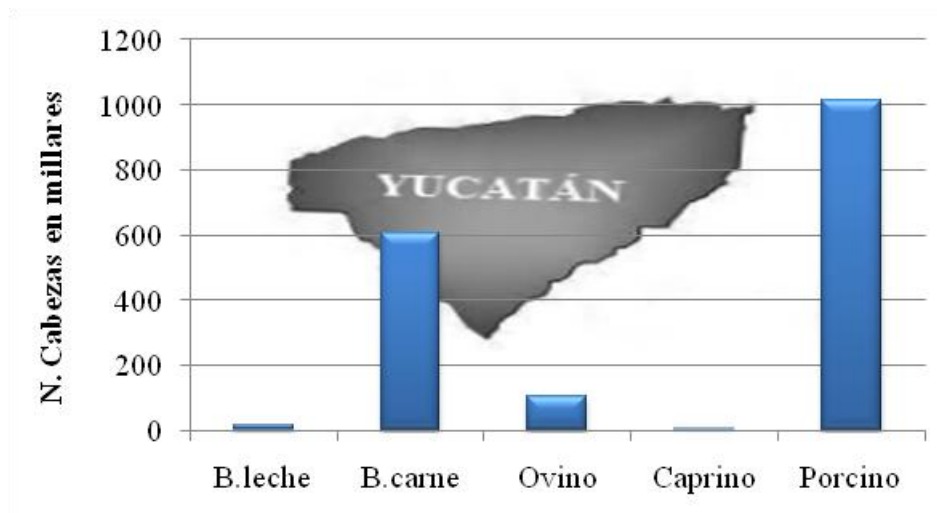


Figura 4.2. Población ganadera promedio en Yucatán, periodo 2001-2010 (SIAP, 2011).

Por otro lado, la agricultura es otra de las actividades económicas del sector agropecuario que contribuye al 3.6% del PIB del Estado. La extensión territorial que ocupa esta actividad es del 23% (9,094,660 ha), en la cual se cultivan alrededor de 60 diferentes tipos de especies vegetales en donde el 76% está destinado a cultivos perennes y el resto a los cíclicos. Los principales cultivos por su mayor superficie cultivada se reportan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Principales cultivos del Estado de Yucatán

Cíclicos		Perennes	
Cultivo	Superficie (ha)	Cultivo	Superficie
Maíz	181,277.3	Henequén	26,278.90
Frijol	1,154.50	**Cítricos	21,018.60
*Chile verde	1,098.10	Papaya	1,376.80
Sandia	1,049.50	Sábila	989.00
Calabaza	726.70	Pitahaya	676.50
Tomate	734.70	Aguacate	571.30
Pepino	577.50	Mango	442.50

* El 50% de la superficie le corresponde al cultivo de chile habanero

** Incluye cultivos de naranja (77%), limón (19%) y mandarina (4%)

Fuente: Anuario estadístico Yucatán 2005.

Del total de la superficie cultivada solo el 5% utiliza riego (Figura 4.3). De acuerdo al tipo de cultivo el 96.7% del total de cultivos cíclicos son de temporal y solo el 3.3% usan riego, para el caso de

los cultivos perennes el 6% utiliza riego y el 94% son de temporal. En cuanto al uso de fertilizante, solo al 9.5% (86,359.90 ha) de la superficie total cultivada es fertilizada, de la cual el 95% corresponde a cultivos cíclicos (INEGI, 2008).

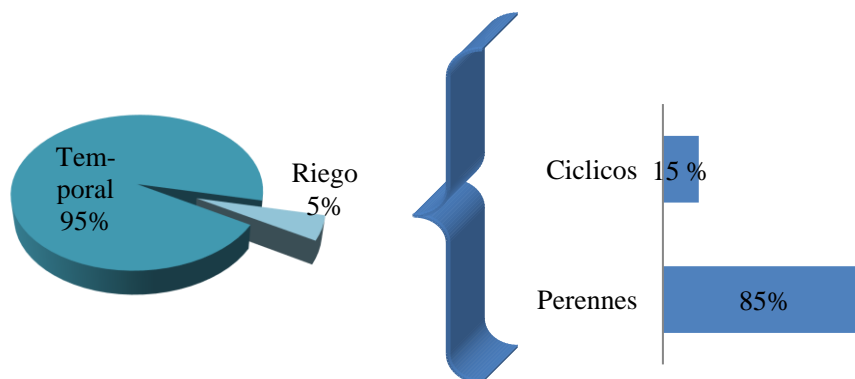


Figura 4.3. Superficie total de cultivos con riego en el Estado de Yucatán

De acuerdo a las actividades agropecuarias que se llevan a cabo en el Estado, se considera que existen dos actividades como fuentes importantes de emisiones de GEI de las cinco reportadas en el manual de las directrices del IPCC, estas son:

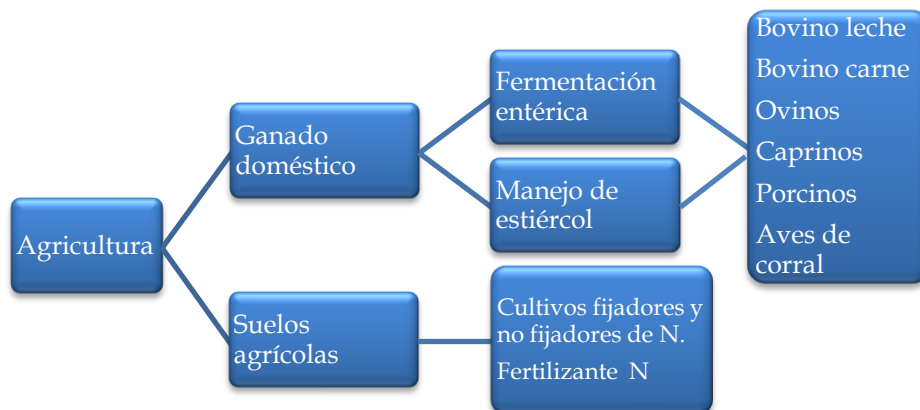


Figura 4.4. Actividades del sector agricultura en el estado consideradas fuentes de GEI.

Dado que el resto de las actividades (cultivo de arroz: arrozales anegados, quema prescrita de sabanas y quema de campo de residuos agrícolas) reportadas como fuentes de emisiones de GEI no se realizan o no existen en el estado, para efecto de la estimación del total de GEI para el modulo agricultura solo se realizó con base en las dos actividades mencionadas.

4.1. Metodología

Se emplearon los métodos y las guías de buenas prácticas del libro de trabajo para los inventarios de gases que causan efecto invernadero sugeridas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en ingles), versión revisada en 1996.

Para definir los datos de la actividad, factores de emisión y los métodos empleados, se realizó el árbol de decisiones tal como se sugiere en las directrices del IPCC.

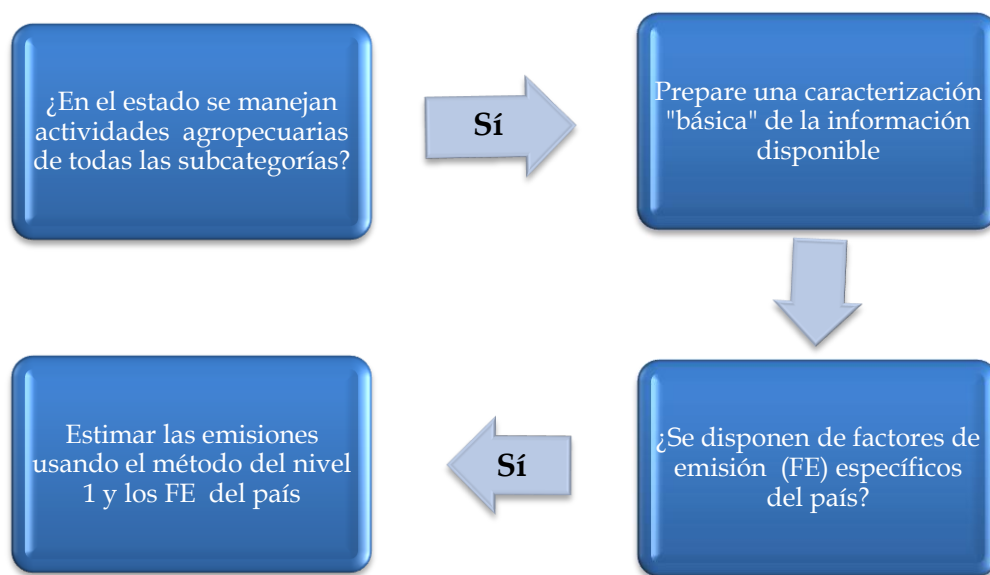


Figura 4.5. Árbol de decisiones del sector agricultura.

4.1.1. Fermentación entérica y manejo del estiércol

Para esta subcategoría se calculó la cantidad de metano (CH_4) emitido por la actividad ganadera como consecuencia del proceso

digestivo y el óxido nitroso (N₂O) como resultado del manejo del estiércol de los diferentes tipos de ganados existentes en el estado.

4.1.1.1 Datos de la actividad

Para calcular las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (NO₂) como resultado de la actividad del ganado doméstico (fermentación entérica y manejo del estiércol) se requirieron los datos del total de cabezas de ganado doméstico registrados en el estado, los cuales fueron proporcionados por el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca (SAGARPA) delegación Yucatán.

Tabla 4.2 Población ganadera en Yucatán del periodo 2001-2010

Ganado	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
B. carne	634310	642826	684445	666181	646350	600756	575503	522085	542371	548688
B. leche	22204	22440	23758	17675	13476	10235	7183	7361	6054	6155
Ovino	57384	77624	72661	87508	102291	110557	112335	115410	131872	152690
Caprino	0	300	150	140	69	0	0	0	0	0
Porcino	1154938	1149175	1056036	1186954	992898	1005202	900587	898729	894505	901031
Aves	19409334	19739984	16356870	17227785	18156414	18032324	17704099	18115987	19254458	19523336

Fuente: SIACON, SIAP con información de la delegación SAGARPA

Para la estimación y reporte de los gases emitidos por la agricultura en el estado se tomaron los datos del año 2005 para todos los tipos de ganados.

4.1.1.2. Factores de emisión

Los factores de emisión de CH₄ y N₂O utilizados fueron una combinación de lo reportado en el inventario nacional de gases efecto invernadero 1990-2002 y los reportados por defecto en las

directrices del IPCC (Tabla 4.3). Para el caso particular del manejo del estiércol se requirió algunos factores para calcular el porcentaje de nitrógeno que se produce por tipo de sistemas y las cuales se tomaron del inventario nacional (Tabla 4.4).

Tabla 4.3 Factores de emisión de metano (CH₄)

Especie	Fermentación entérica (Kg de CH ₄ /cabeza/año)	Manejo del estiércol (Kg de CH ₄ /cabeza/año)
Bovino para leche	104.353	0.694
Bovino para carne	47.409	1
Porcino	1	7.397
Ovino	5	0.139
Aves de corral	0	0.016

Fuente: Inventario Nacional 1990-2002 Y Directrices del IPCC.

Tabla 4.4 Valores para la fracción de N en el estiércol producido con diferentes sistemas de manejo inventario nacional 1990- 2002

Especie	Lagunas Anaeróbicas (%/100)	Sistema de tipo líquido (%/100)	Abonado diario (%/100)	Almacenamiento Sólidos y parcelas secas (%/100)	Praderas y pastizales (%/100)	Otros sistemas (%/100)
Bovino carne	-	0.00	-	0.34	0.66	0.01
Bovino leche	-	0.00	0.62	0.43	0.57	0.00
Aves de corral	-	0.09	-	0.00	0.42	0.49
Ovejas	-	0.00	-	0.00	1.00	0.00
Cerdos	0.34	0.08	0.02	0.51	0.00	0.40
Otros	-	0.00	-	0.00	0.99	0.01

Fuente: inventario nacional 1990-2002 Y Directrices del IPCC.

4.1.2. Suelos agrícolas

En esta subcategoría se contempló la estimación del N₂O procedente de los suelos agrícolas, en los cuales se encuentran incluidas:

- Las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas (incluidos los sistemas de producción en invernadero y excluyendo los efectos del pastoreo de los animales).

- Las emisiones directas de N₂O de los suelos dedicados a la producción animal.
- Emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura.

4.1.2.1 Datos de la actividad

4.1.2.1A Población ganadera

Para realizar el cálculo de la actividad se requirieron los datos del número de cabezas de ganado bovino lechero y no lechero, ovejas, cerdos, aves de corral y otros animales, mismas que fueron proporcionados por la SIACON (Tabla 4.2).

4.1.2.1B Cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno

Los datos de la producción total de cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno para los años 2001-2008 se obtuvieron de los Anuarios Estadísticos del Estado y para los años 2009 y 2010, se tomaron datos reportados de la SIACON, SIAP de la SAGARPA, delegación estatal (Tabla 4.5).

Para obtener los kilogramos de biomasa seca, los datos de kilogramos de producción se multiplicaron por el factor 0.15, sugerido por las directrices del IPCC, como requisito previo a realizar los cálculos.

Tabla 4.5. Producción de cultivos fijadores y no fijadores de nitrógeno

Cultivo	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Fijadores	1,758,390	1,962,810	422,560	552,380	618,650	627,450	665,110	1,101,670	4,412,620	2,445,810
No fijadores	169,634,640	68,279,310	167,531,230	171,282,220	168,998,570	220,283,470	196,305,780	97,598,430	192,558,270	194,525,080
*Fijadores	263,758.50	294,421.50	63,384.00	82,857.00	92,797.50	94,117.50	99,766.50	165,250.50	661,893.00	36,687.50
*No fijadores	25,445,196	10,241,896.50	25,129,684.50	25,692,333	25,349,785.50	33,042,520.50	2,944,5867.00	14,639,764.50	28,883,740.50	29,178,762.00

* Datos transformados a kilogramos de biomasa seca y utilizada para calcular el N₂O.

Fuente: Anuarios estadísticos de Yucatán (2001-2008) y SIACON (2009-2010)

4.1.2.1C Fertilizante nitrogenado

También se requirió del volumen total del fertilizante utilizado en el Estado, para el cual, aunque se sabe que se realiza esta actividad no existen datos reportados oficialmente por alguna dependencia, solo se cuenta con datos de la superficie fertilizada para cada tipo de cultivo reportado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para los años 2002, 2003, 2007, 2008 y 2009.

Para estimar el volumen total de fertilizante utilizado por año, especialmente para el año base (2005) se siguió el siguiente procedimiento:

1. Como los datos de la superficie fertilizada de cada año que reporta el INEGI es igual a la superficie regada para la mayoría de los cultivos, con excepción del cultivo del maíz, para el año 2005 se tomó la superficie regada como la superficie fertilizada para cada tipo de cultivo con excepción del maíz (Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Superficie por cultivo que usa riego en el estado de Yucatán

Cultivo	Superficie con riego (ha)
Calabaza	566.70
Chile verde	505.60
Melón	59.50
Pepino	560.00
Sandía	798.00
Tomate	211.10
Papaya	1,293.80

2. La superficie fertilizada por cultivo se multiplicó por los kilogramos de fertilizante que se recomienda aplicar en el estado, el resultado obtenido se tomó como la cantidad de fertilizante que se aplica a cada cultivo (Tabla 4.7). Es preciso mencionar que los datos de dosis de fertilizante utilizada para cada cultivo fueron tomados de los paquetes tecnológicos proporcionados por Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y los publicados por

Soria *et al.* (Soria, 2000) del Instituto Tecnológico de Conkal (ITC).

Ejemplo del cálculo:

La superficie fertilizada de calabaza para el 2008 fue de 383 ha, la fuente de datos de la cantidad de fertilizante que se aplica por cultivo reporta que se aplican 40 kg de Nitrógeno por cada hectárea. Por lo tanto se realiza la siguiente operación:

$$208.5 \text{ ha} \times 40 \text{ kg} / \text{ha} = 8,340 \text{ kg}$$

$$8,340 \text{ kg} / 1000 = 8.34 \text{ t} / \text{año}$$

Tabla 4.7. Valores utilizados para calcular el total de fertilizante utilizado por cultivo

Cultivo	Superficie con riego y fertilizada (ha)	Dosis de fertilizante demandada (Kg/ha)	Total de fertilizante por cultivo (Kg)
Calabaza	566.70	40.00	2,268.00
Chile verde	505.60	120.00	60,674.40
Maíz&	62,359.40	40.00	2,494,360.00
Melón	59.50	50.00	2,975.00
Pepino	560.00	200.00	112,000.00
Sandía	798.00	38.00	30,324.00
Tomate	211.10	200.00	42,220.00
Papaya	1,293.80	10.00	12,938.00

&. Dato estimado como se describe en el punto tres.

- Para el caso específico del cultivo de maíz, la cantidad de fertilizante utilizada se obtuvo tomando los datos de la superficie fertilizada para los años 2002, 2003, 2007, 2008 y 2009 y la superficie total plantada de los mismos años, para estimar el porcentaje de la superficie que se fertiliza por cada año, de las cuales posteriormente se sacó un promedio de los porcentajes que se fertiliza por año, una vez obtenido este dato se estimó la superficie que se fertiliza para los años con las que no se

cuentan con datos oficiales y por último, se multiplicó por la cantidad de fertilizante que se aplica por hectárea.

