

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA
ESTIMAR EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂),
METANO (CH₄) Y ÓXIDO NITROSO (N₂O) EN FUENTES
FIJAS PUNTUALES Y MÓVILES DEL ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (AMB).**

**DAVID ORLANDO PATIÑO TÉLLEZ
JHON JAIRO VERGEL B
ING HENRY CASTRO ORTIZ**

INGENIERÍA MECÁNICA UIS - CDMB

SEPTIEMBRE DE 2011



CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
2. JUSTIFICACIÓN
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO
4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA
5. CONCLUSIONES
6. RECOMENDACIONES



4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

IDENTIFICAR EL PROPÓSITO DE LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES

DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS NECESARIAS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES

TIPOS DE CONTAMINANTES

AÑO BASE

CARACTERÍSTICAS ESPACIALES

MANEJO DE DATOS

ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

TIPOS DE FUENTES

CARACTERÍSTICAS DE TIEMPO

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD (AC)

PROYECCIONES

DETERMINAR LAS FUENTES DE DATOS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES

SELECCIONAR LAS TÉCNICAS Y MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES

RECOPIRAR DATOS RELACIONADOS CON LAS EMISIONES (AC)

RECOPIRAR DATOS DE ACTIVIDAD (AC)

ESTIMAR CUANTITATIVAMENTE LAS EMISIONES (AC)

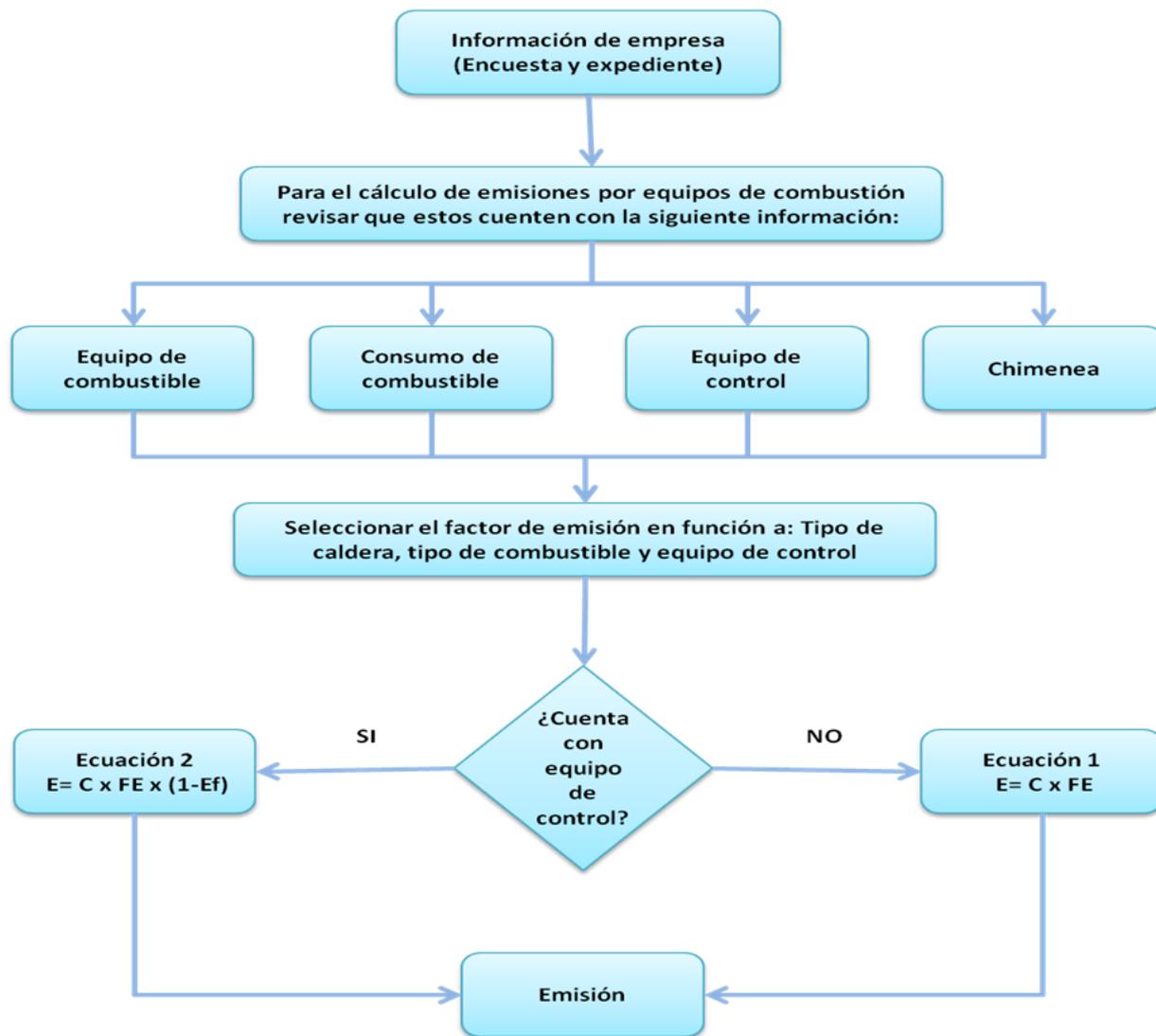
F.F.

F.M

EVALUAR LA INCERTIDUMBRE EN LOS RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES

DOCUMENTAR LOS RESULTADOS

TÉCNICAS Y MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES



ALGORITMO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN PARA FUENTES FIJAS

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Manual De Inventario De Fuentes Puntuales, Pág. 19.

TÉCNICAS Y MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES

EMISIONES DE CO₂ CON LOS DATOS DEL MUESTREO ISOCINÉTICO:

$$E_{\text{CO}_2} \left[\frac{\text{Mg}}{\text{Año}} \right] = \frac{\% \text{CO}_2 * \left(44 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}} \right) * Q_R \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (horas de funcionamiento)}}{10^5 * 22.4 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}}$$

Donde:

E_{CO_2} = Emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

44 = Corresponde al peso molecular del dióxido de carbono (CO₂)

%CO₂ = Porcentaje de dióxido de carbono en la muestra tomado del equipo analizador de gases

Q_R = Caudal en los gases de Chimenea

10⁵ = Factor de conversión para pasar de kilogramos a Mega gramos

22.4 = Concentración molar del dióxido de carbono (CO₂)

TÉCNICAS Y MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES

La Para llevar a cabo este procedimiento de estimación de emisiones es necesario disponer de los siguientes parámetros:

- Base de datos del tránsito municipal
- Características de los combustibles locales
- Tipo, cantidad y calidad del combustible que se consume
- Volumen y edad del parque automotor, Distribución del transporte urbano
- Uso de las vías principales
- Información meteorológica del AMB.

The screenshot shows a software interface with a table on the right side. The table has a 'Total' row at the top, followed by several rows of numerical data. Below the table, there are two 'OK' buttons. At the bottom of the screenshot, there is a flowchart titled 'IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA' with various steps and boxes.

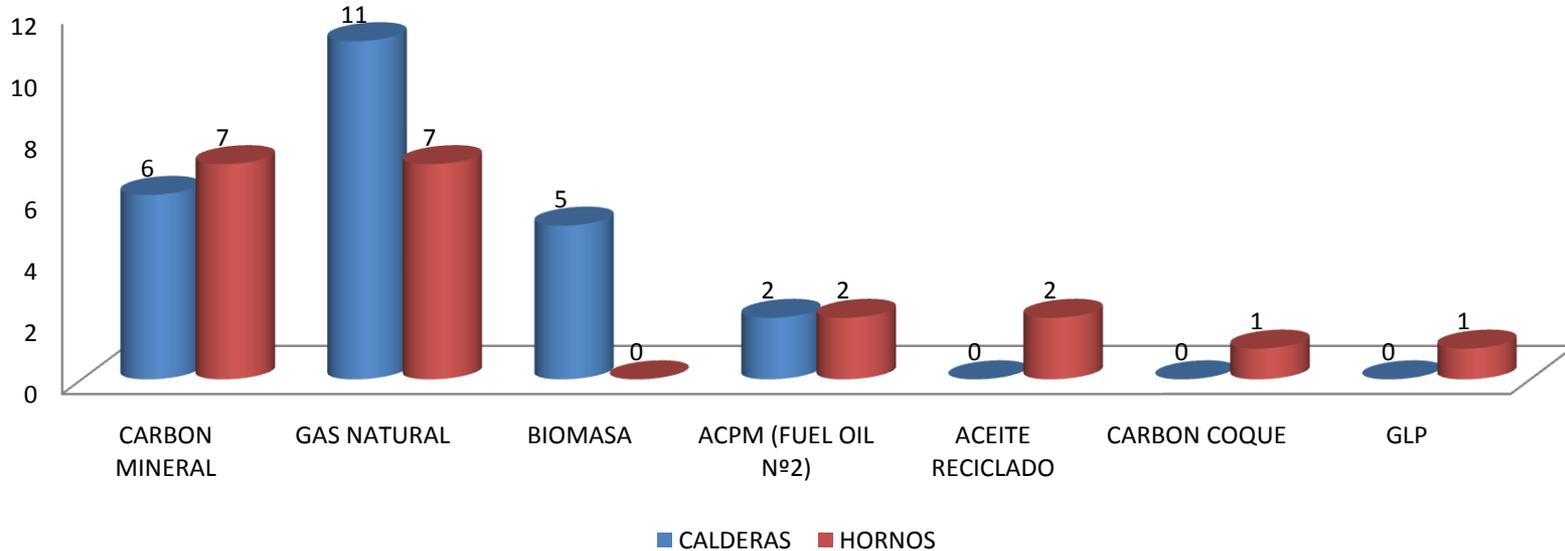
Total
3535,3
4322,0
2941,6
5277,1
6246,9
6564,5
7474,5
6704,1
19140,8
3072,6
3791,5
2608,9
4680,6
5805,5
6374,3
7057,5

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA
ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

```
graph TD
    A[ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO] --> B[ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CO2]
    A --> C[ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CH4]
    A --> D[ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE N2O]
    A --> E[ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE HFC]
    A --> F[ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE PFC]
    A --> G[ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE SF6]
```

RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

Número de Empresas en el AMB teniendo en cuenta la Tecnología y combustible utilizado



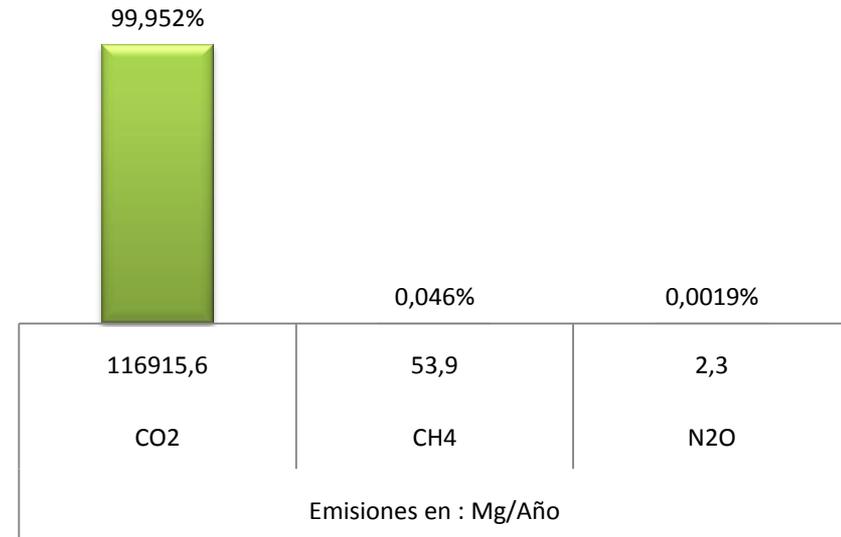
	CARBON MINERAL	GAS NATURAL	BIOMASA	ACPM (FUEL OIL Nº2)	ACEITE RECICLADO	CARBON COQUE	GLP	Nº DE EMPRESAS POR TECNOLOGIA
CALDERAS	6	11	5	2	N.A	N.A	N.A	24
HORNOS	7	7	N.A	2	2	1	1	20
Nº DE EMPRESAS POR COMBUSTIBLE	13	18	5	4	2	1	1	44

RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

Reporte de emisiones en Fuentes Fijas puntuales

Porcentaje en las Emisiones con la Metodología del IPCC

GEI	METODOLOGIA	[MgGEI/Año]
CO2	IPCC	116915,6
CO2	EPA	115383,9
CH4	IPCC	53,9
CH4	EPA	39,2
N2O	IPCC	2,3
N2O	EPA	2,3



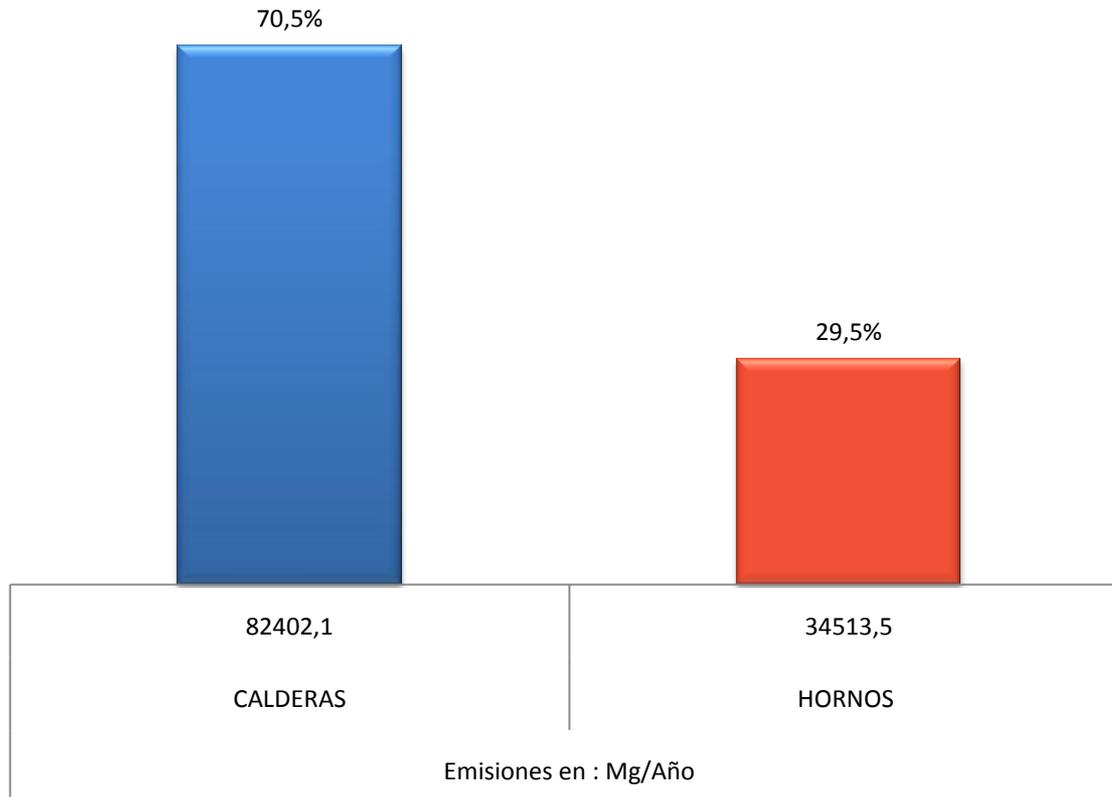
RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

Reporte de emisiones por Tecnología utilizada

	GEI	MI	[MgGEI/Año]
CALDERAS	CO2	IPCC	82402,1
	CO2	EPA	81768,7
	CH4	IPCC	50,5
	CH4	EPA	34,8
	N2O	IPCC	1,8
	N2O	EPA	2,0
HORNOS	CO2	IPCC	34513,5
	CO2	EPA	33615,3
	CH4	IPCC	3,4
	CH4	EPA	4,4
	N2O	IPCC	0,5
	N2O	EPA	0,3

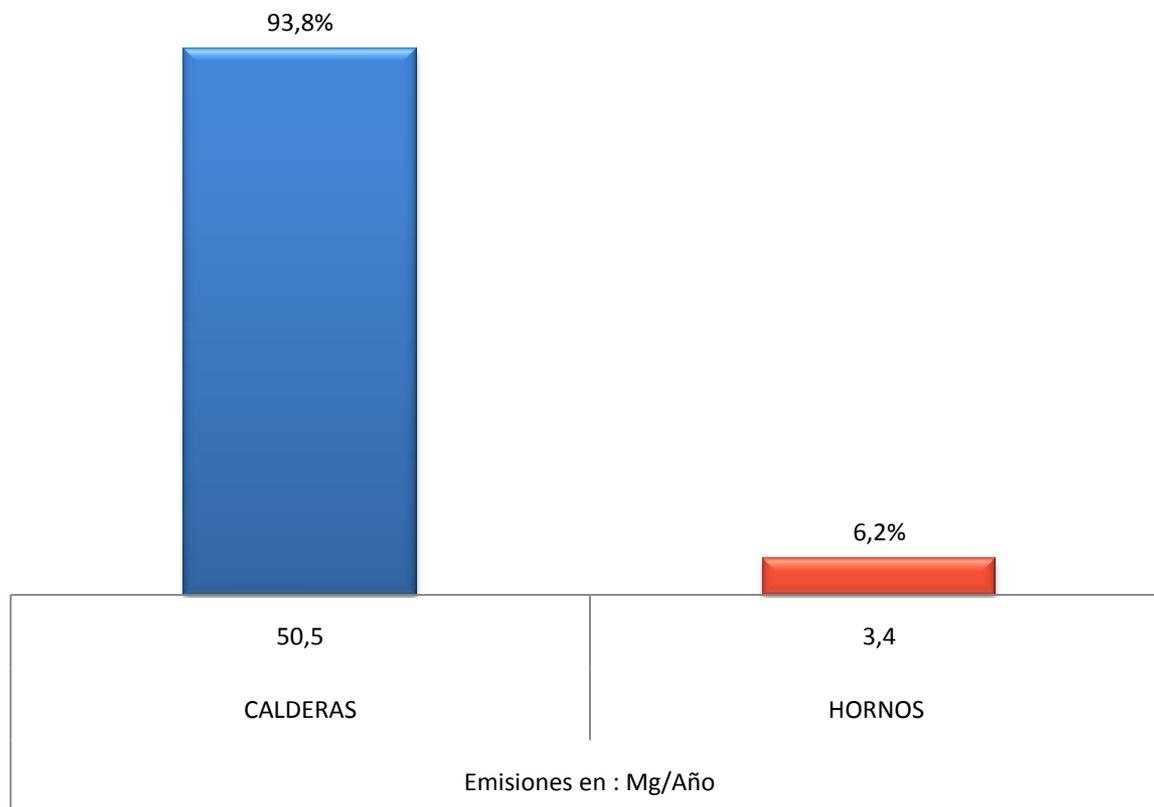
RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

