

2. SECTOR ENERGIA

2.1 Introducción

Sin contabilizar la Hidroelectricidad, la producción de Energía Primaria en Colombia durante 1990 fue de 1901,6 Petajulios (PJ), 48,6% de los cuales correspondió a Petróleo Crudo, 9,3% a Gas Natural, 29,3% a Carbón Mineral y 12,8% a Biomasa.

De esta producción se exportó el 43,8% del Petróleo y el 73,2% del Carbón. El resto del petróleo fue llevado a la refinería que produjo al rededor de 520 PJ de derivados. Cerca del 26% de la producción, representado por el Fuel Oil y una buena cantidad de Diesel, fue exportado.

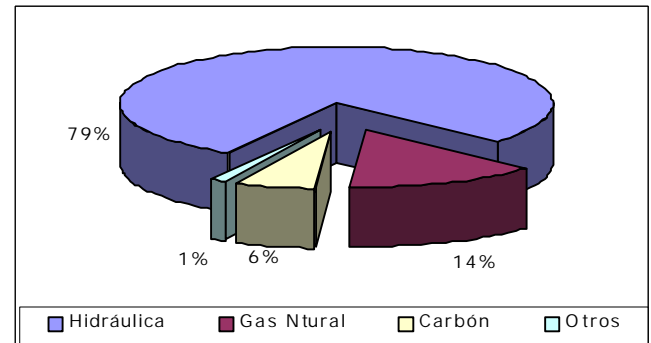
A pesar de ello, el sistema de refinación colombiano no es suficiente para satisfacer la demanda interna de gasolina motor, de manera que el país importó 53,8 PJ de derivados, principalmente gasolina (94%), diesel (5%) y GLP (1%).

La producción total de Gas Natural fue de 156,7 PJ, de los cuales cerca del 9% fue desaprovechado por venteo o flameo. Cerca del 36% del gas natural fue empleado en generación termoeléctrica y el resto fue empleado en la satisfacción de las demandas residencial, industrial comercial y petroquímica. La producción de carbón mineral en Colombia se está convirtiendo en un factor importante en la balanza comercial del país, pues de una producción de 557 PJ cerca de 408 PJ fueron exportados.

Como se ilustra en la figura 2.1, Colombia poseía una capacidad instalada de generación de 8.312 MW, 78% de la cual era hidráulica (6521.4 MW) y 22% térmica (1790.4 MW). En 1990 la demanda de electricidad ascendió a 34,09 TWh, de los cuales el 80% se obtuvo mediante plantas hidráulicas, 18,7% fue generación térmica y el

resto fue importado desde Venezuela.

Figura 2.1 Participación por recurso en la capacidad eléctrica instalada de Colombia, 1990



De los combustibles utilizados en el país (Carbón, Gas Natural y Derivados), solamente el 5% (cerca de 72 PJ) fueron empleados para la generación de electricidad, cifra que muestra la poca importancia del sector eléctrico como fuente de Gases de Invernadero en Colombia.

2.2 Emisiones

En la mayoría de los países desarrollados, el sector energía es la fuente principal de gases de invernadero provenientes de la combustión de combustibles fósiles y de emisiones fugitivas en el manejo de petróleo y del carbón.

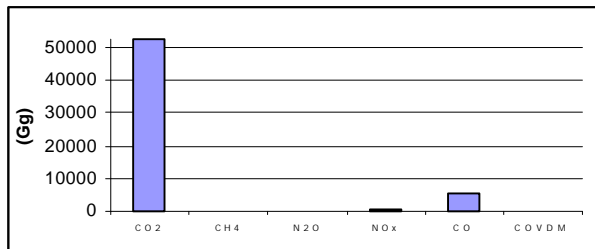
En Colombia, esta situación no se da, ya que el sector energía ocupa el segundo lugar de importancia, después del Cambio de Uso de la Tierra, en lo que concierne a emisiones de CO₂

Como se presenta en la figura 2.2, en 1990 el sector energía emitió 52.383 Gg de CO₂ y 198 Gg de metano correspondientes al 27% y al 10% de las emisiones nacionales de estos gases respectivamente.

