



**GESTIÓN INTEGRAL CORPORATIVA DE LA HUELLA DE CARBONO**

**2**

**GUÍA** PARA LOS INVENTARIOS ORGANIZACIONALES DE EMISIONES DE GEI POR USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES Y COMERCIALES







GESTIÓN INTEGRAL CORPORATIVA DE LA HUELLA DE CARBONO

2

GUÍA PARA LOS INVENTARIOS ORGANIZACIONALES DE EMISIONES DE GEI POR USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES Y COMERCIALES



**Elsa Matilde Escobar**  
**Directora Ejecutiva**

**Roberto León Gómez**  
**Subdirector Desarrollo Local y Cambio Global**



**Fabiola Suárez**  
**Directora CAEM**



**Rafael Mejía**  
**Presidente**



**Luis Gilberto Murillo**  
**Ministro**

**Rodrigo Suárez**  
**Director de Cambio Climático**



**MVC COLOMBIA**  
Mecanismo de Mitigación Voluntaria  
de Emisiones de GEI

**Director General:**  
**Roberto León Gómez**

**Componente 1:**  
**Michelle Hernández**

**Componente 2:**  
**Alexandra Ochoa Herrera**

**Componente 3:**  
**Margarita Pava**

**Realizada por:**  
**William Rodríguez Delgado**

**Coordinación Institucional  
y Acompañamiento Técnico:**  
**William Rodríguez Delgado**  
**Daniela Villalba Rodríguez**  
**Felipe Saavedra Quintero**  
**Margarita Pava Medina**  
**Corporación Ambiental Empresarial - CAEM**

**Diseño:**  
**Andy Rodríguez M.**

**Fotografía: Promigas S.A E.S.P.**



**Cítese como:**

Fundación Natura. Guía para los inventarios organizacionales de emisiones de GEI por uso de combustibles fósiles en actividades industriales y comerciales; Rodríguez, W; Villalba, D; Saavedra, F. Bogotá D.C. Colombia, Fundación Natura; CAEM. 2016. ISBN: 978-958-8753-25-6

La elaboración, diagramación e impresión de esta guía fue realizada con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial - FMAM -, a través del Banco Interamericano de Desarrollo - BID.

© Fundación Natura

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización de los titulares de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales.

# CONTENIDO



## 1 INTRODUCCIÓN

1.1 ¿POR QUÉ UNA GUÍA?	6
1.2 ¿CUÁL ES EL CONTENIDO DE LA GUÍA?	7
1.3 ¿POR QUÉ INICIAR ESTE PROCESO?	8

## 2 DESARROLLO

2.1 ¿QUÉ SE NECESITA PARA INICIAR?	10
2.2 ¿SON IGUALES LAS EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO GEI DE TODOS LOS COMBUSTIBLES?	13
2.3 ¿CÓMO UTILIZAR LOS FACTORES DE EMISIÓN DE LOS COMBUSTIBLES COLOMBIANOS FECOC?	18
2.4 PROCESO DE CÁLCULO DE EMISIONES DE CO2 POR USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES.	20
2.4.1 Ejemplo 1: Factores de emisión para combustibles sólidos.	24
2.4.2 Ejemplo 2: Factores de emisión para combustibles líquidos.	27
2.4.3 Ejemplo 3: Factores de emisión para combustibles gaseosos.	28
2.5 EJEMPLOS EN MEDICIONES DIRECTAS O INDIRECTAS DE GEI.	30
2.5.1 Emisiones asociadas al consumo de combustible en el transporte.	30
2.5.1.1 Cuando se tiene el consumo de combustibles en valores económicos.	31
2.5.1.2 Cuando se conocen los recorridos en kilómetros.	32
2.5.1.3 Cuando solo se tienen el número de rutas y/o recorridos.	34
2.5.2 Casos específicos relacionados con consumo de biocombustibles.	36
2.5.2.1 Cuando se usan combustibles provenientes de la biomasa (biocombustibles).	36
2.5.2.2 Cuando se usan mezclas de combustibles fósiles y biocombustibles.	36
2.5.2.3 Gasolina y Diésel comercializados en Colombia	37

## 3 HERRAMIENTAS, BUENAS PRÁCTICAS O TECNOLOGÍAS PARA EL USO EFICIENTE DE LOS COMBUSTIBLES

3.1 BUENAS PRÁCTICAS Y TECNOLOGÍAS EN EL SECTOR TRANSPORTE	44
3.2 BUENAS PRÁCTICAS Y TECNOLOGÍAS EN EL SECTOR MANUFACTURA.	48
3.2.1 Hornos.	49
3.2.2 Calderas.	50W

## 4 REFERENCIAS Y FUENTES DE INFORMACIÓN



## LISTADO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

<b>AIE:</b>	Agencia Internacional de la Energía
<b>BID:</b>	Banco Interamericano de Desarrollo
<b>BMC:</b>	Bolsa Mercantil de Colombia
<b>CAEM:</b>	Corporación Ambiental Empresarial (Filial de la Cámara de Comercio de Bogotá CCB)
<b>CC:</b>	Consumo de Combustible
<b>CH4:</b>	Gas Metano
<b>CMNUCC:</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
<b>CO2:</b>	Dióxido de Carbono
<b>CO2e:</b>	Dióxido de Carbono equivalente
<b>Col:</b>	Colombia
<b>D:</b>	Densidad del combustible
<b>ECO2:</b>	Emisiones de CO2
<b>EEA:</b>	European Environment Agency (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Europa)
<b>EPA:</b>	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos)
<b>FE:</b>	Factor de Emisión
<b>FECOC:</b>	Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos
<b>gal:</b>	Galones
<b>GEF:</b>	Global Environment Facility (Fondo Mundial para el Medio Ambiente)
<b>GEI:</b>	Gases Efecto Invernadero; también referido por sus siglas en inglés como GHG (Greenhouse Gases)
<b>GLP:</b>	Gas Licuado del Petróleo
<b>GPS:</b>	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
<b>H2O:</b>	Agua
<b>IDEA:</b>	Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía
<b>IPCC:</b>	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
<b>ISO:</b>	Organización Internacional de Normalización
<b>kg:</b>	Kilogramos
<b>km:</b>	Kilómetros
<b>lb:</b>	libra
<b>m3:</b>	Metros cúbicos
<b>MJ:</b>	Megajulios
<b>MVC:</b>	Mercado Voluntario de Carbono
<b>Nm3:</b>	Metros cúbicos normalizados
<b>N2O:</b>	Óxido nitroso
<b>O2:</b>	Oxígeno
<b>PCI:</b>	Poder Calorífico Inferior de un Combustible; también referido por sus siglas en inglés como LHV (Lower Heating Value)
<b>PCS:</b>	Poder Calorífico Superior de un Combustible; también referido por sus siglas en inglés como HHV (Higher Heating Value)
<b>SIAME:</b>	Sistema ambiental minero-energético
<b>t CO2e:</b>	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
<b>TJ:</b>	Terajulios
<b>UPME:</b>	Unidad de Planeación Minero Energética

A photograph showing a boat's deck with a blue barrel, a red railing, and a view of turbulent water. The barrel is positioned on the deck, and the railing is visible in the foreground. The water is churning and white with foam, suggesting a rough sea or a fast-moving current. The boat's structure, including a blue railing and a wooden deck, is visible in the lower part of the image.

# INTRODUCCIÓN

La alianza interinstitucional entre; la Fundación Natura, la Bolsa Mercantil de Colombia BMC y la Cámara de Comercio de Bogotá - CCB a través de su filial, la Corporación Ambiental Empresarial - CAEM y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el apoyo del Global Environment Facility - GEF a través del Banco Interamericano de Desarrollo - BID, lidera el proyecto: MECANISMO PARA LA MITIGACIÓN VOLUNTARIA DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI) EN COLOMBIA (MVC COLOMBIA), el cual busca promover los mercados voluntarios de carbono en el país.

En el marco del proyecto se identificó que el sector empresarial necesita fortalecer sus capacidades para el cálculo de la huella de carbono organizacional mediante la apropiación de conceptos, metodologías y herramientas, que conlleven a su vez, a que las organizaciones encausen sus esfuerzos para gestionar dicha huella de carbono. Por esta razón, el Proyecto MVC Colombia pone a disposición del público en general un paquete de guías que oriente el ejercicio práctico para el cálculo de la huella, y de esta forma atender esta necesidad en cualquier sector económico interesado en la materia.

El término huella de carbono es utilizado para definir la cantidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que es generada por una actividad, proceso, evento, persona, municipio o empresa, y por lo tanto se convierte en un indicador para que las organizaciones, los gobiernos y los individuos pueden evaluar su nivel de contribución a la generación del cambio climático. La cuantificación de estas emisiones y su procedencia, son aspectos

necesarios para la posterior adopción de medidas que permitan mitigar o compensar dichas emisiones<sup>1</sup>.

Por su parte, el uso de combustibles fósiles, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos; hace parte de las principales fuentes de emisión de GEI procedentes de actividades humanas, según lo establecido por la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) y la metodología internacional más utilizada para el cálculo de huella de carbono organizacional, el Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)<sup>2</sup>. En consecuencia, se requiere que las organizaciones prioricen la identificación de fuentes relacionadas con los consumos de combustibles fósiles y tomen decisiones frente a la selección de los factores de emisión asociados a las mismas.

Para el caso colombiano, los factores de emisión de combustibles fósiles, han sido formulados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y se conocen con la sigla FECOC<sup>3</sup>. En el marco de MVC Colombia, con la participación y apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la UPME, se realizó a finales de 2015 la actualización del FECOC, con el ánimo de obtener factores de emisión ajustados a las condiciones de la canasta energética actual en nuestro país.

<sup>1</sup> British Standards Institution BSI. Guide to PAS 2050: How to assess the carbon footprint of goods and services (2008).

<sup>2</sup> Desarrollada por: Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), Instituto Mundial de Recursos (WRI)

<sup>3</sup> Factores de Emisión para los Combustibles Colombianos (FECOC)



En la presente guía de combustibles se utilizan los FECOC actualizados, por lo cual esta se convierte en una herramienta de orientación para las empresas que decidan realizar el cálculo de la huella de carbono por el uso de combustibles fósiles..

Esta herramienta hace parte de una serie de guías de referencia, las cuales se desarrollan en el marco

de operación del componente de Implementación de un programa nacional para promover actividades voluntarias de mitigación y compensación de emisiones organizacionales, el cual, hace parte del proyecto MVC COLOMBIA y se encuentra a cargo de la Corporación Ambiental Empresarial, filial de la Cámara de Comercio de Bogotá.

## 1.2

## ¿CUÁL ES EL CONTENIDO DE LA GUÍA?

Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE)<sup>4</sup> Colombia tiene un consumo de energía procedente de combustibles fósiles de aproximadamente un 76% del total; lo que hace que su matriz energética<sup>5</sup> sea fuertemente dependiente de estos recursos naturales no renovables<sup>6</sup>.

A nivel organizacional, según el balance energético nacional desarrollado por la UPME<sup>7</sup>, las condiciones del consumo final de energía también están claramente orientadas al uso de fuentes fósiles, principalmente por el consumo de gas natural a nivel industrial, y de gasolina y diésel en el sector transporte. Desde el punto de vista de las emisiones de Gases de Efecto invernadero GEI, esta situación conlleva a que el uso de este tipo de combustibles contribuya de forma considerable en el balance total de emisiones y sea un factor a considerar a la hora de realizar un inventario de GEI corporativo (cálculo de huella de carbono organizacional).

Para la estimación o cálculo de las contribuciones realizadas por cuenta del uso de combustibles a las emisiones de GEI, se requiere abordar varios aspectos clave como el proceso de recolección de los datos, manejo o uso de factores de emisión,

proceso de conversión de unidades, fórmulas para el cálculo, entre otros, que son señalados en esta guía y que se convierten en requisitos fundamentales para la realización del cálculo de la huella de carbono de una organización. Aunque esta guía hace énfasis en sectores productivos intensivos en el uso combustibles fósiles (industrial, servicio logístico y/o transporte), no se excluye su uso a otros sectores que pueden utilizar los mismos procedimientos para el cálculo de la huella de carbono.

<sup>4</sup> Agencia Internacional de la Energía. Estadísticas de la AIE © OCDE/AIE, <http://www.iea.org/stats/index.asp>.

<sup>5</sup> La matriz energética de un país, es aquella que establece las diferentes fuentes energéticas disponibles, indicando la importancia y participación de cada una de estas y la forma en que se usan. Estas se clasifican en fuentes primarias y fuentes secundarias. Las fuentes primarias a su vez pueden ser renovables (hidroenergía, leña plantada y bagazo) y no renovables (petróleo, carbón y gas natural).

<sup>6</sup> También hay recursos naturales renovables como el agua, el suelo y el aire; en general esta clasificación entre renovables y no renovables está relacionada con el concepto de escasez y de finitud en la naturaleza, es decir si son escasos o finitos.

<sup>7</sup> Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, Balance Energético Nacional, 2012. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta\\_Balance.aspx?IdModulo=3](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Balance.aspx?IdModulo=3).

Este documento está organizado en tres secciones con el fin de facilitar su uso y orientar en los temas

requeridos para cada fase del proceso: 1. Introducción, 2. Desarrollo y 3. Referencias.

### 1.3

## ¿POR QUÉ INICIAR ESTE PROCESO?

**E**n la actualidad los sistemas sociales y económicos basan sus actividades en las posibilidades otorgadas por los combustibles fósiles como principal fuente energética, por lo que muchas organizaciones tienen consumos significativos de combustibles fósiles y los han identificado como una de las fuentes de emisión de GEI más relevantes en sus operaciones; esta condición permite a las empresas la oportunidad de implementar estrategias orientadas a su consumo racional y eficiente, de forma que una reducción de la huella de carbono generada por su uso, se ve también reflejada en una disminución de costos asociados para las empresas.

En este orden de ideas, la inclusión de los combustibles de origen fósil en el inventario de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la organización, puede constituirse en el primer paso para obtener diferentes tipos de beneficios a nivel organizacional. Desde el punto de vista ambiental, el beneficio más evidente resulta ser la reducción de las emisiones de GEI, lo cual incide en la disminución del impacto en el cambio climático; pero hay otros beneficios adicionales como: la reducción en el uso de energía primaria y la minimización en el uso intensivo de recursos naturales no renovables, entre otros. Desde el punto de

vista operacional, el cálculo de la huella de carbono requiere del levantamiento de información y la implementación de registros, con el fin de incluir datos confiables, al monitorear y asociar esta información con la producción se podrán construir indicadores de eficiencia, permitiéndole a las organizaciones contar con un perfil histórico de información que le llevará a optimizar los consumos e identificar opciones de mejora en los procesos.. En el aspecto económico, los objetivos de reducción de las emisiones de GEI que se planteen en la organización, seguramente van a conllevar a una optimización en el uso de combustibles, con los correspondientes ahorros económicos asociados a la menor cantidad de combustible empleado o a mayor eficiencia en los procesos, lo que se va a ver reflejado en los costos de operación y en las utilidades económicas de la actividad.

La estimación o cálculo de la contribución del uso de los combustibles en los inventarios de emisiones de GEI, es una actividad necesaria para una organización responsable con el medio ambiente, y con mayor razón, si la organización es intensiva en uso de combustibles para la realización de sus operaciones o si los combustibles ocupan un porcentaje importante de sus costos de operación.





# DESARROLLO







Es importante conocer cuál es la información mínima que se requiere para poder hacer el cálculo de las emisiones de GEI asociadas a las actividades que consumen combustibles. En principio, el insumo principal con el que debe contar la organización es el **registro del consumo de combustibles para un año completo**, para lo cual, se propone el formato presentado en la Tabla No. 1. Sin embargo, la organización puede incluir otros criterios en el formato como los equipos o vehículos, las instalaciones o procesos que requieren el combustible y los responsables o áreas donde reposa la información, lo cual le permitirá a la organización tener una mejor trazabilidad de la misma, así como la construcción de indicadores detallados.