Porcentaje en las Emisiones de CO₂ por tecnología con la Metodología del IPCC



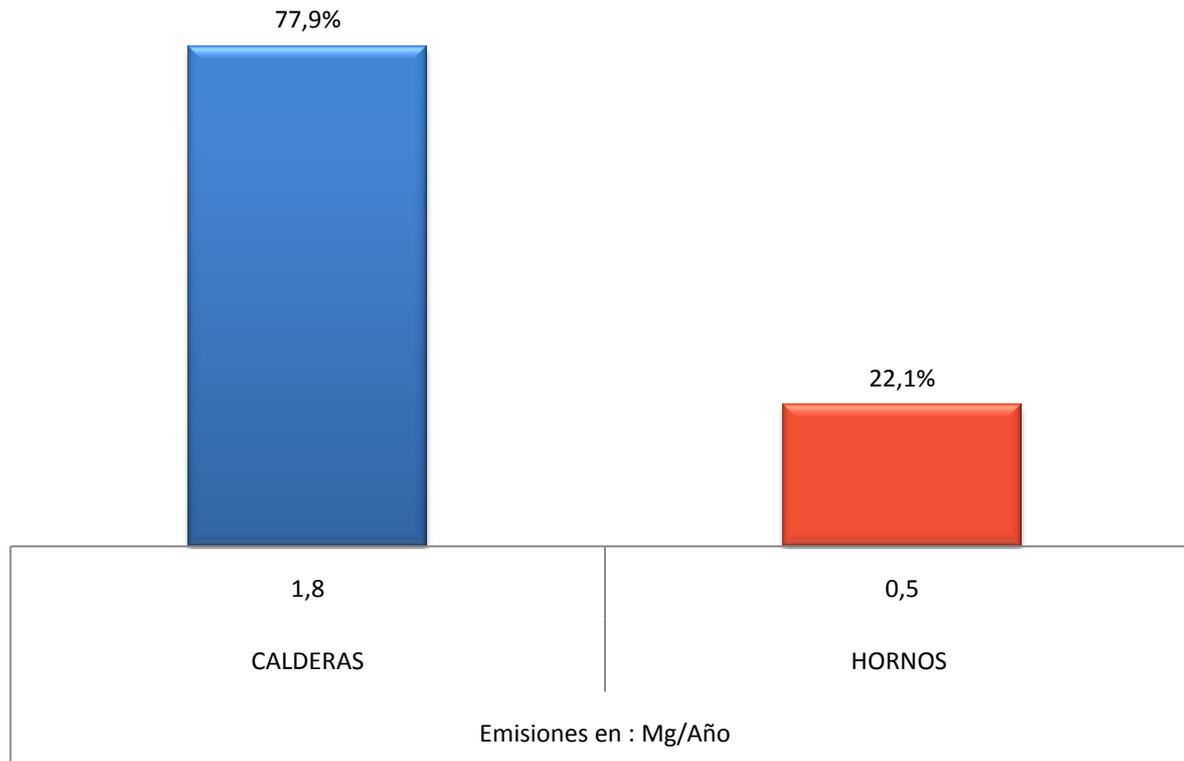
RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

Porcentaje en las Emisiones de CH₄ por tecnología con la Metodología del IPCC



RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

Porcentaje en las Emisiones de N₂O por tecnología con la Metodología del IPCC



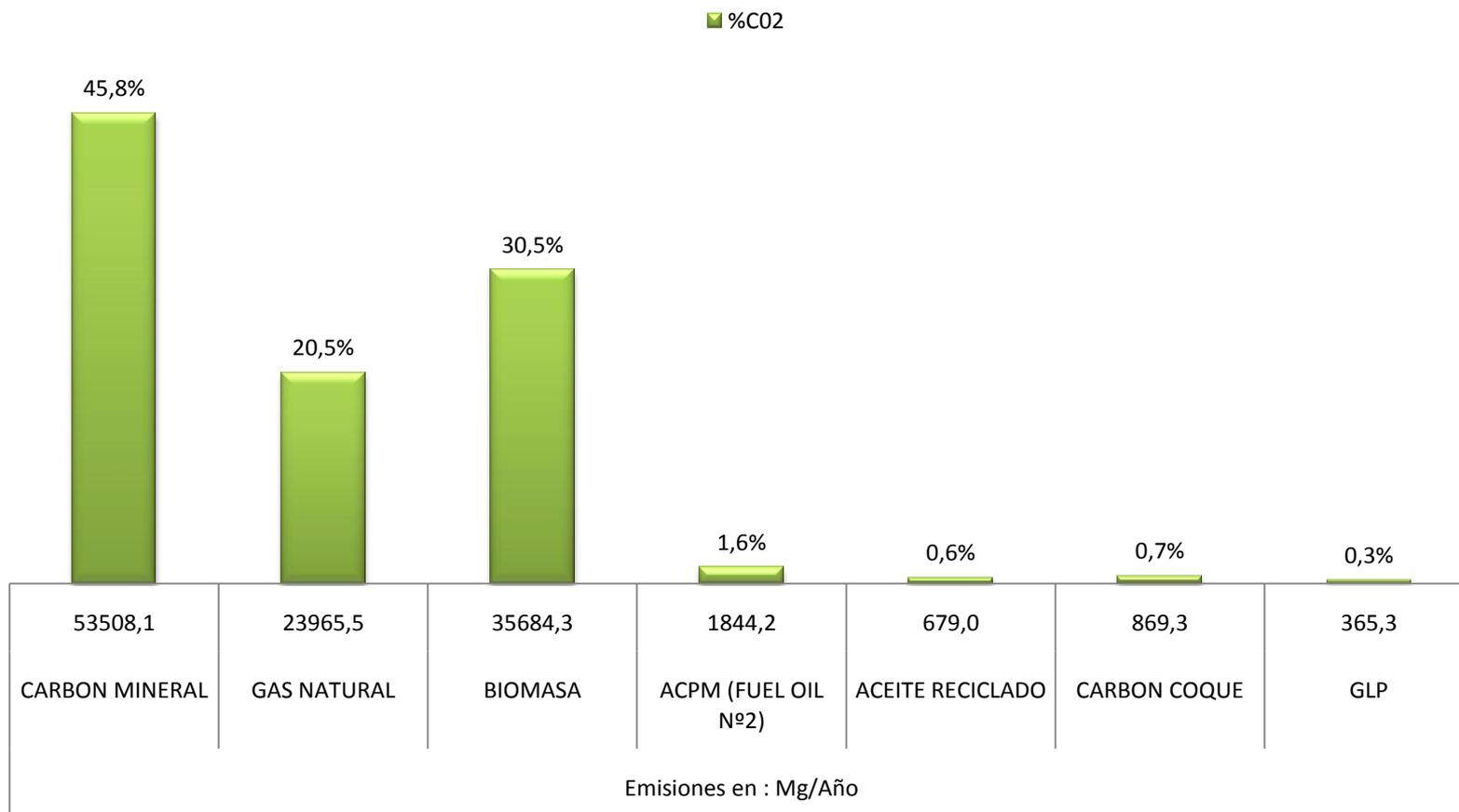
RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

Reporte de emisiones por Combustible utilizado.

		CARBON MINERAL	GAS NATURAL	BIOMASA	ACPM (FUEL OIL N°2)	ACEITE RECICLADO	CARBON COQUE	GLP
GEI	METODOLOGIA	REPORTE DE RESULTADOS EN [Mg GEI/Año]						
CO2	IPCC	53508,1	23965,5	35684,3	1844,2	679,0	869,3	365,3
CO2	EPA	51879,3	23543,2	36220,8	1822,3	682,6	907,2	328,5
CH4	IPCC	42,3	0,4	10,7	0,07	0,3	0,1	0,01
CH4	EPA	27,5	0,5	11,0	0,07	N.D	0,1	0,02
N2O	IPCC	0,7	0,04	1,4	0,015	0,04	0,014	0,001
N2O	EPA	0,4	0,43	1,4	0,018	N.D	0,006	0,005

RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

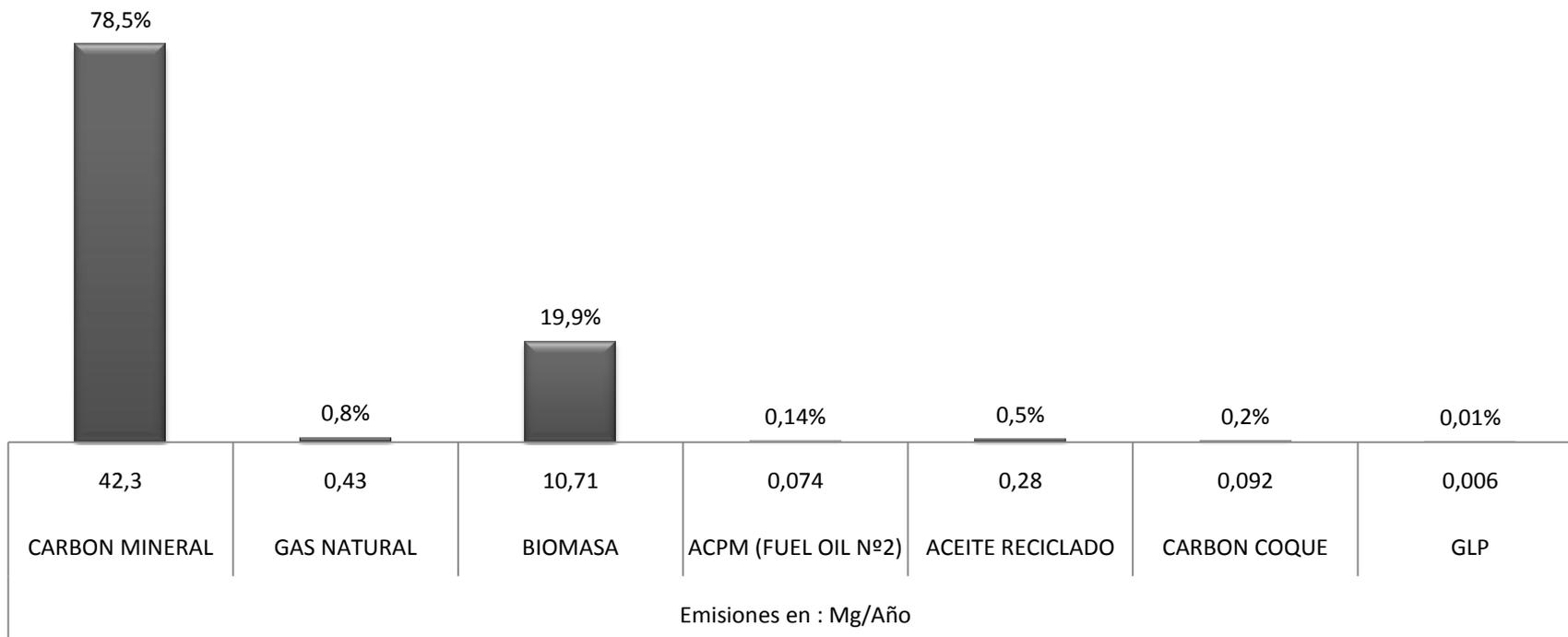
Porcentaje en las Emisiones de CO2 por combustible utilizado con la Metodología del IPCC



RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

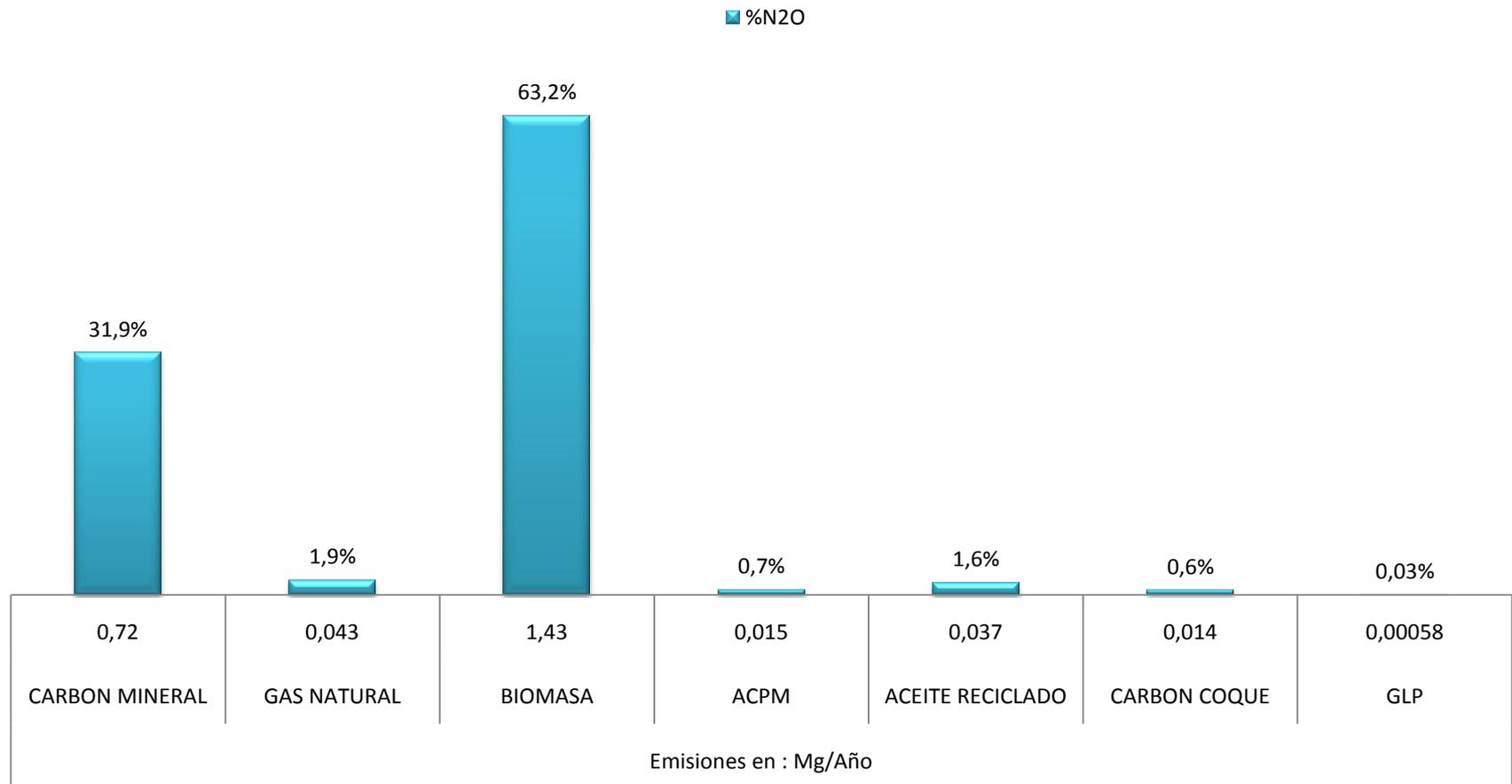
Porcentaje en las Emisiones de CH4 por combustible utilizado con la Metodología del IPCC

■ %CH4



RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

Porcentaje en las Emisiones de N₂O por combustible utilizado con la Metodología del IPCC



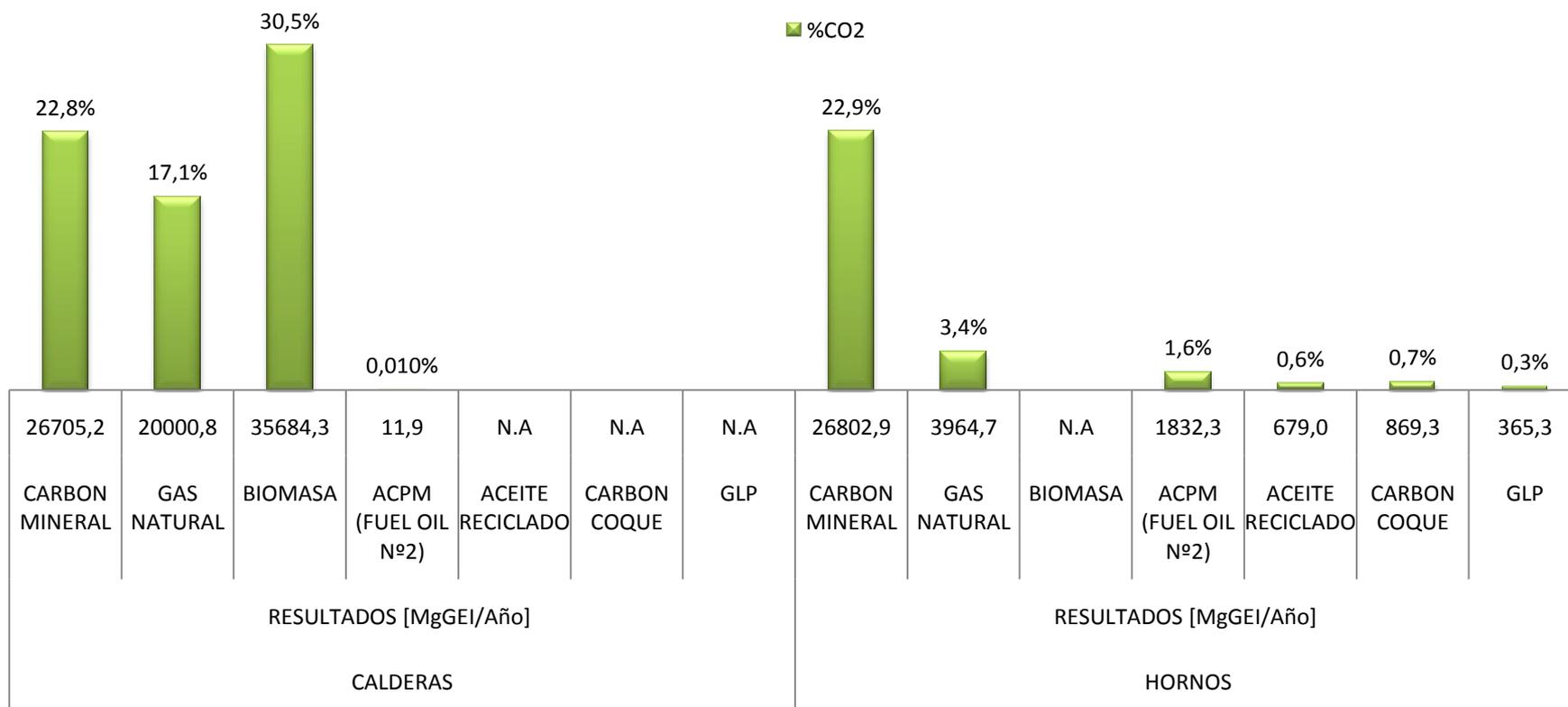
RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

Reporte de emisiones por Combustible y Tecnología utilizada

			COMBUSTIBLE						
			CARBON MINERAL	GAS NATURAL	BIOMASA	ACPM (FUEL OIL Nº2)	ACEITE RECICLADO	CARBON COQUE	GLP
			RESULTADOS [MgGEI/Año]						
TECNOLOGIA	GEI	METODOLOGIA							
CALDERAS	CO2	IPCC	26705,2	20000,8	35684,3	11,9	N.A	N.A	N.A
	CO2	EPA	25886,2	19649,7	36220,8	11,9			
	CH4	IPCC	39,5	0,36	10,71	0,0001			
	CH4	EPA	23,4	0,38	10,99	0,0005			
	N2O	IPCC	0,30	0,04	1,43	0,00004			
	N2O	EPA	0,19	0,36	1,44	0,00012			
HORNOS	CO2	IPCC	26802,9	3964,7	N.A	1832,3	679,0	869,3	365,3
	CO2	EPA	25993,0	3893,5		1810,5	682,6	907,2	328,5
	CH4	IPCC	2,8	0,071		0,074	0,28	0,09	0,01
	CH4	EPA	4,1	0,075		0,071	N.D	0,12	0,02
	N2O	IPCC	0,42	0,01		0,015	0,037	0,01	0,001
	N2O	EPA	0,21	0,07		0,018	N.D	0,01	0,005

RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

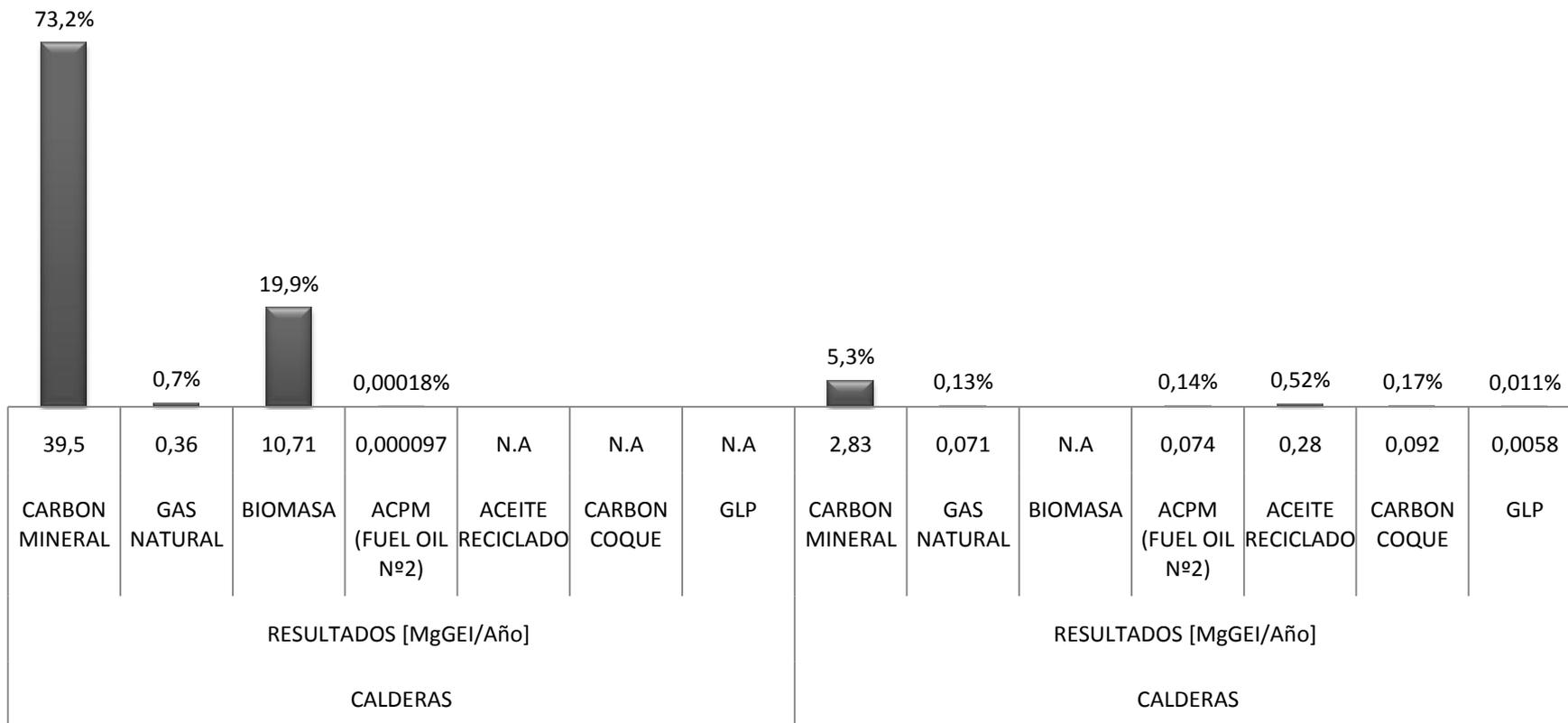
Porcentaje en las Emisiones de CO2 por combustible y tecnología utilizada con la Metodología del IPCC



RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

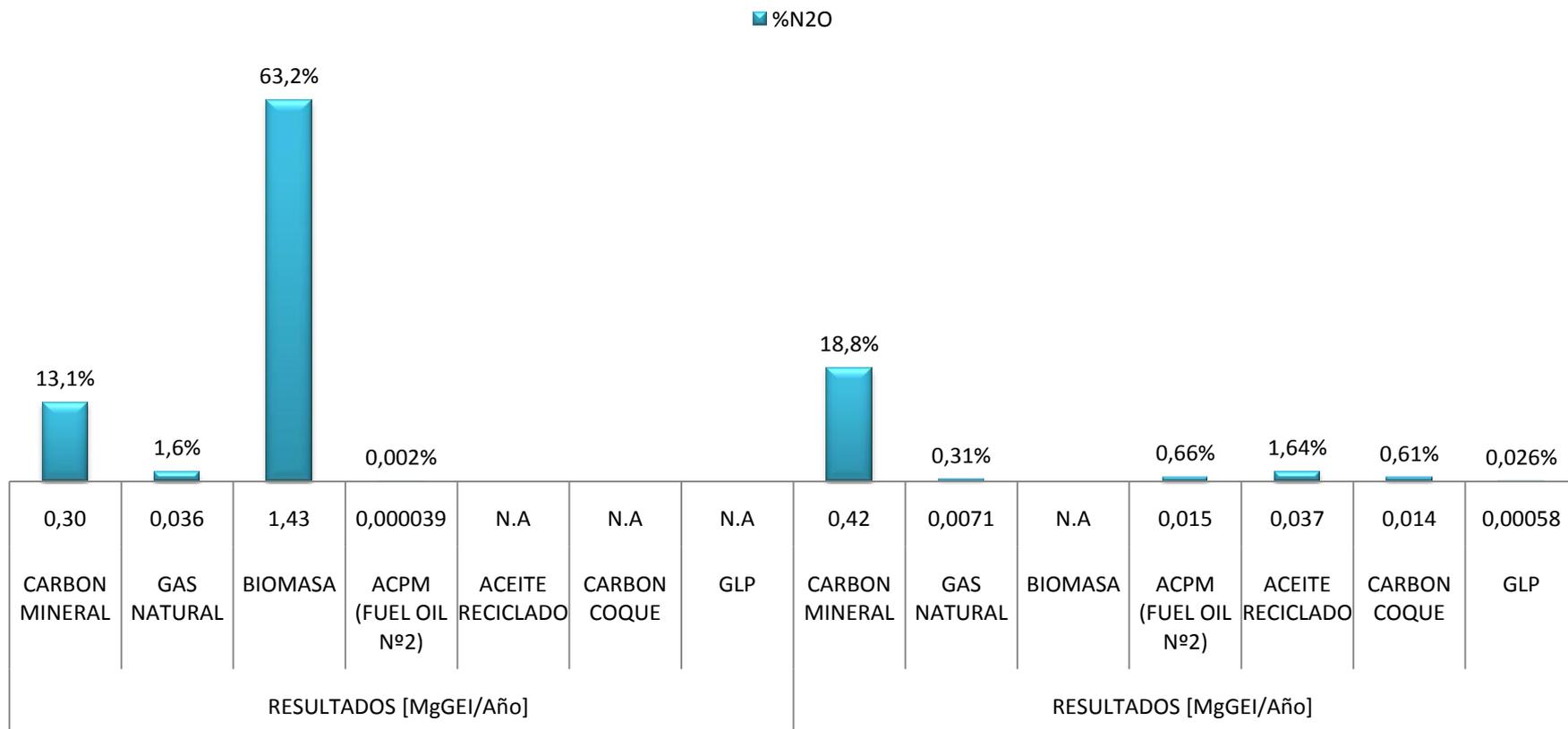
Porcentaje en las Emisiones de CH4 por combustible y tecnología utilizada con la Metodología del IPCC

■ %CH4



RESULTADOS EN FUENTES FIJAS

Porcentaje en las Emisiones de N2O por combustible y tecnología utilizada con la Metodología del IPCC