La contribución del sector respecto de los

demás gases es muy importante: 62,5% de CO, 81% de NO_x, 12% de N₂O y 100% de COVDM.

Figura 2.2 Emisiones de GEI del sector energía - 1990



La tabla 2.1 resume las estimaciones de emisiones de los gases de invernadero provenientes del sector energía en Colombia. La combustión es la fuente más importante de todos los gases excepto metano, cuya fuente principal son emisiones fugitivas debidas al manejo de los sistemas de producción y tratamiento del carbón y del petróleo.

Tabla 2.1. Resumen de emisiones del sector energía (Gg) - 1990

CATEGORIA	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVDM
Actividades energéticas	52382.7	198.2	1.2	352.9	5548.3	135.47
<i>A. Combustión de fósiles</i>	52200.4	27.1	1.2	352.9	5548.3	
Fuentes estacionarias	33494.9	21.1	1.0	182.7	4428.6	
Ind. De energía y transformación	12654.8	0.4	0.1	61.0	5.0	
Industria manufacturera	14894.7	0.3	0.2	68.7	80.9	
Comercial	853.8	0.01	0.1	0.7	0.2	
Residencial	3106.5	19.6	0.3	49.6	4331.8	
Agricultura y otros	1985	0.8	0.2	2.6	73.8	
Fuentes móviles	18705.6	6.0	0.2	170.2	1056.6	135.47
Nacional	18705.6	6.0	0.2	170.2	1056.6	135.47
Internacional (búncers)	551.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>B. Emisiones fugitivas</i>	182.2	170.7				
Producción, ref y transp. De petróleo	0.0	3.2				
Producción, procesamiento y dist. de Gas	0.0	18.4				
Venteo y quemado de gas	182.2	44.				
Minería de carbón		104.99	1			

2.2.1 EMISIONES POR COMBUSTION.

A nivel global, el empleo de combustibles fósiles es la principal fuente antropogénica de gases de invernadero. El dióxido de carbono es el principal contribuyente, cuyas emisiones ocurren durante el proceso de combustión. Debido a que no siempre se da combustión completa, una pequeña cantidad de carbono

es emitida en forma de metano, monóxido de carbono u otros hidrocarburos volátiles. Estos gases se oxidan luego en la atmósfera en períodos que pueden variar de unos pocos días a 10 años, produciendo dióxido de carbono.

La oxidación del nitrógeno contenido en los combustibles o en el aire, produce óxido

nitroso y óxidos de nitrógeno, estrechamente relacionado con la relación aire/combustible, con la temperatura de combustión y con los mecanismos de control de los equipos de combustión.

El nivel de confiabilidad asociado con las emisiones es diferente entre el dióxido de carbono y los otros gases. El primero puede ser calculado con una buena precisión si se conoce el contenido de carbono en el combustible y el grado de oxidación. Las estimaciones del resto de los gases son menos confiables puesto que los factores de emisión dependen del tipo de combustible, de la tecnología empleada, del tamaño y de la edad del equipo, de la temperatura de operación, del tipo de control de emisiones y además, de las condiciones de operación y mantenimiento del equipo.

La Tabla 2.2 muestra las emisiones

relacionadas con la combustión en el sector energético, clasificadas de acuerdo a su origen.

Solamente tres sectores son realmente fuentes importantes de gases de invernadero: Transporte, Industrial y la Industria de transformación de energía (generación de electricidad y tratamiento de gas y petróleo).

El sector transporte es responsable de la mayor contribución CO₂ (36%), seguido por el sector industrial (29%) y el sector de transformación (25%).

Es importante notar que a pesar de que el sector residencial es una de los más importantes consumidores de energía final en Colombia, tan sólo aporta un 6% de las emisiones de CO₂, ya que el sector energía no reporta emisiones provenientes de la leña.

