



FACTORES DE EMISION DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL COLOMBIA-SIN

Octubre de 2017



Marcela Bonilla Madriñan
Héctor Hernando Herrera Flórez
Jonathan David Sánchez

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	1
ÍNDICE DE TABLAS	2
1. FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL SIN	3
1.1 PARA PROYECTOS DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL).....	3
1.2 PARA INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI), HUELLA DE CARBONO O FACTOR DE EMISIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA (FEG).....	3
2. CALCULO DEL FE PARA PROYECTOS DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)	5
• INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE	5
• DEFINICIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE PROYECTOS MDL	6
• MÉTODOS Y OPCIONES DE CÁLCULO	7
PASO 1. IDENTIFICAR EL SISTEMA ELÉCTRICO RELEVANTE	7
PASO 2: SELECCIONAR UN MÉTODO PARA DETERMINAR EL FACTOR DE EMISIÓN DEL MO	9
<i>Paso 3. Cálculo del factor de emisión del margen de operación de acuerdo con el método seleccionado.</i>	<i>13</i>
<i>Paso 4: Identifique el grupo de plantas de energía a ser incluido en el margen de construcción (MCo).</i>	<i>15</i>
PASO 5. CALCULAR EL FACTOR DE EMISIÓN DEL MCO	23
PASO 6. CALCULAR EL MARGEN COMBINADO	23
3. PARA INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO-GEI HUELLA DE CARBONO O FACTOR DE EMISIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA-FEG	25
4. RESUMEN RESULTADOS	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fuente de datos	5
Tabla 2 Participación Plantas low-cost/must-run últimos cinco años.....	14
Tabla 3 Margen de Operación Simple Ajustado	14
Tabla 4 Datos cálculo MCO 2017	16
Tabla 5 Cinco Plantas de generación 2017- Grupo -5-unidades	16
Tabla 6 Conjunto de las adiciones de capacidad en el sistema eléctrico AEGset>=20%	17
Tabla 7 Margen de Construcción año 2017	23
Tabla 8 Parámetros para cálculo del margen combinado.....	23
Tabla 9 Cálculo del Margen Combinado FE del SIN 2017 Simple Ajustado	24
Tabla 10 Factor de Emisión para Huella de carbono.....	25

1. FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL SIN

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

1.1 PARA PROYECTOS DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)

Para este tipo de proyectos, el cálculo del FE está basado en el “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*”, herramienta establecida por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC¹) y cuya finalidad es determinar el factor de emisión de CO₂ a emplear para proyectos que:

- 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)
- 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).

1.2 PARA INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI), HUELLA DE CARBONO O FACTOR DE EMISIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA (FEG)

Tal como su nombre lo indica, el Factor de Emisión del Sistema Interconectado Nacional SIN puede ser empleado 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). Todo esto en concordancia con lo establecido en la norma ISO 14067, el Protocolo GHG y la cuantificación de emisiones GEI por unidad generada promedio.

¹Dicha herramienta puede ser consultada en adelante en el siguiente link:

<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-07-v4.0.pdf>;

Al profundizar respecto al Factor de Emisión de la Generación Eléctrica, en adelante FEG, se puede establecer que, éste presenta ventajas significativas en comparación con otros métodos, dado que, por una parte opera un lenguaje de cálculo sencillo y se emplea usualmente para calcular la intensidad de emisiones y por otra parte está ampliamente disponible en fuentes públicas nacionales e internacionales. En cuanto al cálculo aritmético del FEG se refiere, éste es determinado a partir de la relación de las emisiones de CO_2 provenientes del consumo de combustible y la cantidad de electricidad generada²:

$$FEG = \frac{\text{Emisiones Totales de } CO_2 \text{ de la Generación}}{\text{Electricidad Generada}}$$