La cantidad y calidad de la información son aspectos importantes para el desarrollo del inventario de GEI. Mientras mayor cantidad de datos esté disponible, mejores resultados se van a obtener, ya que la información será mucho más completa y no requerirá de realizar estimaciones teóricas, disminuyendo la incertidumbre asociada a los datos. Por otra parte, la calidad de la información se refiere a que los datos, en lo posible, tengan el mayor nivel de detalle, de confiabilidad en el manejo de la información y de soporte documental. Particularmente, considerando que los resultados obtenidos de dicha información será fundamental para la toma de decisiones organizacionales que implican costos y tiempos.

**Tabla 1**

EMPRESA DE TRANSPORTES S.A.													
Registro de consumo de combustibles 2012													
Combustible	Unidad (Galones u otra)	Total Mes											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gas Natural													
GLP													
Diésel													
Gasolina													
Carbón													
Otros*													

**Nota de utilidad**

Según las metodologías más reconocidas (ISO 14064-1 y GHG Protocol), la organización debe decidir si incluye en sus inventarios de GEI las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de los combustibles que tienen su origen en la biomasa, es decir, de aquellos conocidos como biocombustibles: carbón vegetal, biodiésel o bioetanol; sin embargo, si son incluidas se deben cuantificar y reportar por separado en lo que respecta solamente al CO<sub>2</sub>.

Antes de continuar con las recomendaciones sobre el proceso de registro de datos, cabe aclarar un aspecto muy importante y es que, si bien la contabilización de las emisiones de GEI generadas por el uso de combustibles es el tema principal de esta guía, y por lo tanto en ella se hace referencia a los mismos de forma exclusiva, **para un cálculo y reporte completo de huella de carbono organizacional se deben incluir otras fuentes de emisión del alcance 1<sup>8</sup>** (como el consumo de gases refrigerantes, de fertilizantes, el tratamiento de aguas residuales o residuos sólidos que se realice al interior de la empresa y que pueda generar gas metano (CH<sub>4</sub>), y otras fuentes de emisión que hagan parte de este alcance) **y del alcance 2<sup>9</sup>** (consumo de energía adquirida o comprada a de redes

externas). Igualmente, el horizonte temporal de los datos empleados para este cálculo completo debe ser el mismo que se emplee para los combustibles fósiles; así, por ejemplo, si se toman datos de 2 años - Por ejemplo 2014 y 2015 - para el cálculo de las emisiones de GEI provenientes del consumo de combustibles, también se debe contar con datos del consumo de energía eléctrica y las demás fuentes del alcance 1 para los mismos 2 años.

<sup>8</sup>Fundación Natura. Guía para elaborar Inventarios Corporativos de Gases Efecto Invernadero / Catacolí, Alejandra (consultora). Bogotá, D.C. Colombia, Fundación Natura; CAEM. 2014. Págs. 37 a 40.

<sup>9</sup>Ibídem.

Retomando el proceso de registro de datos; es importante que se deje por escrito la manera o método que la empresa usa para hacer el registro y consolidación de esos datos que ha consignado en la Tabla No. 1 y que, de esta forma, se genere un procedimiento que permita garantizar o demostrar la trazabilidad y la calidad de la información consignada, con el fin de aumentar la confiabilidad de los datos y facilitar procesos posteriores de actualización de los inventarios de emisiones.

Por su parte, la recolección de los datos de los consumos de combustibles debe diferenciar los consumos directos de los indirectos:

- Los consumos directos son aquellos sobre los cuales la organización tiene control, es decir, sobre los que asume el pago directo de las facturas, ya que el combustible adquirido es para instalaciones, equipos o vehículos propios.
- Los consumos indirectos son aquellos que la organización no controla ni paga directamente, sino que los asume un tercero (proveedor o distribuidor).

Normalmente, las organizaciones conocen sus consumos directos de combustible y no los consumos indirectos, dado que los costos asociados a estos últimos están inmersos en la cifra global que se paga al tercero por el servicio prestado. Para mayor claridad sobre la diferencia entre los consumos directos e indirectos, se presenta el siguiente caso a modo de ejemplo:

*Una organización transporta a sus empleados en dos buses: uno de ellos es de su propiedad y por ende, es la organización la que asume el costo por la compra del combustible; el otro bus es alquilado a un particular, quien se encarga de asumir el suministro del combustible y cobra una factura mensual a la empresa por la prestación global del servicio (alquiler del bus, honorarios del conductor, mantenimiento y combustible).*

Los consumos de estos dos buses pueden ser cuantificados dentro del inventario de emisiones de GEI, pero deben llevarse registros por separado para el bus propio de la empresa y para el bus alquilado (aunque funcionen con el mismo combustible). Esto se debe a que los consumos del bus propio se catalogan en el inventario como emisiones directas (alcance 1)<sup>10</sup> y los del bus alquilado como emisiones indirectas (alcance 3)<sup>11</sup>. En este punto, cabe recordar que de acuerdo con el Protocolo GHG y la ISO 14064-1, es voluntario incluir las emisiones del alcance 3 en el cálculo de la huella de carbono<sup>12</sup>.

Además de contar con el mínimo de datos indicado anteriormente, conviene revisar y atender a todas las recomendaciones señaladas en la Guía 1 o "Guía para Elaborar un Inventario de Gases de Efecto Invernadero Corporativo"<sup>13</sup>.

<sup>10</sup> *Ibidem*.

<sup>11</sup> Fundación Natura. Guía para elaborar Inventarios Corporativos de Gases Efecto Invernadero / Catacolí, Alejandra (consultora). Bogotá, D.C. Colombia, Fundación Natura; CAEM. 2014. Pág. 41. Los aspectos relacionados específicamente con el alcance 3, se abordarán en una guía técnica posterior.

<sup>12</sup> Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), Instituto Mundial de Recursos (WRI), "GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol)". Págs. 29 y 33. En el caso de la ISO 14064 se menciona la inclusión

del alcance 3 como un "puede" y no como un "debe" de la norma.

<sup>13</sup> Fundación Natura. Guía para elaborar Inventarios Corporativos de Gases Efecto Invernadero / Catacolí, Alejandra (consultora). Bogotá, D.C. Colombia, Fundación Natura; CAEM. 2014.

<sup>14</sup> Unidad de Planeación Minero-Energética UPME – Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales ACCEFYN; Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos FECOC, Informe Final; Pág. 3; 2003.



## ¿SON IGUALES LAS EMISIONES DE GEI DE TODOS LOS COMBUSTIBLES?



La literatura define un combustible como “una sustancia capaz de reaccionar con el oxígeno del aire con desprendimiento de energía térmica apta para producir trabajo mecánico” ; en otras palabras, se trata de una sustancia (sólida, líquida o gaseosa) que al reaccionar con el oxígeno produce el calor necesario para producir movimiento. Aunque existen varias formas de clasificarlos, la más común es de acuerdo con el estado físico en el que se encuentran y, por lo tanto, se puede hablar de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

Otra forma de clasificación importante está asociada al origen del combustible, lo que los clasifica principalmente en combustibles de origen renovable (por ejemplo la leña o la biomasa) y combustibles de origen no renovable o fósil (los de uso común en vehículos y maquinaria). Sin embargo,

independientemente de la clasificación, todos estos combustibles pueden ser objeto de un cálculo de huella de carbono (inventario de emisiones de GEI):

- Combustibles sólidos (como los diferentes tipos de carbón mineral);
- Combustibles líquidos (petróleo y todos sus derivados líquidos como la gasolina y el diésel);y
- Combustibles gaseosos (como el gas natural y el gas licuado de petróleo GLP).

---

<sup>14</sup>Unidad de Planeación Minero-Energética UPME – Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales ACCEFYN; Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos FECOC, Informe Final; Pag. 3; 2003.

Aunque los combustibles fósiles tienen un origen común, al tratarse de compuestos químicos formados a partir de seres vivos, el poder calorífico de los mismos y las emisiones ocasionadas por su oxidación durante una combustión difieren considerablemente; de esta forma surgen los factores de emisión diferentes para los combustibles.

Los factores de emisión (FE) son datos variables que permiten calcular la cantidad de emisiones por el uso de una determinada sustancia, en este caso, determinado combustible. Generalmente los factores de emisión se expresan como las unidades de masa del gas de efecto invernadero emitido (por ejemplo: toneladas, kilogramos o gramos de CO<sub>2</sub>, de CH<sub>4</sub> o de N<sub>2</sub>O) por unidad de peso de volumen o de energía de la sustancia o combustible consumido „ (por ejemplo: Kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente por metro cubico de gas natural consumido, toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por tonelada de carbón puesto en combustión, kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente por kilometro recorrido en un automóvil, Kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente por galón de gasolina etc.).

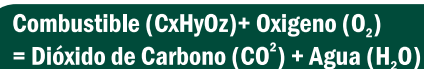
Estos factores varían no solamente de acuerdo con el tipo de combustible sino con la actividad en la que se aplique su proceso de combustión (por ejemplo: generación de energía, procesos industriales, aplicaciones residenciales) y la tecnología utilizada para tal fin (por ejemplo: calderas, hornos, estufas). En este sentido, existen factores de emisión por combustible, proceso y tecnología, de tal manera que, en la medida en que se avanza en el grado de detalle, el factor de emisión resulta más exacto<sup>15</sup>. Esta condición hace que surja la necesidad de estandarizar los factores de emisión.

El método internacional de referencia para estimar las emisiones de GEI asociadas a las actividades de consumo de combustibles es el propuesto por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change o, en español, Panel Intergubernamental sobre

Cambio Climático), que consiste en contabilizar el volumen de carbono contenido en los combustibles fósiles que se utilizan en el país y se asume que las emisiones de CO<sub>2</sub> dependen básicamente de las características de los combustibles y no de las tecnologías de su aprovechamiento, como es el caso con los otros contaminantes<sup>16</sup>.

Así, se pueden encontrar en la bibliografía internacional variedad de factores de emisión de CO<sub>2</sub> para el mismo tipo de combustible y, por esta misma razón, deben establecerse las fuentes bibliográficas que más se ajusten a las condiciones del lugar donde se vaya a realizar el inventario de emisiones de GEI de los combustibles, y que permitan establecer criterios de comparación entre diferentes consumos y en diferentes organizaciones.

Los cálculos de los factores de emisión de los combustibles se fundamentan en las bases teóricas suministradas por la estequiometría de cada uno, la cual es establecida a partir de su composición elemental. Conociendo la composición elemental del combustible y las correspondientes ecuaciones estequiométricas, es posible calcular la cantidad de los productos obtenidos sobre una base dada de combustible. La ecuación química fundamental simplificada (extrayendo otros elementos que pueden estar presentes en el combustible, como azufre, plomo, etc.) que describe las reacciones de combustión es:



<sup>15</sup> Ídem. Pág. 3.

<sup>16</sup> Bahamon García Daniel, Botero García Édgar, León Márquez Ricardo; Factores de Emisión para los Combustibles y la Energía Eléctrica en Colombia, Documento Técnico de Soporte, Ecothermia; 2011.

<sup>17</sup> Estequiometría: cálculo de las relaciones cuantitativas de una reacción química.

<sup>18</sup> Bahamon García Daniel, Botero García Edgar, León Márquez Ricardo; Factores de Emisión para los Combustibles y la Energía Eléctrica en Colombia, Documento Técnico de Soporte, Ecothermia; 2011.

Tabla 2. Factores de Emisión para Combustibles Sólidos Colombianos según el FECOC 2016.

Combustible Sólido	Factor Emisión CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /t)	Fuentes Fijas		Fuentes Móviles	
		Factor Emisión CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> /t)	Factor Emisión N <sub>2</sub> O (g N <sub>2</sub> O/t)	Factor Emisión CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> /t)	Factor Emisión N <sub>2</sub> O (g N <sub>2</sub> O/t)
Carbón Genérico	2534,813	28,760	43,140	0	0
Carbón Guajira - Cesar	2160,755	26,622	39,934	0	0
Carbón Guajira	2894,059	30,417	45,625	0	0
Carbón Cundinamarca	2214,458	29,170	43,755	0	0
Carbón Cauca - Valle del Cauca	2507,633	31,212	46,818	0	0
Carbón Norte de Santander	2812,754	31,229	46,844	0	0
Carbón Córdoba-Norte de Antioquia	1903,181	20,948	31,421	0	0
Carbón Santander	2560,306	33,077	49,615	0	0
Carbón Santander Sogamoso	2690,982	29,205	43,807	0	0
Carbón Boyacá	3052,795	35,206	52,809	0	0
Carbón Antioquia	2277,449	24,405	36,608	0	0
Bagazo	1664,917	442,288	58,972	0	0
Fibra de palma	1869,837	499,191	66,559	0	0
Cuesco de palma	1758,445	503,129	67,084	0	0
Raquis de palma	1965,839	548,921	73,190	0	0
Cascarilla de Arroz	1553,251	448,588	59,812	0	0
Borra de Café	2222,149	735,186	98,025	0	0
Cisco de Café	1871,669	537,780	71,704	0	0
Leña	1521,339	509,804	67,974	0	0
Madera Genérico	1958,419	509,373	67,916	0	0
Madera Eucalipto	1953,38	554,67	73,956	0	0
Madera Pino	2005,412	569,07	75,876	0	0
Madera Acacia	1942,754	560,82	74,776	0	0
Madera Melina	1932,128	557,46	74,328	0	0
Residuos para co-procesamiento	2941,796	1137,622	3,792	0	0

Fuente. Factores de Emisión tomados de FECOC 2016.

Tabla 3. Factores de Emisión Combustibles Líquidos Colombianos según el FECOC 2016

Combustible Líquido	Factor Emisión CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /gal)	Fuentes Fijas		Fuentes Móviles	
		Factor Emisión CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> /gal)	Factor Emisión N <sub>2</sub> O (g N <sub>2</sub> O/gal)	Factor Emisión CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> /gal)	Factor Emisión N <sub>2</sub> O (g N <sub>2</sub> O/gal)
Kerosene	9,623	0,027	0,005	0	0
Combustóleo	11,625	0,030	0,006	0	0
Crudo de Castilla	11,282	0,030	0,006	0	0
Avigas	6,387	0,024	0,005	0	0
Jet A1	9,840	0,023	0,005	0	0
Diésel B10 (Mezcla comercial)	10,277	0,010	0,006	0,037	0,037
Biodiesel palma	6,882	0,026	0,005	0,034	0,034
Bioetanol Anhidro	5,920	0,015	0,003	0,088	0,200
Fuel Oil # 4 - Ecopetrol	10,178	0,027	0,005	0	0
Gasolina Motor (sin mezcla bioetanol)	8,809	0,027	0,005	0,293	0,028
Diésel Marino	8,863	0,010	0,006	0,037	0,037
Diésel B2 (sin mezcla biodiesel)	10,149	0,01	0,006	0,037	0,037
Gasolina E10 (Mezcla comercial)	7,618	0,024	0,005	0,263	0,026

Fuente. Factores de Emisión tomados de FECOC 2016.

Por otro lado, en cuanto a los factores de emisión para CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O producto de una combustión, teniendo en cuenta que estos no están relacionados con el contenido de un elemento como en el caso del carbono para el CO<sub>2</sub>, sino que se producen según el tipo de tecnología y a las condiciones en la que se usen estas tecnologías, el IPCC ha propuesto que sea cada país de acuerdo a su nivel de desarrollo tecnológico el que realice los estudios necesarios para proponer y usar los factores de emisión asociados a estos GEI.