Ejemplo:

Año 2002

Superficie sembrada =174606.39----- 100% de la superficie

Superficie fertilizada = 68758----- X **(39% de la superficie)**

Año 2003

Superficie sembrada =168529.6----- 100% de la superficie

Superficie fertilizada = 81684.5----- X **(48% de la superficie)**

Año 2007

Superficie sembrada =165197.5----- 100% de la superficie

Superficie fertilizada = 69020 ----- X **(41 % de la superficie)**

Año 2008

Superficie sembrada =161460.44 ----- 100% de la superficie

Superficie fertilizada = 32181.5----- X **(20 % de la superficie)**

Año 2009

Superficie sembrada = 152868.56 ----- 100% de la superficie

Superficie fertilizada = 37102----- X **(24 % de la superficie)**

Se sumaron los dos porcentajes obtenidos y luego se dividió entre dos para obtener la media.

$$(39\% + 48\% + 41\% + 20\% + 24\%)/5 = 34.4\%$$

Con la media obtenida se sacó el dato de la superficie fertilizada para cada año que no cuenta con datos oficiales reportados.

Ejemplo:

Año 2005

Superficie sembrada = 181277.30 ----- 100% de la superficie

Superficie fertilizada = X ----- 34.4 % de la superficie

X = 62359.4 superficie fertilizada para el año 2001

4. El último paso que se siguió para la estimación del volumen total de fertilizante utilizado en el estado para cada año, fue la suma del volumen total de fertilizante estimado para cada cultivo en un año agrícola, reportado en la tabla 4.8

Tabla 4.8 Consumo estatal de fertilizantes nitrogenados en kg

Fertilizante	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Consumo (kg)	2,646,604.0	2,956,652.5	3,493,288.8	2,445,346.2	2,778,159.4	2,552,903.8	2,927,802.0	1,479,677.4	1,680,602.7	2,295,273.8

Dado que el volumen total de nitrógeno utilizado en la agricultura, se estimó con base en la cantidad de nitrógeno real que se aplica al suelo sin importar la fuente y el contenido de nitrógeno de las diferentes presentaciones de fertilizantes que existen, los valores reportados son las que se utilizaron en las tablas de cálculo, y no se ajustó al 34.5% como lo recomienda el manual de trabajo del IPPC, para conocer la cantidad de fertilizante aplicado.

4.1.2.2 Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados fueron los empleados para la estimación de las emisiones de gases efecto invernadero del inventario nacional 1990-2002.

4.2 Resultados

4.2.1 Emisiones de metano procedentes de la fermentación entérica

El promedio del total de metano emitido por la acción de la fermentación entérica de los diferentes tipos de ganados explotados en el estado, en su equivalente en CO₂ para el periodo 2001-2010 fue de 697.95 Gg/año. El valor más alto obtenido para el periodo evaluado fue de 799.13 Gg en el año 2003 y el más bajo fue de 597.50 Gg para el año 2008.

En la tabla 4.9 se reporta la cantidad de metano emitido en CO₂ equivalente, específicamente para el año 2005, año base para efectos de reporte del inventario estatal de todas las categorías. Para este año el comportamiento de las emisiones fue similar al del periodo 2001-2010, donde el 92% de las emisiones le corresponde al ganado bovino y solo el 8% al resto de las actividades ganaderas.

Tabla 4.9 Emisiones de metano y su CO₂ equivalente para el año 2005

Ganado	Metano (Gg)	CO ₂ equivalente (Gg)
B. leche	1.42	29.73
B. carne	31.29	657.07
Ovino	0.53	11.04
Caprino	3.55E-3	7.4E-3
Porcino	8.34	175.14
Aves	0.29	6.10
Total	41.86	879.06

4.2.2 Emisiones de óxido nitroso procedentes del manejo de estiércol

La emisión promedio de óxido nitroso en CO₂ equivalente para el periodo comprendido de 2001-2010 fue de 1,934 Gg /año. El año

con menor cantidad de emisión fue el 2004 con 0.220 Gg y el 2008 como el año con mayor cantidad con 171 Gg. Para el año base (2005) los valores se reportan en la tabla 4.10.

Tabla 4.10 Emisiones de óxido nitroso y su CO₂ equivalente en Gg para el año 2005

Sistemas	Óxido nitroso	CO ₂ eq. (Gg)
Lagunas Anaeróbias	8.41E-03	2.61
Sistema liquido	3.54E-03	1.09*
Almacenamiento sólido y parcelas	5.43E-01	168.24*
Otros	5.06E-02	15.69*
Total	6.05E-01	187.64*

* El Potencial de Calentamiento Global utilizado para el óxido nitroso es 310 Gg de CO₂/Gg, reportados por las directrices IPCC.

4.2.3 Emisión total de CO₂ equivalente como resultado de la actividad ganadera

La suma de las emisiones de CO₂ equivalente de metano de la fermentación entérica y del óxido nitroso del manejo del estiércol, da como resultado el total de las emisiones de la actividad ganadera que se muestra en la tabla 4.11.

Tabla 4.11 Emisión total de los gases emitidos por la actividad ganadera

Actividad	2005 (Gg CO ₂ equivalente)	Promedio (2001-2010) (Gg CO ₂ equivalente)
Fermentación entérica	879.06	623.57
Manejo del estiércol	187.64	193.92
Total	1,066.70	817.49

4.2.4. Emisiones procedentes de los suelos agrícolas

En la tabla 4.12, se reportan las cantidades de óxido nitroso para el año 2005 tomado como año base para el reporte del inventario y la

emisión promedio de N₂O del periodo 2001-2010 que proceden de los suelos, como resultado de las actividades agrícolas.

Tabla 4.12 Total de óxido nitroso y su CO₂ equivalente emitidos por los suelos agrícolas

Año	N ₂ O (Gg)	CO ₂ eq (Gg)
2005	2.51	778.1
Promedio (2001-2010)	2.43	755.16

4.2.5 Emisión total de GEI del sector agricultura e incertidumbres

En la tabla 4.13 se reporta el valor total de gases emitidos en la atmósfera y el desglose de los valores de acuerdo a la actividad que componen a este sector.

Tabla 4.13 Emisión total de CO₂ equivalente e incertidumbres para el año 2005.

Actividad	Subcategoría	Emisiones CO ₂ eq (Gg)	Incertidumbre (%)
Pecuario	Fermentación entérica	879.06	27.20
	Manejo del estiércol	187.64	1.60E-03
	Subtotal	1,066.70	
Agrícola	Suelos agrícolas	778.10	1.07
Total		1,844.8	27.20

Las incertidumbres utilizadas para los datos de la actividad y de los factores de emisión fueron las reportadas en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002, dado que se utilizaron las mismas fuentes de consulta para la obtención de datos de las actividades y los factores de emisión reportadas en el inventario nacional, en combinación con las publicadas en el manual de trabajo de la IPCC. Por lo tanto, la incertidumbre total de la categoría agricultura es del 27.20%. Para el año base la cantidad emitida de CO₂ equivalente se reporta en la tabla 4.13, así como las incertidumbres estimadas para cada subcategoría.

4.2.6 Discusión

Las emisiones promedio de GEI de las actividades del sector agricultura en CO₂ equivalente para el periodo 2001-2010 es de 1,774.25 Gg/año, mientras que para el año 2005 en específico fue de 1,844.8 Gg, de este total, el 57.82% son emitidas por la actividad pecuaria y el 42.18% restante son atribuidas a las actividades agrícolas (Figura 4.6).

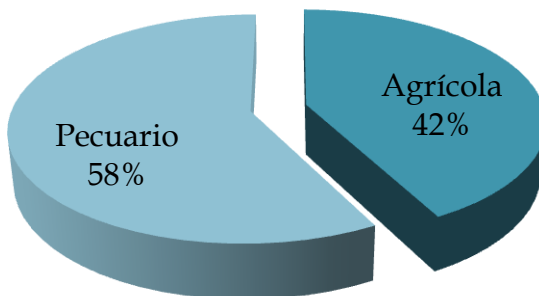


Figura 4.6. Porcentajes de emisión de los GEI de las actividades del sector agricultura

Los principales gases emitidos a la atmósfera de la categoría de Agricultura, son el óxido nitroso y el metano en una proporción de 52.35% y 47.65% respectivamente.

Como se aprecia en la figura 4.7 la principal fuente de emisión de metano proviene de la fermentación entérica de la explotación del ganado bovino para carne (74.75%).

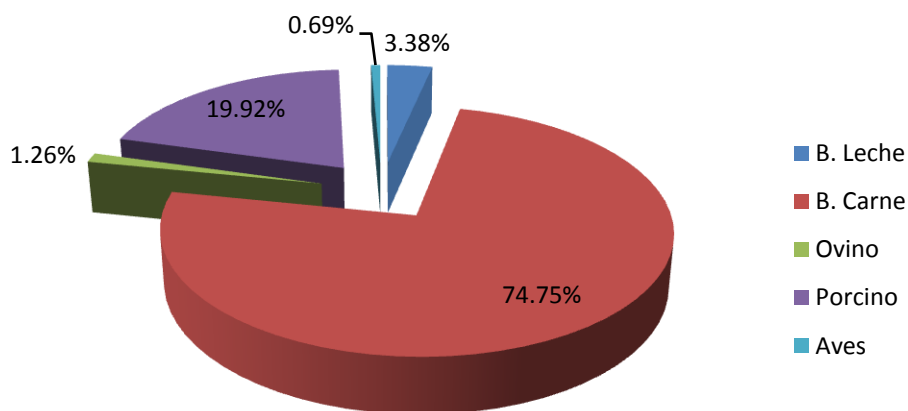


Figura 4.7. Comportamiento de las emisiones de metano en CO₂ equivalente y la población ganadera para el periodo 2001-2010.

En la figura 4.8 se reporta el comportamiento de las emisiones de metano con respecto a la dinámica del crecimiento de la población ganadera total, así también la dinámica de crecimiento de la especie de ganado bovino (92%). Se observa que para el año 2003, la población ganadera total descendió un 16% con respecto al año 2002, mientras que la población de bovinos ascendió un 6% junto con la emisión de metano (CO₂ equivalente con 5%) con respecto al mismo año. De igual manera desde 2003 hasta el 2008 la población de bovinos tuvo un comportamiento descendente, mientras que la población ganadera total fue ascendente. Sin embargo, la cantidad de CO₂ equivalente disminuyó al mismo ritmo que la población de bovinos, puede decirse que su explotación es directamente proporcional a las emisiones de gas metano en la atmósfera, por otro lado la dinámica poblacional de las otras especies no afecta de manera significativa el comportamiento de las emisiones en el Estado.

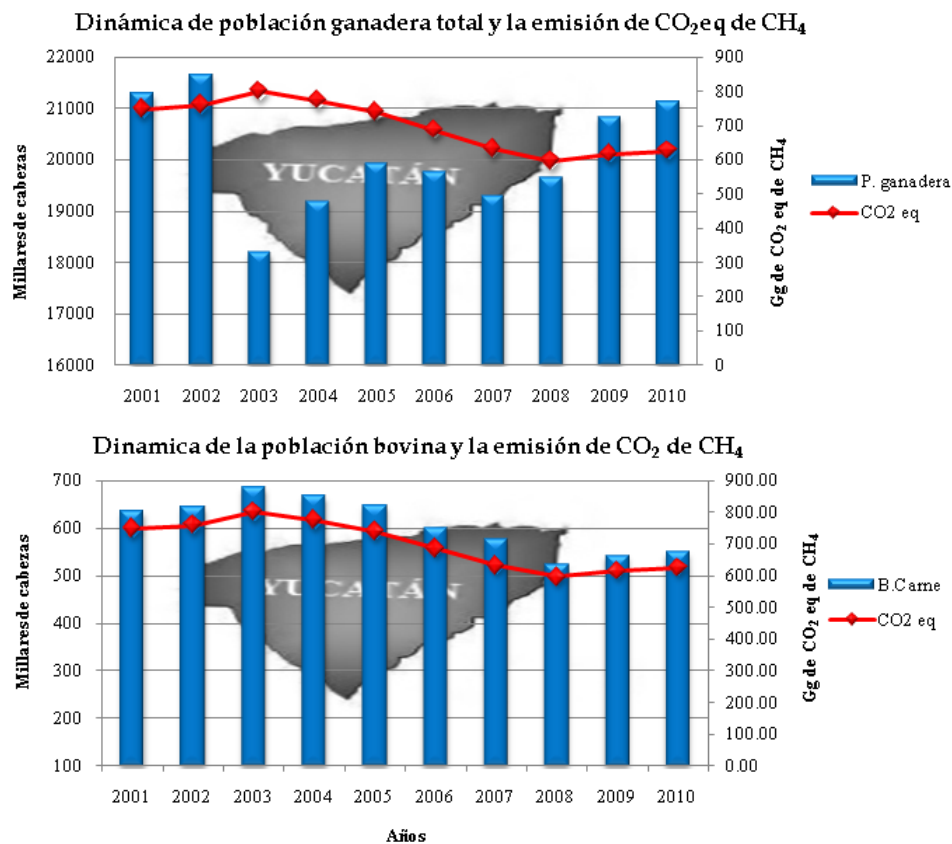


Figura 4.8. Comportamiento de las emisiones de metano en CO₂ equivalente y la población ganadera para el periodo 2001-2010.

Por otro lado el 80.57% de las emisiones de óxido nitroso son el resultado de la actividad agrícola y el resto provienen de la actividad del manejo del estiércol del ganado. De las actividades agrícolas, el uso de fertilizante y los cultivos fijadores son las directamente responsables, mientras que para el manejo del estiércol el almacenamiento de sólidos y parcelas secas son la directamente responsables del mas del 50% tal como se puede apreciar en la Figura 4.9.

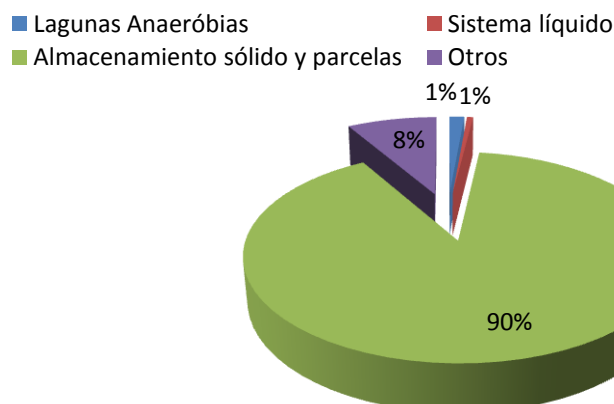


Figura 4.9. Porcentajes de NO_2 en CO_2 equivalente proveniente del manejo del estiércol

4.3 Conclusiones y sugerencias

Como resultado de las estimaciones de los GEI hechas para el periodo 2001-2010 en el Estado de Yucatán para el sector Agricultura, se concluye que el metano y el óxido nitroso son los gases con mayores emisiones dentro de este sector en la entidad, donde la fermentación entérica del ganado bovino es la que contribuye con más del 78% de las emisiones, por lo que para posibles estrategias de mitigación, se debe de trabajar en investigar dietas alimenticias con mayor digestibilidad que contribuyan a reducir los gases de metano producidos en el ganado bovino tal como lo señalan las guías del IPCC, o también se pueden adoptar algunas estrategias ya existentes en otros países (Barrera et al. 2011), tal como el mejoramiento de la nutrición a través de suplementación estratégica y el mejoramiento de la nutrición a través de tratamientos químicos y físicos de alimentos.

También se puede concluir que la actividad pecuaria, además de emitir metano, emite óxido nitroso, que aunque la cantidad es menor respecto al metano, no deja de contribuir con la contaminación del medio ambiente. Por tal razón se sugiere como alternativa de mitigación, la instalación de biodigestores (Figura 4.10) en las unidades de producción para el aprovechamiento de las excretas del ganado, que además de reducir el potencial contaminante de los excrementos y generar biogás, produce fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

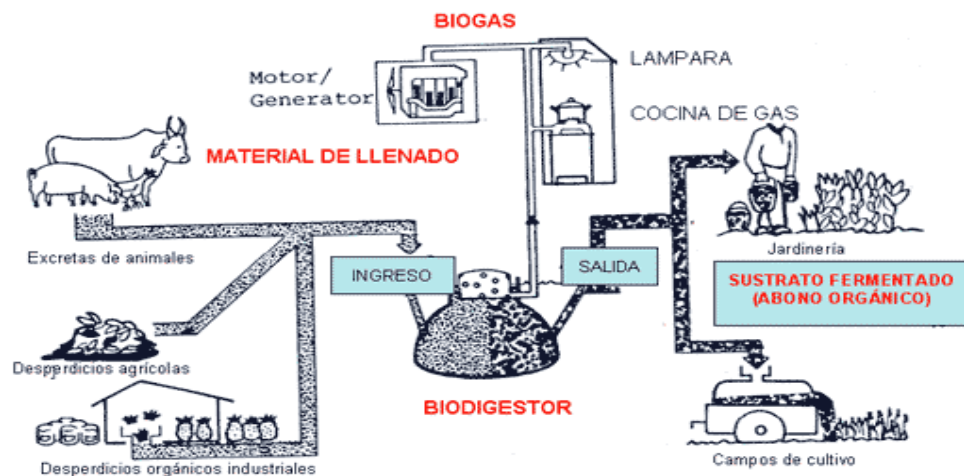


Figura 4.10. Uso de la excretas para la generación de biogás a través de un biodigestor

Por otro lado, el 80.45% del total de óxido nitroso de la categoría agricultura son emitidas por la actividad agrícola, del cual los suelos agrícolas son los responsables, generalmente por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en la fertilización de los cultivos, por lo que una de las posibles alternativas de mitigación que se sugiere, es generar conocimientos acerca del uso eficiente del fertilizante de los cultivos principales y más demandantes de fertilizante, para evitar el uso de cantidades excesivas e innecesarias. También se pueden emplear compostas orgánicas como fuentes de nutrimentos, mismas que pueden ser elaborados con productos de desechos (Figura 4.11) y de esta forma sustituir o reducir la utilización de fertilizantes nitrogenados sintéticos (inorgánicos).



