

FACTORES DE EMISION DEL S.I.N. SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL COLOMBIA 2013

Elaboró: Héctor Hernando Herrera Flórez (UPME)

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



INTRODUCCIÓN 4

A. CALCULO DEL FE PARA PROYECTOS DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL) 6

1.1. *INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE 6*

1.2. *DEFINICIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE PROYECTOS MDL 6*

1.3. *MÉTODOS Y OPCIONES DE CÁLCULO..... 7*

Paso 1. Identificar el sistema eléctrico relevante 8

Paso 2: Seleccionar un método para determinar el factor de emisión del MO; 10

*Paso 3. Cálculo del factor de emisión del margen de operación de acuerdo con el método
seleccionado. 14*

Paso 4: Identifique el grupo de plantas a ser incluido en el margen de construcción (MCo). 16

Paso 5. Calcular el factor de emisión del MCo 20

Paso 6. Calcular el margen combinado 20

**B. PARA INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO-GEI, HUELLA DE
CARBONO O FACTOR DE EMISIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA-FEG 22**

C. NOTA FINAL..... 23

Tabla 1 Fuente de datos..... 6

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



Tabla 2 Participación Plantas low-cost/must-run últimos cinco años.....	14
Tabla 3 Margén de Operación Simple Ajustado.....	15
Tabla 5 Datos cálculo MB 2013.....	16
Tabla 6 Cinco Plantas de generación 2013- Grupo -5-unidades.....	17
Tabla 7 Conjunto de las adiciones de capacidad en el sistema eléctrico AEGset \geq 20%.....	17
Tabla 8 Margén de Construcción año 2013.....	20
Tabla 9 Parámetros para cálculo del margen combinado.....	20
Tabla 10 Cálculo del Margen Combinado FE del SIN 2013 Simple Ajustado.....	21
Tabla 11 Factor de Emisión para Huella de carbono.....	22

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*”, establecida por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) el cual puede ser consultado en el siguiente link: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v4.0.pdf> en adelante; la herramienta está diseñada para tal fin y metodológica determina el factor de emisión de CO₂ 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 por el Ministerio de Minas y Energía mediante resolución.

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 CO₂ 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 producción 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 1999–2013	Unidad de Planeación Minero Energética-UPME
	- Generación Mensual Plantas Menores 2013	XM S.A E.S.P
	- Generación real horaria, diaria y mensual SIN 2013	
	- Consumo combustibles mensuales por central y tipo de combustible, 2013.	
	- 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, económico 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 conservadora 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 consideradas para tal fin.

1.3. 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:

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



- La generación de energía por la actividad de proyecto propuesta
- 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 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: Calcule 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

La descripción del sistema eléctrico colombiano se encuentra disponible al público en el Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2013-2027, 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 CO₂ por unidad de generación de electricidad (TonCO₂/MWh) de todas las plantas de generación eléctrica conectadas al SIN, sin incluir las plantas *low-cost/must-run*¹. 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).

¹ 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.

Donde:

$EF_{Red_OM_simple,y}$	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 CO_2 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_2 de la unidad de energía m en el año y (t CO_2 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_2 del combustible fósil i en el año y (t CO_2 /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)

η_{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 CO_2/MWh)
λy	Factor que expresa el porcentaje de tiempo en que las unidades <i>low-cost/must-run</i> 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 anuales 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 2013, 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.”²

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

Año	Generacion Total SIN MWh/año	MWh/año low-cost/must-run	Participacion low-cost/must-run
2009	51 317 224	38 281 148	75%
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%

² 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>

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 2013.

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:

Tabla 3 Margen de Operación Simple Ajustado

Margen de Operación 2013		
Generacion Neta de Energia Total	62 196 587	MWh
Generacion Neta de Energia Low-Cost/Must-Run (MWh)	45 555 310	MWh
Generacion Neta de Energia No Low-Cost/Must-Run (MWh)	16 641 278	MWh
<i>Lambda</i>	0.1110	
$\sum EG_{m,y} * EFEL_{m,y}$	11 773 126	TonCO2
$\sum EG_{k,y} * EFEL_{k,y}$	617 428	TonCO2
Operating Margin	0.630	TonCO/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 2013 sería necesario reportar 8.760 Factores de Emisión. Por lo cual se establece que este método no se puede utilizar para el cálculo del Factor de Emisión para el MO 2013.

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:

- 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 2013, se parte de la información consignada en la tabla3.