Debido a que la calidad de los combustibles, y por lo tanto sus correspondientes factores de emisión,

varían de una región del mundo a otra en porcentajes representativos, la metodología IPCC sugiere que los inventarios nacionales sean preparados utilizando factores de emisión locales cuando sea posible; en consecuencia, el documento de Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos (FECOC) surgió en 2003 como respuesta del Gobierno Colombiano a esta demanda internacional. Por su parte, la iniciativa MVC Colombia, con el apoyo del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF por su sigla en inglés) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y la colaboración y supervisión de la Unidad de Planeación Minero

Tabla 4. Factores de Emisión para Combustibles Gaseosos Colombianos según el FECOC 2016

Combustible Gaseoso	Factor Emisión CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	Fuentes Fijas		Fuentes Móviles	
		Factor Emisión CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> )	Factor Emisión N <sub>2</sub> O (g N <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> )	Factor Emisión CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> )	Factor Emisión N <sub>2</sub> O (g N <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> )
Biogás Genérico	1,857	0,022	0,002	0	0
Coke Gas Genérico	0,613	0,015	0,002	0	0
Gas Natural Cusiana	2,191	0,039	0,004	3,558	0,116
Gas Natural Guajira	1,840	0,034	0,003	3,082	0,101
Gas Natural Guepaje	1,826	0,033	0,003	3,061	0,100
Gas Natural Neiva - Huila	2,036	0,037	0,004	3,428	0,112
Gas Opon Payoa	1,978	0,035	0,004	3,260	0,106
Gas Cupiagua	2,162	0,038	0,004	3,49	0,114
Gas La Creciente	1,832	0,034	0,003	3,083	0,101
Gas Natural Genérico	1,981	0,036	0,004	3,28	0,107
GLP Genérico	4,693	0,099	0,010	6,151	0,020
LPG Propano	5,579	0,086	0,009	5,348	0,017
Gas de Pozo cupiagua	2,282	0,041	0,004	0	0
Gas Natural Mezcla Sebastopol	1,942	0,036	0,004	3,269	0,107
Gas Natural Mezcla Usme	2,101	0,037	0,004	3,427	0,112
Gas Natural Mezcla Mariquita	2,180	0,039	0,004	3,539	0,115

Fuente. Factores de Emisión tomados de FECOC 2016.

Energética (UPME) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), realizaron la contratación de una consultoría de actualización para que las diferentes partes interesadas puedan contar con factores de emisión de los combustibles colombianos; este listado de FE se conoce como FECOC<sup>19</sup>.

En la Tabla 2, se pueden identificar los valores de los factores de emisión de los diferentes combustibles usados en Colombia, aunque en el momento de emplearlos en un cálculo de emisiones, es conveniente revisar las posibles actualizaciones que se

hagan de los mismos, a través de la página Web de la UPME, entidad encargada de su publicación<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> Unidad de Planeación Minero-Energética UPME – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS – Fundación Natura – Corporación Ambiental Empresarial – Unión Temporal Incombustión; Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos FECOC 2016, Informe Final; Pág. 1; 2016.

<sup>20</sup> En el numeral 2.3 de esta Guía se describe la forma de acceder a los FECOC actualizados



Para hacer uso del FECOC 2016 se debe ingresar a la página Web de FECOC 2016 , y seguir los pasos que se describen a continuación:

**Paso 1:** Una vez el usuario ingresa y abre la aplicación, se debe dirigir al botón "Inicio" el cual permite escoger el tipo de combustible a analizar según su estado: sólido, líquido o gaseoso (Véase la Figura 1).

**Paso 2:** Una vez hecha la selección del tipo de combustible, el usuario puede escoger el com-

bustible específico e indicar la cantidad del mismo y el exceso de aire en la combustión (opcional), si desea conocer directamente las emisiones de GEI generadas .

**Paso 3:** Cuando se selecciona el combustible de interés, se puede acceder a la información específica acerca del mismo; en el caso de los inventarios de GEI, los datos más relevantes son el poder calorífico y los factores de emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O que en la nueva versión del FECOC son dados en unidades de energía o unidades de uso convencional (señalado con el óvalo rojo en la Figura No. 2).

Figura 1. Presentación general Pagina Web FECOC 2016.



A manera de ejemplo, para identificar las unidades en las que el FECOC 2016 presenta los datos, en la Figura No.2 se muestran los datos proporcionados por el programa para Gasolina Motor, que tiene:

- Un poder calorífico inferior PCI (o LHV por sus siglas en inglés) de 45,3295 MJ/kg (Megajulios de energía liberada por cada kilogramo de gasolina motor puesto en combustión);
- Un factor de emisión de CO<sub>2</sub> de 69.323,686 kg CO<sub>2</sub>/TJ (kilogramos de CO<sub>2</sub> generado por cada

Terajulio de energía contenida en la gasolina motor) o 8,8085 kg CO<sub>2</sub>/gal (kilogramos de CO<sub>2</sub> generado por cada galón de gasolina motor puesto en combustión); Como se muestra en la tabla No. 3

- Los factores de emisión de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O están asociados al tipo de fuente que consuma el combustible, en el caso de la gasolina motor consumida en fuentes estacionarias se tiene que son: 0,0266 g CH<sub>4</sub>/gal y 0,0053 g N<sub>2</sub>O/gal; mientras que en fuentes móviles los factores son: 0,2926 g CH<sub>4</sub>/gal y 0,0284 g N<sub>2</sub>O/gal.

Figura 2. Ejemplo presentación información de un combustible en el FECOC 2016



## 2.4

# PROCESO DE CÁLCULO DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES



Aunque no es el único componente de la huella de carbono, el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los combustibles hace parte de la estimación a nivel corporativo, y sirve para los tres alcances propuestos en las metodologías más comunes (para mayor informa-

ción acerca de los alcances de la huella de carbono, véase la “Guía para Elaborar un Inventario de Gases de Efecto Invernadero Corporativo”, correspondiente a la Guía 1 descrita en la referencia 14), por ejemplo:



- **Consumo de carbón (combustible fósil) de un horno propiedad de la organización > Alcance 1.**

- **Compra de vapor a otra organización, producido usando gas licuado de petróleo (combustible fósil)<sup>23</sup> > Alcance 2.**

- **Distribución de mercancías en vehículos de gas natural (combustible fósil) de una empresa de logística externa a la organización > Alcance 3.**

El cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O provenientes de la oxidación de combustibles fósiles está directamente relacionado con tres parámetros: i) la cantidad de combustibles consumidos, ii) sus factores de emisión y iii) el potencial de calentamiento global (PCG) de cada uno de ellos.

- La información de la cantidad de combustible consumido depende del uso que se le dé a los combustibles en las actividades de cada organización. Se deben llevar registros con un alto nivel de rigurosidad en la consecución de los datos y guardar unos lineamientos claramente definidos para la obtención de los mismos (Véase el ejemplo presentado en la Tabla No.1); cada organización puede definir la forma en la que se recolectarán, almacenarán y procesarán los datos con miras a la realización de los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero GEI.

- Los factores de emisión para el caso colombiano, como se describió anteriormente, pueden ser obtenidos de la herramienta que se creó en el país para tal fin. Si el tipo de combustible que se emplea en la organización no cuenta con un factor de emisión definido en el FECOC, la organización puede optar por encargar un análisis elemental del combustible a un laboratorio químico especializado, de forma que permita la identificación del factor de emisión del mis-

mo en la herramienta FECOC a través del botón “Combustible propio” o realizar un análisis estequiométrico de su combustión; o como última opción, puede usar referencias nacionales e internacionales diferentes al FECOC, pero que estén totalmente sustentadas desde el punto de vista técnico y científico<sup>24</sup>. En este último caso, se recomienda usar en primera instancia las referencias bibliográficas que se puedan obtener de organizaciones reconocidas del país y en segunda instancia recurrir a datos de organizaciones internacionales.

---

### Nota de utilidad

Según la norma NTC ISO 14064-1, la organización debe establecer y mantener procedimientos de gestión de la información sobre los GEI que, entre otras cosas, documenten y archiven los registros pertinentes del inventario de GEI.

---

---

<sup>23</sup> Aunque en Colombia no es muy común la compra a un tercero de flujos energéticos como el vapor, fluidos caliente (agua, aceite, etc) o flujos de frío (aire acondicionados o refrigeración) porque estos flujos casi siempre son producidos por la misma organización que los consume, al igual que la energía eléctrica adquirida, estas fuentes se contemplan dentro del alcance 2.

<sup>24</sup> Factores de emisión para la realización de cálculos de Huella de Carbono pueden encontrarse en las siguientes referencias:

- IPCC: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

- GHG Protocol: <http://www.ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/IPCC-Emissions-Factor-Database>

- EPA: <http://www.epa.gov/ttnchie1/efpac/abefpac.html>

- EEA: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guide-book-2013>

- Otros: <http://www.carbonfootprint.com/factors.aspx>; <http://www.apec-library.fi/>



- El potencial de calentamiento global (PCG) es el nivel de energía calórica que puede ser capturado por una molécula de GEI. Se usan para comparar el nivel de calentamiento global que produce cualquier GEI con respecto al CO<sub>2</sub>. Al multiplicar las emisiones de cualquier GEI por este factor, se puede hablar de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). Los PCG se actualizan periódicamente por parte del IPCC. Los valores de PCG asociados a los GEI de importancia en procesos de combustión, según la última actualización del IPCC<sup>25</sup> se describen en la tabla a continuación:

Tabla 5 Potenciales de calentamiento global según IPCC

Gas de Efecto Invernadero	Potencial de Calentamiento Global
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	1
Metano CH <sub>4</sub>	28
Óxido nitroso N <sub>2</sub> O	265

Fuente. IPCC - AR5, 2015.

Las emisiones totales de GEI producidas en una combustión, tienen que incluir las emisiones de los diferentes GEI implicados en la misma, conver-

tidos a CO<sub>2</sub>e; de manera que la ecuación para el cálculo total de emisiones de una combustión es:

**Emisiones Totales (tCO<sub>2</sub>e/año) = Emisión CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>e/año) + Emisión CH<sub>4</sub> (tCO<sub>2</sub> e/año) + Emisión N<sub>2</sub>O(t CO<sub>2</sub> e/año)**

Si se analizan las unidades en las que pueden venir los datos dados por el FECOC, tenemos que por ejemplo para el caso de un combustible gaseoso:

**Emisiones de CO<sub>2</sub>e = Consumo de Combustible (CC) x Factor de Emisión (FE) x Potencial Calentamiento Global (PCG)<sup>27</sup>**

En la ecuación descrita anteriormente se observa que la unidad metros cúbicos de combustible gaseoso consumidos (numerador del primer término), se cancela con los metros cúbicos de combustible gaseoso del factor de emisión (denominador del segundo término), y al multiplicar por el correspondiente potencial de calentamiento global del GEI, la respuesta queda en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por año.

Es importante aclarar que el horizonte temporal (años, meses, semanas, días, etc.) de la información de los consumos, determina el resultado de las emisiones. Los inventarios de emisiones de GEI normalmente tienen como horizonte temporal un año calendario, por lo cual conviene agregar o sumar los datos de consumos que se encuentren en unidades temporales diferentes (días, semanas, meses) para obtener resultados en estas unidades

<sup>25</sup> Disponible en: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_Chapter08\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf)

<sup>26</sup> Se incluyen solamente los potenciales de calentamiento global de los GEI relacionados con los combustibles

<sup>27</sup> Los potenciales de calentamiento global no tienen unidades fijas, simplemente comparan las moléculas de los GEI en términos de comportamiento, por lo cual sirven para convertir el GEI en CO<sub>2</sub>e.



(anuales). Cuando se estiman las emisiones de más de un tipo de combustible en el mismo inventario, todos los datos deben estar asociados al mismo periodo temporal.

A modo de ejemplo, si se quieren conocer las emisiones anuales ocasionadas por el consumo de gas natural en la organización, y sólo se cuenta con datos mensuales de las facturas; es necesario sumar los datos mensuales para tener el consumo de gas natural anual, y poder con este valor conocer las emisiones anuales.

En algunos casos, las unidades de los factores de emisión del FECOC pueden no coincidir y no cancelarse de forma tan fácil con los datos recopilados por la organización, lo que implicaría la necesidad de hacer algunas conversiones bien sea sobre el factor de emisión o sobre la información, según el tipo de combustible que se esté utilizando por facilidad para la empresa, para poder emplear la fórmula general para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub>e de combustibles descrita anteriormente.

Así mismo es necesario convertir los kilogramos (kg) de CO<sub>2</sub> equivalente del factor de emisión, a toneladas (t) de CO<sub>2</sub> equivalente, que es la unidad en la normalmente que se presentan los inventarios de emisiones de GEI corporativos, aunque esto finalmente depende del tamaño de la organización y de las emisiones totales generadas, por ejemplo una micro empresa realizó su inventario de GEI para su año base obteniendo un resultado de 0,9538 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente/año una forma pertinente para presentar el resultado es en kilogramos ya que visualmente la cifra se hace más representativa o entendible, quedando de la siguiente manera 953,8 Kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente/año. Para convertir kilogramos (kg) de CO<sub>2</sub> equivalente a toneladas (t) de CO<sub>2</sub> equivalente, simplemente se debe dividir el valor de los kilogramos por mil.

A continuación se describen ejemplos de conversiones comunes para factores de emisión de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

### 2.4.1 Ejemplo 1. Factores de emisión para combustibles sólidos

En el caso de los combustibles sólidos, suponiendo que una organización usa 113,636 toneladas de Carbón Boyacá<sup>28</sup> al año (porcentaje en peso de humedad promedio: 12%), y usando uno de

los factores de emisión del FECOC 2016 para este combustible que se presenta en kilogramos de CO<sub>2</sub> generado por Terajulio (TJ)<sup>29</sup> de energía contenida en el carbón (el dato que suministra el FECOC 2016 es: 86.711,847 kg de CO<sub>2</sub>/Terajulio (TJ)), al reemplazar en la ecuación general para el cálculo de emisiones se tiene que:

$$\text{Emisiones CO}_2 (\text{t CO}_2\text{e/año}) = \text{CC (t carbón/año)} \times \text{FE (kg de CO}_2\text{/Terajulio de energía del carbón)} \times \text{PCG}$$

Donde: CC: Consumo de Combustible; FE: Factor de emisión

El valor del factor de emisión no se puede relacionar directamente con las unidades del consumo (porque no se cancelan toneladas de carbón consumido con los terajulios (TJ) de energía generada). Por esta razón es necesario hacer la conversión en el factor de emisión para llevar las variables a las mismas unidades.

La alternativa más sencilla en este caso es llevar el denominador del factor de emisión de Terajulios a

toneladas de combustible, para lo cual se emplea el valor del poder calorífico inferior (PCI o, LHV por sus siglas en inglés) del combustible, disponible también en la información que presenta el FECOC; en este caso el poder calorífico inferior (LHV) del Carbón Boyacá, proporcionado por el FECOC es de 35,206 MJ/kg (megajulios de energía generada por cada kilogramo de carbón Boyacá consumido); de manera que la conversión necesaria para el ajuste del factor de emisión es:

$$\text{FE} = \frac{86.711,847 \text{ kg de CO}_2}{\text{Terajulio}} \times \frac{1 \text{ terajulio}}{1000 \text{ Gigajulios}} \times \frac{1 \text{ Gigajulio}}{1000 \text{ Megajulios}} \times \frac{35,206 \text{ Megajulio}}{1 \text{ kg carbón}} \\ \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ tonelada}} \times \frac{1 \text{ t de CO}_2}{1000 \text{ kg CO}_2} = \frac{3,0527 \text{ t CO}_2 \text{ equivalente}}{\text{t carbón consumido}}$$

Nótese que el último factor empleado en la ecuación, resaltado en color azul, sirve para convertir las unidades del factor de emisión de kilogramos de CO<sub>2</sub> a toneladas de CO<sub>2</sub> que, como se mencionó anteriormente, es la unidad en la que comúnmente se manejan este tipo de inventarios.

Luego de realizada la conversión del factor de emisión, ya se puede aplicar la ecuación general para el cálculo de las emisiones de un combustible, con las nuevas unidades en el factor de emisión, multi-

<sup>28</sup> En el caso del ejemplo la organización conoce la denominación del carbón que le es suministrado ("Carbón Boyacá"), pero es importante que cada organización identifique con su proveedor el tipo de combustible consumido. Si no se conoce el tipo de combustible específico, es recomendable usar los factores genéricos del FECOC 2016. En el caso del ejemplo, si no se supiera que el carbón es denominación "Boyacá", podrían usarse los datos del Carbón Genérico, suministrados por el FECOC 2016.

