

# **FACTORES DE EMISION DEL S.I.N. SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL COLOMBIA 2014**

Elaboró: Héctor Hernando Herrera Flórez (UPME)

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>A. CALCULO DEL FE PARA PROYECTOS DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)</b> .....	<b>6</b>
1.1. <i>INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE</i> .....	6
1.2. <i>DEFINICIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE PROYECTOS MDL</i>	6
1.3. <i>MÉTODOS Y OPCIONES DE CÁLCULO</i> .....	7
<i>Paso 1. Identificar el sistema eléctrico relevante</i> .....	8
<i>Paso 2: Seleccionar un método para determinar el factor de emisión del MO;.....</i>	10
<i>Paso 3. Cálculo del factor de emisión del margen de operación de acuerdo con el método seleccionado</i> .....	13
<i>Paso 4: Identificar el grupo de plantas de energía a ser incluido en el margen de construcción (MCo)</i> .....	16
<i>Paso 5. Calcular el factor de emisión del MCo</i> .....	19
<i>Paso 6. Calcular el margen combinado</i> .....	19
<b>B. PARA INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO-GEI HUELLA DE CARBONO O FACTOR DE EMISIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA-FEG</b> .....	<b>20</b>
<b>C. RESUMEN RESULTADOS</b> .....	<b>21</b>
<b>D. ADJUNTO ARCHIVO HOJA DE CÁLCULO.</b> .....	<b>21</b>

<i>Tabla 1 Fuente de datos.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2 participación Plantas low-cost/must-run últimos cinco años.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3 Margen de Operación Simple Ajustado.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 4 Datos cálculo MO 2014.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 5 Cinco Plantas de generación 2014- Grupo -5-unidades.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 6 Conjunto de las adiciones de capacidad en el sistema eléctrico AEGset<math>\geq</math>20%.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 7 Margen de Construcción año 2014.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 8 Parámetros para cálculo del margen combinado.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 9 Cálculo del Margen Combinado FE del SIN 2014 Simple Ajustado.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 10 Factor de Emisión para Huella de carbono.....</i>	<i>20</i>

## Introducción

El cálculo del Factor de Emisión del Sistema Interconectado Nacional (FE del SIN) tiene esencialmente dos aplicaciones: a) para proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y b) para inventarios de emisiones de Gases Efecto Invernadero-GEI, huella de carbono o Factor de Emisión de la Generación Eléctrica (Mix Eléctrico)

### A. Para proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

1. El Factor de Emisión del Sistema Interconectado Nacional SIN para proyectos MDL está basado en el “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*” (Herramienta para calcular el factor de emisión para un sistema eléctrico), establecida por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), la cual puede ser consultada en el siguiente link: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v4.0.pdf>; metodológicamente la herramienta permite determinar el factor de emisión de CO<sub>2</sub> a emplear para proyectos que:
  - 1.1 Desplacen energía eléctrica generada con plantas de energía renovable en un sistema eléctrico, es decir cuando una actividad de proyecto con energías renovables suministra electricidad a una red (oferta energética), o
  - 1.2 Su actividad de proyecto resulta en ahorros de electricidad y esta electricidad ahorrada habría sido suministrada por la red (por ejemplo, proyectos de eficiencia energética, uso eficiente de energía).
2. La UPME, haciendo uso de esta herramienta y para estos fines específicos calcula el Factor de Emisión del SIN para proyectos MDL, el cual es adoptado mediante resolución por el Ministerio de Minas y Energía.

### B. Para inventarios de emisiones de Gases Efecto Invernadero-GEI, huella de carbono o Factor de Emisión de la Generación Eléctrica-FEG

1. El Factor de Emisión del Sistema Interconectado Nacional, SIN, puede ser utilizado para proyectos y mediciones específicas de emisiones de GEI, para estimación de GEI por consumo de energía eléctrica, para calcular inventarios de emisiones de GEI y para calcular la huella de carbono empresarial o corporativa (mediante la cual se cuantifican las emisiones de GEI de una organización y se identifican las acciones específicas con el fin de mejorar la gestión de los GEI). Lo anterior, siguiendo lo establecido en la norma ISO 14067 y el Protocolo GHG y la cuantificación de emisiones GEI por unidad generada promedio (la cual es una herramienta de fácil aplicación y cálculo ya que la información de la generación y consumo de combustibles utilizados puede ser consultada fácilmente en los portales oficiales).

2. El factor de emisión en la generación-FEG se calcula a partir de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del consumo de combustible divididas entre la cantidad de electricidad generada.

$$FEG = \text{Emisiones Totales de CO}_2 \text{ de la Generación/Electricidad Generada}$$

Existen ventajas de utilizar el FEG:

- 1) Es más sencillo de calcular y está ampliamente disponible en fuentes públicas nacionales e internacionales.
- 2) Se basa en un enfoque comúnmente utilizado para calcular la intensidad de emisiones, por ejemplo, emisiones por unidad de energía generada.