² http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/calculadora.html

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

- 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 Tabla 1

Tabla 1 Fuente de datos

TIPO	IDENTIFICACIÓN	ORIGEN
Información	- Factores de emisión de combustibles	Unidad de Planeación Minero Energética-UPME Factores de Emisión de Combustibles Colombianos –FECOC UPME http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/calculadora.html
	Listado de plantas del SIN 1999–2017 Capacidad efectiva por tipo de generación	http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad
	- Generación Mensual Plantas Menores 2017	XM S.A E.S.P
	- Generación real horaria, diaria y mensual SIN 2017	
	- Consumo combustibles anual por central y tipo de combustible, 2017.	
	Noticias entrada de plantas	PARATEC
Heat Rate Reportado	http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad	
Documento	- Methodological tool Tool to calculate the emission factor for an electricity system	Secretaría de la CMNUCC https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v7.0.pdf

- **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 validar la información para sus cálculos 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 la UPME 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 éste sea más transparente y conservador en datos y supuestos.
- Mitiga el riesgo por el uso inapropiado de la información durante el cálculo del factor de emisión.

El empleo de estos Factores 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 actualizadas consideradas para tal fin.

- **MÉTODOS Y OPCIONES DE CÁLCULO**

El valor calculado determina el factor de emisión de CO₂ 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 de proyecto MDL. Este parámetro representa los cambios sobre la energía generada por el sistema eléctrico por:

- La generación de energía por la actividad de 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 del 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 sistemas 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

Avenida Calle 26 No 69 D – 91 Torre 1, Oficina
901.PBX (57) 1 222 06 01 FAX: 221 95 37 Línea
Gratuita Nacional 01800 911 729

www.upme.gov.co



MinMinas
Ministerio de Minas y Energía



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.

Figura 1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN NACIONAL Y SISTEMAS DE TRANSMISIÓN REGIONALES ACTUAL 2017



Fuente: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2017/Plan_GT_2017_2031.pdf

La descripción del sistema eléctrico colombiano se encuentra disponible al público en el Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2017-2031, en la fuente citada.

Avenida Calle 26 No 69 D – 91 Torre 1, Oficina
 901.PBX (57) 1 222 06 01 FAX: 221 95 37 Línea
 Gratuita Nacional 01800 911 729

www.upme.gov.co



MinMinas
 Ministerio de Minas y Energía



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 CO₂ por unidad de generación de electricidad (tCO₂/MWh) de todas las plantas de generación eléctrica conectadas al SIN, sin incluir las plantas *low-cost/must-run*³. 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:

³ 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.

$EF_{Red_OM_simple,y}$	Factor de emisión margen de operación simple 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 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 CO₂ 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 CO₂ de la unidad de energía m en el año y (t CO₂e/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).

- $EFCO2,i,y$ = Factor de emisión del CO2 del combustible fósil i en el año y (t CO2/GJ)
- EGm,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.

$$EF_{EL,m,y} = \frac{EFCO2m,i,y \cdot 3,6}{\eta_{m,y}}$$

Ecuación (3).

Donde:

FEL,my = Factor de emisión de CO2 de la unidad m en el año y (t CO2/MWh)

$EFCO2m,i,y$ = Factor de emisión de CO2 promedio del combustible fósil tipo i utilizado en la unidad m en el año y (t CO2/GJ)

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 λ , 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 CO₂/MWh)

λ_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 CO₂/MWh)

$EF_{EL,k,y}$ Factor de emisión de la unidades de generación k en el año y (t CO₂/MWh)

m Todas la unidades de generación conectadas a la red a excepción de las unidades *low-cost/must-run*

k Todas las unidades de generación conectadas a la red consideradas como unidades *low-cost/must-run*

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 anuales de los datos necesarios para hacer el cálculo. Este método implica obtener un factor de emisión de CO₂

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 2017, 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 de datos referenciada, 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.”⁴

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

⁴ Methodological tool Tool to calculate the emission factor for an electricity system Version 07.0 disponible en <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v7.0.pdf>

cinco años.

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

Año	Generación Total SIN MWh/año	MWh/año low- cost/must-run	Participación low-cost/must- run
2013	62 196 587	45 558 393	73%
2014	64 327 855	45 497 205	71%
2015	66 548 474	45 750 015	69%
2016	65 935 243	48 139 248	73%
2017	66,666,925	57,982,733	87%

Al decidir por esta interpretación de las unidades *low-cost/must-run*, no es factible aplicar el método simple para calcular el MO del SIN en 2017.