<sup>29</sup> El FECOC 2016 presenta los factores de emisión con denominadores en unidades de energía y en unidades convencionales del combustible. Se utiliza este caso a modo de ejemplo el factor de emisión en kg CO<sub>2</sub>/TJ (con denominador en unidades de energía), pero sería más sencillo usar el factor de emisión en kg CO<sub>2</sub>/tonelada de carbón proporcionado por el FECOC 2016, que debe conducir a los mismos resultados.

plicando en este caso los consumos de combustible (en toneladas de carbón/año) por el factor de emisión (en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente/tonelada de carbón combustible consumido), para obtener las emisiones generadas por el carbón consumido en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente/año.

Hay que tener en cuenta que los factores de emi-

sión de combustibles sólidos en el FECOC 2016 vienen dados en base seca (sin incluir la humedad propia del combustible), por lo cual hay que conocer el porcentaje en peso de humedad del carbón usado, para ajustar la cantidad usada y no hacer sobreestimaciones en las emisiones. En el caso planteado la humedad del carbón es del 12%, por lo tanto:

**Consumo de carbón ajustado (t Carbón/año) = C.C. (t carbón/año) x (1 - % en peso de humedad del Carbón)**

**Consumo de carbón ajustado (t Carbón/año) = 113,636 t carbón/año x (1 - 0,12)**

**Consumo de carbón ajustado (t Carbón/año) = 100 t carbón/año**

Con el consumo de carbón ajustado según la humedad, ya se puede reemplazar en la ecuación de

cálculo de emisiones:

**Emisiones CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>e/año) = C.C. (t carbón/año) x F.E. (t de CO<sub>2</sub>/t carbón) x PCG<sub>CO<sub>2</sub></sub>**

**Emisiones CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>e/año) = 100 t carbón/año x 3,0527 t de CO<sub>2</sub>/t carbón x 1**

**Emisiones CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>e/año) = 305,27 t de CO<sub>2</sub>e/año**

Por otro lado, para el caso del CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, los factores de emisión son de 35,2032 gCH<sub>4</sub>/t y 52,8093

gN<sub>2</sub>O/t, que al tener su numerador en gramos (g) de GEI, deben ser convertido a toneladas:

$$FE = \frac{35,2062 \text{ g de CH}_4}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ tonelada}}{1000 \text{ kg}} = \frac{0,0000352 \text{ t CH}_4}{\text{t carbón consumido}}$$

Usando este factor en la ecuación general:

**Emisiones CH<sub>4</sub> (t CO<sub>2</sub>e/año) = C.C. (t carbón/año) x F.E. (t de CH<sub>4</sub>/t carbón) x PCG<sub>CH<sub>4</sub></sub>**

**Emisiones CH<sub>4</sub> (t CO<sub>2</sub>e/año) = 100 t carbón/año x 0,0000352 t de CH<sub>4</sub>/t carbón x 28**

**Emisiones CH<sub>4</sub> (t CO<sub>2</sub>e/año) = 0,09856 t CO<sub>2</sub>e/año**

Las mismas conversiones son necesarias en el caso del N<sub>2</sub>O:

$$FE = \frac{35,2062 \text{ g de CH}_4}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ tonelada}}{1000 \text{ kg}} = \frac{0,0000352 \text{ t CH}_4}{\text{t carbón consumido}}$$





Usando este factor en la ecuación general:

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = \text{C.C. (t carbón/año)} \times \text{F.E. (t de N}_2\text{O/t carbón)} \times \text{PCG}_{\text{N}_2\text{O}}$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = 100 \text{ t carbón/año} \times 0,0000352 \text{ t de N}_2\text{O/t carbón} \times 265$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = 0,9328 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

Al final de realiza la suma de los tres valores obtenidos para conocer las emisiones totales de GEI (incluyendo los tres gases considerados: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O)

$$\text{Emisiones Totales (tCO}_2\text{e/año)} = \text{Emisión CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{e/año)} + \text{Emisión CH}_4 \text{ (tCO}_2\text{e/año)} + \text{Emisión N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)}$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 305,27 \text{ tCO}_2\text{e/año} + 0,09856 \text{ tCO}_2\text{e/año} + 0,9328 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 306,30136 \text{ t de CO}_2\text{e/año}$$

El total de emisiones de CO<sub>2</sub>e por consumir 113,636 toneladas al año de carbón Boyacá (con un porcentaje en peso de humedad de 12%) es de 306,30136 t de CO<sub>2</sub>e/año.

Estas mismas conversiones pueden realizarse con otros tipos de combustible sólido, cambiando el

### 2.4.2 Ejemplo 2. Factores de emisión para combustibles líquidos

En el caso de los combustibles líquidos, los datos de consumos en las organizaciones normalmente vienen dados en unidades de volumen (esto es: litros, galones, barriles, etc.). A modo de ejemplo, tomaremos una organización que usa 100.000 galones de gasolina motor al año en sus vehículos y usaremos el factor de emisión en unidades convencionales.

Según el FECOC 2016, la gasolina motor tiene un factor de emisión de 8,8085 kg CO<sub>2</sub>/gal (kilogramos de CO<sub>2</sub> generados por cada galón de gasolina motor consumido) que es equivalente a 0,0088085 t CO<sub>2</sub>/gal; por lo cual resulta evidente que el uso de este factor en unidades convencionales no necesita conversiones adicionales, sino que puede ser reemplazado directamente en las ecuaciones de cálculo de emisiones.

$$\begin{aligned} \text{Emisiones CO}_2 (\text{t CO}_2 \text{e/año}) &= \text{CC (gal gasolina motor/año)} \times \text{FE (t de CO}_2 \text{/gal gasolina motor)} \times \text{PCG} \\ \text{Emisiones CO}_2 (\text{t CO}_2 \text{e/año}) &= 100.000 \text{ gal gasolina motor/año} \times 0,0088085 \text{ t de CO}_2 \text{/gal gasolina motor} \times 1 \\ \text{Emisiones CO}_2 (\text{t CO}_2 \text{e/año}) &= 880,85 \text{ t de CO}_2 \text{e/año} \end{aligned}$$

Para el caso particular del CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en combustibles líquidos, el FECOC 2016 diferencia los factores de emisión de combustibles según el tipo de fuente de generación; si la fuente de generación de las emisiones es fija o estacionaria (como calderas, hornos, plantas eléctricas de emergencia, etc.), se tendrán valores diferentes que en los casos en los que el combustible sea usado en fuentes móviles (como vehículos, montacargas, embarcaciones,

etc.). En el caso del ejemplo planteado, se indicó que se trataba de los vehículos de la organización, por lo cual se usan los factores de emisión de aplicaciones móviles, que para la gasolina motor son 0,2926 gCH<sub>4</sub>/gal y 0,0284 gN<sub>2</sub>O/gal.

Luego de convertir los factores de emisión a unidades de toneladas como se explicó en el ejemplo 1, se puede reemplazar en la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones CH}_4 (\text{t CO}_2 \text{e/año}) &= \text{C.C. (gal gasolina motor/año)} \times \text{F.E. (t de CH}_4 \text{/gal gasolina motor)} \times \text{PCG}_{\text{CH}_4} \\ \text{Emisiones CH}_4 (\text{t CO}_2 \text{e/año}) &= 100.000 \text{ gal gasolina motor/año} \times 0,0000002926 \text{ t de CH}_4 \text{/gal gasolina motor} \times 28 \\ \text{Emisiones CH}_4 (\text{t CO}_2 \text{e/año}) &= 0,81928 \text{ t CO}_2 \text{e/año} \end{aligned}$$

Y en el caso del N<sub>2</sub>O:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones N}_2\text{O} (\text{t CO}_2 \text{e/año}) &= \text{C.C. (gal gasolina motor/año)} \times \text{F.E. (t de N}_2\text{O/gal gasolina motor)} \times \text{PCG}_{\text{N}_2\text{O}} \\ \text{Emisiones N}_2\text{O} (\text{t CO}_2 \text{e/año}) &= 100.000 \text{ gal gasolina motor/año} \times 0,0000000284 \text{ t de N}_2\text{O/gal gasolina motor} \times 265 \\ \text{Emisiones N}_2\text{O} (\text{t CO}_2 \text{e/año}) &= 0,7526 \text{ t CO}_2 \text{e/año} \end{aligned}$$

Al final se realiza la suma de los tres valores obtenidos para conocer las emisiones totales de GEI (in-

cluyendo los tres gases considerados: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O)

$$\begin{aligned} \text{Emisiones Totales (tCO}_2\text{e/año)} &= \text{Emisión CO}_2\text{ (tCO}_2\text{e/año)} + \text{Emisión CH}_4\text{ (tCO}_2\text{e/año)} + \text{Emisión N}_2\text{O (tCO}_2\text{e/año)} \\ \text{Emisiones CO}_2\text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= 880,85 \text{ tCO}_2\text{e/año} + 0,81928 \text{ tCO}_2\text{e/año} + 0,7526 \text{ t CO}_2\text{e/año} \\ \text{Emisiones CO}_2\text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= 882,42188 \text{ t de CO}_2\text{e/año} \end{aligned}$$

El total de emisiones de CO<sub>2</sub>e por consumir 100.000 galones de gasolina motor al año es de 882,42188 t de CO<sub>2</sub>e/año.

Aunque es menos común, en algunas oportunidades los consumos de combustibles líquidos pueden ser registrados en unidades de masa (kilogramos (kg), toneladas (t), etc.); en estos hay que

realizar una conversión empleando la densidad proporcionada en el FECOC 2016 para poder usar los factores de emisión. Suponiendo que el consumo de gasolina motor se lleve en kilogramos por año, y utilizando la densidad del combustible proporcionada por el FECOC 2016 (0,7405 kg/lt) se tiene que:

$$\text{Consumo} = \frac{280,279,25 \text{ kg de gasolina motor}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ lt de gasolina motor}}{0,7405 \text{ kg de gasolina motor}} = \frac{1 \text{ galón}}{3,785 \text{ lt}}$$

**Consumo = 100.000 gal gasolina motor/año**

Luego de realizada la conversión del combustible usado de kilogramos a galones, se pueden aplicar las ecuaciones relacionadas anteriormente. Estos mismos procedimientos se pueden realizar con otros tipos de combustibles líquidos si, como en este caso, sus registros de consumo se llevan en unidades de masa y no de volumen. FECOC 2016 tiene densidades para todos los combustibles líquidos.

### 2.4.3 Ejemplo 3: Factores de emisión para combustibles gaseosos

Se considera una organización que usa 500.000 metros cúbicos por año (m<sup>3</sup>/año) de gas natural genérico en un horno de proceso. Según el FECOC 2016, el gas natural genérico tiene un factor de emisión de 1,9806 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup><sub>ST</sub><sup>30</sup> (kilogramos de CO<sub>2</sub> generados por metro cubico estándar de gas

natural genérico consumido) que es equivalente a 0,0019806 t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>ST.

En Colombia, según numeral 5.32 de la Resolución 067 de 1995<sup>31</sup> de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "Los comercializadores deberán corregir los volúmenes registrados en los sistemas de medición a los valores de presión y temperatura estándar establecidos en el numeral 5.39<sup>32</sup>, salvo que el sistema de medición tenga incorporados los mecanismos para realizar en forma

<sup>30</sup> Kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidos por cada metro cubico estándar consumido.

<sup>31</sup> El mencionado numeral 5.32 de la resolución 067 de 1995 de la CREG, fue modificado por la Resolución 127 de 2013 de la misma entidad en su artículo 10.

<sup>32</sup> Los valores estándar mencionados en el citado numeral son: 15,56°C y presión atmosférica absoluta de 1,01325 Bar

automática tales correcciones" y estos valores "se-rán utilizados para efectos de facturación" según el numeral 5.31 de la misma resolución; razón por la cual se considera que los consumos facturados a

cualquier usuario en Colombia ya se encuentran ajustados a condiciones estándar. En esta situación los resultados serían:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones CO}_2(\text{tCO}_2\text{e/año}) &= \text{CC (m}^3\text{-gas natural genérico/año)} \times \text{FE (t de CO}_2\text{/m}^3\text{-gas natural genérico)} \times \text{PCG} \\ \text{Emisiones CO}_2(\text{t CO}_2\text{e/año}) &= 500.000 \text{ m}^3\text{-gas natural genérico/año} \times 0,0019806 \text{ t CO}_2\text{/m}^3\text{-gas natural genérico} \times 1 \\ \text{Emisiones CO}_2(\text{t CO}_2\text{e/año}) &= 990,3 \text{ t de CO}_2\text{e/año} \end{aligned}$$

En el caso del CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, el FECOC 2016 también diferencia los factores de emisión para los combustibles gaseosos, según el equipo en el que sea usado el combustible. En el caso del ejemplo planteado, se indicó que se trataba de un horno de la organización, por lo cual se usan los factores de emisión de aplicaciones estacionarias, que para el

gas natural genérico son 0,0357 gCH<sub>4</sub>/gal y 0,0036 gN<sub>2</sub>O/gal.

Luego de convertir los factores de emisión a unidades de toneladas como se explicó en el ejemplo 1, se puede reemplazar en la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones CH}_4(\text{t CO}_2\text{e/año}) &= \text{C.C. (m}^3\text{-gas natural genérico/año)} \times \text{F.E. (t de CH}_4\text{/m}^3\text{-gas natural genérico)} \times \text{PCG}_{\text{CH}_4} \\ \text{Emisiones CH}_4(\text{t CO}_2\text{e/año}) &= 500.000 \text{ m}^3\text{-GN genérico/año} \times 0,0000000357 \text{ t de CH}_4\text{/m}^3\text{-GN genérico} \times 28 \\ \text{Emisiones CH}_4(\text{t CO}_2\text{e/año}) &= 0,4998 \text{ t CO}_2\text{e/año} \end{aligned}$$

Y en el caso del N<sub>2</sub>O:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones N}_2\text{O}(\text{t CO}_2\text{e/año}) &= \text{C.C. (m}^3\text{-gas natural genérico/año)} \times \text{F.E. (t de N}_2\text{O/m}^3\text{-gas natural genérico)} \times \text{PCG}_{\text{N}_2\text{O}} \\ \text{Emisiones N}_2\text{O}(\text{t CO}_2\text{e/año}) &= 500.000 \text{ m}^3\text{-GN genérico/año} \times 0,0000000036 \text{ t de N}_2\text{O/m}^3\text{-GN genérico} \times 265 \\ \text{Emisiones N}_2\text{O}(\text{t CO}_2\text{e/año}) &= 0,477 \text{ t CO}_2\text{e/año} \end{aligned}$$

Al final se realiza la suma de los tres valores obtenidos para conocer las emisiones totales de GEI

(incluyendo los tres gases considerados: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O)

$$\begin{aligned} \text{Emisiones Totales (tCO}_2\text{e/año)} &= \text{Emisión CO}_2(\text{tCO}_2\text{e/año}) + \text{Emisión CH}_4(\text{tCO}_2\text{e/año}) + \text{Emisión N}_2\text{O}(\text{t CO}_2\text{e/año}) \\ \text{Emisiones CO}_2(\text{t CO}_2\text{e/año}) &= 990,3 \text{ tCO}_2\text{e/año} + 0,4998 \text{ tCO}_2\text{e/año} + 0,477 \text{ t CO}_2\text{e/año} \\ \text{Emisiones CO}_2(\text{t CO}_2\text{e/año}) &= 991,2768 \text{ t de CO}_2\text{e/año} \end{aligned}$$

El total de emisiones de CO<sub>2</sub>e por consumir 500.000 metros cúbicos de gas natural genérico al año es de 991,2768 t de CO<sub>2</sub>e/año.

Esta misma conversión puede realizarse con otros

tipos de combustible gaseoso, cambiando las equivalencias según las unidades con las que se cuente en los registros de consumo incluidos en la cuantificación del inventario de emisiones de GEI.





De acuerdo a los diferentes sectores productivos implicados, se pueden presentar varias situaciones para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de combustibles; debido especialmente a las características que puedan darse en cada proceso, y a las condiciones en las que se encuentren los datos de los consumos (cantidad de datos, unidades, etc.).