## A. CALCULO DEL FE PARA PROYECTOS DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)

### 1.1. Información y Documentación Disponible

Para el desarrollo del análisis de los métodos y opciones de cálculo, se consulta la información pública disponible, según se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1 Fuente de datos

TIPO	IDENTIFICACIÓN	ORIGEN
Información	- Listado de plantas del SIN 1999–2014	Unidad de Planeación Minero Energética-UPME
	- Generación Mensual Plantas Menores 2014	XM S.A E.S.P
	- Generación real horaria, diaria y mensual SIN 2014	
	- Consumo combustibles mensuales por central y tipo de combustible, 2014.	
	- Factores de emisión de combustibles	Factores de Emisión de Combustibles Colombiano-FECOC
	- Valor Calorífico Neto del combustible fósil NCV	UPME
Documento	- Tool to calculate the emission factor for an electricity system - Version 4	Secretaría de la CMNUCC

### 1.2. Definición del factor de emisión del sistema eléctrico de proyectos MDL

El factor de emisión de la red eléctrica del Sistema Interconectado, SIN, permite estimar las emisiones de GEI asociadas a la generación o al desplazamiento de energía eléctrica de dicha red. La aplicación de este factor de emisión depende del tipo de actividad de reducción de emisiones y de las características del proyecto que se busque acreditar en el marco del MDL.

La Secretaría de la CMUNCC permite el cálculo por parte de los propietarios, desarrolladores, promotores y gestores de los proyectos MDL. La UPME, como entidad estatal, decide calcular el Factor de Emisión del SIN para proyectos MDL puesto que la información oficial de los sectores de minas y energía en Colombia es suministrada por la UPME, encargada por Ley del mantenimiento y publicación de dicha información a través del Sistema de Información Minero-Energético de Colombia, SIMEC.

Los proyectos interesados en acceder a recursos del Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL requieren disponer del factor de emisión adoptado por la República de Colombia para continuar con las actividades dentro del ciclo de proyectos del MDL para lo cual se hace necesario que el Ministerio de Minas y Energía adopte el Factor de Emisión correspondiente al período de generación considerado.

La consideración de emplear un factor de emisión oficial, calculado por la UPME, presenta ventajas:

- Hace más sencilla, económica y accesible la estimación del Factor de Emisión pues se elimina la necesidad de consultar las fuentes de los datos requeridos para el cálculo.
- Reduce el tiempo y costo de formulación de los proyectos bajo el MDL ya que no se haría necesario el desarrollo de un modelo para el cálculo del factor de emisión específico para cada proyecto.
- Estandariza la información a ser empleada en el cálculo, permitiendo que ésta sea más transparente y conservadora en datos y supuestos.
- Mitiga el riesgo por el uso inapropiado de la información durante el cálculo del factor de emisión.

El empleo del Factor de Emisión es optativo y los formuladores de proyectos podrán utilizar otro factor de emisión diferente al calculado en este documento, para lo cual deberán seguir los procedimientos definidos para tal fin por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, la reunión de las partes del Protocolo de Kioto y/o la junta ejecutiva del mecanismo de desarrollo limpio, MDL y las metodologías consideradas para tal fin.

### 1.3. MÉTODOS Y OPCIONES DE CÁLCULO

El valor calculado determina el factor de emisión de  $CO_2$  para el desplazamiento de la electricidad generada por las plantas de energía en un sistema eléctrico.

El factor de emisión se determina a partir del cálculo del margen combinado ( $MC$ ), que es el resultado de promediar y ponderar dos factores de emisión de un sistema eléctrico: i) el factor de emisión del margen de operación ( $MO$ ) y ii) el factor de emisión del margen de construcción ( $MCo$ ).

El  $MO$  se refiere al factor de emisión del grupo de plantas de generación de energía existentes, cuya generación de electricidad sería afectada por la actividad del proyecto MDL. Este parámetro representa los cambios sobre la energía generada por el sistema eléctrico por:

- La generación de energía por la actividad del proyecto propuesto
- Por cambios en la demanda de energía eléctrica por actividades de proyecto que disminuyen el consumo de electricidad.

El  $MCo$  se refiere al factor de emisión al grupo de plantas de generación de energía cuya

construcción y futura entrada en operación se vería afectada por la actividad de proyecto MDL.

Para el cálculo del factor de emisión del Margen Combinado, en la herramienta se ha establecido la aplicación de seis pasos, los cuales permiten determinar los factores de emisión del *MO* y el *MCo* teniendo en cuenta las características del sistema eléctrico, el tipo de plantas de generación a ser consideradas, la disponibilidad de información y datos relevantes.

- Paso 1: Identificar el sistema eléctrico relevante,
- Paso 2: Seleccionar un método para determinar el factor de emisión del *MO*;
- Paso 3: Calcular el factor de emisión del margen de operación (*MO*) de acuerdo con la metodología seleccionada
- Paso 4: Identificar el grupo de plantas de energía a ser incluido en el margen de construcción (*MCo*).
- Paso 5: Calcular el factor de emisión del *MCo*;
- Paso 6: Calcular el factor de emisión del margen combinado (*MC*).