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 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 aportan más del 50% de la generación eléctrica y de acuerdo con la ecuación (4), el cálculo del Factor de Emisión del Margen de Operación por el Método Simple Ajustado se tiene en la Tabla 3 la información del margen de operación para opción Simple Ajustado.

Tabla 3 Margen de Operación Simple Ajustado

Margen de Operación 2017		
Generación Neta de Energía Total	66,666,925	MWh
Generación Neta de Energía Low-Cost/Must-Run (MWh)	57,982,733	MWh
Generación Neta de Energía No Low-Cost/Must-Run (MWh)	8,684,192	MWh

<i>Lambda</i>	0.1647	
$\sum EG_{m,y} * EF_{EL,m,y}$	6,474,718	tCO ₂
$\sum EG_{k,y} * EF_{EL,k,y}$	600,181	tCO ₂
Margen de Operación	0.623	tCO ₂ /MWh

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 2017 sería necesario reportar 8.760 Factores de Emisión. Por lo cual se establece que este método no se debe utilizar para el cálculo del Factor de Emisión promedio para el MO 2017.

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 sea 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: Identifique 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:

- El conjunto de cinco plantas de generación que han sido construidas recientemente, SET 5-unidades.
- 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 (MCo), se debe escoger la opción que más energía reporte. Para 2017, se parte de la información consignada en la Tabla 4.

Tabla 4 Datos cálculo MCo 2017

CALCULO DEL MARGEN DE CONSTRUCCIÓN AÑO 2017			
Total energía Generada 2017 (sin plantas MDL)	EG total	62,439,548	MWh
20 % del total energía Generada en 2017 (Sin Plantas MDL)	20% de EG Total	12,487,910	MWh
Generación del grupo de plantas incorporadas más recientemente (Últimas 5 plantas - sin plantas MDL)	EG Grupo -5-unidades	105,122	MWh
Grupo de plantas que comprenden el 20% de la EG total (sin Plantas MDL)	EG grupo \geq 20%	27,271,177	MWh
Grupo de plantas que comprenden la mayor generación anual de electricidad (Menos Plantas MDL)	EG Grupo Muestra	27,271,177	MWh
Grupo de plantas que comprenden la mayor generación anual de electricidad (Incluyendo Plantas MDL)	EG Muestra - MDL->10 años	31,620,774	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 0.17% de la energía suministrada Tabla 5.

Tabla 5 Cinco Plantas de generación 2017- Grupo -5-unidades

Dato de Entrada	Compañía/Planta	Tipo	Generación 2017		Emisiones
Año			MWh Anual	MWh Acumulado	$EG_m \times EF_{EL,m}$
16-Dec-17	TERMOMECHERO 5	GAS	7,415	7,414.72	3,017
10-Oct-17	PROENCA II	CARBON	868	8,282.38	982
29-Sep-17	AUTOG ARGOS EL CAIRO	AGUA	14,165	22,447.25	1,498
30-Aug-17	LAS PALMAS	AGUA	2,833	25,279.81	-
10-Jul-17	LUZMA I	AGUA	37,653	62,933.10	0
10-Jul-17	LUZMA II	AGUA	26,007	88,939.62	0
20-May-17	CANTAYUS	AGUA	16,183	105,122.29	0

- 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 2017		Emisiones
Año			MWh Anual	MWh Acumulado	$EG_m \times EF_{EL,m}$
16-Dec-17	TERMOMECHERO 5	GAS	7,415	7,414.72	3,017.35
10-Oct-17	PROENCA II	CARBON	868	8,282.38	982.22
29-Sep-17	AUTOG ARGOS EL CAIRO	AGUA	14,165	22,447.25	1,497.96
30-Aug-17	LAS PALMAS	AGUA	2,833	25,279.81	-
10-Jul-17	LUZMA I	AGUA	37,653	62,933.10	-
10-Jul-17	LUZMA II	AGUA	26,007	88,939.62	-