### 2.5.1 Emisiones asociadas al consumo de combustible en el transporte

En las organizaciones el consumo de combustible asociado al transporte, suele clasificarse en el alcance 1 del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dado que normalmente las empresas poseen cierto número de vehículos propios, (también este consumo puede estar in-

cluido como alcance 3, dependiendo de las condiciones operativas para su uso, para mayor información, véase la Guía para elaborar Inventarios Corporativos de Gases Efecto Invernadero<sup>33</sup>); pero en algunas oportunidades pueden presentarse inconvenientes en los cálculos, dependiendo de la forma en la que se tengan los datos en la organización.

Normalmente, se van a usar las metodologías de cuantificación de emisiones descritas en el capítulo anterior, pero si se presentan situaciones como las que se describen a continuación, hay que hacer unas variaciones en la forma de hacer el cálculo. Se presentan 3 situaciones que pueden ser comunes en el cálculo de las emisiones asociadas al transporte: i) la primera es cuando se tiene el consumo de combustibles en valores económicos; ii) la segunda, cuando se tiene el tipo de combustible, los recorridos en kilómetros y el rendimiento de los motores; y, iii) la tercera cuando solo se tiene el número de rutas y/o recorridos de los vehículos. A continuación, se presenta la forma de obtener el consumo de combustible para cada una de las alternativas.

### 2.5.1.1 Cuando se tiene el consumo de combustibles en valores económicos

Suele ser común que en las organizaciones solamente se cuente con las facturas de lo que se ha pagado en las estaciones de servicio por la compra de los combustibles para los vehículos, y estas facturas en muchas ocasiones no suelen tener datos de la cantidad de combustible vendido, sino solamente del costo total del mismo; razón por la cual, no se cuenta con datos exactos del volumen o de la masa del combustible usado y por lo tanto no se pueden emplear las formulas del capítulo anterior.

Ante esta situación se pueden manejar dos alternativas, la primera es identificar si en la factura se tiene el dato del costo por unidad de volumen o masa de combustible; esto es, el costo por galón, por litro, por metro cúbico o por kilogramo. Si es así, y se cuenta con esta información se puede emplear la siguiente fórmula para determinar la cantidad de combustible comprado:

$$\text{Cantidad Combustible Consumido} = \frac{\text{Costo Total del Combustible}}{\text{Precio Unitario del Combustible}}$$

A modo de ejemplo, se presenta una factura por un consumo de diésel en una organización de \$200.000 en una sola venta, y se desea identificar cuanto combustible se consumió; revisan-

do la factura, se ha identificado que el valor del combustible en esa estación de servicio, viene impreso en la factura, y es de \$8.530 por cada galón de diésel (\$/gal). De esta forma se puede determinar que:

$$\text{Cantidad Combustible Consumido} = \frac{\$200.000}{8.530 \$/\text{gal}} = 23,95 \text{ gal}$$

El consumo de la organización en esta compra fue de 23,95 galones de combustible; el mismo procedimiento se puede aplicar a los demás consumos, para así, calcular y acumular los valores mensuales (consignándolos en el formato

<sup>33</sup> Fundación Natura. Guía para elaborar Inventarios Corporativos de Gases Efecto Invernadero / Catacolí, Alejandra (consultora). Bogotá, D.C. Colombia, Fundación Natura; CAEM. 2014. Pág. 41. Los aspectos relacionados específicamente con el alcance 3, se abordarán en una guía técnica posterior.

propuesto en la Tabla 1 de esta guía), y poder calcular posteriormente las emisiones asociadas a este consumo con los procedimientos descritos anteriormente.

Si la organización requiere realizar una estimación de este tipo, se sugiere que para cada dato mensual de gasto de combustible, se realice el procedimiento anterior con el promedio el precio unitario mensual del combustible, los cuales para el caso de Colombia pueden ser consultados en la página de la UPME<sup>34</sup>, en caso de que el valor por galón no se tengan impresos en las facturas.

#### 2.5.1.2 Cuando se conocen los recorridos en kilómetros

En muchas organizaciones se llevan registros de las distancia recorridas por los vehículos de la organización, empleando para esto los odómetros<sup>35</sup> con los que cuentan los vehículos, o sistemas de seguimiento más avanzados (computadores a bordo, GPS, etc.). Estos datos también pueden servir para la estimación de las emisiones. Para poder hacer la cuantificación debe reconocerse, el tipo de combustible empleado y el rendimiento del vehículo en las condiciones de operación.

Cuando no se cuenta con computadores o sistemas electrónicos a bordo que estimen automáticamente el recorrido del vehículo, se puede

emplear una metodología sencilla que permite calcular el rendimiento, en kilómetros (también puede usarse cualquier otra unidad de distancia) por galón (o cualquier otra unidad de volumen), sin importar sus características, ni el tipo de combustible que emplee (deben ser motores de combustión interna, pues la metodología no se puede aplicar a vehículos híbridos o eléctricos).

En cualquier momento (sin importar el nivel), debe llenarse el tanque de combustible al 100% y registrar el valor inicial del odómetro (o cualquier otro dispositivo que mida la distancia recorrida) en el vehículo donde se hizo el llenado;

- Se hace uso del vehículo en condiciones normales de operación;
- Cuando se considere necesario después de un recorrido bajo condiciones normales de operación (no es necesario agotar todo el combustible), se vuelve a llenar el tanque de combustible hasta el 100% de su capacidad, registrando esta vez la cantidad de combustible empleada en la operación de llenado total (el valor queda registrado en la máquina expendedora de combustible o en la factura) y la distancia final recorrida en el momento en que se hizo el llenado (también registrado por el odómetro o equipo de medición de distancia utilizado).
- Luego de realizada esta operación, se puede aplicar la siguiente fórmula para estimar el rendimiento del vehículo:

$$\text{Rendimiento del Vehículo} = \frac{\text{Registro Final} - \text{Registro inicial}}{\text{Cantidad de combustible llenado}}$$

Después de realizada la operación, se conoce el rendimiento promedio del vehículo en Kilómetros por galón en el caso de combustibles líquidos como diésel o gasolina (km/gal), o en kiló-

<sup>34</sup> [http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta\\_Indicador.aspx?IdModulo=3&ind=46](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?IdModulo=3&ind=46)

<sup>35</sup> Un odómetro es un dispositivo para medir la distancia recorrida, y normalmente viene integrado en todos los vehículos.

metros por metro cúbico en el caso de vehículos de gas natural (km/m<sup>3</sup>). Este rendimiento puede ser usado para calcular el combustible conocido en cualquier recorrido del vehículo.

Con los datos de distancia de cualquier recorri-

do posterior y rendimiento del vehículo, se puede estimar la cantidad de combustible empleada en cualquier viaje o recorrido, usando la siguiente fórmula:

$$\text{Combustible Consumido} = \frac{\text{Distancia recorrida por el vehículo o medida por otro medio}}{\text{Rendimiento del vehículo}}$$

Una vez que se cuenta con los datos de consumo de combustible, se pueden emplear las formulas y procedimientos descritos en el capítulo anterior para estimar las emisiones asociadas a este consumo.

A modo de ejemplo, se cuenta con datos de un vehículo de motor diésel que ha recorrido durante un mes un total de 1.450 kilómetros, y cuyo rendimiento no se conoce, pero del que se sabe que durante las dos últimos reaprovisionamientos de combustible, se han tomado los siguientes datos:

tes datos:

- Registro del odómetro en el primer llenado del tanque (registro inicial): 123.450 km;
- Registro del odómetro en el segundo llenado del tanque (registro final): 123.562 km;
- Cantidad de combustible aprovisionado en el segundo llenado del tanque (cantidad de combustible llenado): 10,3 galones.

Con estos datos, se tiene que el rendimiento del vehículo es de:

$$\text{Rendimiento del Vehículo} = \frac{\text{Registro Final} - \text{Registro inicial}}{\text{Cantidad de combustible llenado}} = \frac{123.562 \text{ km} - 123.321 \text{ km}}{10,3 \text{ gal}}$$

$$\text{Rendimiento del Vehículo} = 23,4 \text{ km/gal}$$

Conocido el rendimiento, y sabiendo que el vehículo hizo un recorrido posterior de 1.450 kiló-

metros, se puede estimar la cantidad de combustible consumida en el mes, así:

$$\text{Combustible Consumido} = \frac{\text{Distancia recorrida por el vehículo o medida por otro medio}}{\text{Rendimiento del vehículo}}$$

$$\text{Combustible Consumido} = \frac{1.450 \text{ km/mes}}{23,4 \text{ km/gal}} = 61,966 \text{ gal/mes}$$

El mismo procedimiento puede seguirse para vehículos que funcionen con gasolina, con gas natural y con cualquier otro tipo de combustible líquido o gaseoso. El procedimiento debe realizarse periódicamente para actualizar los datos

(se recomienda repetir el procedimiento por lo menos anualmente). Debe repetirse el procedimiento para cada uno de los vehículos que tenga la organización, ya que normalmente tienen resultados diferentes.



### 2.5.1.3 Cuando sólo se tienen el número de rutas y/o recorridos

Si la organización solamente cuenta un número de recorridos realizados, pero no cuenta con datos precisos de consumo, distancias recorridas, o rendimientos, también puede estimarse la cantidad de combustible haciendo una variación a la metodología anteriormente explicada.

Si se conoce el número de recorridos, seguramente se cuenta con la descripción del lugar de salida y el lugar de llegada del recorrido; de esta forma, apoyándose en el uso de herramientas disponibles en la Web e incluso de equipos tipo GPS, puede determinarse la cantidad de kilómetros recorridos y, posteriormente, aplicar el procedimiento descrito en el punto anterior.

A modo de ejemplo, se tiene una organización que registra haber usado un vehículo diésel de su propiedad para realizar 3 viajes de ida y regreso entre Bogotá (Col) y Cartagena (Col) durante un mes, pero no registra más información. Posteriormente, en el mismo vehículo se ha hecho el ejercicio para identificar su rendimiento y se han obtenido los siguientes datos:

- Registro del odómetro en el primer llenado del tanque: 83.620 km;
- Registro del odómetro en el segundo llenado del tanque (kilometraje final): 83.780 km;
- Cantidad de combustible aprovisionado en el segundo llenado del tanque (cantidad de combustible llenado): 8,2 galones.

Con esta información se puede estimar el recorrido realizado por el vehículo; en este caso se va a usar la herramienta de Google Maps, disponible abiertamente a cualquier usuario en la página: <http://www.maps.google.com/>; allí se puede desplegar una pestaña en la que existe una herramienta denominada "Cómo llegar" (véase Figura No 4).

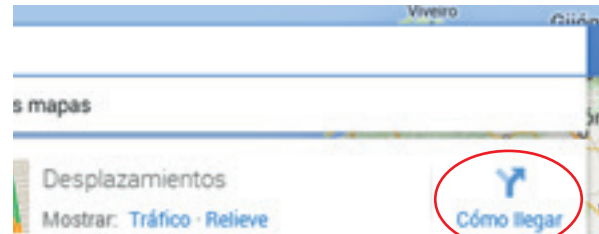


Figura No 4. Herramienta Web identificación de distancias de recorridos. Fuente: Google Maps.

Una vez seleccionada esta herramienta, se despliega una opción en la que se puede seleccionar el tipo de medio de transporte que se desea usar, el lugar de origen y el lugar de destino; y es aquí donde se consigna la información con la que se cuenta, en este caso el medio de transporte (que es el vehículo), el lugar de origen es (la ciudad de Bogotá) y el de destino (la ciudad de Cartagena).

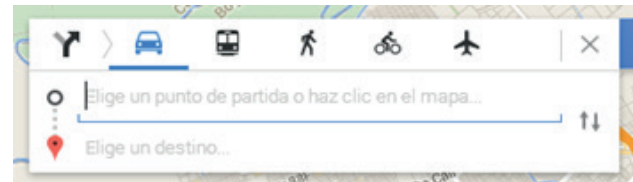


Figura No 5. Herramienta Web identificación de distancias de recorridos. Fuente: Google Maps.

Cuando ya se ha consignado la información básica, el sistema entrega la estimación del tiempo aproximado del recorrido y la distancia del mismo.

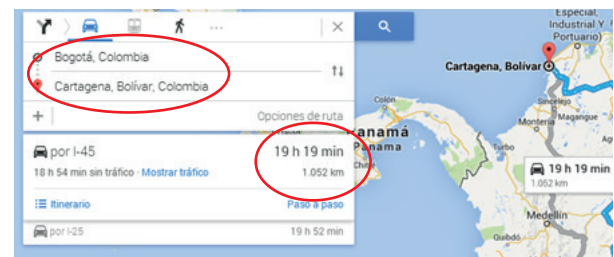


Figura No 6. Herramienta Web identificación de distancias de recorridos. Fuente: Google Maps.

Las distancias entre ciudades también pueden encontrarse en guías de rutas de viaje, como las elaboradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi ([www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co)), y algunas realizadas por empresas privadas.

La longitud del recorrido puede ser empleada para estimar la cantidad de combustible em-

pleado, para lo cual, se requiere calcular antes la distancia total recorrida (hay que tener en cuenta que la longitud que suelen indicar estas herramientas hace referencia solamente a un recorrido de ida, y no a uno de ida y regreso). Para calcular la distancia total de todos los recorridos realizados se puede usar la fórmula:

$$\text{Distancia total recorrida} = \text{Distancia de un recorrido} \times \text{Número de Recorridos.}$$

En el caso del ejemplo (presentado en la imagen anterior), el círculo muestra que la distancia entre las ciudades señaladas es de 1.052 km. Según la información suministrada, el vehículo de la or-

ganización ha realizado 3 veces el viaje de ida y regreso, es decir que ha realizado 6 veces el recorrido propuesto. De esta forma la distancia total recorrida sería:

$$\text{Distancia total recorrida} = 1.052 \text{ km/recorrido} \times 6 \text{ recorridos/mes} = 6.312 \text{ km/mes}$$

Conociendo que la distancia recorrida es de 6.312 kilómetros en el mes, y con los datos necesarios para calcular el rendimiento del vehículo (descritos al inicio del ejemplo), ya se puede

aplicar la metodología señalada anteriormente, empleada cuando sólo se tiene la distancia recorrida.

$$\text{Rendimiento del Vehículo} = \frac{\text{Registro Final} - \text{Registro inicial}}{\text{Cantidad de combustible llenado}} = \frac{83.780 \text{ km} - 83.620 \text{ km}}{8,2 \text{ gal}}$$

$$\text{Rendimiento del Vehículo} = 19,5 \text{ km/gal}$$

Finalmente, se puede estimar la cantidad de combustible consumida en el mes, así:

$$\text{Combustible Consumido} = \frac{\text{Distancia recorrida por el vehículo o medida por otro medio}}{\text{Rendimiento del vehículo}}$$

$$\text{Combustible Consumido} = \frac{6.312 \text{ km/mes}}{19,5 \text{ km/gal}} = 323,7 \text{ gal/mes}$$

Conocido el consumo de combustible, se pueden calcular las emisiones de GEI usando la metodología descrita anteriormente.

El mismo procedimiento puede seguirse para los diferentes tipos de recorridos que realicen todos los vehículos en la organización, si se cuenta con registros de los mismos.