#### **Paso 1. Identificar el sistema eléctrico relevante**

El sistema eléctrico hace referencia a la extensión física que abarca a las centrales generadoras de electricidad que se encuentran conectadas a través de líneas de transmisión y distribución y por las que se puede despachar energía sin restricciones significativas de transmisión.





Figura 1 Sistema Interconectado Nacional SIN

Fuente: [http://www.upme.gov.co/Docs/Plan\\_Expansion/2013/Plan\\_GT\\_%202013\\_%202027\\_V4.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2013/Plan_GT_%202013_%202027_V4.pdf)

La descripción del sistema eléctrico colombiano se encuentra disponible al público en el Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2014-2028, en la fuente citada.

**Paso 1.1. Seleccionar si desea incluir las plantas que están fuera del sistema eléctrico relevante.**

El presente cálculo no incluye las unidades que no se encuentran conectadas al Sistema Interconectado Nacional, SIN.

**Paso 2: Seleccionar un método para determinar el factor de emisión del MO:**

Opciones de cálculo del margen de Operación (MO) en adelante, establecidas en la herramienta:

Para el cálculo del factor de emisión *MO*, la herramienta presenta cuatro (4) métodos, los cuales varían con las condiciones de aplicabilidad, información y datos requeridos. De acuerdo con la herramienta referenciada, si varios de los métodos cumplen las condiciones de aplicabilidad, la elección deberá realizarse considerando los criterios propios de quien vaya a realizar el cálculo del *MO* en función de los intereses particulares que se tengan.

**2.1 MO simple:** Bajo este método el factor de emisión del *MO* es calculado como el promedio (ponderado por generación) de emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de generación de electricidad (tCO<sub>2</sub>/MWh) de todas las plantas de generación eléctrica conectadas al SIN, sin incluir las plantas *low-cost/must-run*<sup>1</sup>. Para el desarrollo del cálculo por el método *MO* simple, el instrumento presenta dos opciones:

Se calcula mediante:

$$EF_{grid,OMsimple,y} = \frac{\sum_m EG_{m,y} \cdot EF_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}}$$

*Ecuación (1).*

Donde:

$EF_{Red,OMsimple,y}$	Factor de emisión margen de operación simple para el año y (t CO <sub>2</sub> /MWh)
$EG_{m,y}$	Energía neta entregada a la red por cada unidad de generación <i>m</i> en el año y (MWh)
$EF_{EL,m,y}$	Factor de emisión de la unidades de generación <i>m</i> en el año y (t CO <sub>2</sub> /MWh)

<sup>1</sup> Las plantas *low-cost/must-run* están definidas según la herramienta como plantas de energía con bajos costos marginales de generación o plantas de energía que se distribuyen de forma independiente de la carga diaria o estacional de la red. Por lo general incluyen hidroeléctricas, geotérmicas, eólicas, biomasa de bajo costo, generación nuclear y solar.

- $m$  Todas la unidades de generación conectadas a la red a excepción de las unidades low-cost/must-run
- $y$  El año correspondiente a los datos utilizados

Nota: de acuerdo con la herramienta, el método MO simple solamente puede ser usado si las plantas low-cost/must-run constituyen menos del 50% de la generación total en: a) el promedio de los últimos 5 años

Para calcular este Factor de Emisión del Margen de Operación de las unidades de generación por este método se tienen dos opciones, dependiendo de la disponibilidad de información:

- *Opción A:* considera la generación neta de electricidad para la red y el factor de emisión de CO<sub>2</sub> de cada una de las plantas/unidades de generación conectadas.

$$EF_{EL,m,y} = \frac{\sum_i FC_{i,m,y} \cdot NCV_{i,y} \cdot EF_{CO_2,i,y}}{EG_{m,y}}$$

*Ecuación (2).*

Donde:

$EF_{EL,m,y}$  = Factor de Emisión del CO<sub>2</sub> de la unidad de energía  $m$  en el año  $y$  (t CO<sub>2</sub>e/MWh)

$FC_{i,y}$  = Cantidad de combustible fósil tipo  $i$  consumido por la unidad de energía  $m$  en el año  $y$  (Unidad de Masa o volumen).

$NCV_{i,y}$  = Valor calorífico Neto del combustible fósil tipo  $i$  en el año  $y$  (GJ/unidad de masa o volumen).

$EF_{CO_2,i,y}$  = Factor de emisión del CO<sub>2</sub> del combustible fósil  $i$  en el año  $y$  (t CO<sub>2</sub>/GJ)

$EG_{m,y}$  = Electricidad Neta Generada y despachada a la red eléctrica por las unidades  $m$  en el año  $y$  (MWh).