Figura 4.11. Elaboración de composta, para su uso como fertilizante

Como sugerencias para futuros inventarios, con respecto a los datos de actividad de la fermentación entérica y manejo del estiércol, se sugiere realizar la clasificación del ganado por edad y la estimación del consumo de alimento por edad para cada especie, esto con la finalidad de realizar una estimación más precisa utilizando un nivel 2. Para la subcategoría Suelos Agrícolas, se sugiere investigar la cantidad de fertilizante aplicada a los cultivos perennes, ya que para este primer reporte de inventario no se incluyó el fertilizante aplicado a estos cultivos, puesto que no se cuenta datos confiables, para realizar una estimación como la que se realizó con los cultivos cíclicos.

Uso del Suelo, Cambio del Uso de Suelo y Silvicultura (Sector 5)

Los bosques y selvas son los principales almacenes naturales de carbono que ayudan a que el equilibrio natural de los gases se mantenga a través de la fijación de CO₂ atmosférico mediante el proceso de fotosíntesis. Aproximadamente la mitad del peso de un árbol es carbono, el cual se va depositando conforme el árbol se desarrolla. Se debe tomar en cuenta que al quemar leña, el carbono se libera y vuelve a la atmósfera, y por otra parte, cuando un árbol muere o se regenera, parte del carbono se queda en el suelo y se va acumulando conforme se agregan y descomponen las hojas, ramas caídas o raíces (Loa *et al.*, 1998; Soto-Pinto *et al.*, 2012). Por tal motivo, es prioritario disminuir la tasa de deforestación de dichos reservorios naturales e implementar programas de forestación con técnicas silvícolas que mejoren su producción. Bajo esta perspectiva, el manejo silvícola y la reforestación de los bosques y selvas no solo representan una alternativa de corto y mediano plazo en la mitigación del cambio climático, sino también contribuyen al sustento de las comunidades indígenas que dependen de manera directa de estos recursos, la mayoría inmersas en condiciones de alta marginación (Sheinbaum y Masera, 2000; INFYS, 2009).

La categoría Uso del Suelo, Cambio del Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) abordado para el desarrollo del Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Yucatán para el año 2005, presenta algunas particularidades respecto de las otras categorías que componen dicho inventario, tales como la falta de estadísticas forestales que permitan mantener una metodología en común a lo largo del tiempo o como series históricas. Estas particularidades ocasionan que el Nivel o Tier (en inglés) de la información obtenida en cada subcategoría sea de nivel 1 cuando se adoptan

valores por defecto y ocasionalmente nivel 2 cuando han sido determinados a nivel nacional (Jong *et al.*, 2011) (Figura 5.1).

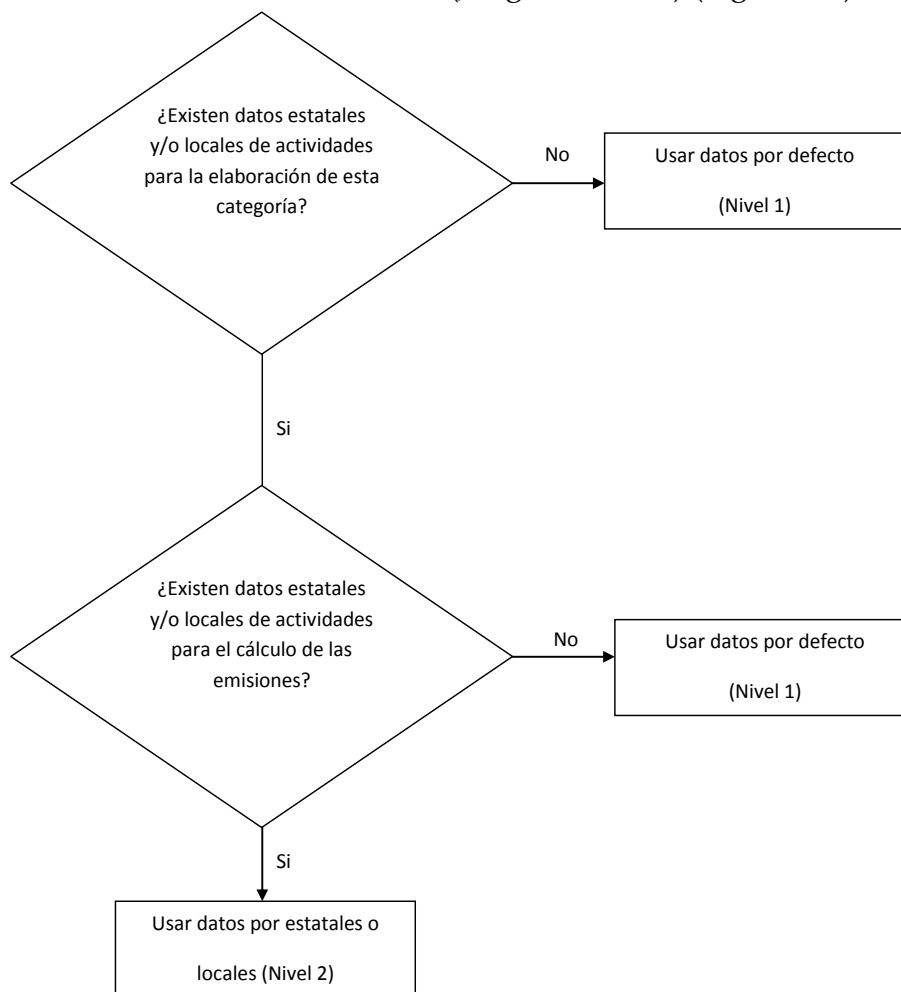


Figura 5.1 Arbol de decisión para la selección del nivel de actividad en cada sección (IPCC, 1996).

Las directrices del IPCC 1996, establece la cuantificación de emisiones o remociones de Gases de Efecto Invernadero en este sector en cinco subcategorías potenciales:

1. Cambios en bosques y otras reservas de biomasa leñosa.
2. Bióxido de carbono procedente de la conversión de bosques y praderas.
3. Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal.

4. Abandono de las tierras cultivadas.

5. Emisiones y remociones de CO₂ de los suelos.

Cabe señalar que por falta de información específica disponible al momento de realizar el presente documento la subcategoría *Emisiones y remociones de CO₂ de los Suelos* no fue estimado.

En el Estado de Yucatán están presentes diversas comunidades vegetales nativas cuya diversidad se incrementa de norte a sur, siempre relacionada a un gradiente de humedad. Como se muestra en la figura 5.2 la selva subcaducifolia es la comunidad más extensamente distribuida en la entidad y es la que tipifica, junto con la selva caducifolia, la fisonomía del paisaje. Sin embargo, en las últimas décadas estas se han visto fragmentadas por pastizales inducidos en la zona ganadera y por terrenos para agricultura de temporal en la denominada zona milpera. (Durán y García, 2010; INE, 2000).

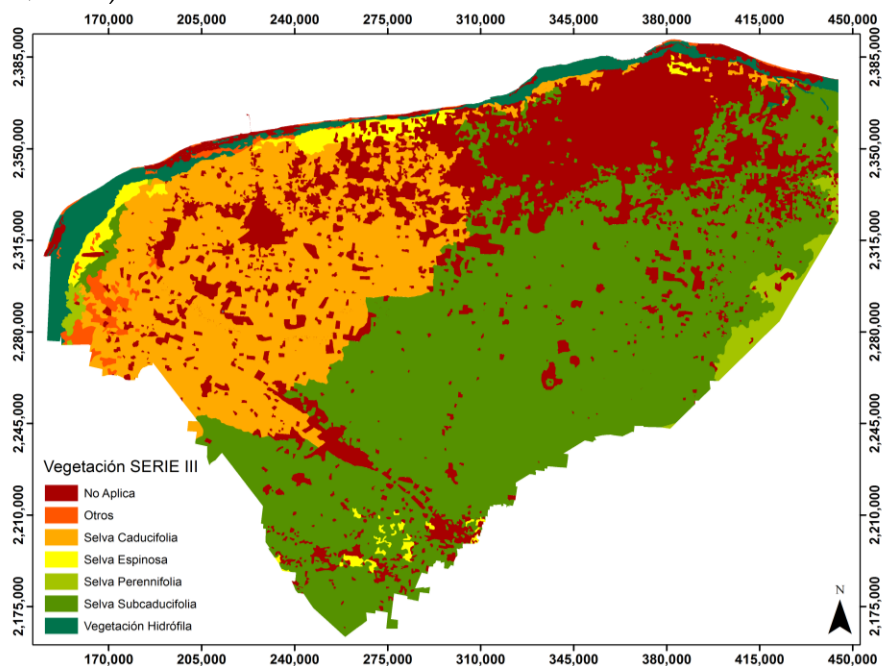


Figura 5.2 Mapa de la vegetación del Estado de Yucatán. Carta del Uso del Suelo y Vegetación serie III (2002). Clasificación de los diferentes tipos de vegetación basada en la homologación con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2009 (véase tabla 5.1). Otros tipos de vegetación incluye: Vegetación inducida y pastizal. No aplica, incluye: zonas urbanas, cuerpos de agua, sin vegetación aparente y asentamientos humanos.

El aprovechamiento forestal en México, regulado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), constituye la producción maderable o cosecha de árboles en selvas o plantaciones forestales comerciales, así como la recolección de plantas leñosas y matorrales y el aprovechamiento de partes y extractos de vegetación forestal, en general denominada producción no maderable. La rama maderable se encuentra dividida en aserrío, celulosa y papel, así como producción de leña y carbón vegetal (Loa *et al.*, 1998).

A diferencia de otros estados del país, en Yucatán la cantidad de productos obtenidos de los recursos forestales y el valor económico que generan no son representativos a nivel nacional (Montañez *et al.*, 2010; SEMARNAT, 2011). De acuerdo a la SEMARNAT-Delegación Yucatán, durante el 2005 se reportaron 17 autorizaciones de Aprovechamientos Forestales Maderables (AFM) con una superficie de 997 ha (hectáreas) y un volumen de 23,884 m³/r (metros cúbicos/rollo), siendo reportada apenas 6,988.3 m³/r, cantidad similar a la reportada en el Anuario Estadístico de Actividades Forestales (AEAF) 2007 (Figura 5.2). Aún así, estos datos son un reflejo muy pobre del uso real que en Yucatán se hace de los recursos forestales ya que existen limitaciones en las medidas de registro y control del aprovechamiento forestal en el estado, sobre todo en las series históricas.

La actividad forestal en la entidad se desarrolla en un mosaico de selva caducifolia y subcaducifolia, la mayor parte en un proceso de recuperación. Las plantas maderables extraídas en el estado son las comunes tropicales, siendo *Acacia gaumeri* S.F. Blake, *Piscidia piscipula* (L.) Sarg., *Pithecellobium albicans* (Kunth) Benth., *Gymnopodium floribundum* Rolfe, *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth., *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit y *Bursera simaruba* (L.) Sarg., entre otros las de mayor importancia. El uso principal reportado para estas especies son la leña y carbón, y algunos son utilizados para forraje, postes o varas (SEMARNAT-Delegación Yucatán). Las

plantaciones forestales comerciales en el estado son casi ausentes o con muy bajas densidades si es comparada a nivel nacional.

En el 2005 fueron expedidas 30 constancias de registro de plantaciones forestales comerciales con una superficie total de 2072 ha y un volumen de 305 m³/r, la mayoría de ellas para ser explotadas en 20 años (SEMARNAT-Delegación Yucatán) (Figura 5.3). Entre las especies de maderas preciosas forestadas se encuentran *Cedrela odorata* L., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *C. dodecandra* D C., *Swietenia macrophylla* King, *Tectona grandis* L.f., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb y *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm (SEMARNAT-Delegación Yucatán).

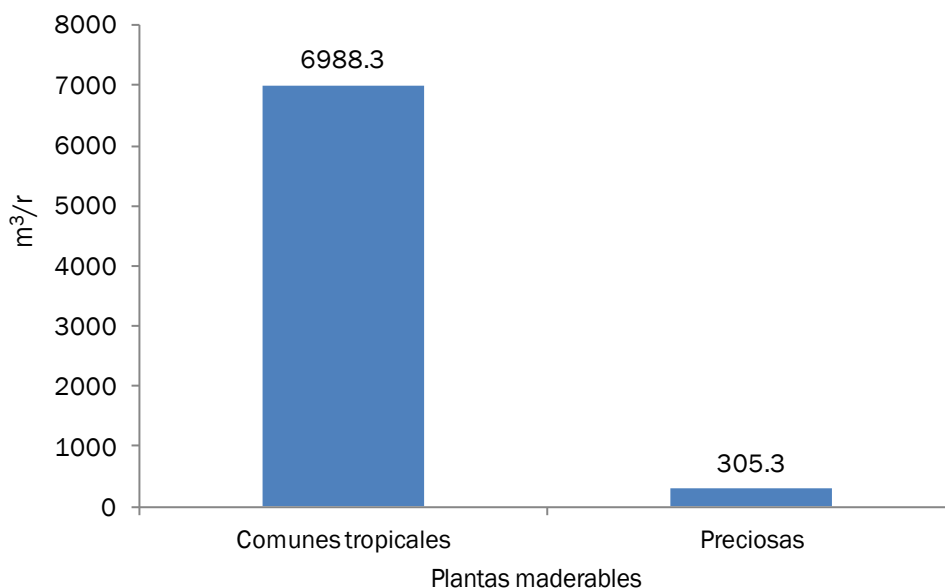


Figura 5.3 Volumen de la producción forestal maderable (m³/r) según grupo de especie para el 2005

Fuente: Anuario Estadístico de Yucatán 2006 (INEGI) y Anuario Estadístico de Actividades Forestales 2007 (SEMARNAT).

En el presente inventario se reúne información actualizada y reciente derivada de las estimaciones de carbono correspondiente al sector forestal, uso de suelo y tipos de vegetación en el estado de Yucatán. Se adoptó la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 1996) a las condiciones particulares del sector forestal y uso de suelo en el Estado de Yucatán. El documento es el resultado de una revisión

detallada de la literatura disponible a nivel nacional y estatal sobre el contenido de carbono para los principales tipos de vegetación y suelos, manejo de selvas, silvicultura, reforestación y plantaciones forestales, uso de los productos forestales y leña.

5.1 Metodología

5.1.1 Datos de actividad y emisión

El presente estudio determina la estimación de emisiones y/o remociones de CO₂ y gases traza para el Estado de Yucatán, considerando datos de actividad y factores de conversión. La información reunida para el desarrollo de esta categoría comprende el manejo comercial de selvas, extracción de madera en rollo (troncos) y leña, la conversión de selvas a pastizales pecuarios, cultivos y otras formas de manejo, abandono de campos agrícolas, plantaciones forestales comerciales, cultivo en suelos minerales, suelo orgánico y aplicación de cal en suelos agrícolas. Siendo éstos tres últimos omitidos para el desarrollo de la categoría contenida en el inventario estatal de gases (Figura 5.4), debido a que no se contó con información disponible en el momento de la realización del presente Inventario de Gases de Efecto Invernadero en estas subcategorías.

Se tomó como referencia el procesamiento de las fuentes de información y algunos datos por defecto empleados en algunas estimaciones relacionadas con los procesos de cambio del uso de suelo reportados en las Actualizaciones del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para los períodos 1993-2002 y 1990-2006 en la categoría de Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra (INE 2008, 2009).