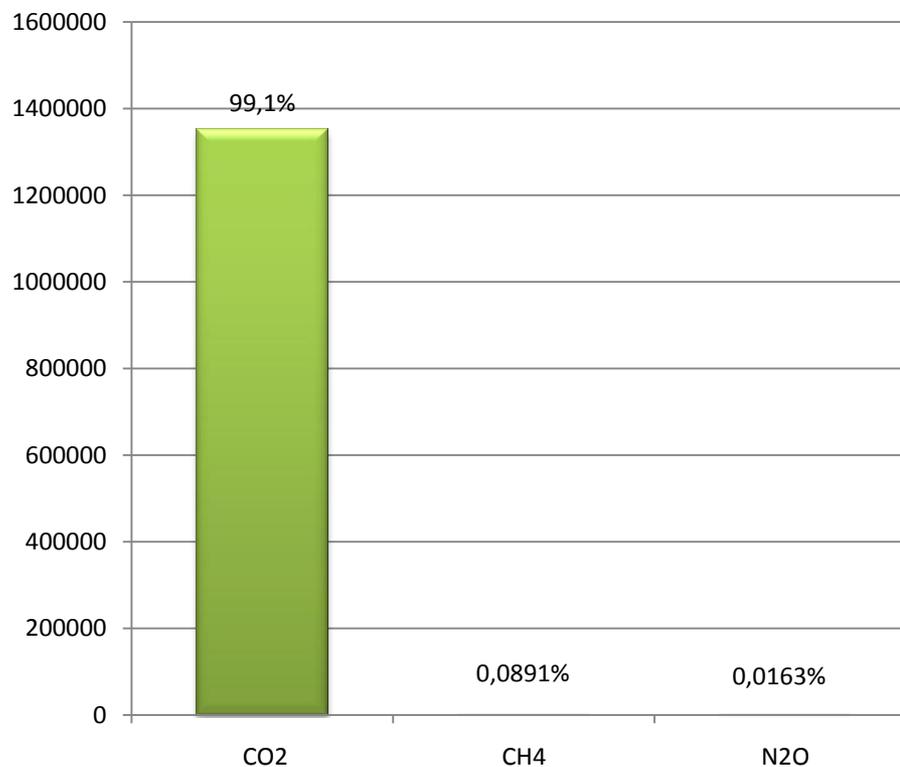


RESULTADOS EN FUENTES MÓVILES

Reporte de emisiones en el Transporte Terrestre

GEI	METODOLOGIA	[tonGEI/Año]
CO2	Copert III	1.312.669
CH4		1.180
N2O		216

Porcentaje en las Emisiones con el Modelo Copert III



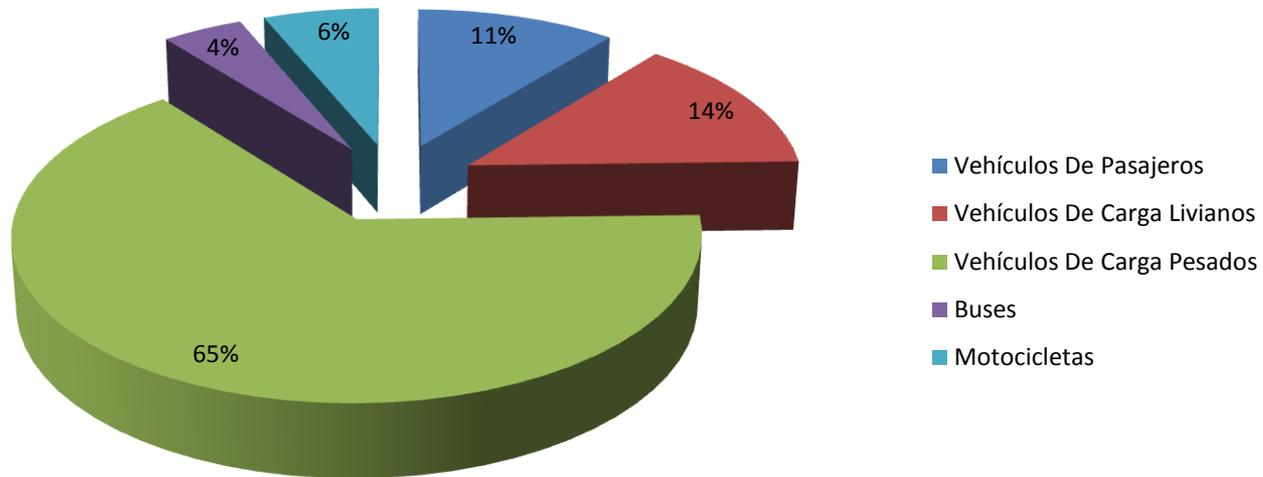
RESULTADOS EN FUENTES MÓVILES

Reporte de emisiones por categoría vehicular

EMISIONES DE CO ₂						
Tipo De Flota	Vehículos De Pasajeros	Vehículos De Carga Livianos	Vehículos De Carga Pesados	Buses	Motocicletas	Emisiones Totales Ton/Año
Emisiones Ton/Año	141.547	181.213	850.457	57.544	81.909	1.312.669
EMISIONES DE CH ₄						
Tipo De Flota	Vehículos De Pasajeros	Vehículos De Carga Livianos	Vehículos De Carga Pesados	Buses	Motocicletas	Emisiones Totales Ton/Año
Emisiones Ton/Año	174	141	168	11	685	1.118
EMISIONES DE N ₂ O						
Tipo De Flota	Vehículos De Pasajeros	Vehículos De Carga Livianos	Vehículos De Carga Pesados	Buses	Motocicletas	Emisiones Totales Ton/Año
emisiones Ton/Año	98	60	48	3	7	216

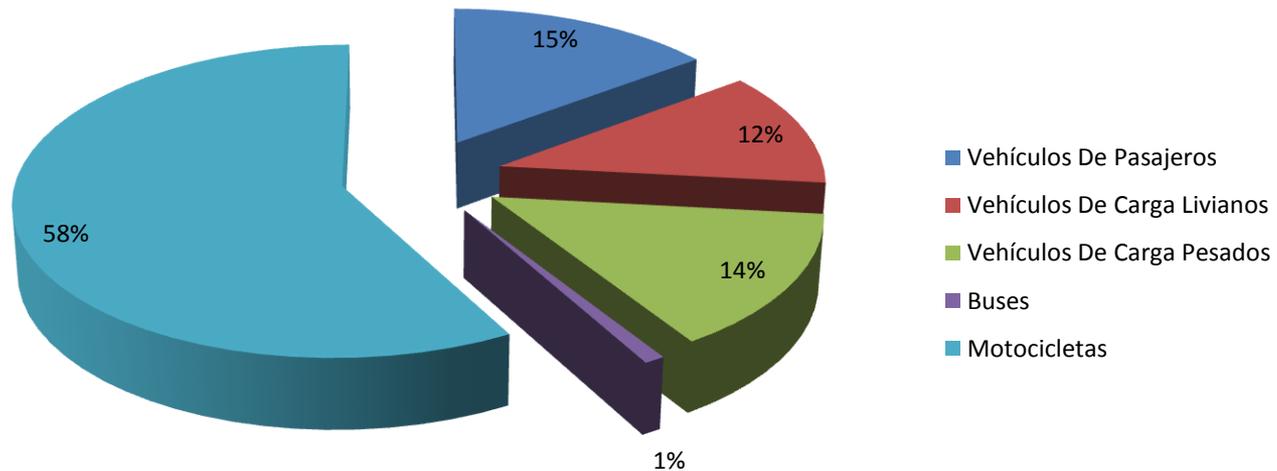
RESULTADOS EN FUENTES MÓVILES

Porcentaje en las emisiones de CO2 en fuentes móviles de acuerdo a cada categoría vehicular



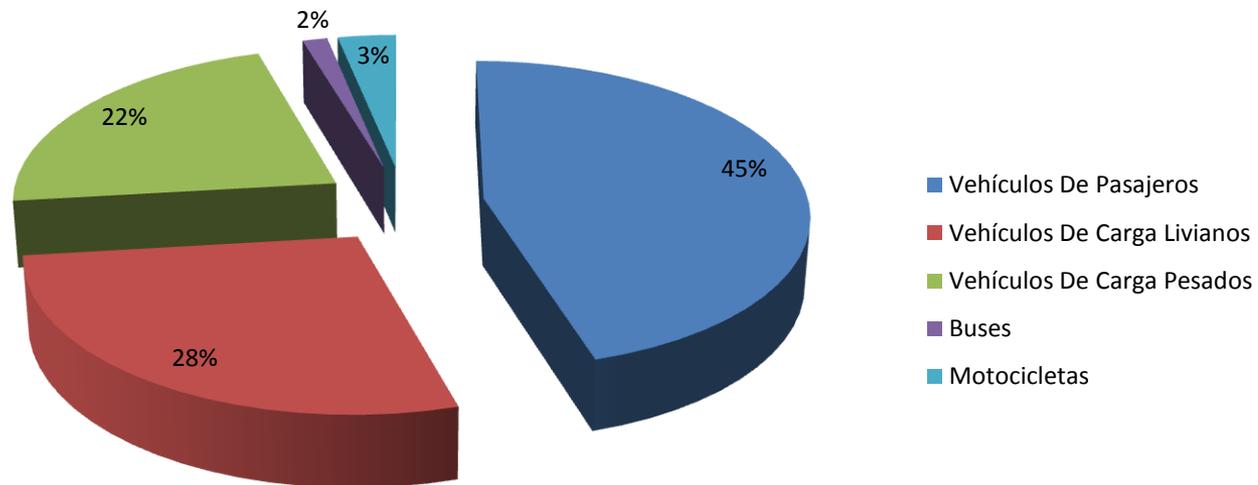
RESULTADOS EN FUENTES MÓVILES

Porcentaje en las emisiones de CH₄ en fuentes móviles de acuerdo a cada categoría vehicular



RESULTADOS EN FUENTES MÓVILES

Porcentaje en las emisiones de N₂O en fuentes móviles de acuerdo a cada categoría vehicular



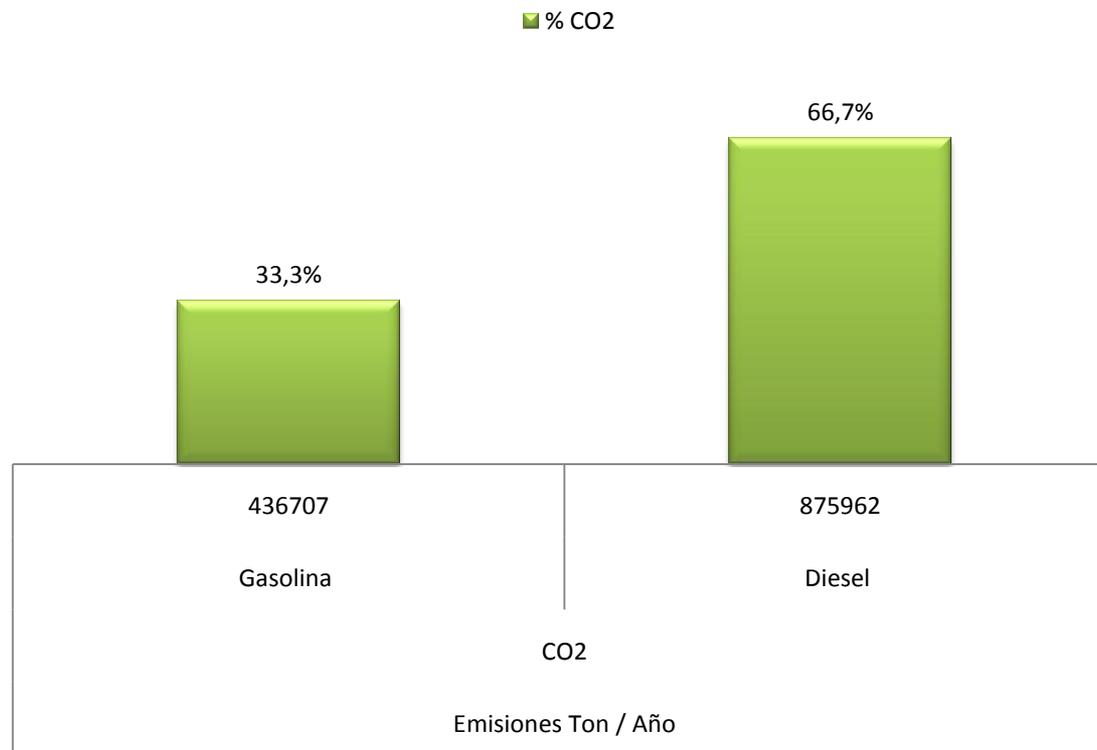
RESULTADOS EN FUENTES MÓVILES

Reporte de emisiones por consumo de Combustible

Tipo de combustible	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina
GEI	CO2		CH4		N2O	
Ton/Año	436707	875962	90,1	9,9	165	52