$m$  = Todas las unidades de generación conectadas a la red eléctrica

$i$  = Todos los combustibles fósiles  $i$  quemados en las unidades de energía el año  $y$ .

$y$  = Año correspondiente al período de análisis.

- *Opción B:* se basa en la generación neta total de electricidad de todas las plantas eléctricas conectadas a la red, considerando los tipos de combustibles y consumos de los mismos por las plantas que las alimentan.

$$EF_{EL,m,y} = \frac{EF_{CO2m,i,y} \cdot 3,6}{\eta_{m,y}}$$

Ecuación (3).

Donde:

$F_{EL,my}$  = Factor de emisión de  $CO_2$  de la unidad m en el año y (t  $CO_2$ /MWh)

$EF_{CO2m,i,y}$  = Factor de emisión de  $CO_2$  promedio del combustible fósil tipo  $i$  utilizado en la unidad m en el año y (t  $CO_2$ /GJ)

$\eta_{my}$  = Eficiencia promedio en la conversión de energía neta de la unidad m en el año y

$y$  = Año correspondiente al periodo de cálculo

La opción B sólo puede ser usada sí: (i) la información necesaria para realizar el cálculo con la opción A no está disponible, (ii) sólo las plantas renovables son consideradas como *low-cost/must-run* y se conoce la cantidad de energía que estas plantas entregan a la red, y (iii) no se incluyen plantas fuera del SIN en la selección de centrales a ser tenidas en cuenta para el cálculo.

**2.2 MO simple ajustado:** es una variación del método MO simple, en el cual las plantas generadoras de energía son divididas en dos grupos. Un grupo corresponde a las plantas *low-cost/must-run* y el otro grupo corresponde a las demás plantas generadoras. El cálculo se realiza según la opción A anterior, es decir, basado en la generación eléctrica de cada planta en la red y el factor de emisión de cada una de ellas, y adicionalmente es necesario calcular el factor  $\lambda$ , el cual expresa el porcentaje de tiempo (en un año), en el que las plantas de generación *low-cost/must-run* se encuentran en el margen de generación de energía.

$$EF_{grid,OM-adj,y} = (1 - \lambda_y) \cdot \frac{\sum_m EG_{m,y} \cdot EF_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}} + \lambda_y \cdot \frac{\sum_k EG_{k,y} \cdot EF_{EL,k,y}}{\sum_k EG_{k,y}}$$

Ecuación (4).

Donde:

$EF_{grid,MO-adj,y}$  Factor de emisión margen de operación simple ajustado para el año y (t  $CO_2$ /MWh)

$\lambda_y$  Factor que expresa el porcentaje de tiempo en que las unidades *low-cost/must-run* marginaron en el año y

$EG_{m,y}$  Energía neta entregada a la red por cada unidad de generación m en el año y (MWh)

$EG_{k,y}$	Energía neta entregada a la red por cada unidad de generación k en el año y (MWh)
$EF_{EL,m,y}$	Factor de emisión de la unidades de generación m en el año y (t $CO_2$ /MWh)
$EF_{EL,k,y}$	Factor de emisión de la unidades de generación k en el año y (t $CO_2$ /MWh)
$m$	Todas la unidades de generación conectadas a la red a excepción de las unidades <i>low-cost/must-run</i>
$k$	Todas las unidades de generación conectadas a la red consideradas como unidades <i>low-cost/must-run</i>
$y$	El año correspondiente a los datos utilizados

**2.3 MO con análisis de datos de despacho:** se determina considerando las plantas de generación conectadas a la red que despachan energía en el margen (últimas plantas a ser despachadas) durante cada hora del año en que el proyecto MDL estuvo desplazando energía de la red; es decir, se determina el factor de emisión de la red para cada hora en que el proyecto MDL esté generando energía (desplazando la energía que hubiera sido generada por las plantas que hubiesen despachado en el margen a esa misma hora). Bajo este método no es posible utilizar datos históricos por lo que se requiere de monitoreo anual de los datos necesarios para hacer el cálculo. Este método implica obtener un factor de emisión de  $CO_2$  para cada hora de despacho aplicable al sistema.

Este método aplica a nivel de proyectos; no es posible obtener un solo valor del Factor de Emisión sino una serie de valores a lo largo del año. Para 2014, sería necesario calcular 7.860 FE horarios.

**2.4. MO promedio:** Corresponde a las emisiones promedio de todas las plantas de energía de la red, usando la misma aproximación de cálculo establecida en el método MO Simple, pero incluyendo en los cálculos todas las plantas *low-cost/must-run*.

Este método promedio es aplicable cuando se carece de información del sistema pues en él se asumen valores por defecto (Default) de Factores de Emisión de los combustibles de las agencias internacionales y se promedian sus emisiones por la generación total.

En el caso colombiano se cuenta con toda la información proveniente de la fuente referenciada de datos, por lo cual el valor calculado para el mismo es únicamente de referencia.