Tabla 2.2. Combustión en el sector energía (%)

FUENTE	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO
Industria de transformación de energía	25	1	5	25	0
Industria Manufacturera	29	1	13	29	1
Transporte	36	21	21	36	19
Comercial Y Servicios	2	0	12	2	0
Residencial	6	73	29	6	79
Otros	2	3	20	2	0
Combustión total	100	100	100	100	100

2.2.1.1. Emisiones de Dióxido de Carbono

A nivel global, el dióxido de carbono contribuye con casi el 30% de los efectos de gases de invernadero. Su concentración en la atmósfera presenta un continuo incremento desde el inicio de la revolución industrial. Desde aquella época, la concentración de CO₂ ha aumentado en cerca de 25%, principalmente por el empleo de combustibles

fósiles.

Colombia generó 167.046 Gg de dióxido de carbono en 1990. El sector energía, fue responsable de 52.383 Gg, aproximadamente el 28% de las emisiones nacionales.

Las emisiones de dióxido de carbono fueron estimadas empleando las dos metodología propuestas por el IPCC: Top-Down y Bottom

Up (IPCC-OECD, 1995, vol. 3). Los valores mencionados arriba corresponden a la aplicación del método "Bottom Up". Con el método "Top-Down" se llegó a la cifra de 52718 Gg resultando una diferencia de 0,62% entre ellos.

La metodología "Top-Down" se basa en consumos aparentes de los diferentes tipos de combustibles primarios y se emplean factores de emisión promedios para generar las emisiones de CO₂. El método "Bottom Up" permite la estimación de emisiones por sectores, basado en el consumo de energía final y se pueden emplear factores de emisión específicos para cada combustible¹. En ambos casos las emisiones de CO₂ son función de la cantidad del combustible, del grado de oxidación y del contenido de carbono.

Se emplearon los factores de emisión recomendados por el IPCC, pues en Colombia no se conocen los factores para todos los combustibles (en especial existe una gran variedad de carbones y cuyos poderes caloríficos son diferentes²), y los que existen son muy similares a los valores por defecto. Así mismo, se emplearon los factores de no-oxidación recomendados por la metodología: 2% para combustibles sólidos, 1% para combustibles líquidos y 0,5% para gases. Se consideró además, el uso no energético de algunos combustibles, como el gas para la petroquímica.

Las más importantes fuentes de error que explican la diferencia encontrada entre la metodología Bottom-Up y la Top-Down son:

i) En el Balance Energético Nacional existe

¹ Especialmente en los destilados del petróleo, para los cuales los factores de emisión específicos en la metodología Top-Down se aplican únicamente a las importaciones. Los producidos nacionalmente quedan incluidos en el consumo de crudo.

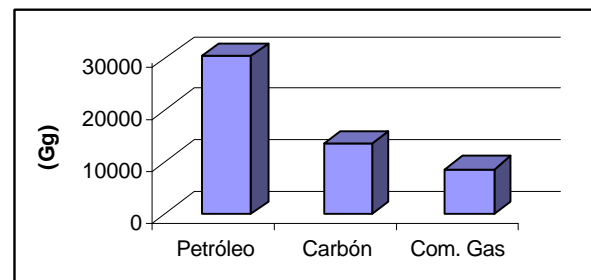
² También existen diferencias en poder calorífico para los más importantes campos productores de gas natural.

una fila llamada "ajustes" que no se tuvo en cuenta.

- ii) Algunos energéticos empleados en Colombia o que aparecen en el Balance Energético, que no son tratados explícitamente en la metodología, fueron agregados a combustibles similares: Crudo de Castilla y Fuel Oil, Gases de Alto Horno - Gases Industriales, etc.
- iii) Los factores de emisión específicos aplicados en la metodología Bottom-Up llevan a resultados diferentes cuando se aplican valores medios en la metodología Top-Down¹.

Basados en la metodología Top-Down, el petróleo (ver figura 2.3) produce la mayor cantidad de dióxido de carbono dando cuenta de 30.507 Gg (58%), seguido por el carbón, 13.470 Gg (25,5%) y los combustibles gaseosos con 8.742 Gg (17%).