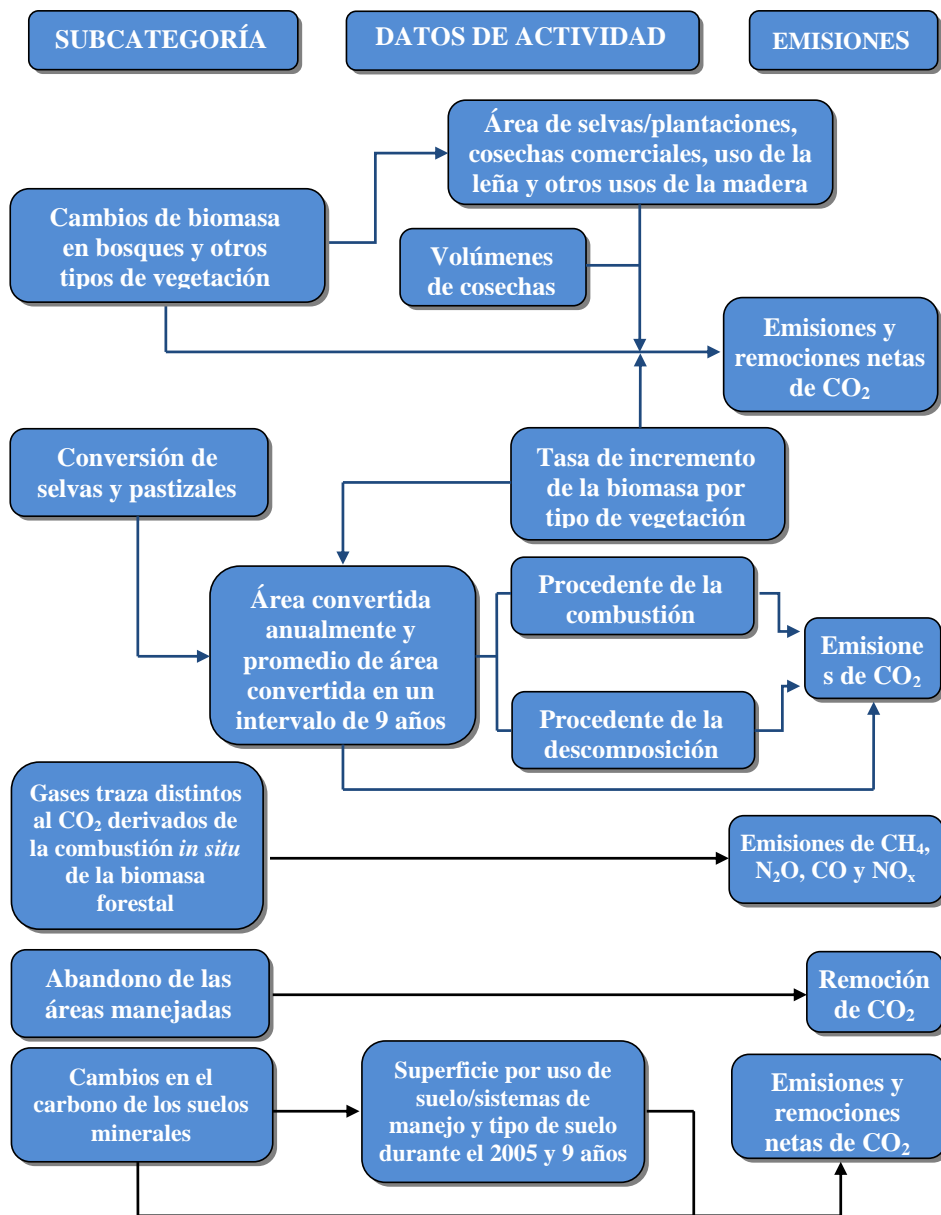


Figura 5.4 Diagrama de flujo para el desarrollo de la categoría USCUS para el estado de Yucatán 2005 (IPCC, 1996).

5.1.1.1 Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa

El Estado de Yucatán presenta una superficie extensa de selvas y otros tipos de vegetación nativa, así como una mínima extensión de plantaciones forestales comerciales; pero que en conjunto constituyen la vegetación con una gran capacidad como “sumideros de carbono” o “captadores de carbono”. Sin embargo, existen procesos que influyen directamente sobre el almacén de carbono de estas selvas, tales como: 1) la producción de biomasa, que incrementa el almacén de carbono a través de su fijación por fotosíntesis, y 2) la remoción de madera comercial, madera comerciada sin permisos y leña, que promueve la emisión de carbono hacia la atmósfera a través de la extracción, quema y descomposición de la biomasa vegetal. El balance de estos procesos determina la cantidad neta de carbono que captan o pierden los tipos de vegetación mediante las actividades de extracción y el incremento de biomasa en la vegetación remanente (INE, 2009). Para la aplicación del árbol de decisión en la presente subcategoría, se contó con los siguientes datos de actividad y factores de emisión.

Datos de actividad: Para esta subcategoría se requirió de las superficies de la reforestación y de la plantación comercial, proporcionadas por SEMARNAT-Yucatán. Así mismo, el volumen de leña para el año 2005 se estimó con base al consumo per cápita (Quiróz y Orellana, 2010) y al número de habitantes que consumen leña. Cabe señalar, que no se consideró el volumen de aprovechamiento de leña proveniente de las plantaciones comerciales debido a que en el estado no está documentado.

Factores de emisión: Se emplearon las tasas de crecimiento anual de biomasa aérea reportadas en la Actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la categoría de Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra (INE, 2009), por lo que el nivel de gradación de esta

subcategoría es 2, con algunos factores por defecto (nivel 1) reportados en el IPCC (1996).

5.1.1.2 Bióxido de carbono procedente de la conversión de bosques y praderas

El desarrollo de las actividades humanas durante las últimas décadas ha provocado importantes cambios en la cobertura vegetal del territorio del Estado de Yucatán, sobre todo los proceso de degradación y deforestación (Durán y Contreras, 2010). Estos cambios pueden ocasionar diversas alteraciones en la región, tales como una reducción en la recarga de los mantos acuíferos, incremento de la tasa de erosión, cambios de las condiciones climáticas locales y sobre todo, emisiones de GEI importantes (Maserá *et al.*, 1997). En general, las emisiones de GEI a la atmosfera están asociadas a una tasa de conversión de la superficie vegetal, pero el impacto sobre estos flujos también depende de la dirección con la que ocurre el proceso de conversión (INE, 2009).

Datos de actividad: Para la elaboración de la matriz de cambio del uso del suelo se emplearon las Cartografías del Uso del Suelo y Vegetación del INEGI para los años 2002 y 2007 (Serie III y IV, respectivamente). De igual manera, se emplearon valores del Inventario Nacional Forestal y de Suelo 2004-2009 para la estimación de la biomasa seca.

Factores de emisión: Para calcular las emisiones de CO₂ correspondientes a esta subcategoría se usaron los datos por defecto de las directrices del IPCC 1996 y valores del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006. El análisis considera un nivel 2 de gradación, con algunos factores por defecto (INE, 2008).

5.1.1.3 Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de la biomasa forestal

Los procesos de combustión y descomposición de la biomasa son los principales generadores de gases distintos al CO₂ (INEGI,

2002). En el estado se cuenta con períodos de quemas, las cuales suelen ser intensas cuando se salen de control o se inician de manera accidental.

Datos de actividad: Se tomaron para esta sección los mismos datos de actividad anterior, correspondiente a la quema de biomasa *in situ*.

Factores de emisión: Los factores se aplicaron por defecto para el cálculo de gases distintos al CO₂ a partir de los datos obtenidos en la sección anterior. Dado que la cantidad de biomasa quemada *in situ* fueron estimadas con factores por defecto, se considera que esta sección tiene un grado nivel 1.

5.1.1.4 Abandono de tierras cultivadas

En Yucatán, en el período comprendido entre 1976 y 2000 se tuvo un cambio de hasta un 69% en las superficies de las selvas caducifolias y subcaducifolias (INE). Sin embargo, en las últimas décadas algunas superficies representan un mosaico con diferentes etapas de sucesión debido a que han sido abandonadas después de haber sido utilizadas para agricultura.

Datos de actividad: Se emplearon las cartas del Uso del Suelo y Vegetación series II y III, para determinar la superficie de tierras que estuvieron en abandono y presentaron un proceso de regeneración de vegetación. Adicionalmente se emplearon los datos por defecto de las directrices del IPCC 1996 para determinar el CO₂ capturado en este proceso.

Factores de emisión: Se emplearon los mismos valores de crecimiento de biomasa anual para los diferentes tipos de vegetación y los mismos factores por defecto de la sección 5.1.1.1 (*Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa*) para convertir los crecimientos anuales en biomasa y carbono. Por lo anterior se considera que esta sección tiene un grado de nivel 2, con algunos factores por defecto (Nivel 1).

5.1.1.5 Cambios en el carbono con los suelos minerales

Las emisiones y absorciones de CO₂ en los suelos están asociadas con el cambio y manejo del uso del suelo (IPCC, 1996).

La información para desarrollar esta subcategoría fue muy limitada en su momento como para arrojar resultados contundentes, por tal motivo no se reportan las emisiones de CO₂ generadas en esta subcategoría.

5.1.2 Estimación de emisiones

Definición de los tipos de vegetación

Las fuentes de información empleadas para las superficies (ha) de los tipos de vegetación en el Estado y uso de suelo, fueron:

- Carta de Uso de Suelo y Vegetación 1993, Serie II (INEGI), escala 1:250,000
- Carta de Uso de Suelo y Vegetación 2002, Serie III (INEGI), escala 1:250,000
- Carta de Uso de Suelo y Vegetación 2007, Serie IV (INEGI), escala 1:250,000

Los diferentes tipos de vegetación presentes en la Carta de Uso de Suelo y Vegetación series III y IV del INEGI para el Estado de Yucatán fueron homologados con las clases de vegetación propuestas para la elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006, tal manera que en el presente trabajo la clasificación empleada fue: a) selva perennifolia, b) selva subcaducifolia, c) selva caducifolia d) vegetación hidrófila e) selva espinosa f) otros tipos de vegetación y h) no aplica (Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Homologación de los tipos de vegetación del INEGI con los tipos propuestos para la elaboración del Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI) Yucatán.

INEGI, Series III y IV	IEEGEI Yucatán
Manglar Tular Vegetación de peten Vegetación halófila hidrófila	Vegetación hidrófila
Pastizal halófilo Pastizal inducido	Pastizal
Palmar inducido Vegetación de dunas costeras	Otros tipos de vegetación
Selva baja espinosa caducifolia Selva baja espinosa subperennifolia Sabana	Selva espinosa
Selva baja subperennifolia Selva mediana subperennifolia	Selva perennifolia
Selva baja caducifolia Selva mediana caducifolia Selva baja subcaducifolia Selva mediana subcaducifolia	Selva caducifolia Selva subcaducifolia
Sin vegetación aparente	No aplica

*No aplica. Esta clasificación incluye: zonas urbanas, cuerpos de agua, asentamientos humanos y sin vegetación aparente.

** Otros tipos de vegetación. En esta clasificación se agruparon las superficies de palmar inducido, pastizal inducido, pastizal halófilo y vegetación de dunas costeras.

El IPCC 1996 recomienda reportar las emisiones y remociones de CO₂ en tierras forestales que tienen influencia antropogénica (tipos de vegetación en el estado con manejo forestal). Para fines de este inventario, se definió a la vegetación con manejo como aquellas áreas que tiene planes de manejo forestal, áreas con extracción de madera sin permiso (áreas de extracción de leña y otros insumos

forestales), áreas en recuperación (vegetación degradada o vegetación intacta) y áreas en degradación (vegetación intacta a vegetación degradada). Para cada subcategoría se aplicó la metodología correspondiente del IPCC para calcular los cambios en el carbono en biomasa y suelo.

5.1.2.1 Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa

La base de datos para esta subcategoría fue obtenida de las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación series III y IV de los años 2002 y 2007, respectivamente. Posteriormente, fueron analizados en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 10), empleando como base el Límite Estatal del Marco Geoestadístico Municipal 2010 (INEGI), con el fin de comparar el cambio de uso de suelo entre los años 2002 y 2007, e integrarlo en una matriz.

Para estimar el consumo total de leña en kilotoneladas de masa seca al año (kt ms/año) se tomó el consumo *per capita* al día (2.06 kg/persona/día) reportado por Quiróz-Carranza *et al.* (2010), multiplicado por la cantidad de personas que consumió leña en el 2005 (606,851 personas)* y multiplicado por 365 para calcular el consumo anual. Posteriormente esta cantidad reportada en kilogramos (kg) se convirtió en toneladas (ton) y después en kilotoneladas (kt).

* El número de personas que consumen leña en el año 2005 fue estimado mediante una interpolación lineal entre el año 2000 y el 2010, puesto que se conocían el número de personas que consumen leña en estos dos años.

5.1.2.2 Bióxido de carbono procedente de la conversión de bosques y praderas

Con el fin de examinar la ganancia o pérdida de biomasa conforme al proceso de conversión en cada tipo de vegetación, se elaboró una matriz de transición con las cartas de Uso de Suelo y Vegetación 2002 y 2007 del INEGI. Estas cartas son comparables y congruentes entre sí en cuanto a la clasificación y digitalización de

los polígonos. Por lo anterior, sólo fue necesario emplear un proceso de intersección entre las dos cartas; es decir, se comparó los tipos de vegetación presente en 2002 con la de 2007 y se sumó la superficie de todas las transiciones (Tabla 5.2).

Tabla 5.2 Matriz de Cambio de Uso de Suelo series III y IV (2002-2007).

TIPOS DE VEGETACION Y USO DE SUELO 2002		Selva perennifolia	Selva Subcaducifolia	Selva caducifolia	Vegetación hidrófila	Selva espinosa	Otros	NA
TIPOS DE VEGETACION Y USO DE SUELO 2007	Selva perennifolia	41,690.98	4,864.95	1.14	23.80	3.16	0.00	338.83
	Selva Subcaducifolia	9,814.72	1,716,957.37	1,842.10	452.93	966.57	27.33	38,185.64
	Selva caducifolia	104.82	1,063.18	776,830.19	1,182.64	3,286.12	6,276.37	32,217.41
	Vegetación hidrófila	309.04	815.69	745.62	123,127.55	85.50	4,039.31	4,019.41
	Selva espinosa	9,099.76	2,468.92	2,074.66	1,368.47	60,779.92	4,093.11	2,075.20
	Otros	35.11	94.19	1,111.23	748.57	149.48	25,532.75	669.46
	No aplica	4,365.33	107,925.12	72,343.55	4,471.06	3,672.89	1,723.10	879,591.73

5.1.2.3 Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de la biomasa forestal

De acuerdo a las Directrices del IPCC 1996, la estimación de los gases traza distintos al CO₂, depende directamente de la estimación del flujo de carbono realizado en la sección de emisiones de CO₂ procedentes de la conversión de bosques y pastizales.

Las emisiones de CH₄ y CO se estimaron con respecto a los flujos de carbono emitidos durante la combustión de la biomasa, dato tomado de la subcategoría anterior. El contenido total de nitrógeno se estima con base en la relación de carbono-nitrógeno. Las estimaciones de N₂O y NO_x se calculan como relaciones con respecto al nitrógeno total.

5.1.2.4 Abandono de tierras cultivadas

La metodología utilizada para la estimación de las superficies y de la biomasa antes y después del abandono de los primeros diez años se tomó del mismo análisis de la subcategoría anterior, pero se comparó la Carta de Uso del Suelo y Vegetación serie II (1993) con la serie IV (2007) con el fin de cubrir el período establecido (10 años) por las directrices del IPCC 1996. Cabe señalar que en esta subcategoría sólo se consideraron las superficies dedicadas a la agricultura o ganadería, es decir, superficies de agricultura temporal, agricultura de riego, pastizal cultivado y pastizal inducido del año 1993 (INEGI, serie II), que en el año 2007 (INEGI, serie IV) presentaron una recuperación de vegetación (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Matriz de las superficies de suelo abandonado con recuperación de vegetación entre los años 1993-2007.

Tipos de Vegetación y Uso de Suelo 1993		Otros tipos de vegetación* (ha)	Kha en recuperación
TIPOS DE VEGETACION Y USO DE SUELO 2007	Selva Perennifolia	352.07551	0.35207551
	Selva subcaducifolia	118,695.7391	118.6957391
	Selva caducifolia	134,783.9287	134.7839287
	Vegetación hidrófila	1,961.49359	1.96149359
	Selva espinosa	9,883.82564	9.88382564
	Otros tipos de vegetación*	10,777.5101	10.7775101
	No aplica	589,785.9975	

* Otros tipos de vegetación. Incluye superficies de agricultura temporal, agricultura de riego, pastizal cultivado y pastizal inducido.

5.2 Resultados de las emisiones

Las emisiones generadas en esta categoría fueron un total de 1,360.08 Gg de CO₂ equivalente provenientes de cambios en bosques y otras reservas de biomasa leñosa (805.99 Gg de CO₂), de la conversión de bosques y praderas (528.31 Gg de CO₂), y de los gases de combustión de la biomasa (25.78 Gg de CO₂ equivalente). No obstante, a diferencia de las otras categorías, en ésta se cuantifican las emisiones de CO₂ removidas por la vegetación o por el uso del suelo, las cuales fueron estimadas en un total de 1,833.99 Gg de CO₂ debido a la recuperación de la vegetación en tierras abandonadas que fueron empleadas con fines agropecuarios (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Emisiones / remociones de la categoría USCUS.