**Paso 3. Cálculo del factor de emisión del margen de operación de acuerdo con el método seleccionado.**

Como se ha expuesto en este documento, hay varias formas de realizar el cálculo del MO, las cuales se exponen a continuación.

### 3.1 MO Método simple:

Como se tiene establecido por la herramienta, “el método MO simple solamente puede ser usado si las plantas *low-cost/must-run* constituyen menos del 50% de la generación total en: a) el promedio de los últimos 5 años...”

Existen diversas interpretaciones de lo que son las plantas *low-cost/must-run*. La herramienta las define como “plantas de energía con bajos costos marginales de generación o plantas de energía que se distribuyen de forma independiente de la carga diaria o estacional de la red. Por lo general incluyen hidroeléctrica, geotérmica, eólica, biomasa de bajo costo, generación nuclear y solar.”<sup>2</sup>

Siguiendo la definición de la herramienta y considerando para el caso colombiano las denominadas plantas menores y las hidroeléctricas y biomasa, las clasificadas como: *low-cost/must-run*, en la tabla 2 se muestra la participación de dichas plantas consideradas en la generación total para los últimos cinco años.

Tabla 2 participación Plantas *low-cost/must-run* últimos cinco años

<b>Año</b>	<b>Generación Total SIN MWh/año</b>	<b>MWh/año low- cost/must-run</b>	<b>Participacion low- cost/must-run</b>
2010	56 875 280	40 806 462	72%
2011	58 629 621	48 177 697	82%
2012	59 995 445	45 992 575	77%
2013	62 196 587	45 558 393	73%
2014	64 327 855	45 497 205	71%

Al decidirse por esta interpretación de las unidades *low-cost/must-run*, no es factible aplicar el método simple para calcular el MO del SIN en 2014.

### 3.2 MO Método simple ajustado:

Bajo la consideración expresada en la herramienta y definida allí, como tradicionalmente se asume, una planta *low-cost/must-run* es una central con bajo costo marginal de generación, o una central que está despachada independientemente de la carga diaria o estacional de

<sup>2</sup> Methodological Tool (Version 04) “Tool to calculate the emission factor for an electricity system disponible en <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-07-v4.0.pdf>



la red. Típicamente incluye centrales hidroeléctricas, geotérmicas, eólicas, biomasa de bajo costo, nuclear y solar.

Al considerar las hidroeléctricas, de cogeneración, eólicas y plantas menores como las *Low-Cost/Must-Run*, éstas han aportado más del 50% de la generación eléctrica de Colombia en los últimos 5 años y de acuerdo con la ecuación (4), el cálculo del Factor de Emisión del Margen de Operación por el Método Simple Ajustado se tiene:

Tabla 3 Margen de Operación Simple Ajustado

<b>Margen de Operación 2014</b>		
Generación Neta de Energía Total	<b>64 327 855</b>	<b>MWh</b>
Generación Neta de Energía Low-Cost/Must-Run (MWh)	<b>45 497 205</b>	<b>MWh</b>
Generación Neta de Energía No Low-Cost/Must-Run (MWh)	<b>18 830 650</b>	<b>MWh</b>
<i>Lambda</i>	<b>0,0027</b>	
$\sum EG_{m,y} * EF_{EL,m,y}$	<b>11,986,935</b>	<b>tCO<sub>2</sub></b>
$\sum EG_{k,y} * EF_{EL,k,y}$	<b>516,440</b>	<b>tCO<sub>2</sub></b>
<b>Margen de Operación</b>	<b>0.63</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/MWh</b>

### 3.2 MO con Método de análisis de datos de despacho

Tal como se ha establecido, este método requiere el cálculo de FE horario, lo que escapa del alcance de este ejercicio pues no se obtiene un factor de emisión único, sino que por las características de aplicabilidad, la energía desplazada por el proyecto o energía dejada de consumir, es necesario generar un factor de emisión horario y para 2014 sería necesario reportar 8.760 Factores de Emisión. Por este motivo se establece que este método no se puede utilizar para el cálculo del Factor de Emisión para el MO 2014.

### 3.3 MO Método Promedio

Corresponde a las emisiones promedio de todas las plantas de energía de la red, usando la misma aproximación de cálculo establecida en el método MO Simple, pero incluyendo en los cálculos todas las plantas *low-cost/must-run*. Este método promedio se emplea cuando se carece de información completa de consumos de combustibles, Factores de Emisión específicos, para lo cual se emplean factores de emisión por defecto. No es el caso para Colombia, en donde se cuenta con información suficiente del tipo de combustible, consumos y generación real.

Como se ha especificado, el método escogido para el cálculo del Factor de Emisión del margen de Operación MO es el Método Simple Ajustado; este cálculo del MO Promedio sólo se calcula para referencia, por las consideraciones establecidas anteriormente.