Tabla 4 Datos cálculo MC 2013

Calculo del margen de Construcción año 2013			
Total energía Generada 2013 (sin plantas MDL)	EG total	62 196 587	MWh
20 % del total energía Generada en 2013 (Sin Plantas MDL)	20% de EG Total	12 439 317	MWh
Generacion del grupo de plantas incorporadas más recientemente (Ultimas 5 plantas - sin plantas MDL)	EG Grupo -5-unidades	5 742 857	MWh
Grupo de plantas que comprenden el 20% de la EG total (sin Plantas MDL)	EG grupo \geq 20%	12 291 759	MWh
Grupo de plantas que comprenden la Mayor generación anual de electricidad	Grupo sample	SET \geq 20%	-
Grupo de plantas que comprenden la Mayor generación anual de electricidad (Menos Plantas MDL)	EG Grupo Muestra	12 291 759	MWh
Grupo de plantas que comprenden la Mayor generación anual de electricidad (Incluyendo Plantas MDL)	EG Muestra -MDL->10 años	13 127 396	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 2013- Grupo -5-unidades

Dato de Entrada		Compañía/Planta	Tipo	Generación 2013	
Año	Mes			MWh Anual	Emisiones
2013	Mayo	AMOYA	Hidro	259 669	----
2012	Diciembre	SAN FRANCISCO	Hidro	2 908	----
2011	Julio	INGENIO SAN CARLOS	Cog	3 360	----
2010	Diciembre	PORCE III	Hidro	3 338 455	----
2010	Diciembre	TERMOFLORES 4B	Gas	2 138 416	
TOTAL				5 742 857	

- 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 20,00% 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 2013		Emisiones
Año	Mes			MWh Anual	MWh Accumulado	EG _m x EF _{EL,m}
2013	Mayo	AMOYA	Hidro	259 669	259669	
2013	Abril	SUBA	Hidro	6 545	266214	
2013	Abril	USAQUEN	Hidro	5 282	271495	
2013	Marzo	LA CASCADA (ABEJORRAL)	Hidro	13 432	284927	
2012	Diciembre	SAN FRANCISCO (Putumayo)	Hidro	2 908	287835	
2012	Noviembre	BARROSO 19.9 MW	Hidro	132 712	420548	
2012	Junio	HIDROMONTAÑITAS 19.9 MW	Hidro	157 829	578377	
2012	Mayoo	ALTOTULUA 19.9 MW	Hidro	55 464	633841	
2011	Enero	SANTIAGO	Hidro	9 895	643736	
2011	Julio	INGENIO SAN CARLOS	Cog	3 360	647096	1 942
2010	Diciembre	PORCE III	Hidro	3 338 455	3985551	
2010	Diciembre	TERMOFLORES 4B	Gas	2 138 416	6123968	1 025 658
2010	Agosto	SANTA RITA	Hidro	8 665	6132633	-
2010	Agosto	CURRUCUCUES	Hidro	48	6132681	-
2010	Agosto	AMAIME	Hidro	41 802	6174483	-
2010	Mayo	GUANAQUITAS	Hidro	59 236	6233719	-
2010	Enero	MAYAGUEZ	Cog	145 469	6379188	84 079
2010	Enero	INGENIO PICHICHI	Cog	4 039	6383227	2 335