Tipos de vegetación	Emisiones (Gg)						Remociones (Gg)
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq.	CO	NO _x	CO ₂
Cambios en bosques y otras reservas de biomasa leñosa.	805.99			805.99			
Bióxido de carbono procedente de la conversión de bosques y praderas	528.31			528.31			
xEmisiones de gases traza distintos al CO ₂ derivados de la combustión in situ de la biomasa forestal		1.08	0.01	25.78	9.45	0.27	
Abandono de las tierras cultivadas							1833.99
Total				1,360.08			1,833.99

5.2.1 Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa

El resultado del análisis de los datos en las hojas de trabajo del IPCC se estimó una emisión anual de carbono de 231.46 Kt C, una absorción neta anual de 11.65 Kt C, con una diferencia de emisión significativa de 219.89 Kt C. Derivado del balance neto entre la

emisión y la remoción para esta subcategoría, el resultado fue la emisión neta de 805.99 Gg de CO₂.

5.2.2 Bióxido de carbono procedente de la conversión de bosques y praderas

Se determinaron los flujos de carbono procedentes de los cambios en las superficies de los principales tipos de vegetación en el Estado, entre los años 2002 y 2007. Como se muestra en la Tabla 5.5, los flujos derivados de esta subcategoría presentan emisiones netas de 62.38 kt C provenientes de las quemaduras y 81.71 kt C por los procesos de descomposición, dando un total de 144.09 kt C, equivalente a 528.31 Gg CO₂ (Tabla 5.5).

Tabla 5.5 Total de emisiones relacionadas a los cambios de bosques y praderas en el período 2002-2007

Emisiones inmediatas por quema (kt C)	62.38
Emisiones diferidas por descomposición (kt C)	81.71
Total anual (kt C)	144.09
Emisión de CO ₂ en Gg	528.31

5.2.3 Emisiones de gases traza distintos al CO₂ derivados de la combustión *in situ* de la biomasa forestal

El total de las emisiones de gases distintos al CO₂, producto de la conversión de bosques y pastizales se estimó en 1.08 Gg de CH₄, 9.45 Gg de CO, 0.01 Gg de N₂O y 0.27 Gg de NO_x (Figura 5.5).

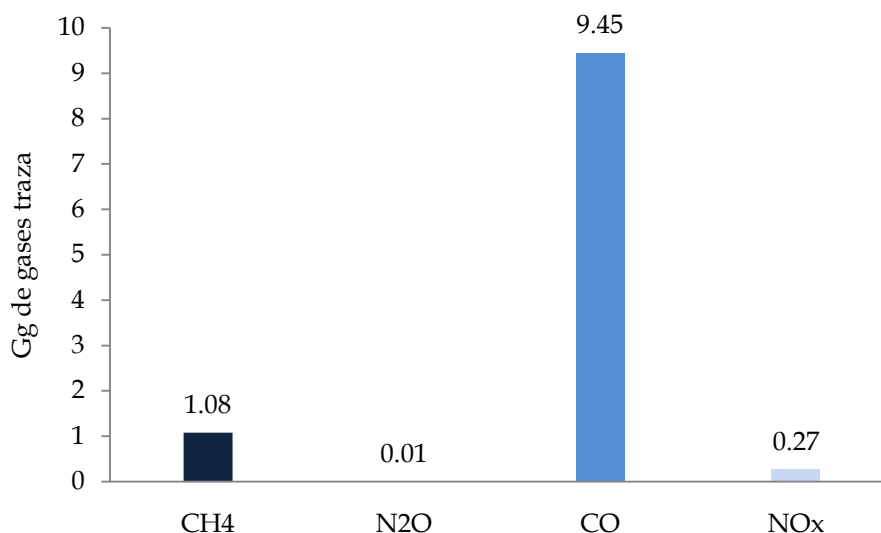


Figura 5.5 Emisiones de los gases traza en Gg derivados de la combustión de la biomasa en bosques 2002-2007.

5.2.4 Abandono de las áreas manejadas

Los resultados de las áreas de vegetación abandonadas que se regeneraron en los primeros 14 años (1993-2007) reflejan un total de 276.45 Kha para todos los tipos de vegetación en este período. El total de absorciones provenientes de este proceso para los primeros 14 años es de 500.18 kt C, equivalente a 1,833.99 Gg CO₂.

5.2.5 Cambios en el carbono con los suelos minerales y carbono del suelo en áreas impactadas por la agricultura

Para obtener resultados derivados de los cambios en el carbono con suelos minerales y en áreas impactadas por la agricultura es necesario comprobar, a partir de estudios de caso e investigación sobre suelos en el estado, el porcentaje de carbono orgánico en el suelo (COS) y la densidad aparente (DA) de los suelos de la región. Por ello, los cálculos realizados hasta la fecha no se pueden tomar con mucha seriedad ni mucho menos reflejan la realidad respecto a las emisiones o absorciones que se dan en los suelos de Yucatán.

5.3 Incertidumbres asociadas a los cálculos

Las incertidumbres derivadas de las estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero que se presentan en este documento no son del todo concretas, ello derivado de la falta de información para el desarrollo de algunas subcategorías, así como el uso de algunos factores de emisión estandarizados a nivel nacional.

Algunos aspectos a nivel subcategoría que posiblemente originan las incertidumbres son las siguientes:

- a. Biomasa aérea por tipo de vegetación. En Yucatán no se cuenta con una base de datos que permita obtener promedios adecuadamente representativos por tipo de vegetación y datos específicos sobre volúmenes seriados por años destinados al consumo de leña.
- b. Bióxido de carbono proveniente de conversión de bosques. Para el caso de la fracción de biomasa quemada *ex situ* de selvas no se conocen a nivel nacional, por lo que la falta de este factor puede estar subestimando la emisión de este gas en el estado. De igual manera, en la estimación de los gases traza, puesto que los incendios en el estado han sido muy severos en los últimos años y esto no se ve reflejado en los resultados.
- c. Abandono de áreas manejadas. Falta la incorporación de los tipos de vegetación en regeneración de más de 20 años de antigüedad, por lo que la utilización de las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación de Yucatán (INEGI) pudiese ser el dato de actividad clave para complementar el cálculo real de la incertidumbre de esta subcategoría.
- d. Contenido de carbono en suelos. No se contó en su momento de datos de actividad, específicamente de la cartografía edafológica del estado, por lo que es posible esto influya en las incertidumbres totales.

Además, para llevar a cabo el cálculo de las incertidumbres de este estudio se requiere de más estudios locales y tener información seriada en años de las actividades forestales en el estado. Por lo mismo, es que se utilizaron muchos de los factores de emisión del

Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002 y se emplearon algunos valores para estimar la incertidumbre de tal manera que solo se tienen estimaciones para algunas categorías resumidas en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Incertidumbres asociadas al inventario

Subcategoría	Emisiones de CO ₂ (Gg)	Incertidumbre (%)
Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa	805.99	6.03
Bióxido proveniente de la conversión de bosques y praderas	528.31	2.73
Emisiones de los gases traza	25.78	No estimado
Subcategoría	Remoción de CO ₂ (Gg)	Incertidumbre (%)
Abandono de las áreas manejadas (1993-2002)	1360.08	20.79

5.4 Conclusiones

En la actualidad hay mucho esfuerzo a nivel nacional dirigido a mejorar la calidad y cantidad de información necesaria para realizar los inventarios nacionales y estatales de emisiones de GEI en el sector USCUS. Por ejemplo, el inventario estatal de emisiones de Campeche (Datos no publicados) se reportaron factores de emisión locales, lo que contribuye significativamente en reducir la incertidumbre en el inventario.

Aplicando la metodología de las directrices del IPCC 1996 y con información obtenida, el total de emisiones provenientes de esta categoría fueron estimadas en 1,360.08 Gg de CO₂. Sin embargo, los resultados también muestran que el Estado presenta la ventaja de ser una región que absorbe CO₂ atmosférico, estimados en 1,833.99 Gg de CO₂. Debido principalmente al crecimiento de la biomasa en los diferentes tipos de vegetación.

Los cambios de biomasa en vegetación de leña constituye el aspecto más importante en la emisión de gases de efecto invernadero en el Estado de Yucatán en esta categoría (805.99 Gg de CO₂), debido a que la principal fuente de energía para la población rural es la leña.

Con respecto a las emisiones de gases traza distintos del CO₂, derivados de la combustión de biomasa, resultaron muy bajas y es posible estén subestimadas debido a los factores de emisión y datos de actividad. Por tal motivo, es necesario llevar un seguimiento minucioso de las primeras tres subcategorías para obtener resultados apegados a la realidad.

Las remociones de CO₂ en las áreas abandonadas (1,833.99 Gg de CO₂) es un claro ejemplo de la realidad que ofrece la captura de carbono en la recuperación de la vegetación, como se ha visto en otros inventarios estatales.

5.4.1 Recomendaciones

En Yucatán la mayor parte de los procesos que causan la liberación de CO₂ a la atmósfera es por cambios de biomasa en la vegetación leñosa, como oportunidad de mitigación para este proceso se recomienda llevar a cabo un mejor manejo forestal de las selvas, que permitan proteger las capacidades de renovación de la biomasa, mediante acciones de conservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable. Para ello, es necesario crear instrumentos de política pública nacional que integren los esfuerzos realizados en las instituciones de gobierno y las organizaciones de la sociedad civil para enfrentar el problema de una manera eficiente.

En México se está desarrollando una iniciativa para incorporar el mecanismo internacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (REDD+), cuyo objetivo es promover y emitir recomendaciones a las instituciones de gobierno en sus diferentes ámbitos, a fin de incidir en la construcción de un

mecanismo funcional y eficaz, que garantice la transparencia y maximice los beneficios ambientales y sociales.

Es importante también que las autoridades realicen programas de forestación comercial viables e ingresar a los diversos programas conocidos como “bonos de carbono”, cuyo objetivo es que los países industrializados paguen a las empresas para mitigar o compensar sus emisiones. Generalmente se llevan a cabo en países con mayor diversidad. El sistema provee recursos destinados a proyectos forestales y que retribuyan al productor por esta actividad.

Desechos (Sector 6)

La generación de residuos sólidos y líquidos es parte de la actividad diaria del ser humano, que tienen un impacto perjudicial sobre el medio ambiente y la salud de las personas si no son tratados adecuadamente. Uno de los principales impactos ambientales de estos residuos es la generación de gases de efecto invernadero que son causantes del calentamiento global y su consecuente cambio climático. Por tal motivo es necesaria su cuantificación para tomar medidas o acciones que permitan la reducción de estos gases. En este apartado se evalúan las emisiones de metano (CH_4) generadas por la disposición de residuos sólidos, plantas de tratamiento de aguas residuales, emisiones de óxidos nitrosos (N_2O) generados por la descomposición de excrementos humanos y los gases liberados por la incineración de residuos peligrosos biológicos infecciosos (Figura 6.1).

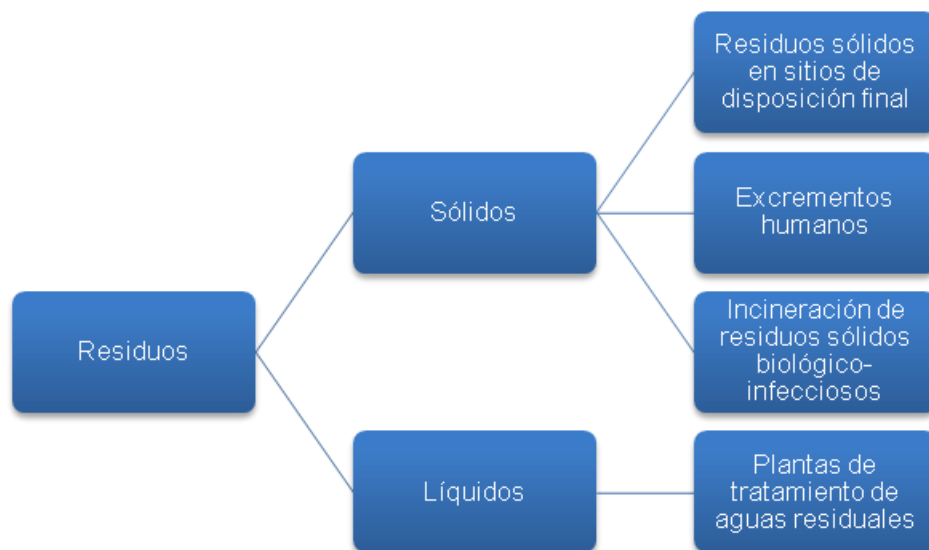


Figura 6.1 Clasificación de los residuos que generan gases de efecto invernadero.

El Anuario Estadístico Yucatán 2006 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2006) indica que en el año 2005 el Estado contaba con 1,818,948 habitantes que generaron 504,028.50 toneladas de residuos sólidos, lo que significa una generación per cápita de 0.76 kg/habitante día. De la cantidad total de residuos

sólidos generados el 60% fueron depositados en sitios de disposición final, es decir 302,417.10 toneladas, distribuidos en los sitios que se muestran en la figura 6.2. La ciudad de Mérida, además de ser el municipio con el mayor número de habitantes, es la única en el estado que tiene un sitio de disposición final Tipo A (capacidad mayor a 100 ton/día), por tanto, fue la que generó la mayor cantidad de residuos sólidos con el 51% del total del Estado (Tabla 6.1).

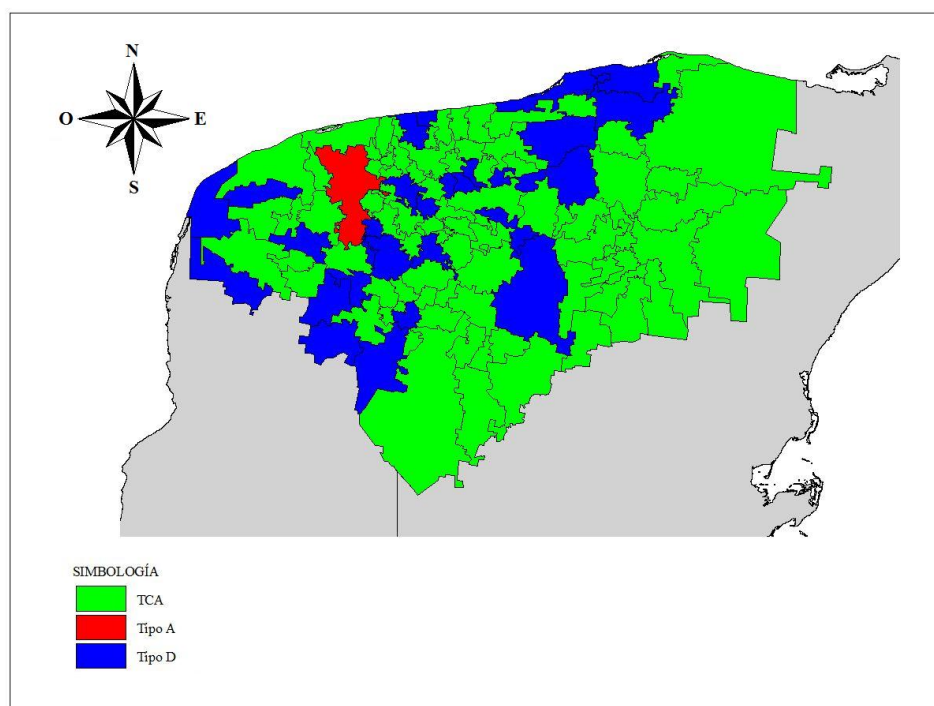


Figura 6.2. Sitios de disposición final en el Estado de Yucatán 2005. Clasificados de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 083-SEMARNAT-2003. Tipo A: sitio de disposición final con capacidad mayor a 100 T/día. Tipo D: sitio de disposición final con capacidad menor 10 T/día. TCA: tiraderos de basura a cielo abierto.

Tabla 6.1 Porcentaje del total de residuos sólidos depositados en sitios de disposición final

Sitio de disposición final	Cantidad (unidades)	Porcentaje de residuos sólidos (%)
Tipo A	1	51.06
Tipo D	28	8.92
Tiradero de basura a cielo abierto	77	40.02

Por otra parte, en el 2005 sólo el 1.28% de la población contaban con servicio de recolección y tratamiento de aguas residuales (JAPAY, 2005). El tratamiento de aguas residuales se centró en el municipio de Mérida.

6.1 Metodología

Para la realización del presente inventario se empleó la metodología sugerida por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en Inglés) en sus directrices de 1996 y el de las Guías de las Buenas Prácticas del IPCC.

6.1.1 Emisiones de metano procedentes de los residuos sólidos municipales

En los sitios de disposición final de residuos sólidos, bajo condiciones anaerobias la descomposición de la fracción orgánica tiene como resultado la emisión de un gas compuesto principalmente de una mezcla de metano (40-60%) (Malik *et al.*, 1987). Se ha estimado que las emisiones de metano en vertederos de residuos sólidos pueden contribuir de 3 a 19% de las fuentes antropogénicas en el mundo, por lo que resulta importante la cuantificación de este gas en sitios de disposición final en el Estado de Yucatán (Talyan *et al.*, 2007).