## 2.5.2 Casos específicos relacionados con consumo de biocombustibles

En las organizaciones, pueden presentarse situaciones que ameriten un manejo especial de la información para poder obtener una estimación con un mayor grado de confiabilidad de las emisiones que se deseen incluir en el inventario de GEI. Algunas de las situaciones que se pueden presentar y la forma de hacer la estimación o cálculo de las emisiones de GEI en estos casos, se describen a continuación:

### 2.5.2.1 Cuando se usan combustibles provenientes de la biomasa (biocombustibles)

Si en una organización se emplean combustibles de origen orgánico, o que provengan de la biomasa (como la leña, el carbón vegetal, el biogás, el biodiésel o el bioetanol por ejemplo), para alguna de las actividades productivas, hay que tener en cuenta que, según consideraciones del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC)<sup>36</sup>, la ISO 14064-1 y el GHG Protocol<sup>37</sup>, las emisiones producidas por este tipo de fuentes, deben ser cuantificadas de forma separada con respecto a las emisiones de otros tipos de combustible de origen fósil, particularmente en lo que se refiere a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El argumento para esta discriminación, se basa en el hecho de que las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas con la combustión de biomasa tienen carácter neutro, es decir que, se podría indicar que la cantidad de dióxido de carbono capturado por la biomasa en los procesos metabólicos durante su crecimiento, se considera equivalente a la cantidad de dióxido de carbono liberado durante la combustión, por lo cual el balance de emisiones de los combustibles procedentes de biomasa es cero, y no deberían cuantificarse unidos con el resto de combustibles. Hay que hacer claridad en que este argumento se basa en las condiciones metodológicas propuestas para el cálculo, porque en la realidad, si se usa un enfoque de ciclo de vida del combustible, no siempre

puede considerarse que la captura de CO<sub>2</sub> de la biomasa es igual a las emisiones producidas en su combustión.

Si bien las metodologías son las mismas que en el caso de combustibles con origen fósil, en un inventario de gases de efecto invernadero los datos de emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la combustión de biomasa deben indicarse aparte de las emisiones de GEI provenientes de fuentes fósiles. Es decir, estas no se suman al total del inventario, solo se cuantifican y se reportan.

### 2.5.2.2 Cuando se usan mezclas de combustibles fósiles y biocombustibles

En algunas organizaciones pueden usarse mezclas de combustibles para una misma actividad, realizando combustión combinada de los dos tipos de combustibles (sean estos sólidos, líquidos o gaseosos), situación en la cual hay que sumar las emisiones de CO<sub>2</sub> de la proporción fósil en el inventario general y las emisiones de CO<sub>2</sub> de la proporción de combustible de origen biológico (biomasa o biocombustible) deben ser cuantificadas separadas del inventario principal (no se incluyen en ninguno de los 3 alcances), siempre y cuando la organización decida tener en cuenta este valor y la cuantificación de las emisiones de biomasa sea llevado a cabo (la organización puede decidir no tener en cuenta las emisiones de combustibles que provengan de la biomasa al considerarse de balance neutro, como se explicó anteriormente).

---

<sup>36</sup> Panel Intergubernamental para el Cambio Climático IPCC, Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero – Combustión Estacionaria. Disponible en: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf)

<sup>37</sup> La ISO 14064-1 menciona este aspecto en su numeral 4.2.2 y el GHG Protocol en el Capítulo 4 – Alcance 1: Emisiones Indirectas de GEI.

Las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O originadas por la biomasa, si deben ser cuantificadas dentro del inventario, en el alcance que corresponda según sus características, ya que estos GEI no son capturados en los procesos metabólicos de la biomasa, solamente el CO<sub>2</sub>.

El FECOC 2016 cuenta con factores de emisión diferenciados para combustibles fósiles y combustibles que tienen origen en la biomasa, para poder hacer la cuantificación de la forma más detallada posible. Para hacer esta estimación, se debe conocer la cantidad proporcional de biocombustible y las de combustible fósil (puede ser en porcentaje), y hacer la estimación de las

emisiones atendiendo a estos porcentajes.

A modo de ejemplo, en el horno de una organización se consumen simultáneamente carbón mineral y leña (proveniente de bosques cultivados) para la cocción de las materia primas. Se usaron 250 toneladas de la mezcla durante el mes y se sabe que la proporción de la mezcla es de 82% carbón mineral y 18% madera.

Para calcular las emisiones de esta mezcla, lo primero que se debe hacer es identificar la cantidad de combustible fósil (carbón) y la cantidad de biocombustible (madera), empleadas para el proceso productivo.

**Proporción Combustible fósil = Cantidad Mezcla Usada x Porcentaje Combustible Fósil en la mezcla**

**Proporción Combustible fósil = 230 toneladas de carbón total/mes x 82%**

**Proporción Combustible fósil = 205 toneladas de carbón fósil/mes**

La cantidad de carbón fósil en la mezcla es de 205 toneladas, por lo cual ya se pueden calcular las emisiones asociadas al uso de este combustible según las metodologías mencionadas anteriormente. Las emisiones del biocombustible pueden ser calculadas siguiendo el mismo procedimiento si la organización decide llevar el registro de las mismas.

Este mismo caso se da en el uso de mezclas de biocombustibles líquidos y combustibles fósiles líquidos, como la gasolina y el bioetanol, o el diésel y el biodiésel.

### 2.5.2.3 Gasolina y Diésel comercializados en Colombia

Desde el año 2007 las mezclas de gasolina fósil/bioetanol y diésel fósil/biodiésel, son de carácter obligatorio en el territorio nacional, y se tiene proyectado un incremento de los proyectos de generación de biodiésel y bioetanol en Colom-

bia, para aumentar la porción de biocombustibles contenida en los combustibles comercializados en las diferentes estaciones de servicio del país.

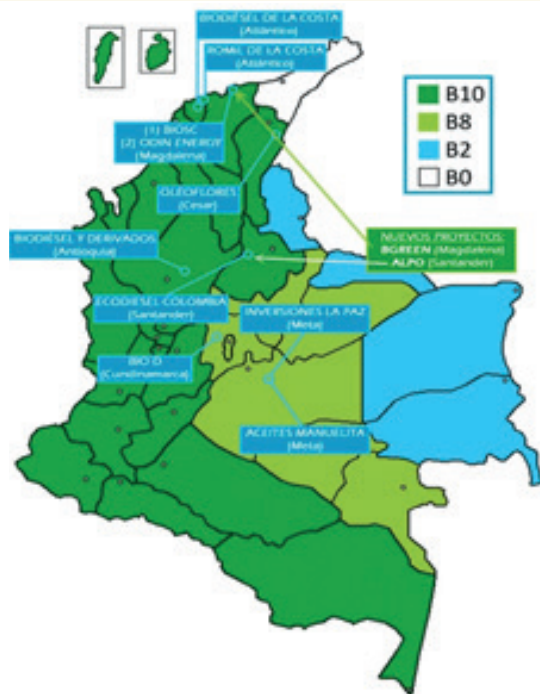
Con el ánimo de cumplir los lineamientos metodológicos descritos anteriormente, deberían cuantificarse por separado las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes a la fracción de biocombustible consumido. Para esto, es necesario conocer la proporción de este combustible dentro del total consumido.

En la actualidad, cada región tiene una fracción de mezcla particular que se puede consultar a través de la página de la Federación Nacional de Biocombustibles, en la figura 3 se presenta la distribución de los porcentajes de mezcla para ambos biocombustibles<sup>38</sup> (biodiésel y bioetanol) por departamentos.

<sup>38</sup> Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com>



## BIODIESEL



## BIOETANOL

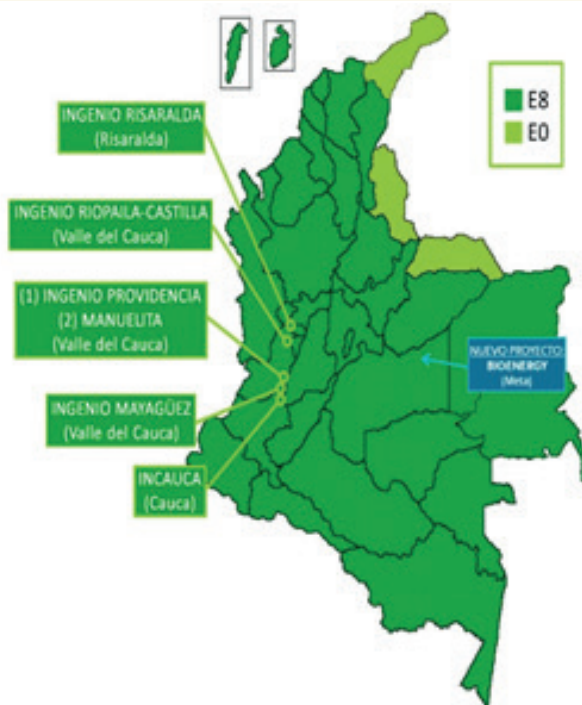


Figura 3. Distribución del porcentaje de mezclas de biodiesel y bioetanol en Colombia

Fuente: Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, 2016<sup>39</sup>

En la figura 3, se puede observar que en la mayoría del territorio nacional predomina la mezcla B10 que quiere decir que el Diésel comercializado en estos departamentos se constituye de un 90% de Diésel de origen fósil y 10% de Biodiésel, para el caso de la gasolina, la mezcla que predomina es E8, lo que quiere decir que el 92% del combustible es gasolina de origen fósil y el 8% es etanol.

Para usar esta información en cuantificación de emisiones, a modo de ejemplo se tiene que una empresa ubicada en el departamento del Meta consume 1000 galones de Diésel comercial al año para el funcionamiento de dos plantas eléctricas de respaldo y 30.000 galones de gasolina comercial en el mismo periodo para los vehículos de entrega de productos en el departamento del Meta.

La empresa está interesada en calcular la huella de carbono asociada a estas fuentes, diferenciando las emisiones que tienen su origen en la biomasa.

Para el caso del diésel y la gasolina comercial, se identifica que las mezclas para el departamento del Meta son B8 y E8 respectivamente. Los factores de emisión usados para el ejercicio se pueden extraer de la tabla 3, teniendo en cuenta el tipo de fuente de la que se trata en cada caso:

<sup>39</sup> Esta distribución corresponde al año 2016 y puede tener cambios a futuro – ver más en: [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\\_info-titulo-Alcohol\\_Carburante\\_\(Etanol\).htm#sthash.YJHQfb8t.dpuf](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar_info-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm#sthash.YJHQfb8t.dpuf)

- Biodiesel de palma para fuentes fijas: 6,8823 kg CO<sub>2</sub>/gal; 0,0263 g CH<sub>4</sub>/gal; 0,0053 g N<sub>2</sub>O/gal.
- Bioetanol Anhidro para fuentes móviles: 5,9201kg CO<sub>2</sub>/gal; 0,0877g CH<sub>4</sub>/gal; 0,1999g N<sub>2</sub>O/gal.
- Diésel B2 (sin mezcla de Biodiésel) para fuentes fijas: 10,149kg CO<sub>2</sub>/gal; 0,01g CH<sub>4</sub>/gal; 0,006g N<sub>2</sub>O/gal.

- Gasolina motor (Sin mezcla bioetanol) para fuentes móviles: 8,8085kg CO<sub>2</sub>/gal; 0,2926g CH<sub>4</sub>/gal; 0,0284g N<sub>2</sub>O/gal.

Teniendo en cuenta la información anterior, lo primero que se deberá hacer es separar las fracciones de combustibles y biocombustibles, para reportar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a biomasa (o biocombustible en este caso) por separado.

**Diésel Comercial consumido= 1000 gal/año; Mezcla B8 (92% Diésel y 8% Biodiesel)**  
**Diésel =1000 gal/año\*92%= 920 gal de diésel/año**  
**Biodiésel=1000 gal/año\*8%= 80 gal biodiésel/año**

**Gasolina Comercial consumida= 30.000 gal/año; Mezcla E8 (92% Gasolina y 8% Etanol)**  
**Gasolina =30.000 gal/año\*92%= 27.600 gal de gasolina/año**  
**Etanol=30.000 gal/año\*8%= 2.400 gal etanol/año**

Como se observó anteriormente, cada uno de estos combustibles generan en mayor proporción CO<sub>2</sub> y en menor proporción CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, sin embargo, al tener mezclas entre combustibles y biocombustibles, se debería proceder de la siguiente manera:

- Fracción de Biocombustibles: Se contabilizan las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en el alcance 1 del inventario de GEI y las emisiones de CO<sub>2</sub> por separado.

- Fracción de Diésel y Gasolina: Se contabilizan todas las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en el alcance 1

Para el caso de la planta eléctrica de respaldo que consume diésel, utilizando los datos obtenidos anteriormente y los factores de emisión convertidos de las unidades del FECOC a toneladas, se tiene que:

### Emisiones de Biodiesel Fuentes Fijas

$$\begin{aligned} \text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2 \text{ e/año)} &= \text{C.C. (gal biodiesel palma/año)} \times \text{F.E. (t de CO}_2 \text{/gal biodiesel palma)} \times \text{PCG}_{\text{CO}_2} \\ \text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2 \text{ e/año)} &= 80 \text{ gal biodiesel palma/año} \times 0,0068823 \text{ t de CO}_2 \text{/gal biodiesel palma} \times 1 \\ \text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2 \text{ e/año)} &= 0,54584 \text{ t CO}_2 \text{ e/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2 \text{ e/año)} &= \text{C.C. (gal biodiesel palma/año)} \times \text{F.E. (t de CH}_4 \text{/gal biodiesel palma)} \times \text{PCG}_{\text{CH}_4} \\ \text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2 \text{ e/año)} &= 80 \text{ gal biodiesel palma/año} \times 0,000000263 \text{ t de CH}_4 \text{/gal biodiesel palma} \times 28 \\ \text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2 \text{ e/año)} &= 0,000058912 \text{ t CO}_2 \text{ e/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2 \text{ e/año)} &= \text{C.C. (gal biodiesel palma/año)} \times \text{F.E. (t de N}_2\text{O/gal biodiesel palma)} \times \text{PCG}_{\text{N}_2\text{O}} \\ \text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2 \text{ e/año)} &= 80 \text{ gal biodiesel palma/año} \times 0,000000053 \text{ t de N}_2\text{O/gal biodiesel palma} \times 265 \\ \text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2 \text{ e/año)} &= 0,00011236 \text{ t CO}_2 \text{ e/año} \end{aligned}$$

## Emisiones de Diésel Fuentes Fijas

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = \text{C.C. (gal diésel/año)} \times \text{F.E. (t de CO}_2\text{/gal diésel)} \times \text{PCG}_{\text{CO}_2}$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 920 \text{ gal diésel/año} \times 0,010149 \text{ t de CO}_2\text{/gal diésel} \times 1$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 9,33708 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = \text{C.C. (gal diésel/año)} \times \text{F.E. (t de CH}_4\text{/gal diésel)} \times \text{PCG}_{\text{CH}_4}$$

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 920 \text{ gal diésel/año} \times 0,0000001 \text{ t de CH}_4\text{/gal diésel} \times 28$$

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 0,0002576 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = \text{C.C. (gal diésel/año)} \times \text{F.E. (t de N}_2\text{O/gal diésel)} \times \text{PCG}_{\text{N}_2\text{O}}$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = 920 \text{ gal diésel/año} \times 0,00000006 \text{ t de N}_2\text{O/gal diésel} \times 265$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = 0,0014628 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

Para el caso de los vehículos que consumen gasolina, usados para la entrega de productos, los resultados son:

## Emisiones de Bioetanol Fuentes Móviles

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = \text{C.C. (gal etanol/año)} \times \text{F.E. (t de CO}_2\text{/gal etanol)} \times \text{PCG}_{\text{CO}_2}$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 2.400 \text{ gal etanol/año} \times 0,0059201 \text{ t de CO}_2\text{/gal etanol} \times 1$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 14,20824 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = \text{C.C. (gal etanol/año)} \times \text{F.E. (t de CH}_4\text{/gal etanol)} \times \text{PCG}_{\text{CH}_4}$$

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 2.400 \text{ gal etanol/año} \times 0,0000000877 \text{ t de CH}_4\text{/gal etanol} \times 28$$

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 0,000589344 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = \text{C.C. (gal etanol/año)} \times \text{F.E. (t de N}_2\text{O/gal etanol)} \times \text{PCG}_{\text{N}_2\text{O}}$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = 2.400 \text{ gal etanol/año} \times 0,000000199 \text{ t de N}_2\text{O/gal etanol} \times 265$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = 0,126564 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

## Emisiones de Gasolina Fuentes Móviles

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = \text{C.C. (gal gasolina/año)} \times \text{F.E. (t de CO}_2\text{/gal gasolina)} \times \text{PCG}_{\text{CO}_2}$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 27.600 \text{ gal gasolina/año} \times 0,0088085 \text{ t de CO}_2\text{/gal gasolina} \times 1$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 243,1146 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = \text{C.C. (gal gasolina/año)} \times \text{F.E. (t de CH}_4\text{/gal gasolina)} \times \text{PCG}_{\text{CH}_4}$$

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 27.600 \text{ gal gasolina/año} \times 0,0000002926 \text{ t de CH}_4\text{/gal gasolina} \times 28$$

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} = 0,22612128 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = \text{C.C. (gal gasolina/año)} \times \text{F.E. (t de N}_2\text{O/gal gasolina)} \times \text{PCG}_{\text{N}_2\text{O}}$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = 27.600 \text{ gal gasolina/año} \times 0,000000284 \text{ t de N}_2\text{O/gal gasolina} \times 265$$

$$\text{Emisiones N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} = 0,2077176 \text{ t CO}_2\text{e/año}$$

Una vez cuantificadas las emisiones individuales de los combustibles, se calculan las emisiones totales de CO<sub>2</sub> asociadas a Biocombustibles, que co-

rresponden a la suma de las emisiones de CO<sub>2</sub> del biodiesel más las emisiones de CO<sub>2</sub> del bioetanol:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones totales de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= \text{Emisiones de CO}_2 \text{ de Biodiesel} + \text{Emisiones de CO}_2 \text{ de Etanol} \\ \text{Emisiones totales de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= 0,54584 \text{ t CO}_2\text{e/año} + 14,20824 \text{ t CO}_2\text{e/año} \\ \text{Emisiones totales de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= 14,75408 \text{ t CO}_2\text{e/año} \end{aligned}$$

En total la empresa genera 14,754 t CO<sub>2</sub> e/año por la combustión de biodiesel y bioetanol, estas emisiones se reportan separadamente de las emisio-

nes de los diferentes alcances (1, 2 o 3) del inventario de GEI.