Figura 2.3 Producción de CO₂ por fuente energética - 1990

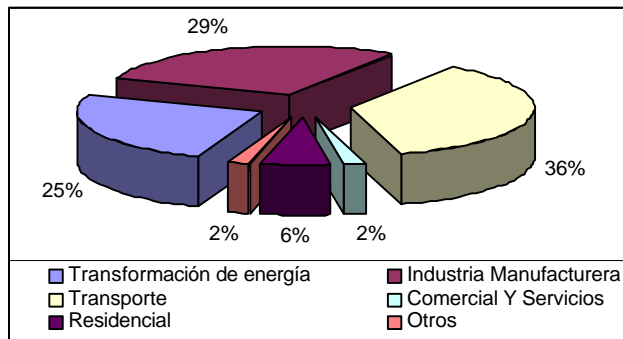


Las emisiones de CO₂ por sectores, basados en la metodología Bottom-Up, pueden ser observados en la tabla 2.2 y en la figura 2.4.

El sector transporte contribuye con la mayor cantidad, 18460 Gg (36%), seguido por el sector industrial 14895 (29%) y el sector de la transformación energética con 12655 Gg (25%). Respecto de las emisiones de dióxido de carbono es importante notar que el sector residencial contribuye apenas con un 6%

siendo uno de los tres mayores consumidores de energía final.

Figura 2.4 Participación por fuente en emisión de CO₂ para el sector energía



Fuentes Estacionarias

Las fuentes estacionarias emitieron 33495 Gg de dióxido de carbono en 1990, principalmente provenientes de derivados del petróleo y del carbón. El contribuyente más importante fue el Sector Industrial, con 14895 Gg (45,5%), seguido por la generación de electricidad, 8398 Gg (26%), luego la Industria de transformación de gas y petróleo, 4257 Gg (13%) y el sector residencial con 3107 Gg (10%). El restante 5% se reparte entre los demás sectores. (Ver tabla 2.3).

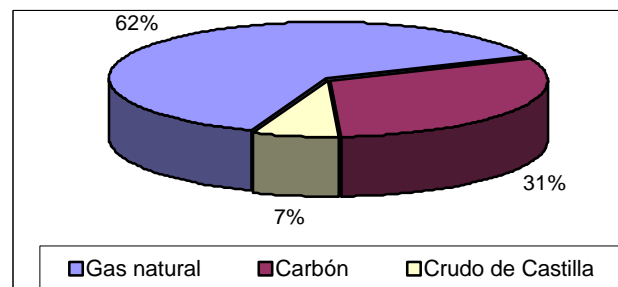
Tabla 2.3. Emisión por fuentes estacionarias (Gg)

FUENTES	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO
Transformación energética	12655	0,38	0,06	61,00	4,90
Generación de electricidad	8398	0,12	0,04	54,16	2,35
Petróleo y gas	4257	0,26	0,02	6,84	2,68
Industria manufacturera	14895	0,33	0,17	68,73	80,86
Comercial y servicios	854	0,01	0,15	0,73	0,18
Residencial	3107	19,57	0,35	49,59	4331,8
Otros	1985	0,80	0,24	2,62	10,71
Total Emisión de fuentes estacionarias	33495	21,1	0,96	182,7	4428,6

La generación de electricidad emitió 8398 Gg de CO₂, correspondiente a un 26% de las emisiones de las fuentes estacionarias, y tan sólo un 5% de las emisiones nacionales o un 16,5% de las emisiones del sector energía.

Desde el punto de vista de las fuentes empleadas en la generación de electricidad, en primer lugar está el gas natural con 78,5 Gg (63%) y luego el carbón 38 Gg (30,5%). El resto es debido a destilados y Crudo de Castilla, como se puede observar de la figura 2.5.