Avenida Calle 26 No 69 D – 91 Torre 1, Oficina
 901.PBX (57) 1 222 06 01 FAX: 221 95 37 Línea
 Gratuita Nacional 01800 911 729

www.upme.gov.co



MinMinas
 Ministerio de Minas y Energía



Dato de Entrada	Compañía/Planta	Tipo	Generación 2017		Emisiones
			MWh Anual	MWh Acumulado	$EG_m \times EF_{EL,m}$
20-May-17	CANTAYUS	AGUA	16,183	105,122.29	-
25-Apr-17	SAN MATIAS	AGUA	57,163	162,284.91	-
22-Apr-17	BIOENERGY	BAGAZO	45,906	208,191.14	-
19-Apr-17	EL MOLINO	AGUA	91,646	299,836.97	-
9-Mar-17	CELSIA SOLAR YUMBO	RAD SOLAR	5,388	305,224.57	-
3-Feb-17	ALEJANDRÍA	AGUA	69,375	374,599.60	-
3-Feb-17	EL EDÉN	AGUA	66,797	441,396.51	-
22-Dec-16	MAGALLO	AGUA	26,208	467,604.73	-
12-Oct-16	COELLO	AGUA	6,485	474,089.57	-
9-Oct-16	MORRO AZUL	AGUA	109,991	584,080.30	-
30-Jun-16	TUNJITA	AGUA	15,099	599,178.91	-
25-Jun-16	TEQUENDAMA BIOGAS	BIOGAS	2,075	601,254.16	-
20-May-16	EL COCUYO	AGUA	2,202	603,456.51	-
29-Apr-16	LA FRISOLERA	AGUA	424	603,880.24	-
29-Apr-16	DOÑA JUANA	BIOGAS	3,993	607,873.64	-
27-Apr-16	GUAVIO MENOR	AGUA	42,276	650,150.02	-
26-Apr-16	AUTOG REFICAR	GAS	61,711	711,861.46	25,112.89
25-Apr-16	PORCE III MENOR	AGUA	12,652	724,513.02	-
3-Apr-16	TERMOBOLIVAR 1	GAS	3,036	727,548.90	1,235.42
22-Mar-16	AUTOG YAGUARITO	BAGAZO	1,609	729,157.82	-
20-Mar-16	AUTOG ARGOS YUMBO	CARBON	2,265	731,422.47	0.09
20-Mar-16	AUTOG UNIBOL	GAS	6,004	737,426.48	-
17-Mar-16	INGENIO MANUELITA	BAGAZO	2,405	739,831.01	-
15-Mar-16	AUTOG ARGOS CARTAGENA	GAS	15,175	755,005.56	-
23-Dec-15	SAN MIGUEL	AGUA	349,181	1,104,186.97	-
30-Nov-15	TASAJERO 2	CARBON	327,181	1,431,367.89	-
22-Nov-15	CARLOS LLERAS	AGUA	457,703	1,889,070.97	-

Avenida Calle 26 No 69 D – 91 Torre 1, Oficina 901.PBX (57) 1 222 06 01 FAX: 221 95 37 Línea Gratuita Nacional 01800 911 729