**Paso 4: Identificar el grupo de plantas de energía a ser incluido en el margen de construcción (MCo).**

El cálculo del factor de emisión del margen de construcción (MCo) permite la aplicación de dos opciones para los datos a ser empleados:

- a) El conjunto de cinco plantas de generación que han sido construidas recientemente, SET 5-unidades.
- b) El conjunto de las adiciones de capacidad en el sistema eléctrico que comprende el 20% de la generación (MWh), AEGset $\geq$ 20%, con una energía que representa el 20% de la energía suministrada.

La herramienta de cálculo del Factor de Emisión establece las condiciones de escogencia para lo cual dictamina que para identificar el grupo de plantas de energía a ser incluido en el margen de construcción (MC), se debe escoger la opción que más energía reporte.

Para 2014, se parte de la información consignada en la tabla 4.

Tabla 4 Datos cálculo MCo 2014

Calculo del margen de Construcción año 2014			
Total energía Generada 2014 (sin plantas MDL)	EG total	61 132 133	MWh
20 % del total energía Generada en 2014 (Sin Plantas MDL)	20% de EG Total	12 226 427	MWh
Generación del grupo de plantas incorporadas más recientemente (Ultimas 5 plantas - sin plantas MDL)	EG Grupo -5-unidades	3 815 318	MWh
Grupo de plantas que comprenden el 20% de la EG total (sin Plantas MDL)	EG grupo $\geq$ 20%	12 803 548	MWh
Grupo de plantas que comprenden la Mayor generación anual de electricidad	Grupo Muestra	SET $\geq$ 20%	-
Grupo de plantas que comprenden la Mayor generación anual de electricidad (Incluyendo Plantas MDL)	EG Muestra -MDL->10 años	16 760 047	MWh

- a) Grupo -5-unidades: El conjunto de cinco plantas de generación que han sido construidas recientemente, SET 5-unidades con una energía que representa el 4,14% de la energía suministrada.

Tabla 5 Cinco Plantas de generación 2014- Grupo -5-unidades

Dato de Entrada		Compañía/Planta	Tipo	Generación 2014	
Año	Mes			MWh Anual	Emisiones
2014	Diciembre	Planta SOGAMOSO 819 MW	Hidro	172 410	
2014	Diciembre	Planta SOGAMOSO 800 MW	Hidro	149 531	
2014	Diciembre	Planta Hidroeléctrica PORCE III 660 MW a 700 MW	Hidro	3 445 816	
2014	Noviembre	La Naveta	Hidro	661	
2014	Noviembre	PURIFICACIÓN	Gas	1 491	643
TOTAL				<b>3,815,318</b>	

- b) AEGset $\geq$ 20%: El conjunto de las adiciones de capacidad en el sistema eléctrico



que comprende el 20% de la generación (MWh), AEGset $\geq$ 20%, con una energía que representa el 20% de la energía suministrada.

Tabla 6 Conjunto de las adiciones de capacidad en el sistema eléctrico AEGset $\geq$ 20%

Dato de Entrada		Compañía/Planta	Tipo	Generación 2014		Emisiones
Año	Mes			MWh Anual	MWh Acumulado	EG <sub>m</sub> x EF <sub>EL,m</sub>
2014	Diciembre	Planta SOGAMOSO 819 MW	Hidro	172 410	172 410	
2014	Diciembre	Planta SOGAMOSO 800 MW	Hidro	149 531	321 942	
2014	Diciembre	Planta Hidroeléctrica PORCE III a 700 MW	Hidro	3 445 816	3 767 757	
2014	Noviembre	La Naveta	Hidro	661	376 8419	
2014	Noviembre	PURIFICACIÓN	Gas	1 491	3 769 910	643
2014	Junio	SALTO II	Hidro	45 409	3 815 318	
2014	Marzo	El Popal	Hidro	105 263	3 920 581	
2013	Mayo	AMOYA	Hidro	352 810	4 273 391	
2013	Abril	SUBA	Hidro	172 410	4 445 801	
2013	Abril	USAQUEN	Hidro	1 132 374	5 578 176	
2013	Marzo	LA CASCADA (ABEJORRAL)	Hidro	8 172	5 586 347	
2012	Diciembre	SAN FRANCISCO (Putumayo)	Hidro	286 025	5 872 372	
2012	Noviembre	BARROSO 19.9 MW	Hidro	19 221	5 891 593	
2012	Junio	HIDROMONTAÑITAS 19.9 MW	Hidro	1 540 125	7 431 719	
2012	Mayo	ALTOTULUA 19.9 MW	Hidro	76 006	7 507 724	
2011	Enero	SANTIAGO	Hidro	7 374	7 515 099	
2011	Julio	INGENIO SAN CARLOS	Cog	8 885	7 523 984	2,366
2010	Diciembre	TERMOFLORES 4B	Gas	407 361	7 931 345	1,030,862
2010	Agosto	SANTA RITA	Hidro	11 029	7 942 373	-
2010	Agosto	CURRUCUCUES	Hidro	37 784	7 980 157	-
2010	Agosto	AMAIME	Hidro	49 507	8 029 665	-
2010	Mayo	GUANAQUITAS	Hidro	144 528	8 174 192	-
2010	Enero	MAYAGUEZ	Cog	71 919	8 246 111	85,447
2010	Enero	INGENIO PICHICHI	Cog	6	8 246 118	1,904
2009	Diciembre	CARUQUIA	Hidro	15 385	8 261 502	-
2009	Noviembre	INGENIO LA CARMELITA	Cog	69 231	8 330 734	4
2009	Febrero	PAPELES NACIONALES	Cog	5 096	8 335 829	877
2009	Febrero	INZA	Hidro	5 955	8 341 784	-
2008	Abril	AGUA FRESCA	Hidro	53 593	8 395 377	-
2007	Octubre	REMEDIOS	Hidro	1 491	8 396 868	-
2007	Septiembre	LA CASCADA-ABEJORRAL	Hidro	8 172	8 405 040	-
2007	Agosto	CIMARRON	Gas	21 021	8 426 062	80,249
2007	Agosto	EL MORRO 2	Gas	142 787	8 568 849	83,008
2007	Agosto	AMALFI	Hidro	1 685	8 570 534	-
2007	Julio	URRAO	Hidro	3 303	8 573 837	-
2007	Julio	LA CASCADA	Hidro	13 780	8 587 617	-
2007	Julio	SAN JOSE DE LA MONTAÑA	Hidro	2 416	8 590 034	-
2007	Mayo	EL MORRO 1	GAS	169 690	8 759 723	89,760
2007	Marzo	INGENIO TUMACO	Cog	5 065	8 764 788	426
2006	Septiembre	COGENERACION COLTEJER	Cog	3 073	8 767 861	50,745