2009	Diciembre	CARUQUIA	Hidro	52 131	6435358	-
2009	Noviembre	INGENIO LA CARMELITA	Cog	33	6435391	19
2009	Febrero	PAPELES NACIONALES	Cog	1 842	6437233	1 218
2009	Febrero	INZA	Hidro	4 058	6441292	-
2008	Abril	AGUA FRESCA	Hidro	57 220	6498512	-
2007	Octubre	REMEDIOS	Hidro	2 189	6500701	-
2007	Septiembre	LA CASCADA-ABEJORRAL	Hidro	13 432	6514133	-
2007	Agosto	CIMARRON	Gas	150 162	6664295	79 431
2007	Agosto	EL MORRO 2	Gas	139 241	6803536	73 654
2007	Agosto	AMALFI	Hidro	3 319	6806855	-
2007	Julio	URRAO	Hidro	2 596	6809451	-
2007	Julio	LA CASCADA	Hidro	13 808	6823259	-
2007	Julio	SAN JOSE DE LA MONTAÑA	Hidro	2 556	6825815	-
2007	Mayo	EL MORRO 1	GAS	132 747	6958562	70 218
2007	Marzo	INGENIO TUMACO	Cog	374	6958936	216
2006	Septiembre	COGENERACION COLTEJER	Cog	1 154	6960090	2 020
2006	Julio	CALDERAS	Hidro	76 900	7036990	-
2006	Marzo	DOLORES	Hidro	0	7036990	-
2005	Noviembre	PTAR	Hidro	0	7036990	-
2005	Junio	SANTA ANA	Hidro	35 318	7072308	-
2005	Enero	LA JUNCA	Hidro	5 515	7077823	-
2004	Noviembre	LA VUELTA	Hidro	65 070	7142893	-
2004	Noviembre	MIROLINDO	Hidro	17 703	7160596	-
2004	Septiembre	LA HERRADURA	Hidro	121 890	7282486	-
2004	Septiembre	CEMENTOS DEL NARE	Hidro	35 214	7317700	-
2004	Agosto	INGENIO CENTRAL CASTILLA	Cog	5 206	7322906	3 009
2004	Agosto	INGENIO RIOPAILA	Cog	3 616	7326522	2 090
2004	Agosto	TERMOYOPAL 1	Gas	159 687	7486208	84 469
2004	Julio	TERMOYOPAL 2	Gas	200 351	7686560	105 979
2004	Junio	OVEJAS	Hidro	6 899	7693459	-
2004	Abril	TEQUENDAMA	Hidro	56 979	7750438	-
2004	Febrero	RIO RECIO	Hidro	2 193	7752631	-
2004	Febrero	PASTALES 1	Hidro	4 739	7757370	-
2004	Febrero	VENTANA B	Hidro	9 259	7766629	-
2004	Enero	JEPIRACHI	Viento	57 625	7824254	-
2003	Diciembre	EL LIMONAR	Hidro	43 632	7867886	-
2003	Diciembre	LA TINTA	Hidro	0	7867886	-
2003	Diciembre	SAN JOSÉ	Hidro	2 524	7870409	-
2003	Septiembre	SAN ANTONIO	Hidro	55 577	7925987	-

2003	Septiembre	CHARQUITO	Hidro	17 438	7943424	-
2003	Agosto	INGENIO RISARALDA	Cog	7 104	7950528	4 106
2003	Abril	PROVIDENCIA	Hidro	105 433	8055961	-
2003	Enero	IQUIRA 2	Hidro	4 465	8060426	-
2003	Enero	SONSON	Hidro	80 903	8141329	-
2002	Diciembre	LA PITA	Hidro	3 235	8144564	-
2002	Diciembre	IQUIRA 1	Hidro	14 524	8159088	-
2002	Octubre	MIEL I	Hidro	1 506 879	9665967	-
2002	Junio	SERVITA	Hidro	0	9665967	
2002	Mayo	CALICHAL	Hidro	0	9665967	
2002	Mayo	SUEVA 2	Hidro	13 529	9679496	
2002	Marzo	JULIO BRAVO	Hidro	6 973	9686469	
2002	Marzo	RIO BOBO	Hidro	23 671	9710139	
2002	Marzo	RIO INGENIO	Hidro	0	9710139	
2002	Marzo	RIO SAPUYES	Hidro	11 089	9721228	
2002	Marzo	EL BOSQUE	Hidro	15 549	9736777	
2002	Enero	PATICO - LA CABRERA	Hidro	6 557	9743334	
2001	Septiembre	PUENTE GUILLERMO	Hidro	7 159	9750493	
2001	Abril	PORCE II	Hidro	1 564 733	11315226	
2001	Marzo	VENTANA A	Hidro	15 324	11330550	
2000	Diciembre	ALBAN	Hidro	1 796 847	13127396	
			Total	13 127 396	TOTAL EMISSIONS	1 538 500

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 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 la 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

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



Paso 5. Calcular el factor de emisión del MCo

Con estas consideraciones se obtiene el siguiente resultado considerando el año 2013 de operación del SIN:

Tabla 7 Margen de Construcción año 2013

Cálculo del margen de Construcción año 2013		
EG total	62 196 587	MWh
Grupo de plantas que comprenden la Mayor generación anual de electricidad (Incluyendo Plantas MDL)	13 127 396	MWh
EG_m x EF_{EL,m}	1 538 500	Ton CO2
EF_{grid,MC,2011}	0.11720	Ton CO2/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 (*MC*) multiplicado por el ponderador del factor de emisión del margen de construcción (*WBM*).