Figura 2.5 Participación por recurso en la emisión de CO₂ (Generación eléctrica)



Las estimaciones de emisiones del sector industrial se realizaron desagregándolo por

subsectores de actividad hasta la categoría de dos dígitos del Código Internacional de Clasificación de Actividades Económicas. Cada subsector se desagregó en los siguientes usos energéticos: calor directo, generación de vapor y otros usos (incluyendo fuerza motriz).

El consumo de energéticos como materia prima en el sector industrial también fue considerada, ya que la mayor parte del carbono contenido es retenido en el producto (carbono secuestrado), y sólo una fracción es

emitida como CO₂.

La rama de Productos Minerales no Metálicos, es responsable por casi la mitad de las emisiones de CO₂ en el sector (45%), generando 6564 Gg. Le sigue la Industria Química (12%), Alimentos, (11%) y el Papel (10%). El resto de las ramas contribuyen con menos del 10%.

Las emisiones de CO₂ del sector industrial se aprecian en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Emisiones del sector industrial por rama (Gg)

Rama del sector industrial	CO ₂	CH ₄	NO _x	N ₂ O	CO
Alimentos bebidas y tabaco	1648	0,05	6,99	0,02	59,18
Textiles, cuero y confecciones	972	0,03	2,85	0,01	0,77
Papel e imprenta	95	0,00	0,17	0,00	0,02
Químicos	1454	0,04	5,19	0,02	10,59
Cemento y minerales no metálicos	1787	0,06	3,15	0,01	1,1
Industrias metálicas básicas	6564	0,09	46,99	0,08	5,99
Maquinaria y equipos	1103	0,03	0,60	0,01	2,52
Otras industrias	218	0,01	0,41	0,00	0,14
Materias primas	838	0,02	2,38	0,01	0,56
TOTAL	14895	0,33	68,73	0,16	80,8

El sector residencial emitió 3107 Gg de dióxido de carbono, mientras el sector comercial - servicios arrojó 854 Gg. Nuevamente es de recalcar lo atípico del sector residencial en Colombia: La mayoría de la leña consumida en el país se emplea para cocción en el sector residencial de las áreas rurales, lo que lo convierte en uno de los tres grandes consumidores de energía final, con cerca del 30% de ella, y el sector residencial urbano es uno de los más grandes consumidores de electricidad con cerca del 40% de la demanda.

Es importante aclarar que los datos de consumo final de energía del sector industrial fueron tomados del Balance Energético Consolidado del Ministerio de Minas y Energía, pero los porcentajes empleados en

cada uno de los usos en el sector fueron ajustados de acuerdo con la Encuesta Energética Industrial de 1990, realizada también por el MME, cuya base de datos fue suministrada por la Unidad de Información Minero Energética.

Fuentes Móviles

En 1990 las emisiones de CO₂ provenientes de las fuentes móviles se estiman en 18460 Gg, sin tener en cuenta las ventas a naves internacionales (550,9 Gg), según la metodología del IPCC.

La desagregación por modo de transporte se muestra en la tabla 2.5, en donde se aprecia que la mayoría de las emisiones son originadas por el transporte carretero, que en

1990 produjo 14625 Gg de CO₂, es decir, cerca del 79% del subsector.

Las emisiones del transporte público de pasajeros son las más importantes dentro del sector, alcanzando los 5192 Gg que representan un 34% del total, le sigue el transporte de carga pesada con 4922 Gg que equivalen a un 33% y los vehículos privados con 4510 Gg que representan un 30% del total.

En Colombia, la gasolina motor es la fuente móvil más importante de CO₂ con 12162 Gg, representando el 82% del total del transporte. La segunda es el Diesel, principalmente en el transporte pesado de carga, que emitió en 1990 un total de 2487 Gg (16%) de dióxido de carbono. El 2% restante es compartido por Gas Natural Comprimido, Fuel Oil y Carbón, las emisiones en el subsector transporte se presentan en la figura 2.6.