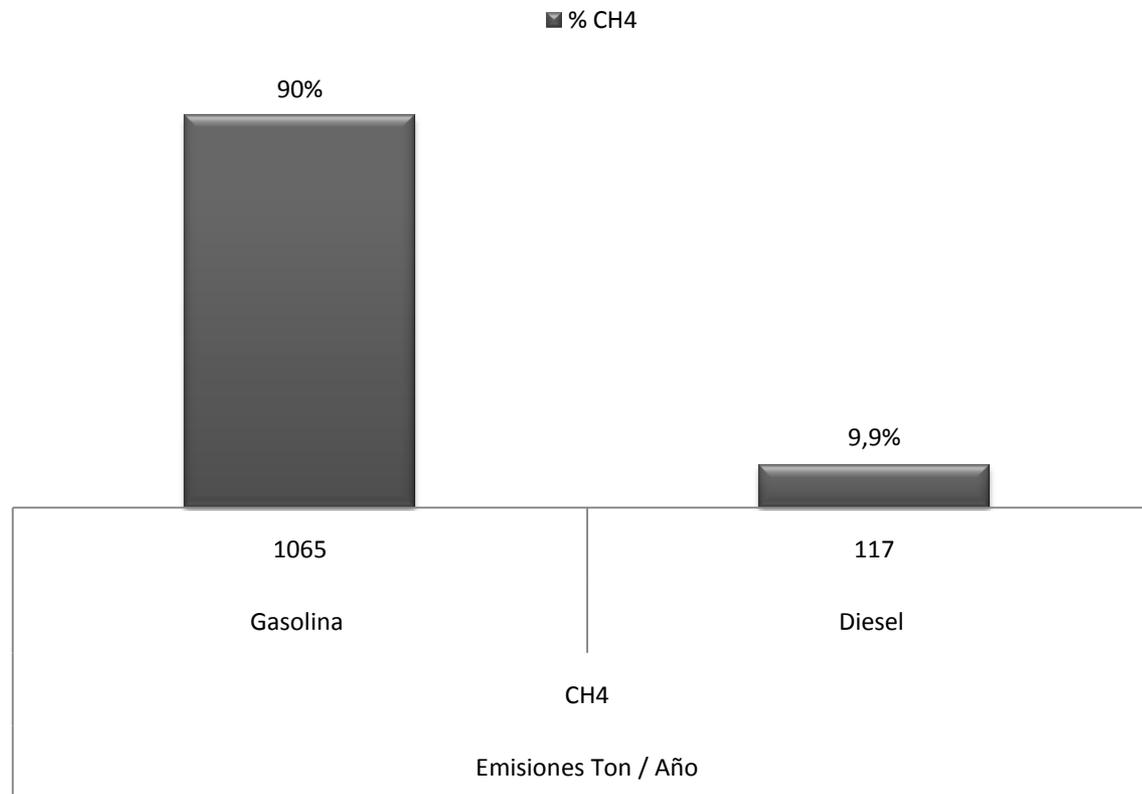
RESULTADOS EN FUENTES MÓVILES

Porcentaje en las Emisiones de CO2 por combustible consumido



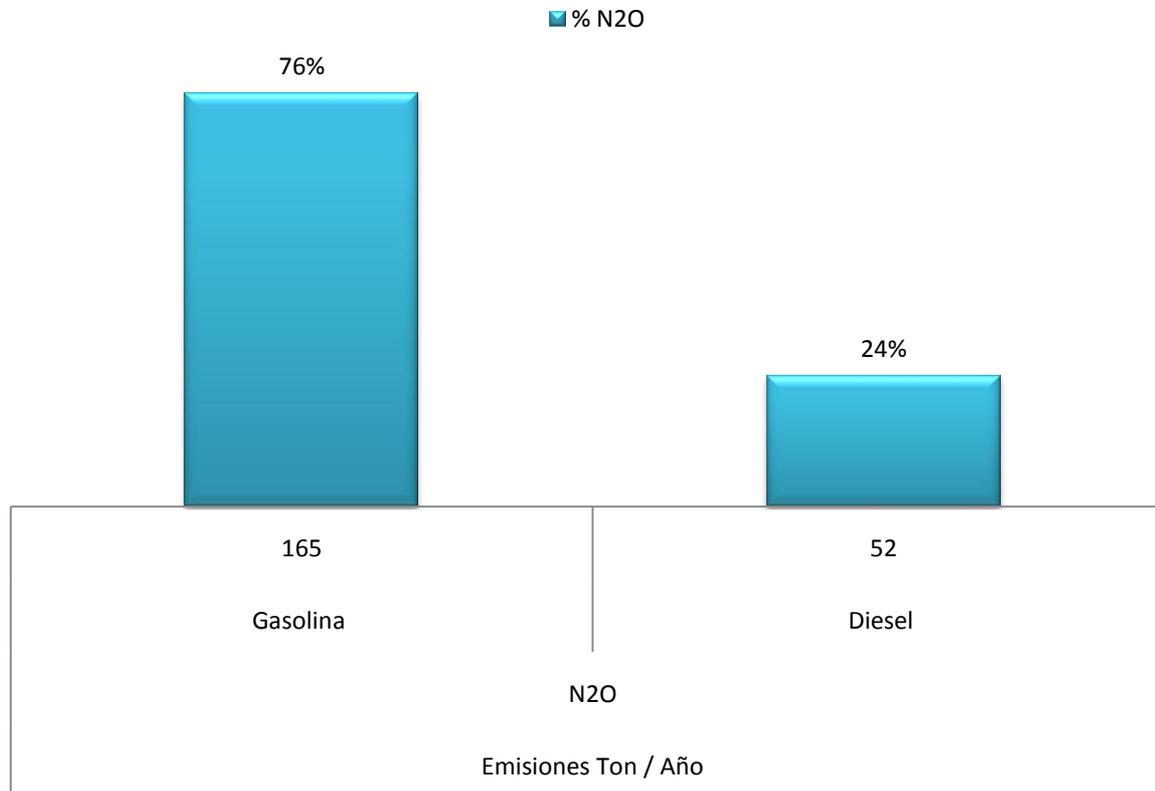
RESULTADOS EN FUENTES MÓVILES

Porcentaje en las Emisiones de CH₄ por combustible consumido



RESULTADOS EN FUENTES MÓVILES

Porcentaje en las Emisiones de N₂O por combustible consumido



RESULTADOS GLOBALES DE GEI

Para Fuentes **Fijas Puntuales**:

$$\text{ECO2 equivalente} = [\text{ton GEI/Año}] * [\text{PCG}]$$

Donde:

ECO2 equivalente: Emisiones de Dióxido de carbono equivalente

ton GEI/Año : Toneladas de GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) estimados cuantitativamente en un año

PCG: Potencial de calentamiento global:

$$\text{PCG CO}_2 = 1$$

$$\text{PCG CH}_4 = 21$$

$$\text{PCG N}_2\text{O} = 310$$

RESULTADOS GLOBALES DE GEI

Para Fuentes **Fijas Puntuales**:

$$\text{ECO2 equivalente} = [\text{ton GEI/Año}] * [\text{PCG}]$$

Para las emisiones de **CO2**:

$$\text{ECO2 equivalente} = [\text{ton CO2/Año}] * [\text{PCG}]$$

$$\text{ECO2 equivalente} = 116915,6 * 1 = 116915,6 \text{ ton de CO2equivalente / Año (1)}$$

Para las emisiones de **CH4**:

$$\text{ECO2 equivalente} = [\text{ton CH4/Año}] * [\text{PCG}]$$

$$\text{ECO2 equivalente} = 53,9 * 21 = 1131,9 \text{ ton de CO2equivalente / Año (2)}$$

Para las emisiones de **N2O**:

$$\text{ECO2 equivalente} = [\text{ton N2O/Año}] * [\text{PCG}]$$

$$\text{ECO2 equivalente} = 2,3 * 310 = 713 \text{ ton de CO2equivalente / Año (3)}$$

RESULTADOS GLOBALES DE GEI

Para Fuentes **Fijas Puntuales**:

$$\text{ECO2 equivalente} = [\text{ton GEI/Año}] * [\text{PCG}]$$

$$ET_{\text{CO}_2 \text{ equivalente}} = 1 + 2 + 3 = 116915,6 + 1131,9 + 713$$

$$ET_{1 \text{ CO}_2 \text{ equivalente}} = 118761 \text{ toneladas de CO}_2 \text{ equivalente/Año}$$

RESULTADOS GLOBALES DE GEI

Para Fuentes **Móviles**:

$$\text{ECO2 equivalente} = [\text{ton GEI/Año}] * [\text{PCG}]$$

$$ET_{2CO_2 \text{ equivalente}} = 1'312.669 + 24780 + 713$$

$$ET_{2CO_2 \text{ equivalente}} = 1'338.162 \text{ toneladas de } CO_2 \text{ equivalente/Año}$$

RESULTADOS GLOBALES DE GEI

Para Fuentes **Fijas** + **Móviles**:

$ET_{CO_2 \text{ equivalente}} = 1'456.923 \text{ toneladas de } CO_2 \text{ equivalente/Año}$