2006	Julio	CALDERAS	Hidro	20 617	8 788 479	-
2006	Marzo	DOLORES	Hidro	0	8 788 479	-
2005	Noviembre	PTAR	Hidro	0	8 788 479	-
2005	Junio	SANTA ANA	Hidro	1 690	8 790 169	-
2005	Enero	LA JUNCA	Hidro	134 283	8 924 452	-
2004	Noviembre	LA VUELTA	Hidro	65 070	8 989 522	-
2004	Noviembre	MIROLINDO	Hidro	147 836	9 137 358	-
2004	Septiembre	LA HERRADURA	Hidro	14 803	9 152 161	-
2004	Septiembre	CEMENTOS DEL NARE	Hidro	6 304	9 158 465	-
2004	Agosto	INGENIO CENTRAL CASTILLA	Cog	737	9 159 203	3,644
2004	Agosto	INGENIO RIOPAILA	Cog	112 562	9 271 764	2,523
2004	Agosto	TERMOYOPAL 1	Gas	7 581	9 279345	87,318
2004	Julio	TERMOYOPAL 2	Gas	584 142	9 863 487	129,106
2004	Junio	OVEJAS	Hidro	103 421	9 966 908	-
2004	Abril	TEQUENDAMA	Hidro	871 593	10 838 500	-
2004	Febrero	RIO RECIO	Hidro	2 537	10 841 037	-
2004	Febrero	PASTALES 1	Hidro	7 982	10 849 020	-
2004	Febrero	VENTANA B	Hidro	9 570	10 858 590	-
2004	Enero	JEPIRACHI	Viento	702 109	11 560 699	-
2003	Diciembre	EL LIMONAR	Hidro	37 819	11 598 517	-
2003	Diciembre	SAN JOSÉ	Hidro	3 161	11 601 678	-
2003	Septiembre	SAN ANTONIO	Hidro	1 171 558	12 773 237	-
2003	Septiembre	CHARQUITO	Hidro	3 982 446	16 755 683	-
2003	Agosto	INGENIO RISARALDA	Cog	4 364	16 760 047	-
						5,135
			<b>Total</b>	<b>12 839 466</b>	<b>TOTAL EMISIONES</b>	<b>1,804,587</b>

El factor de emisión debido al margen de construcción se calcula utilizando la Ecuación:

$$EF_{grid,BM,y} = \frac{\sum_m EG_{m,y} \cdot EF_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}}$$

Ecuación (5)

Donde:

$EF_{Red MC y}$

Factor de emisión margen de Construcción para el año y (T  $CO_2$ /MWh)

$EG_{m y}$

Energía neta entregada a la red por cada unidad de generación  $m$  en el año  $y$  (MWh)

$EF_{EL m y}$

Factor de emisión de la unidades de generación  $m$  en el año  $y$  (t  $CO_2$ /MWh)

$m$

Todas las unidades de generación incluidas en el margen de construcción.