www.upme.gov.co



MinMinas
 Ministerio de Minas y Energía



Dato de Entrada	Compañía/Planta	Tipo	Generación 2017		Emisiones
			MWh Anual	MWh Acumulado	$EG_m \times EF_{EL,m}$
16-Nov-15	EL QUIMBO	AGUA	2,190,095	4,079,165.99	-
30-Sep-15	PROVIDENCIA	AGUA	35,266	4,114,432.19	-
17-Sep-15	GECELCA 3	CARBON	1,450	4,115,882.21	-
29-Jul-15	CUCUANA	AGUA	265,693	4,381,575.20	-
30-Jan-15	BAJO TULUA	AGUA	106,341	4,487,916.43	-
20-Dec-14	SOGAMOSO	AGUA	5,438,534	9,926,450.68	-
17-Dec-14	LAGUNETA	AGUA	127,110	10,053,560.33	-
27-Nov-14	LA NAVETA	AGUA	21,557	10,075,117.68	-
24-Jul-14	LA REBUSCA	AGUA	5,135	10,080,252.22	-
25-Jun-14	SALTO II	AGUA	213,909	10,294,161.04	-
31-Mar-14	EL POPAL	AGUA	157,784	10,451,945.38	-
19-Dec-13	COGENERADOR COLTEJER 1	CARBON	6,522	10,458,466.92	-
11-Jan-93	DARIO VALENCIA SAMPER	AGUA	871,854	11,330,320.45	-
24-May-13	AMOYA LA ESPERANZA	AGUA	458,816	11,789,136.28	-
15-Apr-13	SUBA	AGUA	12,266	11,801,402.53	-
15-Apr-13	USAQUEN	AGUA	8,443	11,809,845.30	-
15-Dec-12	SAN FRANCISCO (PUTUMAYO)	AGUA	2,552	11,812,397.80	-
30-Nov-12	BARROSO	AGUA	157,402	11,969,800.03	-
14-Jun-12	HIDROMONTAÑITAS	AGUA	141,309	12,111,108.61	-
28-May-12	ALTO TULUA	AGUA	94,917	12,206,025.67	-
17-Dec-11	TERMOVALLE 1	GAS	26,359	12,232,384.66	12,039.71
8-Dec-11	FLORES 4B	GAS	508,139	12,740,523.69	-
8-Nov-97	PORCE III	AGUA	3,674,922	16,415,446.11	-
1-Aug-11	SANTIAGO	AGUA	12,605	16,428,051.06	-
1-Jun-11	AMAIME	AGUA	73,117	16,501,168.03	-

Dato de Entrada	Compañía/Planta	Tipo	Generación 2017		Emisiones
			MWh Anual	MWh Acumulado	$EG_m \times EF_{EL,m}$
18-Aug-10	CURRUCUCUES	AGUA	3,975	16,505,142.65	-
17-Aug-10	MAYAGUEZ 1	BAGAZO	103,968	16,609,111.14	0.75
30-Jun-10	FLORIDA	AGUA	103,805	16,712,916.19	-
30-Jun-10	GUANAQUITAS	AGUA	57,289	16,770,205.33	-
28-Jan-10	CARUQUIA	AGUA	43,054	16,813,259.33	-
26-Jan-10	INGENIO PICHICHI 1	BAGAZO	1,317	16,814,576.10	0.75
11-Nov-09	INGENIO LA CARMELITA	BAGAZO	1	16,814,576.90	-
18-May-09	INGENIO PROVIDENCIA 2	BAGAZO	117,973	16,932,549.65	0.75
2-May-09	PAPELES NACIONALES	GAS	2,105	16,934,655.14	0.52
2-May-09	INZA	AGUA	903	16,935,558.16	-
4-Oct-08	AGUA FRESCA	AGUA	60,805	16,996,362.79	-
19-Sep-07	REMEDIOS	AGUA	1,051	16,997,413.74	-
17-Sep-07	LA CASCADA (ABEJORRAL)	AGUA	2,543	16,999,956.27	-
8-Sep-07	EL MORRO 2	GAS	158,678	17,158,634.29	-
18-Aug-07	CIMARRON	GAS	135,451	17,294,085.03	-
30-Jul-07	URRAO	AGUA	6,732	17,300,816.99	-
17-Jul-07	LA CASCADA (ANTIOQUIA)	AGUA	16,696	17,317,512.58	-
23-May-07	EL MORRO 1	GAS	169,408	17,486,920.59	-
25-Mar-07	CENTRAL TUMACO 1	BAGAZO	1	17,486,921.75	0.75
12-Jan-07	RIO GRANDE	AGUA	3,374	17,490,296.16	-
30-Jun-06	CALDERAS	AGUA	95,136	17,585,432.64	-
3-Nov-05	TERMOYOPAL 1	GAS	163,942	17,749,374.81	0.52
6-Sep-05	SANTA ANA	AGUA	30,566	17,779,940.97	-
22-Nov-04	LA VUELTA	AGUA	72,641	17,852,582.11	-
15-Aug-04	CENTRAL CASTILLA 1	BAGAZO	10,469	17,863,051.33	0.75
29-Jul-04	TERMOYOPAL 2	GAS	184,046	18,047,097.45	-