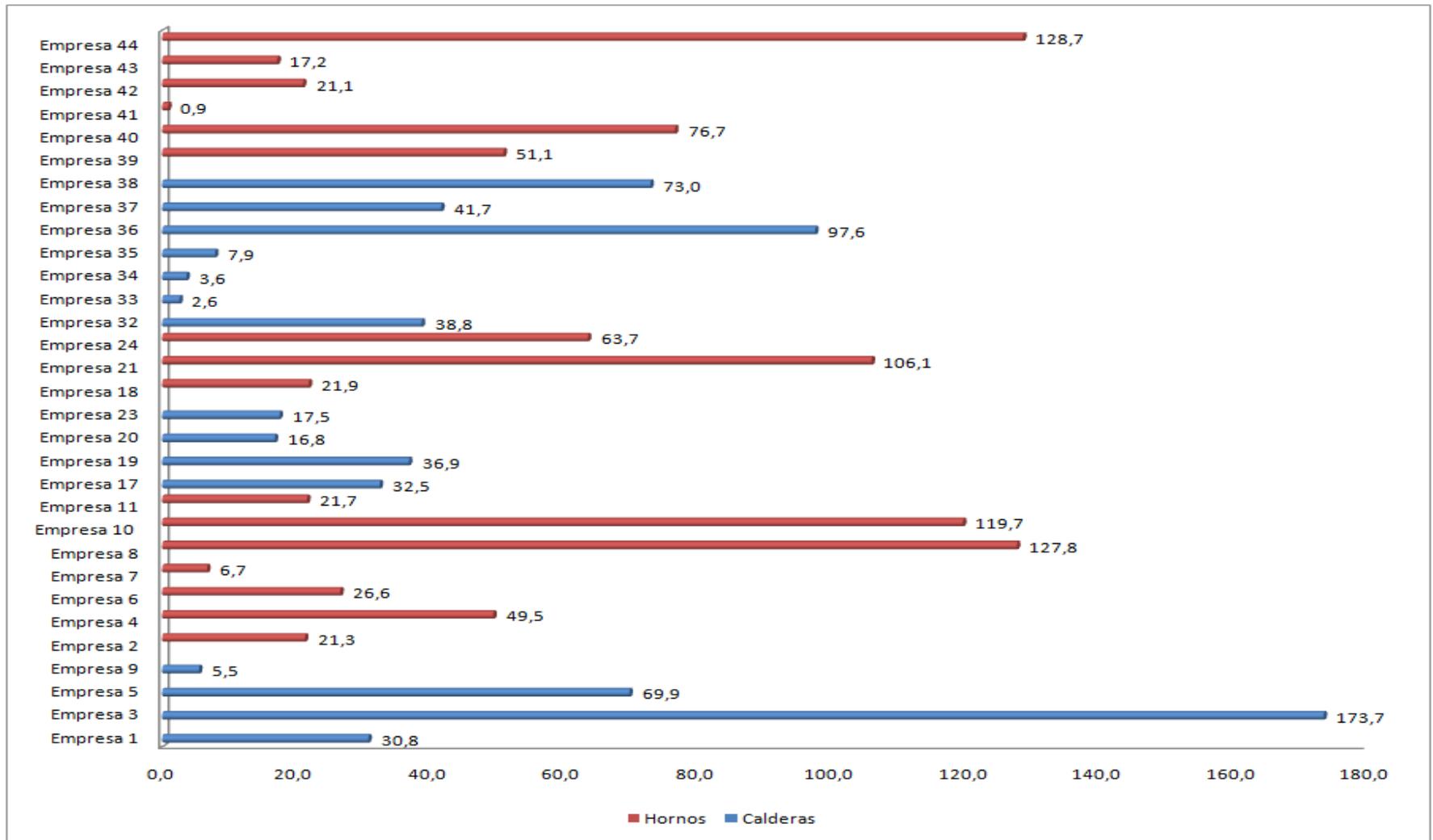
INCERTIDUMBRES Y VALIDACIÓN DE LA EFICACIA Y FIABILIDAD DE LAS METODOLOGÍAS IMPLEMENTADAS PARA LAS EMISIONES DE CO2 EN FUENTES FIJAS.

La función de las estimaciones en esta parte es establecer A causa de esto se puede soportar la eficacia con la afinidad que pueda haber entre las estimaciones y los resultados del muestreo isocinético y la fiabilidad sustentarla con la diferencia porcentual que se produce en estas, por lo anterior, se tendrán en cuenta dos consideraciones:

- a. **Datos del muestreo confiables.**
- b. **Factores de emisión y datos de actividad Confiable.**

Por otra parte las empresas reportarán los resultados de las emisiones aplicando los métodos de la U.S.EPA

Diferencia Porcentual entre muestreo isocinético y Metodología del IPCC



Se tiene un promedio en la diferencia porcentual por la metodología del IPCC y la EPA del 48,7% y 48,5% respectivamente

a. DATOS DEL MUESTREO CONFIABLES

Si el muestreo es confiable se espera una diferencia

Factores de Emisión

Los Factores de emisión de la EPA llevan asociados un índice de calidad que representa la capacidad para aproximarse a las tasas medias de emisión de una determinada fuente y que siempre está referido a las condiciones de operación y medida en las que ha sido determinado el factor.

Calidad en los Factores de Emisión

Tipo de Factor	Calidad de Factor
A	Excelente
B	Medio-Alto
C	Medio
D	Medio-Bajo
E	Bajo

Fuente: [Introduction to AP 42, Volume I, Fifth Edition](#), Página 9 y 10

Fuente: Directrices del IPCC de 2000 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, volumen 2 capítulo 1, página: 1.28

b. FACTORES DE EMISIÓN Y DATOS DE ACTIVIDAD CONFIABLE.

Las normas y estándares de emisiones admisibles de contaminantes a la atmosfera para fuentes fijas establecen un Oxigeno de Referencia del once por ciento ($O_2^{ref} = 11\%$) para los equipos de combustión externa

Teniendo en cuenta los protocolos las mediciones en la fuente son los más confiables debido a que el análisis se realiza directamente en la chimenea, pero con este procedimiento se considera valioso el buen uso de las técnicas proyectadas en los métodos de la EPA y el dictamen que hace la resolución 909 del 2008 con el oxigeno de referencia

que los equipos utilizados estén calibrados, que el tubo pitot no tenga fugas y que la velocidad debe ser tomada aproximadamente igual a la de los gases de salida por chimenea (± 10 por 100 de la velocidad de flujo volumétrico real), que las termocuplas funcionen bien, depende de algunos datos de laboratorio, de que no hallan fugas de gases en la tecnología utilizada, este procedimiento no está libre de imprecisiones.

INCERTIDUMBRE PARA LAS EMISIONES DE CH₄ Y N₂O EN FUENTES FIJAS.

La incertidumbre introducida producto de la estimación de

Uso de factores de emisión

Debido a las variaciones en las condiciones del proceso, también puede darse una gran variabilidad de los F.E. , dicha variabilidad contribuye también a la estimación de emisiones.

INCERTIDUMBRE EN FUENTES MÓVILES

Para esta parte de la investigación se mencionan los diferentes aspectos y parámetros que pudieron incrementar la incertidumbre de las estimaciones obtenidas en el transporte terrestre con el programa Europeo de modelación Copert III y afectar la representatividad de las mismas.

Se tuvo en cuenta dos parámetros principales en la evaluación de la incertidumbre.

- Consumo de combustible.
- información de la flota.

INCERTIDUMBRE EN FUENTES MÓVILES

Consumo de combustible

Una de las fuentes de incertidumbre es el consumo de combustible. No se puede afirmar que todo el combustible distribuido en el AMB sea consumido dentro de la misma, esto es un factor determinante a la hora de estimar las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O.

INCERTIDUMBRE EN FUENTES MÓVILES

Información de la flota

Las variables mas importantes a tener en cuenta para estimar la incertidumbre que se puede presentar a la hora de estimar las emisiones producidas por el parque automotor son:

- información de la flota que circula en el AMB
- velocidad promedio de los vehículos.
- distancia promedio recorrida.



5. CONCLUSIONES

- Se evaluaron 24 calderas y 20 hornos en 38 empresas junto con 370.034 vehículos del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) para estimar las emisiones de Dióxido de Carbono , Metano y Oxido Nitroso con los datos disponibles en los expedientes de la Corporación Autónoma para Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), Direcciones de Transito y Transporte, Distribuidores Mayoristas de Combustible del AMB y el grupo de Investigación en GEOMATICA de la UIS.
- De acuerdo a los resultados obtenidos con la estimación de emisiones, los vehículos automotores son la principal fuente de emisión de , con 1.312.669, 1.180 y 216 toneladas al año respectivamente, dichos valores representan más del 90% con respecto a las emisiones en las fuentes fijas del AMB.

5. CONCLUSIONES

- Se estimaron las emisiones totales de los principales Gases de Efecto Invernadero, donde se determinó que el es el responsable de aportar más del 99% de las emisiones en fuentes móviles y fijas puntuales del AMB con 1`312.699 y 116.916 toneladas al año correspondientemente.
- De acuerdo con la información reportada en los expedientes de la CDMB se encontró que ninguna de las empresas evaluadas posee sistemas de control de emisiones de GEI y las direcciones de transito y transporte no suministraron información de los dispositivos de control de emisiones del parque automotor.

5. CONCLUSIONES

- Las metodologías del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S.EPA) junto con el programa Copert III son prácticos para una primera aproximación en este tipo de estudios, lo cual facilita la elaboración de estimaciones futuras.
- La falta de información detallada de los sistemas de combustión (externa e interna) en las fuentes fijas y móviles, dificulta las estimaciones de las emisiones de CH₄ y N₂O, ya que estos son elementos determinantes a la hora de seleccionar factores de emisión en las fuentes fijas y laborioso para el ingreso de los datos de entrada en el Software de modelamiento.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda actualizar el FORMATO EA.003. ESTUDIO DE EMISIONES: DATOS DE CAMPO. MUESTREO ISOCINÉTICO del Procedimiento de evaluación de emisiones Atmosférica Generada Por Fuentes Fijas de la CDMB para estandarizarlo, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Solicitar un análisis estadístico y detallado del consumo de combustible diario, mensual y anual en condiciones de operación normal para las fuentes fijas.

- Que las empresas suministren información detallada de los equipos de combustión externa con respecto a la tecnología básica, configuración empleada y sector industrial al que pertenece.

- Solicitar el análisis último de los combustibles, el poder calorífico inferior, y documentar la procedencia o el distribuidor del combustible de las empresas del AMB o en su defecto cualquiera de las anteriores.

6. RECOMENDACIONES

- Para obtener resultados más representativos en las fuentes móviles a futuro se recomienda que la CDMB, solicite a las autoridades pertinentes registros detallados de las características y consumo de combustible (mensual y anual a los distribuidores mayoristas o de ser posible a las estaciones de servicio (EDS) del AMB) y características de la flota vehicular.
- Se sugiere que para un futuro trabajo se lleve a cabo un estudio de movilidad del parque automotor en el AMB con el fin de obtener información más confiable y actualizada de parámetros fundamentales para la estimación de las emisiones producidas por fuentes móviles, como velocidad promedio, distancia promedio anual recorrida, para cada una de las categorías de vehículos.

6. RECOMENDACIONES

- Se sugiere a la CDMB y las entidades competentes una mayor articulación a fin de facilitar el acceso a la información solicitada para este tipo de trabajos, de tal forma que un estudio futuro sea menos laborioso y con mejor calidad de resultados.
- Desarrollar factores de emisión basados en las condiciones típicas del Área Metropolitana de Bucaramanga y así poder obtener datos más representativos que describa las características típicas de las actividades de quema de combustibles fósiles en el ámbito local.