$y$

El año histórico más reciente para el que los datos de generación de electricidad están disponibles

**Paso 5. Calcular el factor de emisión del MCo**

Con estas consideraciones se obtiene el siguiente resultado considerando el año 2014 de operación del SIN:

Tabla 7 Margen de Construcción año 2014

Cálculo del margen de Construcción año 2014		
<b>EG total</b>	61 132 133	<b>MWh</b>
<b>Grupo de plantas que comprende la Mayor generación anual de electricidad (Incluyendo Plantas MDL)</b>	12,839,466	<b>MWh</b>
<b>EG<sub>m</sub> x EF<sub>EL m</sub></b>	1,804,587	<b>t CO<sub>2</sub></b>
<b>EF<sub>grid MCo 2014</sub></b>	<b>0.1406</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/MWh</b>

**Paso 6. Calcular el margen combinado**

Para realizar el cálculo del factor de emisión del margen combinado (MC), el instrumento establece dos opciones: MC promedio ponderado o MC simplificado. En este caso, la herramienta define la preferencia por el uso del método MC Promedio ponderado el cual es el factor resultante de la suma del factor de emisión del margen de operación *MO* multiplicado por el ponderador del factor de emisión del margen de operación (*WOM*) y el factor de emisión del margen de construcción (*MCo*) multiplicado por el ponderador del factor de emisión del margen de construcción (*WBM*).

Tabla 8 Parámetros para cálculo del margen combinado

Factor ponderador	Hidroeléctrica
	Termoeléctrica
WOM	0.5
WBM	0.5
Factor ponderador	Energías Renovables No convencionales (Eólica, Solar)
WOM	0.75
WBM	0.25

Para calcular el Margen Combinado MC del Factor de Emisión la herramienta establece

Tabla 9 Cálculo del Margen Combinado FE del SIN 2014 Simple Ajustado

CALCULO DEL MARGEN COMBINADO FE DEL SIN 2014 SIMPLE AJUSTADO		
$EF_{grid\ MO\ y}$	0.635	t CO <sub>2</sub> /MWh
Total generación	64,327,855	MWh
$EF_{grid\ MCo\ 2014}$	0.14055	tCO <sub>2</sub> /MWh
$W_{OM}$	0.5	-
$W_{BM}$	0.5	-
$EF_{grid\ MC\ 2014}$	<b>0.388</b>	tCO <sub>2</sub> /MWh

De acuerdo a las consideraciones establecidas el Factor de Emisión del SIN para proyectos MDL es de **FE = 0.388 tCO<sub>2</sub>/MWh.**

**B. Para inventarios de emisiones de Gases Efecto Invernadero-GEI huella de carbono o Factor de Emisión de la Generación Eléctrica-FEG**

Para proyectos y mediciones específicas de generación de emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de energía eléctrica se puede calcular la huella de carbono siguiendo lo establecido en la norma ISO 14067 y el GHG Protocolo. Para esto es posible calcular las emisiones por kWh generado promedio. Este es un instrumento de fácil aplicación y cálculo ya que la información de la generación eléctrica de las plantas conectadas al SIN y los tipos y consumos de combustibles utilizados puede ser consultada fácilmente en los portales oficiales; el factor de emisión en la generación FEG se calcula a partir de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del uso de combustibles divididas entre la cantidad de electricidad generada.

Este ejercicio de cálculo es similar al desarrollado para el cálculo del margen de operación para el método promedio, ecuación (1), teniendo en cuenta toda la generación, lo que resulta en:

Tabla 10 Factor de Emisión para Huella de carbono

FE para Huella de carbono e Inventarios.		
Generación Neta de Energía Total	64,327,855	MWh
$\sum EGm\ y\ *EFEL\ m\ y$	12,503,376	tCO <sub>2</sub>
FE Inventarios	<b>0.194</b>	tCO <sub>2</sub> /MWh

Como se presentó en la argumentación, los Factores de Emisión para proyectos MDL y para Huella de Carbono son diferentes y su cálculo tiene aplicaciones diversas y específicas según cada caso.

### C. Resumen resultados

Resumiendo, se debe resaltar que para proyectos MDL el Factor de Emisión resultante de 0.388 tCO<sub>2</sub>/MWh puede ser usado para estimar emisiones reducidas en proyectos que:

1. Produzcan desplazamiento de la electricidad generada con plantas de energía renovable en un sistema eléctrico, es decir cuando una actividad de proyecto con energías renovables suministra electricidad a una red (oferta energética) o
2. Actividades de proyectos que resultan en ahorros de electricidad y esta electricidad ahorrada habría sido suministrada por la red (por ejemplo proyectos de eficiencia energética o uso eficiente de energía).

El Factor de Emisión para Huella de Carbono de 0.194 tCO<sub>2</sub>/MWh puede ser empleado para:

1. Proyectos y mediciones específicas de emisiones de GEI
2. Estimación de GEI por consumo de energía eléctrica
3. Inventarios de emisiones de GEI y
4. Cálculo de la huella de carbono empresarial o corporativa (mediante la cual se cuantifican las emisiones de GEI de una organización y se identifican las acciones específicas con el fin de mejorar la gestión de los GEI).

### D. Adjunto archivo hoja de cálculo.



FE del SIN, MDL  
2014.xlsx