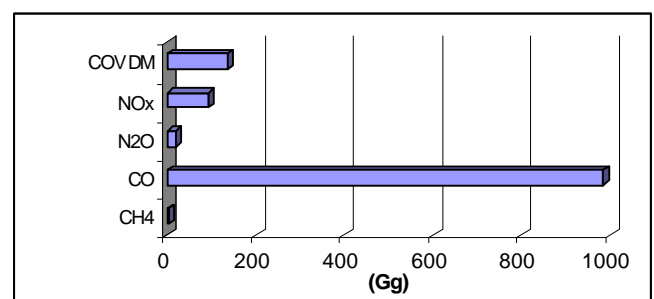
Tabla 2.5. Emisiones de las fuentes móviles (Gg)

ACTIVIDAD	CO ₂	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x	COVDM
Transporte Aéreo	1765	0,00	1,13	0,00	46,66	0.02
Vehículos	14827	5,51	985,56	0,20	92,71	136.5
Trenes	67	0,01	0,58	0,00	0,83	0.12
Navegación	707	0,03	3,15	0,02	16,38	0.66
Otros Sectores	1339	0,44	66,17	0,02	13,72	0.0
Total transporte nacional	18706	5,99	1056,60	0,25	170,3	135.5

Los datos empleados para estimar las emisiones del sector transporte fueron tomados del Balance Energético del Ministerio de Minas y Energía, y comparados con otros estudios realizados en el sector con el fin de desagregar las edades del parque automotor.

Sin embargo, debido a falta de confiabilidad en los datos de dichos estudios se decidió emplear la distribución del Balance Energético, esto es, pasajeros privados urbanos e interurbanos, pasajeros públicos urbanos e interurbanos, carga urbana y carga interurbana, y se eligieron los factores de emisión más onerosos, es decir, la menor economía de combustible por kilómetro, sin controles de emisión.

Figura 2.6 Emisión de GEI para el subsector transporte (No se incluye CO₂)



Esta decisión se tomó debido a las condiciones caóticas de tráfico en las grandes ciudades y a las malas condiciones de las carreteras en el país, los cuales restan importancia a las condiciones de operación de los vehículos respecto de la edad de los mismos.

Las emisiones del sector transporte en Colombia deben ser medidas y deben realizarse experimentos respecto de las condiciones de rodamiento de los vehículos (tráfico y estado de las vías), ya que se presume este sector como importante para la reducción de emisiones en el país.

2.2.1.2 Emisiones de Otros Gases

Los gases de Efecto Invernadero diferentes al CO₂ generados por las actividades de quema de combustibles (CH₄, NO_x, NO₂, CO y

COVDM) varían de acuerdo al tipo de actividad, y dependen de la tecnología empleada, del tamaño y la edad del equipo, el tipo y eficiencia de los controladores de emisiones, y de las condiciones de operación y mantenimiento de los equipos.

La tabla 2.6 muestra las estimaciones de emisiones de gases de invernadero diferentes al CO₂, debidas a las fuentes estacionarias. En general, el sector residencial es el mayor contribuyente debido al alto consumo de leña en la cocción rural.

Tabla 2.6. Fuentes estacionarias (Gg)

FUENTES	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO
Transformación energética	0,38	0,06	61,00	5,0
Industria manufacturera	0,33	0,16	68,73	80,9
Comercial y servicios	0,01	0,15	0,73	0,2
Residencial	19,57	0,35	49,59	4331,9
Otros	1,19	0,25	8,86	73,9
Total fuentes estacionarias	21,48	0,97	188,91	4491,9

Evidentemente el consumo energético del sector residencial rural en Colombia, deforma cualquier patrón de consumo energético y así, cualquier patrón de emisiones de gases de invernadero. Del total de las fuentes estacionarias las emisiones y las participaciones del sector residencial son: 19,53 Gg (93%) de metano, 4332 Gg de CO (98%), 0,34 Gg de N₂O (37%), y 49 Gg de NO_x (27,5%). Todas estas cifras provienen del consumo de leña.

Según los porcentajes citados, los demás sectores carecen de importancia y no merecen descripción más profunda, aún más si las estimaciones de las emisiones dependen de factores cuyos valores no son tan confiables como los del CO₂ (tipo de tecnología, edad, etc.).