Dato de Entrada	Compañía/Planta	Tipo	Generación 2017		Emisiones
			MWh Anual	MWh Acumulado	$EG_m \times EF_{EL,m}$
27-Apr-04	JEPIRACHI 1 - 15	VIENTO	3,071	18,050,168.87	-
11-Mar-04	MIROLINDO	AGUA	21,988	18,072,156.50	-
9-Mar-04	LA HERRADURA	AGUA	129,442	18,201,598.55	-
18-Feb-04	PASTALES	AGUA	4,607	18,206,205.84	-
9-Jan-04	CEMENTOS DEL NARE	AGUA	56,447	18,262,652.75	-
16-Nov-03	SAN JOSE	AGUA	2,399	18,265,052.01	-
22-Aug-03	CHARQUITO	AGUA	102,934	18,367,986.38	-
15-Aug-03	INGENIO RISARALDA 1	BAGAZO	118,288	18,486,274.25	0.75
12-Jun-03	EL LIMONAR	AGUA	128,225	18,614,499.00	-
24-May-02	SUEVA 2	AGUA	9,108	18,623,607.20	-
1-Jan-97	MIEL I	AGUA	1,749,452	20,373,058.73	-
6-Jan-02	SONSON	AGUA	96,290	20,469,349.12	-
29/09/2017	PORCE II	AGUA	1,730,996	22,200,344.97	-
23-Jul-01	INGENIO SAN CARLOS 1	BAGAZO	6,674	22,207,019.25	0.75
9-Jan-01	PUENTE GUILLERMO	AGUA	9,225	22,216,244.20	-
15-Dec-00	ALBAN	AGUA	1,519,007	23,735,251.37	-
30-Nov-00	TERMOCENTRO CC	GAS	87,474	23,822,725.68	-
27-Sep-00	COCONUCO	AGUA	21,558	23,844,283.72	-
13-Jul-00	TERMOCANDELARIA 2	GAS	10,209	23,854,492.99	-
18-May-00	TERMOCANDELARIA 1	ACPM	2,327	23,856,820.39	-
31-Mar-00	RIO PIEDRAS	AGUA	141,179	23,997,999.38	-
14-Feb-00	URRA	AGUA	1,627,157	25,625,156.68	-
30-Dec-99	TERMOPIEDRAS	GAS	283	25,625,439.83	0.52
25-Nov-99	PAJARITO	AGUA	25,023	25,650,462.34	-
1-Aug-99	PAIPA 4	CARBON	562,446	26,212,907.85	-
16-Jul-99	TERMOEMCALI 1	ACPM	2,980	26,215,887.45	-
1-Jan-99	RUMOR	AGUA	16,359	26,232,246.78	-

Dato de Entrada	Compañía/Planta	Tipo	Generación 2017		Emisiones
			MWh Anual	MWh Acumulado	$EG_m \times EF_{EL,m}$
21-Oct-98	TEBSAB	GAS	3,664,359	29,896,605.69	-
21-Oct-98	INCAUCA 1	BAGAZO	56,698	29,953,303.35	-
2-Jul-98	TERMO SIERRAB	ACPM	4,611	29,957,913.99	-
2-May-98	MERILECTRICA 1	GAS	4,012	29,961,926.15	-
8-Nov-97	TERMODORADA 1	ACPM	672	29,962,598.64	-
1-Jan-97	AMERICA	AGUA	191	29,962,789.60	-
1-Jan-97	BELLO	AGUA	1,982	29,964,771.93	-
1-Jan-97	CAMPESTRE (EPM)	AGUA	923	29,965,695.08	-
1-Jan-97	NUTIBARA	AGUA	1,129	29,966,823.92	-
1-Jan-96	RIO FRIO II	AGUA	55,501	30,022,324.54	-
20-Jul-95	SALVAJINA	AGUA	1,333,188	31,355,512.53	-
20-Jul-95	CARTAGENA 1	COMBUSTOLE O	8,327	31,363,839.08	-
20-Jul-95	INSULA	AGUA	121,646	31,485,485.35	-
20-Jul-95	RIO MAYO	AGUA	135,289	31,620,774.35	-
		Total	29,896,606	TOTAL EMISIONES	4,087,512.01