6.1.1.1 Datos de actividad

El punto de partida para la estimación de gases de efecto invernadero en esta sección es la generación de residuos sólidos. Esta varía dependiendo del número de habitantes, localidad, composición, situación económica, desarrollo industrial, normas de gestión de residuos y el estilo de vida.

A partir de datos del Anuario Estadístico 2006 y haciendo uso de datos específicos registrados en la base de datos de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA) del Estado de Yucatán, se realizó la estimación de metano para dicha sección.

Un factor importante para la estimación de metano generado de los residuos sólidos es el Carbono Orgánico Degradable (COD), este factor fue estimado con base en el Informe del Diagnostico Integral para el Manejo de Residuos Sólidos en el Estado de Yucatán (SEDUMA, 2008), a partir de un estudio realizado a los 10 municipios con mayor tamaño poblacional (exceptuando Mérida), Izamal, Kanasín, Motul, Oxkutzcab, Peto, Progreso, Ticul, Tizimín, Valladolid y Umán. A raíz de este estudio, añadiéndole datos del municipio de Mérida (proporcionados por el Servicio de Tecnología Ambiental S.A. DE C.V., SETASA) y con la Metodología del IPCC-1996, se obtuvo un promedio ponderado del COD de 12.96% (Tabla 6.2) calculado mediante la siguientes ecuaciones, este valor fue utilizado para estimar las emisiones de metano en el Estado de Yucatán.

$$COD = (0.4 \cdot A) + (0.17 \cdot B) + (0.15 \cdot C) + (0.3 \cdot D)$$

Donde:

A: es la fracción de Residuos Sólidos Municipales compuesta de papel y textiles,

B: es la fracción de Residuos Sólidos Municipales formada de desechos de jardín, desechos de parques u otros elementos orgánicos putrescibles, excluidos los alimentos,

C: es la fracción de Residuos Sólidos Municipales compuesta de restos de alimentos,

D: es la fracción de Residuos Sólidos Municipales compuesta de madera o paja.

COD: es el Carbono Orgánico Degradable

Tabla 6.2 Resultados del COD de algunos municipios del Estado de Yucatán

	Izamal	Kanasín	Mérida	Motul	Oxkutzcab	Peto	Progreso	Ticul	Tizimin	Umán	Valladolid	Total (%)
A (%)	16.20	14.60	15.02	12.10	11.20	18.00	15.60	15.40	9.50	13.80	14.00	
B (%)	16.80	23.10	24.61	3.30	38.70	14.90	2.80	5.80	6.20	7.00	20.60	
C (%)	14.10	14.40	18.89	29.10	13.50	14.30	39.80	34.90	37.60	23.90	16.80	
D (%)	2.30	0.00	1.60	0.20	0.20	0.10	1.20	0.30	0.40	1.00	0.40	
COD (%)	12.14	11.93	13.51	9.83	13.14	11.91	13.05	12.47	10.61	10.60	11.74	
Porcentaje (%) de RSU generados en el Estado	0.99	1.84	51.05	0.96	1.38	1.16	3.36	1.78	3.94	2.67	3.49	72.62
Promedio	0.12	0.21	6.89	0.09	0.18	0.13	0.43	0.22	0.41	0.28	0.40	9.41

Valores obtenidos del Informe del Diagnostico Integral para el Manejo de Residuos Sólidos en el Estado de Yucatán (SEDUMA, 2008).

$$Prom. Ponderado del 100\% = \frac{Promedio}{Fracción de RSU generados} = \frac{9.41}{0.7262} = 12.96$$

6.1.1.2 Factores de Emisión

Esta subcategoría se llevó a cabo empleando las Directrices del IPCC, nivel 1 (1996) para los inventarios de gases de efecto invernadero (Tabla 6.3).

Tabla 6.3 Factores empleados para la estimación de metano en sitios de disposición final

Factor	valor
Factor de corrección para el metano (FCM)	0.70
Factor de oxidación*	0.00
Fracción del COD que realmente se degrada	0.77
Fracción del carbono liberado como metano	0.50
Capacidad máxima de producción de metano*	0.60
Relación de conversión	16/12

Valores por defecto de las Directrices del IPCC (1996) para los inventarios de gases de efecto invernadero.

* Valor por defecto de la Guía de las Buenas Prácticas del IPCC-1996.

6.1.2 Emisión de Metano procedente de las Aguas Residuales Municipales

El manejo y tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales se han identificado como una importante fuente de metano. Durante los procesos de tratamiento anaeróbico de aguas residuales, el metano es un subproducto de la descomposición anaerobia generado por bacterias metanogénicas (Wang *et al.*, 2011). Se han estimado que las emisiones procedentes de estas fuentes corresponden alrededor de 0.18% del total de emisiones de cualquier país (Préndez y Gonzalez, 2008).

6.1.2.1 Datos de actividad

El Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2005) reporta que en 2005 se contaban con 12 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Estado de Yucatán, de las cuales los sistemas empleados fueron los siguientes: 10 de tanques sépticos, 1 de laguna de oxidación y 1 de lodos activados con 91.83%, 4.26%, 3.91% del volumen total de aguas residuales tratados respectivamente. De los sistemas de tratamiento mencionados anteriormente, sólo el tratamiento por tanques sépticos presenta el potencial de generar gas metano, por lo que los datos específicos de estas plantas fueron proporcionados por la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY, 2005), los cuales indican que 23,285 habitantes contaban con servicio de tratamiento de aguas residuales.

6.1.2.2 Factores de emisión

Se emplearon los factores de emisión de las Directrices del IPCC nivel 1 (1996) para los inventarios de gases de efecto invernadero, cabe señalar que los valores reportados por la JAPAY en cuanto a DBO son similares con los sugeridos por las directrices del IPCC en la estimación de metano (Tabla 6.4).

Tabla 6.4 Factores empleados para la estimación de metano de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

Factor	Valor
DBO ₅	40 mg/persona · día
Factor de conversión de metano*	0.80
Factor de emisión	0.48 Kg de CH ₄ /Kg de DBO

Valores por defecto de las Directrices del IPCC (1996) para los inventarios de gases de efecto invernadero.

* Valor por defecto de la Guía de las Buenas Prácticas del IPCC-1996.

6.1.3 Emisión de Metano procedente de las Aguas Residuales industriales

El Anuario Estadístico Yucatán 2006 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2006) reporta el volumen y descarga de aguas residuales industriales vertidas a cuerpos de agua receptores de control federal del año 2005. Sin embargo, para la estimación del gas metano generado por la actividad industrial se requiere de información más específica, que no estuvo disponible en otras fuentes estatales para el año en cuestión. Por tal motivo no se reportan las emisiones de gas metano generadas en esta subcategoría.

6.1.4 Emisiones de óxido nitroso procedente de excretas humanas

El óxido nitroso es otro de los principales gases de efecto invernaderos que contribuyen al calentamiento global. Este gas representó en el 2004 el 7.9% del total de gases de efecto invernadero emitidos por fuentes antropogénicas (IPCC, 2007). Una de las fuentes de emisión de este gas es durante la nitrificación y desnitrificación del nitrógeno, generalmente presente en la urea, amonio y proteínas. Parte de las proteínas desechadas como excremento por el ser humano son una fuente importante de óxido nitroso, por lo que debe cuantificarse.

6.1.4.1 Datos de actividad

La información necesaria para esta subcategoría fue adquirida del Anuario Estadístico 2006 (INEGI, 2006), Servicios de Salud de Yucatán (SSY) y de la base de datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT, 2006).

En la Tabla 6.5 se muestra el consumo de proteínas de población de Yucatán menores a 19 años. Adicionalmente, el consumo de proteínas para población yucateca, mayores de 19 años es aproximadamente de 75 g al día (Servicios de Salud de Yucatán). Con base en estos datos y considerando el número de habitantes y el peso por edades de la población de Yucatán se estimó indirectamente el óxido nitroso liberado por excrementos humanos empleando la metodología de las Directrices del IPCC 1996.

Tabla 6.5 Ingesta de proteínas de la población de Yucatán menores a 19 años

Grupo de Edad	Proteínas (g/kg/día)
0-12 meses	1.85
1-3 años	1.20
4-6 años	1.10
7-10 años	1.00
11-14 años	1.00
15-18 años	0.90

Valores proporcionados por Servicios de Salud de Yucatán.

6.1.4.2 Factores de emisión

Se emplearon los factores de emisión las Directrices del IPCC, nivel 1 (1996) para los inventarios de gases de efecto invernadero (Tabla 6.6).

Tabla 6.6 Factores empleados para la estimación de óxido nitroso de excrementos humanos

Factor	Valor
Fracción de Nitrógeno en la proteína	0.16 Kg N / Kg de Proteína
Factor de emisión	0.01 Kg N ₂ O-N/Kg excretas-N producidas

Valores por defecto de las Directrices del IPCC (1996) para los inventarios de gases de efecto invernadero.

6.1.5 Emisiones de óxido nitroso y bióxido de carbono procedentes de la incineración de residuos peligrosos

La incineración se define como la combustión de los desechos sólidos y líquidos en instalaciones de incineración controladas. Los gases emitidos por esta actividad incluyen el bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Normalmente, las emisiones de CO₂ provenientes de la incineración de desechos son más significativas que las emisiones de CH₄ y N₂O.

6.1.5.1 Datos de actividad

Los datos fueron proporcionados por la empresa Ecología del Mayab S.A. de C.V., encargada de la incineración de Residuos Peligrosos Biológico infecciosos (RPBI) en Mérida Yucatán. Los datos reportados por la empresa indican que en el 2005 se incineró aproximadamente 264 toneladas de RPBI, a partir de los cuales se estimó los gases de efecto invernadero generado por dicha actividad.

6.1.5.2 Factores de emisión

Se emplearon los factores de emisión por defecto propuestos en la Guía de las Buenas Prácticas del IPCC-1996 (Tabla 6.7).

Tabla 6.7 Factores empleados para la estimación de gases de efecto invernadero de la incineración de residuos peligrosos biológico infecciosos

Factor	Valor
Contenido de carbono en los desechos	0.60 (%/100)
Fracción de carbón fósil	0.40 (%/100)
Eficiencia de combustión	0.95 (%/100)

Valores por defecto de la Guía de las Buenas Prácticas del IPCC-1996.

6.2 Resultados

6.2.1 Emisiones de metano procedentes de residuos sólidos municipales

Las emisiones de metano generadas por esta actividad en el 2005 en el Estado de Yucatán fueron de 14.08 Gg, o lo que es igual a 295.68 Gg de CO₂ equivalente. El municipio de Mérida es el que mayor contribuye a la generación de emisiones en esta subcategoría con el 51.04%, seguido de Tizimín y Valladolid con el 3.94 y 3.49%, respectivamente. Estos resultados se relacionan directamente con la población, pues son los municipios más poblados, después de Mérida.

6.2.2 Emisiones de metano procedentes de las aguas residuales municipales

Las emisiones de metano generadas por esta actividad en el 2005 fueron de 0.16 Gg, o lo que es igual a 3.36 Gg de CO₂ equivalente. Esta pequeña cantidad emitida por esta actividad se debe a que sólo una pequeña parte de la población de Yucatán en el 2005 contaba con servicio de tratamientos de aguas residuales. También cabe señalar que no se contó con un sistema de captura y quema del gas, por lo que podría aprovecharse para la recuperación de energía.

6.2.3 Emisiones de bióxido de carbono procedentes de la incineración de residuos peligrosos

El principal gas generado en esta actividad fue CO₂ con 0.22 Gg en el año 2005. También se cuantificaron los gases: óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO), 1.29 y 0.29 × 10⁻³ Gg respectivamente. Sin embargo, estos últimos dos gases no representan una cantidad significativa, ya que se encuentran dentro de los límites de emisión establecidos en la NOM-098-SEMARNAT-2002, para la incineración de residuos, por lo que no fueron considerados en el presente inventario.

6.2.4 Emisiones de óxido nitroso procedente de excretas humanas

En la tabla 6.8 se muestran emisiones de óxido nitroso generados por las excretas humanas de la población del Estado de Yucatán, el total es 0.10 Gg, lo que es igual a 31.04 Gg de CO₂ equivalente.

Tabla 6.8 Emisiones de óxido nitroso generado por la población del Estado de Yucatán

Edad (años)	Peso por edad (kg/año) ^a	Ingesta de proteína (g/kg día) ^b	Total de Ingesta de proteínas (g/día)	Total de Ingesta de proteínas (kg/año)	Población ^c	Emisión de N ₂ O
0-1	7.88	1.85	14.59	5.32	31267	3.30E-04
1-2	10.51	1.20	12.61	4.60	31808	3.60E-04
2-3	13.14	1.20	15.77	5.75	34598	5.00E-04
3-4	14.72	1.10	16.19	5.91	35334	5.20E-04
4-5	17.36	1.10	19.10	6.97	36568	6.40E-04
5-6	20.40	1.10	22.45	8.19	36536	7.50E-04
6-7	23.48	1.10	25.83	9.42	33900	8.00E-04
7-8	26.55	1.00	26.55	9.69	34799	8.40E-04
8-9	29.47	1.00	29.47	10.75	35666	9.60E-04
9-10	33.34	1.00	33.34	12.17	35590	1.08E-03
10-11	37.68	1.00	37.68	13.75	38030	1.31E-03
11-12	38.94	1.00	38.94	14.21	37011	1.32E-03
12-13	47.25	1.00	47.25	17.24	38938	1.68E-03
13-14	51.97	1.00	51.97	18.97	37453	1.78E-03
14-15	52.36	1.00	52.36	19.11	36617	1.75E-03
15-16	58.25	0.90	52.42	19.13	37897	1.82E-03
16-17	60.63	0.90	54.57	19.92	36328	1.81E-03
17-18	58.71	0.90	52.83	19.28	36778	1.78E-03
18-19	58.70	0.90	52.83	19.28	38750	1.87E-03
mayores de 19	--	--	75.00	27.38	1135080	7.81E-02
TOTAL					1818948	10.02E-02

^a Valores obtenidos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2005 (Ensanut, 2006).

^b Valores proporcionados por Servicios de Salud de Yucatán.

^c Valores obtenidos del Anuario Estadístico Yucatán 2006 (INEGI, 2006).

6.2.5 Distribución de las Emisiones de la categoría de desechos en el Estado de Yucatán 2005

El total de gases emitidos en el 2005 de esta categoría es 330.30 Gg de CO₂ equivalente, de los cuales el 89.52% fueron generados la disposición final de residuos sólidos, seguido por las emisiones generadas por excretas humanas (9.40%), tratamiento de aguas residuales (1.02%) y por la incineración de residuos peligrosos biológico infecciosos (0.06%) (Figura 6.3). En la Tabla 6.9 se muestra la incertidumbre estimada en cada subcategoría, calculada

a partir de los valores reportados en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002.

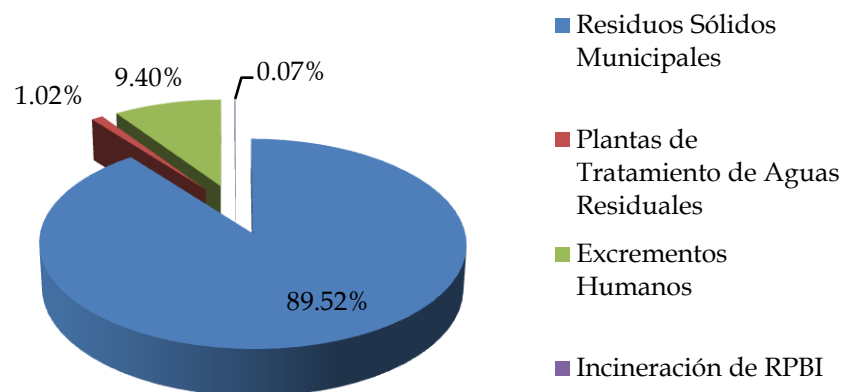


Figura 6.3 Distribución de las emisiones de la categoría desechos en el Estado de Yucatán 2005.

Tabla 6.9 Resumen de las emisiones generadas en la categoría con su incertidumbre

Subcategoría	CO ₂ equivalente (Gg)	Incertidumbre (%)
Residuos sólidos en sitios de disposición final	295.68	43.77
Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales	3.36	0.57
Incineración de residuos peligrosos biológico infecciosos	0.22	0.02
Excrementos humanos	31.04	3.51
TOTAL	330.3	47.87

6.2.6 Discusión

En el 2005 el municipio de Mérida concentró el 42.94% de la población total en el 2% de la superficie del Estado. Por consiguiente, la disposición final de residuos sólidos de este municipio tuvo como resultado la emisión del 51% del total generado de metano. Cabe señalar que en el 2005 no se contaba con un sistema de captura y quema de metano. Por lo que representa una oportunidad para el aprovechamiento de energía.