Así mismo, las cifras antes anotadas dan pie

para discutir sobre la importancia de emprender campañas de sustitución de leña por otros combustibles, importancia que no parece evidente si se consideran solamente las emisiones de CO₂, ya que la biomasa está en equilibrio respecto de este gas.

Fuentes Móviles

El uso de combustibles en el transporte es la segunda fuente de importancia de la emisión de gases de invernadero diferentes al CO₂, excepto del NO_x, del cual el sector transporte es responsable de casi el 50% de las emisiones totales provenientes de la combustión.

De las emisiones provenientes de las actividades de quema de combustibles, las fuentes móviles son responsables del 21% de las emisiones de metano, 19% del CO, 21%

del N₂O, 48% del NO_x y 100% de los COVDM.

Respecto de las Emisiones Nacionales, las fuentes móviles contribuyen con el .0,3% de las emisiones del metano, 12% del CO, 2,5% del N₂O y cerca del 39% de NO_x. (todos los COVDM son emitidos por las fuentes móviles).

La tabla 2.7 muestra las estimaciones de emisiones de Gases de Invernadero diferentes al CO₂ provenientes del sector transporte en Colombia. La fuente más importante corresponde a los vehículos de carretera que aportan el 91,5% de las emisiones de metano, el 93% del CO, el 80% del N₂O y el 54% del NO_x.

Tabla 2.7. Emisiones del sector transporte (Gg)

ACTIVIDAD	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x
Transporte Aéreo	0,00	1,13	0,00	46,66
Vehículos	5,46	985,56	0,20	92,71
Trenes	0,01	0,58	0,00	0,83
Navegación	0,03	3,15	0,02	16,38
Otros Sectores	0,44	66,17	0,02	13,72
Total transporte	5,99	1056,60	0,25	170,3

2.3 EMISIONES FUGITIVAS

Las emisiones fugitivas son originadas en la producción, transporte almacenamiento transformación y distribución de las industrias

del gas, petróleo y carbón. Estas emisiones son básicamente metano a pesar de que, además, pequeñas cantidades de CO₂ y de COVDM puede producirse.

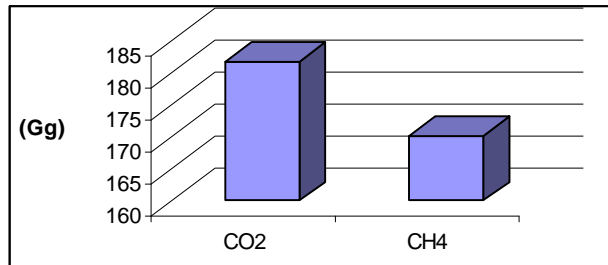
Tabla 2.8. Emisiones fugitivas del sector energía (Gg)

FUENTE	CO ₂	CH ₄
Sistemas de gas y petróleo	182	66
- Petróleo	0	3
Producción		2
Transporte, refinación y almacenamiento		0,3
- Gas	182	63
Producción y procesamiento		12
Transporte y distribución		7
Venteo y flameo	182	44
- Minería del carbón		104
Total emisiones fugitivas	182	170,3

El metano es el principal componente del gas natural, y consecuentemente, cualquier escape o pérdida durante la extracción, transporte o tratamiento en la cadena del gas

natural, origina emisiones de CH₄ hacia la atmósfera (ver figura 2.7).

Figura 2.7 Emisiones fugitivas en el sector energía



Las emisiones fugitivas del sector energético no son en realidad fuentes importantes de metano en el país, así representen el 87% de todas las emisiones del sector energético, tan sólo corresponden a un 9% de las emisiones nacionales.

Debido a la importancia de la minería del carbón en Colombia, se examinaron las emisiones fugitivas por esta actividad encontrándose un total de 104 Gg, que corresponden al 60% de las fuentes fugitivas, la mayoría proveniente de la minería subterránea, 82 Gg (79%).