#### Emisiones totales de alcance 1

Las demás emisiones del ejemplo (todas las dife-

rentes al CO<sub>2</sub> de los biocombustibles) se suman en el alcance 1. De manera que:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones totales de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= \text{Emisiones de CO}_2 \text{ de Diésel} + \text{Emisiones de CO}_2 \text{ de Gasolina} \\ \text{Emisiones totales de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= 9,33708 \text{ t CO}_2\text{e/año} + 243,1146 \text{ t CO}_2\text{e/año} \\ \text{Emisiones totales de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= 252,45168 \text{ t CO}_2\text{e/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones totales de CH}_4 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= \text{CH}_4 \text{ de Biodiesel} + \text{CH}_4 \text{ de Diesel} + \text{CH}_4 \text{ de Bioetanol} + \text{CH}_4 \text{ de Gasolina} \\ \text{Emisiones totales de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= (0,00005912 + 0,0002576 + 0,0005893 + 0,2261213) \text{ tCO}_2\text{e/año} \\ \text{Emisiones totales de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= 0,227 \text{ t CO}_2\text{e/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones totales de N}_2\text{O (t CO}_2\text{e/año)} &= \text{N}_2\text{O de Biodiesel} + \text{N}_2\text{O de Diesel} + \text{N}_2\text{O de Bioetanol} + \text{N}_2\text{O de Gasolina} \\ \text{Emisiones totales de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= (0,00011236 + 0,0014628 + 0,126564 + 0,2077176) \text{ tCO}_2\text{e/año} \\ \text{Emisiones totales de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{e/año)} &= 0,336 \text{ t CO}_2\text{e/año} \end{aligned}$$

El resultado total de emisiones de alcance 1, corresponde a la sumatoria de las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en tCO<sub>2</sub>e, que corresponde a 253,01

tCO<sub>2</sub>e/año. La tabla 6 presenta un resumen de los resultados obtenidos, separando las emisiones según la fuente.





Tabla 6. Emisiones totales de GEI del alcance 1

ALCANCE	FUENTES	EMISIONES CO <sub>2</sub> (Ton CO <sub>2</sub> e/año)	EMISIONES CH <sub>4</sub> (Ton CO <sub>2</sub> e/año)	EMISIONES N <sub>2</sub> O (Ton CO <sub>2</sub> e/año)	HUELLA CARBONO TOTAL
					(Ton CO <sub>2</sub> e/año)
1	Fuentes Móviles	243,115	0,227	0,334	243,676
	Fuentes Fijas	9,337	0,000	0,002	9,339
	<b>TOTAL</b>	<b>252,452</b>	<b>0,227</b>	<b>0,336</b>	<b>253,015</b>

Una vez que se han realizado los cálculos de la huella de carbono asociada a los consumos de combustibles, como parte del inventario general de gases de efecto invernadero; existen alternati-

vas para gestionar el nivel de emisiones y poder reducir la huella de carbono organizacional. En el siguiente capítulo se referencian algunas de estas alternativas.



# HERRAMIENTAS, BUENAS PRÁCTICAS O TECNOLOGÍAS PARA EL USO EFICIENTE DE LOS COMBUSTIBLES



Existen muchas alternativas para gestionar la Huella de Carbono calculada en un inventario de emisiones de GEI, sin embargo, las asociadas con el consumo de los combustibles normalmente son las que pueden representar un nivel de reducción de emisiones de consideración y son aplicables a muchos tipos de organizaciones. En el presente capítulo se describen algunas de estas alternativas separadas por sectores, para que sirvan como mecanismo de orientación para la gestión y reducción de la huella de las organizaciones.





Existe una gran cantidad de manuales que explican cómo reducir el consumo de combustible en vehículos; a continuación se mencionan algunas de estas alternativas recomendadas por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía IDAE<sup>40</sup>:

---

<sup>40</sup> Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía IDAE; Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte por Carretera; Madrid (España); 2006; disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10232\\_Guia\\_gestion\\_combustible\\_flotas\\_carretera\\_06\\_32bad0b7.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf)

## Reducción de los kilómetros recorridos.

La reducción de los kilómetros recorridos mediante la optimización de las rutas que se eligen, teniendo en cuenta criterios como la distancia, el tráfico, las horas pico y valle, entre otros, se constituye en un factor importante para el ahorro de combustible, la reducción de emisiones y para un funcionamiento más eficiente de la empresa de transporte. A continuación se comentan algunos aspectos relativos a esta tarea:

**Elección del vehículo:** Cuando se tienen varias alternativas de vehículo para recoger un paquete o un pasajero, teniendo en cuenta el lugar hacia el que se dirija y desde donde parta, se debería escoger el vehículo que se encuentre más cerca del punto de recogida, para reducir, en la medida de lo posible, los kilómetros que realizará el mismo sin carga. Los kilómetros recorridos sin carga pueden constituirse en un indicador de gestión para la organización, que debería buscar su reducción a un valor lo más cercano a cero posible dadas las condiciones técnicas y operativas de la organización. En los casos en los que se disponga para realizar una tarea (transporte de mercancías y/o pasajeros) de varios vehículos, se debería seleccionar el que tenga el mayor rendimiento en cuanto al uso de combustible.

**Elección de ruta:** La elección de una ruta debe considerar aspectos como la distancia recorrida, el tráfico, las condiciones orográficas, entre otras. Se debería seleccionar la ruta que, siendo una vía rápida, tenga menores inconvenientes de tráfico dentro de los horarios seleccionados para hacer el recorrido y que al mismo tiempo minimice la cantidad de kilómetros recorridos. Si operativamente se puede emplear para el recorrido un horario diferente, que tenga menores niveles de tráfico debe considerarse esta opción. Cuando se tengan similares condiciones en cuanto a las variables anteriormente descritas, otro factor importante para la elección de la ruta, puede estar

asociado a la identificación de aquella que tenga menores dificultades orográficas. En la actualidad existen programas de software y aplicaciones móviles que permiten hacer optimización de rutas en tiempo real, ayudando a la optimización del tiempo de operación y a la reducción de consumo de combustible, generación de emisiones y costos de transporte.

**Tasa de ocupación:** Es importante que los vehículos operen transportando una carga (pasajeros o mercancía) lo más cercana al 100% de su capacidad. De esta manera, se puede lograr que los vehículos realicen el menor número posible de kilómetros sin carga de pasajeros o mercancía (también conocido como operar “en vacío”) o con cargas parciales (por debajo de los niveles de carga tolerables por el vehículo), ya que estos trayectos generan un gasto improductivo de combustible que no reporta beneficios a la empresa. Para evitar las cargas “en vacío”, es importante hacer una buena gestión de las rutas y ajustar la logística de la organización.

## Disminución de consumo por kilómetro recorrido

### Buenas prácticas relacionadas con los conductores

- Políticas de formación: la formación de los conductores es un aspecto clave en el ahorro de combustible. Es importante que los conductores se capaciten, conozcan y pongan en práctica las técnicas de la conducción eficiente de vehículos y tengan las competencias necesarias para obtener el máximo rendimiento de los vehículos que conforman la flota de transporte de la organización. Los conductores con mayor nivel de formación suelen consumir menos combustible para las mismas condiciones de operación, pero no siempre la mayor experiencia en conducción produce el mismo resultado, porque pueden



adoptarse con el tiempo conductas que sean ineficientes; por esta razón es importante que el programa de formación tenga continuidad en el tiempo.

- **Establecimiento de sistemas de incentivos:** si es posible para la organización y se adecua a sus condiciones operativas y financieras, resulta interesante el establecimiento de un sistema de incentivos a los conductores, asociados a las buenas prácticas de conducción. Un programa de incentivos a los conductores, normalmente premia los bajos consumos de combustible, repartiéndolos basados en los ahorros mensuales que se obtengan en la flota. Esto es más fácil de implementar si se puede realizar un seguimiento de los datos de consumo de cada conductor. La estructura de la repartición de dividendos y las condiciones logísticas de la misma, se debe adaptar a las características de cada empresa.

### **Buenas prácticas relacionadas con los vehículos**

- **Adquisición del vehículo:** Uno de los factores más relevantes en la eficiencia de los vehículos consiste en la adquisición adecuada de los mismos para las tareas que van a desarrollar. Por ejemplo, adquirir un vehículo con una capacidad de carga muy superior a la que normalmente se va a usar, llevara a que se use a cargas parciales y de esta forma se tendrán gastos de combustible superiores a los que se tendrían empleando un vehículo con una capacidad de carga más ajustada a las necesidades de la organización. Lo mismo ocurre con la potencia del vehículo; si el motor es capaz de entregar mucha potencia, pero normalmente se emplea una potencia mucho menor, se tendrán mayores consumos de combustible que si se empleara para un vehículo de menor potencia. En el momento de la adquisición,

el comprador debe ser capaz de seleccionar un vehículo adecuado para las condiciones de uso que se requieran. También es importante considerar tecnologías más modernas y con menores emisiones, como los vehículos eléctricos, híbridos o con motores de última generación.

- **Mantenimiento:** La realización de un correcto mantenimiento de los vehículos contribuye a evitar consumos extraordinarios de combustible, evitando así un gasto excesivo. Un programa de mantenimiento periódico es clave para mantener en buen estado los motores y reducir las emisiones asociadas al combustible.

### **Sistemas telemáticos de ayuda a la gestión.**

Uno de los parámetros necesarios para la correcta elección de vehículos y rutas a fin de cubrir las demandas de transporte que se presenten, es la posición de cada vehículo en cada instante. A partir de estas posiciones, se puede gestionar adecuadamente las condiciones de operación de la flota de transporte, optimizando a su vez el consumo de combustible. En la actualidad resulta factible emplear dispositivos que, a través de la red de satélites GPS (Sistema Global de Posicionamiento, o Global Positioning System) puedan brindar información de la posición, orientación e incluso condiciones de operación de los vehículos (velocidad, dirección, etc). Así mismo, existen sistemas de gestión que integrados en el vehículo pueden brindar mayor cantidad de información de las condiciones de operación del mismo, la cual puede ser analizada posteriormente para realizar informes individuales de las condiciones de operación de cada uno de los encargados del vehículo; este tipo de sistemas son una herramienta importante para la operación y también para otros aspectos como el establecimiento de sistemas de incentivos a conductores.

## La conducción eficiente.

La conducción eficiente de vehículos consiste en una serie de metodologías y técnicas que, unidas a la adecuada actitud del conductor al volante, permiten obtener beneficios significativos en cuanto a los ahorros de combustible, reducción de emisiones al medio ambiente, aumento de la productividad para la organización y mejores condiciones de seguridad para los vehículos y conductores. Aunque existen muchas más técnicas para aumentar la eficiencia de los vehículos mediante su operación, la conducción eficiente se podría resumir en las siguientes reglas:

- Conocimiento de las características del vehículo y de su motor, ya que no todos los motores se operan en las mismas condiciones de revoluciones para obtener el mayor rendimiento de estos.
- Arrancar el motor sin pisar el acelerador. Los motores actuales ya no necesitan que se inyecte combustible durante el encendido, por lo cual cuando se hace esta acción, se está consumiendo más combustible del necesario.
- Utilizar la caja en primera velocidad solamente para poner el vehículo en movimiento, cambiando a los pocos metros de recorrido a cambios superiores (segunda, tercera y siguientes) atendiendo siempre a hacerlo dentro de los menores rangos de revoluciones de acuerdo a las características del vehículo.
- Si las condiciones del terreno y de la acelera-

ción del vehículo lo permiten, pueden saltarse cambios, tanto en los procesos de aceleración, como en los de frenado (pasar de primera a tercera, de segunda a cuarta, etc. en los momentos en los que se acelera el vehículo, o viceversa en procesos de frenado, de cuarta a segunda o de tercera a primera)

- Procurar seleccionar el cambio que permita al motor funcionar en la parte baja del intervalo de revoluciones (comúnmente conocido como funcionamiento a bajas revoluciones).
- Mantener una velocidad estable en la circulación evitando los acelerones y frenazos bruscos innecesarios.
- Ante cualquier deceleración u obstáculo que presente la vía, se levantará el pie del pedal acelerador, dejando rodar el vehículo por su propia inercia con el cambio en la que se circula engranado. Esta situación debe replicarse siempre en condiciones de bajada, mantener un cambio engranado. Cuando un vehículo de inyección con un cambio engranado se mueve empleando la inercia de la vía o de la aceleración anterior (sin acelerar), su consumo de combustible durante el tiempo que dure este movimiento es cero.
- En las paradas prolongadas (por encima de 2 minutos de duración), apagar el motor
- Prever las circunstancias del tráfico y, ante las mismas, anticipar las acciones a llevar a cabo.



Teniendo en cuenta la gran cantidad de equipos en el sector manufacturero que operan empleando combustibles, la presente guía presenta

las recomendaciones para dos de los que podrían ser considerados los tipos de equipos de uso más frecuente en este sector, los hornos y las calderas.

### 3.2.1 Hornos.

En los hornos industriales también se pueden emplear varias técnicas sencillas para la reducción del consumo de combustible; a continuación se indican algunas de las recomendaciones que en este sentido ha dado la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME<sup>41</sup>:

#### **Acciones enfocadas a la operación del horno.**

Las recomendaciones generales a seguir para lograr un uso eficiente de la energía con respecto a la operación del horno son:

- Utilizar los hornos en condiciones cercanas a su capacidad de carga nominal o de diseño, reduciendo al máximo la cantidad de tiempo que operen por fuera de estas condiciones.
- Reducir al máximo los espacios de tiempo en que se permite el escape de energía térmica del horno (apertura para carga o descarga en hornos intermitentes, espacios prolongados en la carga entre lotes de producción, etc).
- Tener condiciones adecuadas de aislamiento térmico en las paredes y demás estructuras del horno, así como en las posibles conducciones calientes con que cuente el mismo. Evitar al máximo que el calor salga del equipo.
- Precalentar el aire de combustión y/o el material a hornear, empleando para ello la energía presente en los gases de escape o en el material horneado que se debe enfriar.
- Quemar el combustible con un exceso moderado de aire, es decir entre 5 y 10% para combustibles gaseosos, entre 15 y 20% para combustibles líquidos, y entre 25 y 30% para combustibles sólidos<sup>42</sup>. Un exceso de aire mayor puede aumentar el consumo teniendo en cuenta que se va a emplear combustible para calentar ese exceso, y un exceso de aire menor puede llevar a una mala combustión con producción de inquemados en los gases de salida.