El metano generado por las aguas residuales municipales no reflejó una cantidad significativa debido a que pocas personas contaban con este servicio en el 2005. En la mayoría de los domicilios del municipio de Mérida, el efluente doméstico es descargado al subsuelo por medio de tanques sépticos, y en algunos otros se utilizan pozos someros de aproximadamente 6 m de profundidad (conocidos como sumideros), los cuales descargan sus aguas semitratadas al acuífero a través de pozos. Es posible que la operación de estos sistemas para el tratamiento de aguas residuales haya generado cantidades significativas de metano, no obstante se requiere de estudios más detallados para su cuantificación.

Por otra parte, las emisiones generadas por la incineración de residuos peligrosos biológico-infecciosos realizados por la empresa Ecología del Mayab, S.A. de C.V. no representan cantidades significativas de gases de efecto invernadero, debido a la baja cantidad de residuos incinerados.

6.3 Conclusiones y recomendaciones

Los gases de efecto invernadero estimados en esta categoría muestran que la mayor cantidad de emisiones generadas en el 2005 es por la disposición final de residuos sólidos en forma de gas metano, este gas puede ser aprovechado para la recuperación de energía. También se observó que la menor cantidad de gases proveniente de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, sin considerar las emisiones generadas por sistemas domésticos. Por lo mencionado anteriormente, es necesario considerar la implementación de tecnologías para la recuperación de energía y estudios más detallados en futuros inventarios.

6.3.1 Medidas para la mitigación de gas metano procedentes de residuos sólidos municipales

6.3.1.1 Utilización del gas metano procedente de sitios de disposición final de residuos sólidos

En la actualidad existen diversas maneras de aprovechar el gas metano (biogás) producido en los rellenos sanitarios, la elección del sistema y la tecnología, dependerá del uso final del biogás y de la solvencia económica.

El biogás se puede utilizar en sistemas de combustión directa (calderas, turbinas, hornos) para la producción de calefacción, calentamiento de agua, secado, y producción de vapor. También puede ser empleado directamente en turbinas de gas para producir electricidad. Una opción alternativa de utilización de biogás es el uso en motores de combustión interna fijos o móviles. Aunque si se le aplica un proceso de purificación puede incorporarse a una tubería de gas natural. En la Tabla 6.10 se presenta un resumen de la utilización del biogás generado de sitios de disposición final.

Tabla 6.10 Utilización del biogás

Aplicación	Ejemplos
Aprovechamiento directo del calor generado por su combustión	Calderas industriales Hornos Turbina
Generación de electricidad	Procesamiento y uso en celdas de combustible Turbinas de gas
Purificación	Incorporación a la red local de gas natural

6.3.1.2 Utilización de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales

El Anuario Estadístico Yucatán 2006 (INEGI, 2006), reporta que la ciudad de Mérida generó el 51% de residuos sólidos del total del Estado (Tabla 6.1) y de éstos, aproximadamente el 60% fueron

depositados en relleno sanitario Tipo A (257, 361.5 Ton/año). Como se muestra en la figura 6.4, el mayor porcentaje está representado por residuos sólidos de origen orgánico, los cuales pueden aprovecharse por medio de compostaje, que consiste en la descomposición biológica de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas controladas para formar un producto final estable conocido como humus. Además de reducir los residuos orgánicos, el humus es utilizado como abono en la agricultura y jardinería, así como para el control de la erosión y recuperación de suelos.

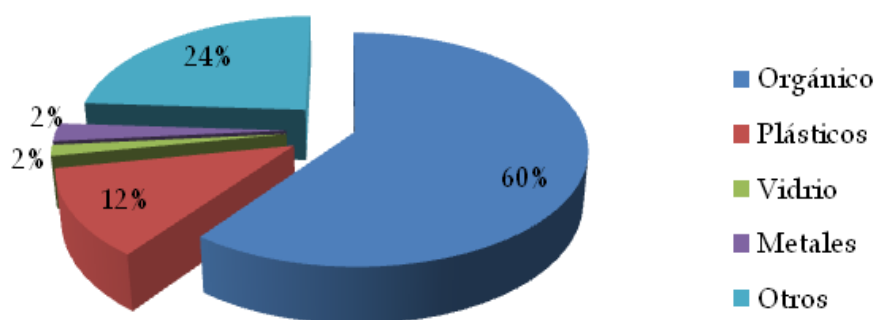


Figura 6.4. Composición porcentual promedio de subproductos del relleno sanitario de Mérida.

6.3.2 Medidas para la mitigación de gas metano procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales

6.3.2.1 Utilización de la materia orgánica procedente de plantas de tratamiento de aguas residuales

En el tratamiento de aguas residuales municipales se puede emplear un sistema de cogeneración que se muestra en la figura 6.5, para generar electricidad y calor. Este sistema requiere de un tanque de sedimentación primario con el fin de eliminar materiales suspendidos sedimentables antes del tratamiento secundario, con el propósito de enviar los sólidos biodegradables a un digestor anaerobio convencional. El efluente pasa a un biodigestor

anaerobio con filtración por membrana que puede prevenir la pérdida de sólidos biológicos en el efluente y así mantener un tiempo de retención de sólidos suficientemente alta como se requiere para la biodegradación eficiente de compuestos orgánicos. Una contracorriente de aire de extracción unidad es la última etapa del proceso, con el propósito de retirar y capturar el metano disuelto.



Figura 6.5 Sistema para el tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas y generación de electricidad.

Por otra parte, se mencionó anteriormente que en el Estado de Yucatán una parte de la población utiliza sumideros para el tratamiento de aguas residuales, debido a su sencillez y bajo costo, sin embargo no es un método efectivo y es propenso a contaminar el manto freático. Por ello, se recomienda implementar programas que den apoyo de financiamiento para sistemas de tratamiento de aguas residuales en hogares con bajos recursos, como el siguiente:

Biodigestor tipo bolsa con filtro percolador

Este sistema es una modificación del biodigestor empleado por SEDUMA para el tratamiento de aguas residuales porcícolas (biodigestor tipo bolsa con humedal). Inicialmente, las aguas residuales son depositadas en un biodigestor tipo bolsa (que genera biogás para quemarlo y aprovechar el calor), luego el efluente pasa a través de un filtro percolador y finalmente el agua

tratada procedente del filtro percolador se distribuye por debajo de la superficie del suelo.

Se presentan estas recomendaciones de mitigación de gas metano procedentes de residuos sólidos municipales, para ser consideradas en la segunda fase del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Yucatán donde se realizará un análisis más detallado.

Referencias

Energía

Cédula de Operación Anual Estatal, 2005.

Cédula de Operación Anual Federal, 2005.

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

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación en Yucatán, 2005.

Petróleos Mexicanos (PEMEX). Dirección General, Gerencia de Representación Social, Representación en Mérida Yucatán. Oficio No. GCS-YUC-005/2012 Venta de petrolíferos en el Estado de Yucatán.

Plan Estatal de Desarrollo 2012-2018.

Secretaría de Fomento Económico (www.sefoe.yucatan.gob.mx/esp/ventajas/infraestructura-electrica.php).

Procesos industriales

Asociación Mexicana de Agencias de Investigación de Mercado y Opinión Pública (AMAI), 2003. (www.amai.org/pdfs/revista-amai/revista-amai-articulo-20050720_155948.pdf)

Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC), 2011. (www.anipac.com.mx).

Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero (CANACERO), 2011. (www.canacero.org.mx/).

Cédula de Operación Anual Federal del Estado de Yucatán (COA), 2005.

Cementos Mexicanos (CEMEX), 2011. Tipos de Cemento. (www.cemexmexico.com/Cemento/TiposCemento.aspx).

Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 1996. Procesos Industriales.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2004. Microdatos de Censos Económicos 2004 del Estado de Yucatán, folio INEGI-A66869

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2004^a.

Unidades económicas de la industria manufacturera del Estado de Yucatán.

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce1999/saic/default.asp?modelo=SCIAN&censo=2004>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2005^a. Censo de población y vivienda. Viviendas particulares y ocupantes por municipio según disponibilidad de bienes en la vivienda.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2005^b. Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación, Yucatán.

Inventario Nacional de Emisiones de Gases de efecto Invernadero 1990-2002.

Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 2000.

Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI), 2005. Datos obtenidos del Programa de Financiamiento para el Ahorro de Energía Eléctrica (PFAEE), Yucatán.

The National Lime Association, 2011. Producción de cal. (www.lime.org/lime_basics/index.asp).

World Business Council for Sustainable Development: The Cement Sustainability Initiative (WBCSD), 2011. (www.wbcscement.org/index.php?option=com_content&task=view&id=69&Itemid=140).

Agricultura

Barrera, G., Finsner, E. Castuna y V. Maldonado. 2011. Reducción de emisiones de metano provenientes del ganado bovino. (En línea: www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/reduccion_de_metano_en_bovinos.pdf). Duran, G. R. y G. García C. 2010. Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán: Ecosistemas y comunidades I. Ed. CICY. Yucatán, México. 135 p.

INE Y SEMARNAT, 2006. Inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero 1990-2002.

INEGI, 2004. Anuario estadístico Yucatán Agricultura 2002/2003. (www.diputados.gob.mx/USIEG/anuarios/yucatan/Agricultura.xls). (07/ENE/2012).

INEGI, 2005. Anuario estadístico Yucatán de Agricultura 2003/2004. (www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aee05/estatal/yuc/index.htm). (07/ENE/2012).

INEGI, 2008. Anuario estadístico Yucatán de Agricultura 2007. (www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/int/nav/aee/08/yuc/c31_10.xls). (07/ENE/2012).

INEGI, 2009. Anuario estadístico Yucatán de Agricultura 2008. (www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/sisnav/default.aspx?proy=aee&edi=2009&ent=31). (07/ENE/2012).

- INEGI, 2010. Anuario estadístico Yucatán de Agricultura 2009. (www.inegi.org.mx/est/contenidos/español/sistemas/aeel0/info/yuc/c31_11.xls). (07/ENE/2012).
- INIFAP CIR Sureste. Paquetes tecnológicos de la producción de los cultivos: maíz, chile habanero, sandía, papaya, melón y tomate. (www.inifap.gob.mx).
- IPCC, 1996. Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo vol. 2.
- OIDRUS Yucatán. Anuarios Agrícolas 2001-2008. (www.campoyucatan.gob.mx/OEIDRUS/Productos/Anuarios/anuarios_agri.htm). (20/DIC/2011).
- SIACOM. Información de la producción agrícola y pecuaria nacional por entidad de los años 1980-2010. (www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=378). (20/DIC/2011).
- SIAP. Población ganadera, avícola y apícola 2001-2010. (www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecuario/PoblacionGanadera/EstadoRegion/yucpob.pdf9). (7/dic/2011).
- Soria F. M, J. Tun S., A Trejo R. y R. Terán S. 2000. Tecnología para la producción de hortalizas a cielo abierto en la península de Yucatán. Centro de Investigación y Graduados Agropecuarios. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. México. pp. 108-160.

Uso del Suelo y Cambio del Uso de Suelo y Silvicultura

- Flores, G. S., R. Durán y J. J. Ortiz. 2010. Comunidades vegetales terrestres. En: Durán R. y M. Méndez (Eds). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 p.

- Quiróz-Carranza, J., C. Cantú, R. Díaz y R. Orellana. 2010. Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y Bosques*. 16 (2): 47-67.
- Loa E., M. Cervantes, L. Durand y A. Peña. 1998. 4. Uso de la biodiversidad. En: *La diversidad biológica de México: Estudio de País 1998, Parte III Recursos Naturales*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO. México, D.F. pp. 103-154.
- Masera, O., M. J. Ordoñez, R. Dirzo, 1997. Carbon emissions from mexican forests: the current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295. Sheinbaum, C. y O. Masera. 2000. Mitigating carbon emissions while advancing national development priorities: The case of Mexico. *Climatic Change* 47: 259-282.
- Soto-Pinto, L., B. Jong, E. Esquivel-Bazan y G. Jiménez. 2012. ECOSUR, Scolel-té: Captura de carbono para el desarrollo local. *Gaceta Ciencia y Tecnología México*, publicación mensual digital. Sistema de Centros Públicos de Investigación CONACyT. Consejo Asesor de Divulgación, Comunicación y Relaciones Públicas (CADI) del Sistema de CPI.

Desechos

- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*, diciembre 2005.
- ENSANUT. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición*, 2006.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Anuario Estadístico Yucatán* 2006.
- IPCC, 4th Assessment Report: *Climate Change, Synthesis Report*, 2007.

JAPAY. Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en operación, 2005.

Malik A. V.; Lerner S. L.; MacLean D. L., Electricity, methane and liquid carbon dioxide production from landfill gas, Gas Separation & Purification 1, 77-83, 1987.

Préndez M.; Lara-González S., Application of strategies for sanitation management in wastewater treatment plants in order to control/reduce greenhouse gas emissions, Journal of Environmental Management 88, 658-664, 2008.

SEDUMA. Informe del Diagnostico Integral para el Manejo de Residuos Sólidos en el Estado de Yucatán. Secretario de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, 2008.

Talyan V.; Dahiya R. P.; Anand S.; Sreekrishnan T. R., Quantification of methane emission from municipal solid waste disposal in Delhi, Resources, Conservation and Recycling 50, 240-259, 2007.

Wang J.; Zhang J.; Xie H; Qi P.; Ren Y.; Hu Z., Methane emissions from a full-scale wastewater treatment plant, Bioresource Technology 102, 5479-5485, 2011.

Responsables Técnicos del Presente Inventario

Coordinadora Técnica: Dra. Mascha Afra Smit, Directora de la Unidad de Energía Renovable del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)

Coordinadora de operación: M. en C. Juana Arely Erosa Solis

Responsable de operación de la categoría Energía: M. en C. Patricia Yolanda Contreras Pool

Responsable de operación de la categoría Procesos Industriales: M. en C. Limberg Alejandro Gómez Roque

Responsable de operación de la categoría Agricultura: M. en C. Cesar Jacier Tucuch Haas

Responsable de la categoría Uso del Suelo, Cambio del Uso de Suelo y Silvicultura: M. en C. Ricardo Balam Narváez

Responsable de la categoría de Desechos: M. en C. Roberto Andrés Us Vázquez

Anexo 1

Resumen de Emisiones / Remociones de Gases Efecto Invernadero por categoría para el Estado de Yucatán del año 2005.

SECTOR/ CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	EMISIONES GEI (Gg)				EMISIONES GEI INDIRECTOS (Gg)			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ equivalente	NO _x	CO	COVDM	SO ₂
1. ENERGÍA	Industrias de la Energía	3,445.71	0.15788	0.0287	3,457.93	12.9055	1.2178	0.36	9.57
	Industrias Manufactureras	387.29	0.01165	0.0024	388.29	0.8999	0.0621	0.02	0.53
	Transporte	2,139.66	0.47122	0.02	2,155.97	20.18	172.21	32.45	0.83
	Servicios	3.89	0.00533	0.00	4.09	0.01	0.00108	0.00	0.01
2. PROCESOS INDUSTRIALES	Productos Minerales No Metálicos	427.53	-	-	427.53	-	-	18.50	0.21
	Industria Química	-	-	-	-	-	-	0.89	-
	Industria de los metales	0.07	-	-	0.07	0.002	0.002	0.001	0.001
	Alimentos y Bebidas	-	-	-	-	-	-	0.99	-
	Consumo de Halocarburos y SF ₆	-	-	-	161.13	-	-	-	-
3. AGRICULTURA	Fermentación entérica	-	41.86	-	879.06	-	-	-	-
	Manejo del Estiércol	-	-	0.61	187.64	-	-	-	-
	Suelos Agrícolas	-	-	2.51	778.10	-	-	-	-
4. USCUSS	Cambio de biomasa en bosques y otros tipos de Vegetación Leñosa	805.99	-	-	805.99	-	-	-	-
	Conversión de bosques y praderas	528.31	-	-	528.31	-	-	-	-
	Abandono de áreas manejadas	-1,833.99	-	-	-1,833.99	-	-	-	-
	Emisiones de gases traza distintos de CO ₂	-	1.08	0.010	25.78	0.27	9.45	-	-
5. DESECHOS	Residuos Sólidos Municipales	-	14.08	-	295.68	-	-	-	-
	Plantas de tratamiento de Aguas Residuales	-	0.16	-	3.36	-	-	-	-
	Excrementos Humanos	-	-	0.10	31.04	-	-	-	-
	Incineración de RPBI	0.22	-	-	0.22	-	-	-	-
TOTAL	5,904.68	57.82	3.28	8,296.2	34.26	182.94	53.47	11.151	

Anexo 2

Cálculo y presentación de la incertidumbre en el sector Procesos Industriales

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Categoría de fuentes del IPCC	Gas	Emisiones año base	Emisiones año t (2005)	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones estatales en el año t	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones estatales introducida por la incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones estatales introducida por la incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones estatales totales
		Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \bullet D}{\sum D}$	Nota B	$\frac{D}{\sum C}$	I • F	J • E • $\sqrt{2}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$
		Gg equivalente CO ₂	Gg equivalente CO ₂	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Producción de cemento	CO ₂	337	337	35	8	35.90	28.28	0	1	0	49.50	49.50
Producción de cal	CO ₂	91	91	17	15	22.67	4.81	0	1	0	24.04	24.04
Producción de hierro y acero	CO ₂	0	0	50	5	50.25	0.01	0	1	0	70.71	70.71
		$\sum C$	$\sum D$				$\sqrt{\sum H^2}$					$\sqrt{\sum M^2}$
Total		428	428				28.68					89.60

Anexo 3

Tabla 4.12 Emisiones de metano en Gg procedente de la fermentación entérica y manejo del estiércol de ganado para el periodo 2001-2010

Ganado	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
B. leche	2.33	2.36	2.50	1.86	1.42	1.08	0.76	0.77	0.64	0.65
B. carne	30.71	31.12	33.13	32.25	31.29	29.08	26.99	25.27	26.26	26.56
Ovino	0.30	0.40	0.37	0.45	0.53	0.57	0.58	0.59	0.68	0.78
Caprino	0.00	1.50E-3	8.00E-4	7.00E-4	4.00E-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Porcino	1.96	1.95	1.7889	2.01	8.34	1.70	1.53	1.52	1.52	1.53
Aves	0.31	0.32	0.2617	0.28	0.29	0.29	0.28	0.29	0.31	0.31
Total	35.60	36.14	38.05	36.84	41.86	32.72	30.13	28.45	29.39	29.83
CO₂ eq	747.61	758.92	799.13	773.66	879.06	687.05	632.71	597.50	617.25	626.46

Nota: Los datos en color rojo, son los que se reportaron como año base.