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 Cálculo del Margen Combinado FE del SIN 2013 Simple Ajustado

CALCULO DEL MARGEN COMBINADO FE DEL SIN 2013 SIMPLE AJUSTADO		
$EF_{grid,MO,y}$	0.630	Ton CO ₂ /MWh
Total generación	62 196 587	MWh
$EF_{grid,MC,2013}$	0.11720	TonCO ₂ /MWh
W_{OM}	0.5	-
W_{BM}	0.5	-
$EF_{grid,MC,2013}$	0.374	TonCO ₂ /MWh

De acuerdo a las consideraciones establecidas el Factor de Emisión del SIN para proyectos MDL es de **FE = 0,374 TonCO₂/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 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. Por lo cual 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 Factor de Emisión para Huella de carbono

FE para Huella de carbono e Inventarios.		
<i>Generación Neta de Energía Total</i>	62 196 587	MWh
$\sum EG_{m,y} * EF_{EL,m,y}$	12 390 553	TonCO₂
FE Inventarios	0.20	TonCO₂/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.

Resumiendo, se debe resaltar que para proyectos MDL, el Factor de emisión resultante de 0.374 TonCO₂/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, uso eficiente de energía).

El Factor de Emisión para Huella de Carbono puede ser empleado para:

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



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

C. Nota final

El cálculo del factor de emisión y las herramientas para el mismo están ampliamente documentadas en el sitio de la CMNUCC y pueden consultadas en http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-07-v2.pdf/history_view

En este sitio se encuentran las herramientas metodológicas, además de un aplicativo en formato xls, el cual contiene la formulación necesaria para el cálculo.

Países como Brasil documentan el Factor de Emisión, tanto para proyectos MDL como para Inventarios haciendo énfasis en la diferencia de estas dos aproximaciones y la diferente aplicación (<http://mct.gov.br/index.php/content/view/72764.html>)

Los factores de Emisión de CO₂ por la generación de energía eléctrica en el Sistema Interconectado de Brasil: El Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil MCT publica los dos tipos de factores de emisión de CO₂ para energía eléctrica: uno para ser usado en proyectos de MDL y otro para ser usado en INVENTARIOS.

Para MDL

El Factor de Emisión de CO₂ de acuerdo con la herramienta metodológica : "Tool to calculate the emission factor for an electricity system, versión 1, 1.1, 2, 2.1.0 and 2.2.0" aprobada por la Junta Ejecutiva del MDL

Ver <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74689.html>

Los factores de emisión de CO₂ calculado según la "Herramienta para calcular el factor de emisión para un sistema eléctrico, las versiones 1, 1.1, 2, 2.1.0, 2.2.0 y 2.2.1" herramienta metodológica aprobada por la Junta Ejecutiva del MDL trata de estimar la contribución en términos de reducción de emisiones de CO₂ de un proyecto MDL para generar electricidad a la red. En pocas palabras, el factor de emisión del sistema interconectado con el propósito de MDL es una combinación del factor de emisión del margen de operación, que refleja la intensidad de las emisiones de CO₂ de la energía despachada en el margen, con el factor de emisión del margen de construcción, que refleja la intensidad de las emisiones de CO₂ de las últimas plantas construidas. Es un

algoritmo ampliamente utilizado para cuantificar la contribución futura de una planta que generará electricidad para la red en términos de reducción de las emisiones de CO2 en comparación con un escenario de referencia. Este factor sirve para cuantificar las emisiones siendo desplazados en el margen. Su uso está asociado con los proyectos del MDL y es exclusivamente aplicable para estimar las reducciones certificadas de emisiones (CRE) de proyectos del MDL.

Para INVENTÁRIOS

El Factor de emisión de CO2 para aplicaciones que requieren el factor de emisión promedio del Sistema Interconectado Nacional de Brasil, por ejemplo, los inventarios empresariales

Ver en: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74694.html>

El Factor de emisiones medias de CO2 de la electricidad que se utilizarán en los inventarios tiene como objetivo estimar la cantidad de CO2 asociada a una determinada generación de electricidad. Calcula las emisiones medias de generación, teniendo en cuenta todas las plantas que generan energía y no sólo a aquellos que están trabajando en el margen. Si todos los consumidores de electricidad del SIN calculan sus emisiones producto de multiplicar la energía consumida por este factor de emisión, la suma corresponde a las emisiones de SIN. En este sentido, se debe utilizar cuando el objetivo es cuantificar las emisiones de energía eléctrica que se generan en cualquier momento. Por lo tanto, sirve a los inventarios en general, corporativos o de otro tipo.