- Mantener la materia prima en zonas aireadas y cubiertas para que entre al horno lo más seca posible. Una disminución en 1% en la humedad del producto que va entrar al horno puede suponer un ahorro de energía del 3 al 20%, según el grado de humedad<sup>43</sup>. Es importante instalar zonas de precalentamiento que también contribuyen a reducir significativamente la humedad de los productos a hornear.

- Mantener un flujo de información adecuado que permita vigilar las pérdidas en los hornos, haciendo el balance térmico correspondiente con periodicidades definidas previamente.

- Evitar operar el horno con gran cantidad de masa muerta, como restos de materiales de proceso rotos o dañados, materiales defectuosos o de baja calidad que no van a poder ser comercializados, etc. Esto implica que se realicen limpiezas periódicas al horno.

**Acciones enfocadas al diseño del horno.** En el momento de realizar el diseño de un horno se debe tener en cuenta, entre otras apreciaciones:

- Dimensionar el tamaño y condiciones operativas del horno de forma que se adapte a las necesidades productivas de la organización.
- Diseñar un sistema de aprovechamiento del calor de los gases de escape para secado, precalentamiento o recirculación, con el objeto de tener los gases en chimenea a una temperatura lo más baja posible.

---

<sup>41</sup> Unidad de Planeación Minero Energética UPME, Universidad Pontificia Bolivariana – Colciencias – Universidad Nacional de Colombia; Hornos; Curso Virtual E-URE; Bogotá, Colombia; 2008. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Eure/index.html>

<sup>42</sup> *Ibidem*

<sup>43</sup> *Ibidem*



- Los hornos aumentan su eficiencia en la medida en que son más grandes y con condiciones de carga más continua.

- Es importante controlar la mayor cantidad de variables en el proceso, por lo cual es recomendable emplear equipos que permitan hacer medición y control de estas variables. Un horno artesanal sin ningún medio de control es mucho menos eficiente que un horno controlado.

- Se debe tener en cuenta que una significativa inversión inicial en sistemas de aislamiento, siempre redundan en ahorros muy altos en la operación del horno.

- Independientemente del tipo de combustible empleado, se debe considerar la integración de quemadores de alta eficiencia, con auto precalentamiento de aire y auto control de emisiones.

- Es importante que un sistema de horneado garantice la flexibilidad en el uso de combustibles, e incluso la posibilidad de hacer co-combustión de los mismos (que permita quemar más de un tipo de combustible de forma simultánea)

**Acciones enfocadas al mantenimiento:** Es necesario cuidar que el consumo de energía se mantenga en los valores previstos y no aumente con el tiempo. Así, se recomienda:

- Mantener un control exhaustivo del consumo de combustibles en el horno, y evaluar las características del mismo que puedan llevar a reducciones en su eficiencia, con el ánimo de establecer medidas de mantenimiento correctivo y preventivo.

- Cuidar que tales mediciones no se aparten significativamente de los parámetros de diseño del fabricante. Siempre es importante establecer intervenciones de mantenimiento basadas en condiciones de operación.

- Conservar el aislamiento del horno en condiciones óptimas, para garantizar mínimas pérdidas

en la operación.

- Mantener un control preciso y acorde con los parámetros óptimos.

### 3.2.2 Calderas.

Uno de los equipos consumidores de combustible más comunes en las organizaciones a nivel general es la caldera. A continuación se señalan algunas alternativas para la reducción del consumo de combustible en este tipo de equipos recomendadas por la Unidad de Planeación Minero - Energética UPME<sup>44</sup>:

- Realizar análisis periódicos de la combustión y ajustar los quemadores. Si la combustión no está correctamente ajustada se puede incurrir en ineficiencias en el uso de combustible que pueden elevar el consumo por encima del 10% inclusive. Es importante usar equipos de monitoreo como el analizador de gases, para hacer los ajustes de la combustión, y no solamente basarse en la pericia o experiencia de los operarios del sistema. Es recomendable mejorar y mantener los sistemas de control que ajustan la relación de aire con combustible según el tipo de combustible, para lograr combustión completa y máxima eficiencia. Existen sistemas de control automático que revisan y ajustan las condiciones de la combustión en tiempo real, minimizando las posibles desviaciones que puedan existir entre una medición manual y otra.

- Realizar un aprovechamiento térmico para usar la energía que pueda estar presente en los gases de la combustión, puede conllevar ahorros de hasta un 10% en el consumo de combustible<sup>45</sup>.

---

<sup>44</sup> Unidad de Planeación Minero Energética UPME, Universidad Pontificia Bolivariana - Colciencias - Universidad Nacional de Colombia; Sistema de Vapor; Curso Virtual E-URE; Bogotá, Colombia; 2008. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Eure/index.html>

<sup>45</sup> Ibidem

Para tal fin se puede instalar un sistema de precalentamiento de aire de combustión o un economizador para el precalentamiento de agua que ingresa a la caldera, consiguiendo aumentar la eficiencia del proceso de generación de vapor. El ahorro de energía se da porque se emplea la energía que está en los gases de combustión para calentar el aire o el agua, tarea para la cual se emplearía combustible si no se cuenta con estos sistemas de aprovechamiento. Estas acciones se pueden lograr cuando los gases de combustión se emiten a la atmósfera a altas temperaturas (mayores a 230 °C)<sup>46</sup>.

- Poner en obra planes de mantenimiento y limpieza de los sistemas internos de intercambio de calor para mantener constante el rendimiento de la caldera. Durante sus procesos de funcionamiento normal, dependiendo del nivel de calidad de agua de alimentación y de las condiciones de combustión en la caldera, se pueden crear depósitos de materiales en sus tuberías internas (tanto en las partes que están en contacto con el agua, como las que están en contacto con los gases de combustión). Según la UPME, estima que 2 mm de depósito de materiales aumentan el consumo de energía en un 5<sup>47</sup>. Esta situación se da porque al aumentar el espesor de la superficie que permite el intercambio de energía entre el agua de alimentación y los gases calientes producto de la combustión, se disminuye la transferencia de calor entre los dos fluidos, haciendo necesario un mayor consumo de combustible para compensar esta pérdida de eficiencia. Por esta razón es importante también, desincrustar el hollín que se adhiere a las superficies que están en contacto con los gases.

- La presión en la generación de vapor debe estar directamente asociada a las necesidades de los equipos del sistema que demandan el vapor, más un porcentaje adicional que permita la compensación de las pérdidas de presión en la tu-

bería por cuenta del transporte del vapor hacia los procesos. Una presión de vapor muy superior a la demandada por los equipos consumidores, disminuye la eficiencia global del sistema y puede acarrear aumentos en los costos de operación por cuenta de los mayores niveles necesarios de mantenimiento. También es importante considerar que la caldera cuenta con unas condiciones de diseño que pueden permitirle una mayor o menor eficiencia de acuerdo a las condiciones de operación de la misma, por lo cual es recomendable mantener los niveles de eficiencia de la caldera en valores superiores al 80%. En los casos en los que no exista una proporcionalidad entre las condiciones de la demanda y las de producción de vapor, conviene hacer un estudio que permita optimizar el sistema.

- Mantener unas condiciones adecuadas de aislamiento a lo largo de todo el sistema de distribución de vapor y en la caldera misma, puede contribuir de forma significativa a la reducción de las pérdidas de energía hacia el ambiente y por lo tanto permitirá reducir el consumo de combustible para la generación de vapor.

- Se deberían operar las unidades de proceso que demandan el vapor cerca de su capacidad nominal para aumentar su eficiencia y rendimiento.

- Reducir al máximo las condiciones de operación en las que se enfrían materiales que deban calentarse de nuevo posteriormente.

- Transformar las operaciones por baches o lotes en operaciones continuas, en aquellos equipos consumidores de vapor o en las mismas calderas.

---

<sup>46</sup>Ibidem

<sup>47</sup>Ibidem

- Reducir la cantidad de purgas o pérdidas que se puedan dar en los procesos de operación de la caldera, buscando hacer aprovechamientos de las mismas en términos de energía y masa.

- Eliminar y/o reemplazar los sistemas y equipos consumidores de vapor que se consideren obsoletos. Se recomienda consultar un experto que evalúe la obsolescencia del equipo.

- Reducir las exigencias relativas a energía desde el mismo proceso, siempre y cuando se puedan mantener los estándares de calidad de todos los procesos de producción.

- Reducir los tiempos de residencia del vapor en los reactores puede conllevar un aumento de eficiencia del sistema de vapor.

- Un sistema de vapor no debería tener ningún tipo de fuga o conducto fuera de uso. La actualización o modificación en la estructura física del sistema de distribución debería contemplar optimizaciones en cuanto a la reducción de las pérdidas por distancias, diámetros, materiales, etc. Es importante establecer un plan de conservación y reparación periódica de controles, válvulas, trampas y accesorios.

- Se deben controlar la mayor cantidad de variables de funcionamiento del proceso, haciendo un especial énfasis en la medición del consumo de combustible, verificándolo a intervalos regulares, para identificar cambios en las cantidades usadas, que puedan estar asociados a algún tipo de problema en cualquiera de los componentes.

-Es recomendable instalar trampas de vapor para evitar la presencia de condensado en las líneas y equipos consumidores, evitando las pérdidas innecesarias de energía y daños en los equipos y sus accesorios.

- La recirculación de condensados a la caldera es una técnica que permite aprovechar la ener-

gía presente en los mismos y evitar consumos adicionales de productos químicos usados en el agua, de forma que puede reducir significativamente los costos de operación del sistema de vapor y del combustible empleado en la caldera.

- Establecer un programa de mantenimiento de la caldera que considere: Reparación o reemplazo de los quemadores deficientes, instalación de quemadores más eficientes en cuanto al uso de combustible, limpiar los filtros de las líneas de combustible, entre otras actividades que pueden redundar en ahorros de combustible.

- Controlar adecuadamente la posición, geometría y buena luminosidad de la llama para el proceso de combustión.

- Implementar un área de transferencia de calor entre los humos y el agua de al menos 5 ft<sup>2</sup> por cada BHP<sup>48</sup>, pues una insuficiente área de transferencia de calor aumenta las pérdidas asociadas a los gases. En estos casos la temperatura de gases puede superar los 300 °C.

Existen otros sistemas que aunque no son de uso común en todas las actividades industriales y comerciales, que también son susceptibles de optimización en sus consumos de combustible y que, por lo tanto, pueden contribuir en la gestión de la huella de carbono; entre estos equipos se pueden mencionar los motores de combustión interna (plantas generadoras o de respaldo, sistemas de cogeneración, etc.), las turbinas de gas, los hornos incineradores, los vehículos para el manejo interno de mercancías y materias primas (si funcionan con combustibles, como montacargas de gasolina o gas), entre otros.

---

<sup>48</sup>ibidem



# REFERENCIAS Y FUENTES DE INFORMACIÓN





- Agencia internacional de la Energía. Estadísticas de la AIE © OCDE/AIE, <http://www.iea.org/stats/index.asp>
- Bahamón García Daniel, Botero García Edgar, León Márquez Ricardo; Factores de Emisión para los Combustibles y la Energía Eléctrica en Colombia, Documento Técnico de Soporte, Ecothermia; 2011.
- British Standards Institution BSI; PAS 2050:2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. BSI (2011).
- British Standards Institution BSI; Guide to PAS 2050: How to assess the carbon footprint of goods and services. 2008.
- Carbon Footprint Ltd. Emission factor database. Disponible en: <http://www.carbonfootprint.com/factors.aspx>;
- Comes Alejandro y Acosta Gustavo; mm – Conversor de unidades (Software); Versión 3.1; 2012.
- Comisión Reguladora de Energía y Gas CREG; Resolución 067 de 1995. Disponible en: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/49033faf81dd56760525785a007a6432?OpenDocument>
- Comisión Reguladora de Energía y Gas CREG; Resolución 127 de 2013. Disponible en: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256ee00709c02/fbc1269e8ef823d005257c36004baea3/\\$FILE/Creg127-2013.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256ee00709c02/fbc1269e8ef823d005257c36004baea3/$FILE/Creg127-2013.pdf)
- Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), Instituto Mundial de Recursos (WRI), "GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol).
- EEA European Environment Agency (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Europa). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>
- EPA Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). Basic Emissions Factors Information. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttnchie1/efpac/abefpac.html>
- Fundación Natura. Guía para elaborar Inventarios Corporativos de Gases Efecto Invernadero / Catacolí, Alejandra (consultora). Bogotá, D.C. Colombia, Fundación Natura; CAEM. 2014.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía IDEA; Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte por Carretera; Madrid (España); 2006; disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10232\\_Guia\\_gestion\\_combustible\\_flotas\\_carretera\\_06\\_32bad0b7.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf)
- IPCC Panel Intergubernamental para el Cambio Climático IPCC, Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero – Combustión Estacionaria. Disponible en: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf)
- IPCC Panel Intergubernamental para el Cambio Climático IPCC. 2007, ClimateChange 2007 – ThePhysicalScienceBasis. Contribution of working group I to the fourth assessment report the IPCC. Cambridge University Press.
- IPCC Panel Intergubernamental para el Cambio Climático IPCC. 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report. Watson, R.T. and the Core Writing Team (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland. pp 184
- IPCC Panel Intergubernamental para el Cambio Climático IPCC. AR5 – Chapter 08 – Anthropogenic and



Natural Radiative Forcing. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_Chapter08\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf)

- IPCC Panel Intergubernamental para el Cambio Climático IPCC. Emission factors database. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>
- IUPAC Gold Book, disponible en: <http://web.archive.org/web/20100601070730/> <http://www.iupac.org/goldbook/S05910.pdf>
- Organización Internacional de Normalización ISO. Norma ISO 14064-1:2012. Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.
- Syke, Finnish Environment Institute. Air Pollutant Emission Factor Library. Disponible en: <http://www.apec-library.fi/>
- The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard. WBCSD (2004).
- The Greenhouse Gas Protocol: IPCC Emissions Factor Database. Disponible en : <http://www.ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/IPCC-Emissions-Factor-Database>
- The Greenhouse Gas Protocol: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. WBCSD (2011).
- Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, Balance Energético Nacional, 2012. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/GeneradorConsulas/Consula\\_Balance.aspx?IdModulo=3](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsulas/Consula_Balance.aspx?IdModulo=3)
- Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, Balance Energético Nacional, 2012. Disponi-

ble en: [http://www.upme.gov.co/GeneradorConsulas/Consula\\_Balance.aspx?IdModulo=3](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsulas/Consula_Balance.aspx?IdModulo=3).

- Unidad de Planeación Minero-Energética UPME – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS – Fundación Natura – Corporación Ambiental Empresarial CAEM – Unión Temporal Incombustión; Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos FECOC 2016, Informe Final; 2016. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/Calculadora\\_Emisiones/aplicacion/calculadora.html](http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/calculadora.html)
- Unidad de Planeación Minero-Energética UPME – Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales ACCEFYN; Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos FECOC, Informe Final; 2003.
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME, Universidad Pontificia Bolivariana – Colciencias – Universidad Nacional de Colombia; Hornos; Curso Virtual E-URE; Análisis Técnico, Administrativo, Financiero, Ambiental y Tecnológico de Proyectos de Uso Racional de la Energía; Bogotá, Colombia; 2008. . Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Eure/index.html>.
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME, Universidad Pontificia Bolivariana – Colciencias – Universidad Nacional de Colombia; Sistemas de Vapor; Curso Virtual E-URE; Análisis Técnico, Administrativo, Financiero, Ambiental y Tecnológico de Proyectos de Uso Racional de la Energía; Bogotá, Colombia; 2008. . Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Eure/index.html>.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI), Greenhouse Gas Protocol. Corporate Accounting and Reporting Standards, April (2004).







| GUÍA PARA LOS INVENTARIOS  
ORGANIZACIONALES  
DE EMISIONES DE GEI  
POR USO DE COMBUSTIBLES  
FOSILES EN ACTIVIDADES  
INDUSTRIALES Y COMERCIALES