Tabla. 4.13 Emisiones de óxido nitroso en Gg procedentes de los diferentes sistemas de manejo del estiércol para el periodo 2001-2010

Sistemas	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Líquido	3.97E-03	3.99E-03	3.51E-03	3.85E-03	3.54E-03	3.55E-03	3.31E-03	3.35E-03	3.43E-03	3.47E-03
&Alm.	5.87E-01	5.90E-01	5.85E-01	6.05E-01	5.43E-01	5.23E-01	4.83E-01	4.60E-01	4.66E-01	4.71E-01
Otros	1.05E-01	1.05E-01	9.30E-02	1.10E-01	5.06E-02	9.41E-02	8.80E-02	8.87E-02	9.12E-02	9.21E-02
Total	6.96E-01	6.99E-01	6.81E-01	7.10E-01	6.05E-01	6.21E-01	5.74E-01	5.52E-01	5.61E-01	5.66E-01
CO₂ eq	215.82	216.71	211.21	220.19	187.64	192.52	178.02	171.09	173.85	175.60

&. Almacenamiento de sólidos y parcelas secas.

Nota: los datos en color rojo, son los que se reportaron como año base.

Tabla 4.14. Total de óxido nitroso y su CO2 equivalente en Gg emitidos por los suelos agrícolas en el periodo 2001-2010

Año	N ₂ O	CO ₂
2001	2.61	809.10
2002	2.65	821.50
2003	2.63	815.30
2004	2.63	815.30
2005	2.51	781.20
2006	2.41	747.10
2007	2.30	713.00
2008	2.07	641.70
2009	2.24	694.40
2010	2.30	713.00
Promedio	2.43	755.16

Nota: los datos en color rojo, son los que se reportaron como año base

Tabla 4.15 Resultado del total para cada año de la categoría agricultura para el periodo 2001-2010

Actividad	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Ganadería	963.40	975.60	1010.30	993.80	1066.7	879.50	810.7	768.5	791.1	802.1	9061.7
Agricultura	809.10	821.50	815.30	815.30	778.10	747.10	713.0	641.7	694.4	713.0	7548.5
Total	1772.50	1797.10	1825.60	1809.10	1844.88	1626.60	1523.7	1410.20	1485.5	1515.1	16610.28

Nota: los datos en color rojo, son los que se reportaron como año base.

Tabla 4.16 Estimación de las incertidumbres de la categoría Agricultura

Categoría de fuentes del IPCC	Gas	Emisiones año base (2005)	Emisiones año t (2010)	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre en la tendencia en las emisiones nacionales introducida por la incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones totales
		Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \bullet D}{\Sigma D}$	Nota B	$\frac{D}{\Sigma C}$	$\frac{I \bullet F}{\text{Nota C}}$	$\frac{J \bullet E \bullet \sqrt{2}}{\text{Nota D}}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$
		Gg equivalente CO ₂	Gg equivalente CO ₂	%	%	%	%	%	%	%	%	%
4A1. FERMENTACIÓN ENTÉRICA	CH ₄	739.00	626.00	20	20	28.28	27.20	-1.00E-3	0.85	-0.03	23.97	23.97
4A2. MANEJO DEL ESTIÉRCOL	N ₂ O	0.20	0.18	20	20	28.28	0.01	0.00	0.89	0.00	25.14	25.14
4.B2. SUELOS AGRÍCOLAS	N ₂ O	28.00	25.00	20	20	28.28	1.08	1.00E-3	0.89	0.03	25.14	25.14
		ΣC	ΣD				$\sqrt{\Sigma H^2}$					$\sqrt{\Sigma M^2}$
Total		767.20	651.00				27.22					42.88

ESTATUS DE LOS SECTORES

CATEGORÍA DE EMISIÓN	ESTATUS	COMENTARIO
1 ENERGÍA		
1A Consumo de Combustibles fósiles		
1A1 Industria generadora de energía	√	
1A1a Producción de electricidad	√	
1A1ai Generación de electricidad pública	√	
1A1aii Generación combinada de electricidad y calor	√	
1A1aiii Generación de calor	√	
1A1b Refinación de petróleo	NO	Actividad no realizada en la entidad
1A1c Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de energía	NO	Actividad no realizada en la entidad
1A1ci Manufactura de combustibles sólidos	NO	Actividad no realizada en la entidad
1A1cii Otras industrias de energía	NO	Actividad no realizada en la entidad
1A2 Manufactura e industria de la construcción	√	
1A2a Hierro y Acero	√	
1A2b Metales no ferrosos	√	
1A2c Productos químicos	√	
1A2d Pulpa, papel e impresión	√	
1A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	√	
1A2f Otros		
1A3 Transporte	√	
1A3a Aviación civil	√	
1A3aii Aviación doméstica	√	
1A3b Autotransporte	√	
1A3bi Vehículos automotores	√	
1A3bii Camionetas y vehículos ligeros de carga	√	
1A3biii Camiones y autobuses	√	

√ Estimado, **NO** No ocurre o No aplica, **NE** No estimado, **NA** No disponible, **IE** Incluido en otra fuente, **C** Confidencial, **0** No significativo

CATEGORÍA DE EMISIÓN	ESTATUS	COMENTARIO
1A3biv Motocicletas	√	
1A3bv Emisiones fugitivas de vehículos	NE	No se contaba con datos de actividad
1A3c Ferrocarril	NA	No se contaba con datos de actividad
1A3d Navegación	√	
1A3dii Navegación nacional	NO	No aplica
1A3e Otros medios de transporte	NE	No se contaba con datos de actividad
1A3ei Transporte por otros medios	NE	No se contaba con datos de actividad
1A3eii Transporte fuera de vías de comunicación	NE	No se contaba con datos de actividad
1A4 Otros sectores	√	
1A4a Comercio y sectores institucionales	NA	No se contaba con datos de actividad
1A4b Residencial	NE	No se contaba con datos de actividad
1A4c Agricultura, pesca y forestal	NA	No se contaba con datos de actividad
1A4ci Fuentes fijas (estacionarias)	√	
1A4cii Vehículos fuera de vías de comunicación y otra maquinaria	NE	No se contaba con datos de actividad
1A4ciii Pesca	NE	No se contaba con datos de actividad
1A5 Otros no especificados previamente		
1A5a Fuentes fijas (estacionarias)	√	
1A5b Fuentes móviles	√	
1B Emisiones fugitivas de combustibles	NO	Actividad no realizada en la entidad
1B1 Combustibles sólidos	NO	
1B1a Minería de carbón	NO	
1B1ai Minas subterráneas	NO	

√ Estimado, **NO** No ocurre o No aplica, **NE** No estimado, **NA** No disponible, **IE** Incluido en otra fuente, **C** Confidencial, **0** No significativo

CATEGORÍA DE EMISIÓN	ESTATUS	COMENTARIO
1B1aii Minas a cielo abierto (en superficie)	NO	
1B1b Transformación de combustibles sólidos	NO	
1B1c Otros		
1B2 Petróleo y gas natural	NO	Actividad no realizada en la entidad
1B2a Petróleo	NO	
1B2ai Exploración	NO	
1B2aii Producción	NO	
1B2aiii Transporte	NO	
1B2aiv Refinación y almacenamiento	NO	
1B2v Distribución	NO	
1B2vi Otros	NO	
1B2b Gas natural	NO	
1B2bi Producción y procesamiento	NO	
1B2bii Distribución	NO	
1B2bii Fugas	NO	
1B2c Venteo y combustión en quemadores	NO	
1B2ci Petróleo	NO	
1B2cii Gas natural	NO	
1B2ciii Combinado	NO	
2 PROCESOS INDUSTRIALES		
2A Productos minerales		
2A1 Producción de cemento	√	
2A2 Producción de óxido e hidróxido de calcio	√	
2A3 Uso de piedra caliza y dolomita	√	En la producción de Cal
2A4 Producción y uso de carbonato de sodio	NO	
2A5 Impermeabilizantes asfaltados	NO	
2A6 Pavimentación con asfalto	√	

√ Estimado, **NO** No ocurre o No aplica, **NE** No estimado, **NA** No disponible, **IE** Incluido en otra fuente, **C** Confidencial, **0** No significativo

CATEGORÍA DE EMISIÓN	ESTATUS	COMENTARIO
2A7 Otros		
2B Industria química		
2B1 Producción de amonio	NO	
2B2 Producción de ácido nítrico	NO	
2B3 Producción de ácido adípico	NO	
2B4 Producción de carburos	NO	
2B5 Otros	√	Productos basados en solventes
2C Producción de metales		
2C1 Producción de hierro y acero	√	
2C2 Producción de ferroaleaciones	NO	
2C3 Producción de aluminio	NO	
2C4 Uso de SF ₆ en fundidoras de aluminio y magnesio	NO	
2C5 Otros		
2D Otros procesos industriales		
2D1 Pulpa y papel	NO	
2D2 Alimentos y bebidas	√	
2E Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre		
2E1 Emisiones como residuos o subproductos	NO	
2E2 Emisiones fugitivas	NO	
2E3 Otros		
2F Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre		
2F1 Equipos de refrigeración y aire acondicionado	√	
2F2 Espumas	NA	
2F3 Extinguidores	NA	
2F4 Aerosoles	NA	
2F5 Solventes	NO	
2F6 Otros		
2G Otros		
4 AGRICULTURA		
4A Fermentación Entérica	√	

√ Estimado, **NO** No ocurre o No aplica, **NE** No estimado, **NA** No disponible, **IE** Incluido en otra fuente, **C** Confidencial, **0** No significativo

CATEGORÍA DE EMISIÓN	ESTATUS	COMENTARIO
4A1 Vacas	√	
4A1a Lecheras	√	
4A1b No Lecheras	√	
4A2 Bufalo	NO	
4A3 Ovejas	√	
4A4 Cabras	√	
4A5 Camellos y llamas	NO	
4A6 Caballos	NA	No hay datos de cantidad reportados
4A7 Mulas y asnos	NA	No hay datos de cantidad reportados
4A8 Cerdos	√	
4A9 Aves	√	
4A10 Otros	NO	
4B Manejo de estiércol	√	
4B1 Vacas	√	
4B1a Lecheras	√	
4B1b No Lecheras	√	
4B2 Búfalo	NO	
4B3 Ovejas	√	
4B4 Cabras	NO	
4B5 Camellos y llamas	NO	
4B6 Caballos	NO	
4B7 Mulas y asnos	NO	
4B8 Cerdos	√	
4B9 Aves	√	
4B10 Fermentación (digestión) anaeróbica	NO	
4B11 Sistemas líquidos	√	
4B12 Almacenamiento en seco y lotes de secado	√	
4B13 Otros	√	
4C Cultivo de arroz	NO	
4C1 Cultivo irrigado	NO	
4C1a Inundado permanente	NO	

√ Estimado, **NO** No ocurre o No aplica, **NE** No estimado, **NA** No disponible, **IE** Incluido en otra fuente, **C** Confidencial, **0** No significativo

CATEGORÍA DE EMISIÓN	ESTATUS	COMENTARIO
4C1b Inundado intermitentemente	NO	
4C1bi Aeración sencilla	NO	
4C1bii Aeración múltiple	NO	
4C2 Cultivo de temporal	NO	
4C2a Zona propensa a inundaciones	NO	
4C2b Zona propensa a sequía	NO	
4C3 Cultivo en pantanos	NO	
4C3a Inundado con profundidad de 50 a 100 cm de agua	NO	
4C3b Inundado con profundidad de 100 o más cm de agua	NO	
4C4 Otros	NO	
4D Suelos agrícolas	√	
4E Quemadas programadas de suelo	NO	
4F Quemadas insitu de residuos agrícolas	NO	
4F1 Cereales	NO	
4F2 Leguminosas comestibles	NO	
4F3 Tubérculos y raíces	NO	
4F4 Caña de azúcar	NO	
4F5 Otros	NO	
4G Otros	NO	
5 USO DEL SUELO, CAMBIO DEL USO DE SUELO Y SILVICULTURA		
5A Tierras agrícolas (Cambios de biomasa de bosques y otros en tipos de vegetación leñosa)		
5A1 Bosques tropicales	√	
5A1a Húmedos / muy húmedos	√	
5A1b Húmedos, temporada seca corta	√	
5A1c Húmedos, temporada seca larga	√	
5A1d Secos	√	
5A1e Húmedo de montaña	NO	
5A1f Seco de montaña	NO	

√ Estimado, **NO** No ocurre o No aplica, **NE** No estimado, **NA** No disponible, **IE** Incluido en otra fuente, **C** Confidencial, **0** No significativo

CATEGORÍA DE EMISIÓN	ESTATUS	COMENTARIO
5A1g Plantaciones comerciales	√	
5A1h Otros	√	
5A2 Bosques templados	NO	
5A2a Coníferas	NO	
5A2b Broadleaf	NO	
5A2c Plantaciones	NO	
5A2d Otros	NO	
5A3 Bosques boreales	NO	
5A3a Mixto de coníferas y broadleaf	NO	
5A3b Coníferas	NO	
5A3c Bosque de tundra	NO	
5A4 Pastizales, sabana tropical y tundra	√	
5A5 Otras (Matorrales)	NO	
5B Tierras forestales (Conversión de bosques y praderas)		
5B1 Bosques tropicales	√	
5B1a Húmedos / muy húmedos	√	
5B1b Húmedos, temporada seca corta	√	
5B1c Húmedos, temporada seca larga		
5B1d Secos	√	
5B1e Húmedo de montaña	NO	
5B1f Seco de montaña	NO	
5B1g Plantaciones comerciales	√	
5B1h Otros	√	
5B2 Bosques templados	NO	
5B2a Coníferas	NO	
5B2b Broadleaf	NO	
5B2c Plantaciones	NO	
5B2d Otros	NO	
5B3 Bosques boreales	NO	
5B3a Mixto de coníferas y broadleaf	NO	
5B3b Coníferas	NO	
5B3c Bosque de tundra	NO	

√ Estimado, **NO** No ocurre o No aplica, **NE** No estimado, **NA** No disponible, **IE** Incluido en otra fuente, **C** Confidencial, **0** No significativo

CATEGORÍA DE EMISIÓN	ESTATUS	COMENTARIO
5B4 Pastizales, sabana tropical y tundra	NO	
5B5 Otras (Matorrales)	√	
5C Abandono de las tierras cultivadas		
5C1 Bosques tropicales	√	
5C2 Bosques templados	NO	
5C3 Bosques boreales	NO	
5C4 Pastizales y tundra	NO	
5C5 Otras (Matorrales)	√	
5D Emisiones y captura de CO2 del suelo	NO	
5E Otros	NO	
6 Residuos		
6A Disposición de residuos sólidos en suelo		
6A1 Disposición de residuos sólidos en suelo en rellenos sanitarios	√	
6A2 Disposición de residuos sólidos en tiraderos a cielo abierto con profundidad mayor o igual a 5 metros	NO	
6A3 Disposición de residuos sólidos en tiraderos a cielo abierto con profundidad menor a 5 metros	NE	No se cuenta con información suficiente para llevarse a cabo
6B Manejo y tratamiento de aguas residuales		
6B1 Aguas residuales industriales	NA	Se requiere mayor información
6B2 Aguas residuales domésticas y municipales	√	
6B3 Otros		
6C Incineración de residuos	√	
6D Otros	√	Se estimó emisiones de óxido nitroso procedentes de excretas humanas
OTRAS FUENTES DE EMISIONES		
Bunkers		
1A3ai Aviación internacional		
1A3di Navegación internacional		

√ Estimado, **NO** No ocurre o No aplica, **NE** No estimado, **NA** No disponible, **IE** Incluido en otra fuente, **C** Confidencial, **0** No significativo