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:

Avenida Calle 26 No 69 D – 91 Torre 1, Oficina
 901.PBX (57) 1 222 06 01 FAX: 221 95 37 Línea
 Gratuita Nacional 01800 911 729

www.upme.gov.co



MinMinas
 Ministerio de Minas y Energía



- $EF_{Red\ MC\ y}$ Factor de emisión margen de Construcción para el año y (t CO₂/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 las unidades de generación m en el año y (t CO₂/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 2017 de operación del SIN
Tabla 7:

Tabla 7 Margen de Construcción año 2017

Cálculo del margen de Construcción año 2017		
$EG\ total$	66,666,925	MWh
Grupo de plantas que comprende la Mayor generación anual de electricidad (Incluyendo Plantas MDL)	57,982,733	MWh
$EG_m \times EF_{EL\ m}$	7,074,898	t CO ₂
$EF_{grid\ MCo\ 2017}$	0.11	t CO ₂ /MWh

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.

Tabla 8 Parámetros para cálculo del margen combinado

Hidroeléctrica	Termoeléctrica
WOM	0.5
WBM	0.5

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:

Tabla 9 Cálculo del Margen Combinado FE del SIN 2017 Simple Ajustado

CALCULO DEL MARGEN COMBINADO FE DEL SIN 2017 SIMPLE AJUSTADO		
$EF_{grid\ MO\ y}$	0.623	t CO ₂ /MWh
Total generación	66,666,925	MWh
$EF_{grid\ MC\ 2017}$	0.1367	tCO ₂ /MWh
W_{OM}	0.5	-
W_{BM}	0.5	-
$EF_{grid\ MC\ 2017}$	0.380	tCO ₂ /MWh

De acuerdo a las consideraciones establecidas el Factor de Emisión del SIN para proyectos MDL es de **FE = 0.380 tCO₂/MWh.**

3. 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 CO₂ 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 CO₂ 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 Tabla 10:

Tabla 10 Factor de Emisión para Huella de carbono

FE para Huella de carbono e Inventarios.		
Generación Neta de Energía Total	66,666,925.47	MWh
$\sum EG_m$ y *EFEL m y	7,074,898.14	tCO ₂
FE Inventarios	0.11	tCO ₂ /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 para cada caso.

4. RESUMEN RESULTADOS

En resumen, se debe resaltar que para proyectos MDL, el Factor de emisión resultante es de **0.380 tCO₂/MWh** y puede ser usado para estimar emisiones reducidas en proyectos que:

- 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
- 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 uso eficiente de energía).

El Factor de Emisión para Huella de Carbono es de **0.11 tCO₂/MWh** puede ser empleado para:

- Proyectos y mediciones específicas de emisiones de GEI
- Estimación de GEI por consumo de energía eléctrica
- Inventarios de emisiones de GEI y
- 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)

CALCULO DEL MARGEN COMBINADO FE DEL 2017 SIMPLE AJUSTADO		
Año	2017	
$EF_{grid,OM,y}$	0,623	t CO2/MWh
Total generation	66.666.925	MWh
$EF_{grid,BM,2015}$	0,1367	tCO2/MWh
W_{OM}	0,5	-
W_{BM}	0,5	-
$EF_{grid,CM,2015}$	0,380	tCO2/MWh

CALCULO DEL FACTOR DE EMISION PARA HUELLA DE CARBONO		
Año	2017	
Generacion Total	66.666.925,47	MWh
$EF_{grid,OM,2015}$	7.074.898,14	tCO2
$EF_{gridmIX2015}$	0,11	t CO2/MWh