

**Diciembre de 2019**



Marcela Bonilla Madriñan

Héctor Hernando Herrera Flórez

# TABLA DE CONTENIDO

Contenido

[TABLA DE CONTENIDO 2](#_Toc28252092)

[ÍNDICE DE TABLAS 3](#_Toc28252093)

[1. FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL SIN 4](#_Toc28252094)

[1.1 PARA PROYECTOS DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL) 4](#_Toc28252095)

[1.2 PARA INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI), HUELLA DE CARBONO O FACTOR DE EMISIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA (FEG) 4](#_Toc28252096)

[2. CALCULO DEL FE PARA PROYECTOS DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL) 6](#_Toc28252097)

[ INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE 6](#_Toc28252098)

[ DEFINICIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE PROYECTOS MDL 6](#_Toc28252099)

[ MÉTODOS Y OPCIONES DE CÁLCULO 7](#_Toc28252100)

[Paso 1. IDENTIFICAR EL SISTEMA ELÉCTRICO RELEVANTE 8](#_Toc28252101)

[Paso 2: SELECCIONAR UN MÉTODO PARA DETERMINAR EL FACTOR DE EMISIÓN DEL MO. 9](#_Toc28252102)

[Paso 3. CALCULAR EL FACTOR DE EMISIÓN DEL MARGEN DE OPERACIÓN DE ACUERDO CON EL MÉTODO SELECCIONADO. 12](#_Toc28252103)

[Paso 4: IDENTIFICAR EL GRUPO DE PLANTAS DE ENERGÍA A SER INCLUIDO EN EL MARGEN DE CONSTRUCCIÓN (MCO). 14](#_Toc28252104)

[Paso 5. CALCULAR EL FACTOR DE EMISIÓN DEL MCO 18](#_Toc28252105)

[Paso 6. CALCULAR EL MARGEN COMBINADO 19](#_Toc28252106)

[3. PARA INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO-GEI HUELLA DE CARBONO O FACTOR DE EMISIÓN DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA-FEG 20](#_Toc28252107)

[4. RESUMEN RESULTADOS 21](#_Toc28252108)

# ÍNDICE DE TABLAS

[Tabla 1 Fuente de datos 5](#_Toc26449704)

[Tabla 2 participación Plantas low-cost/must-run últimos cinco años 14](#_Toc26449705)

[Tabla 3 Margen de Operación Simple Ajustado 14](#_Toc26449706)

[Tabla 4 Datos cálculo MCo 2018 16](#_Toc26449707)

[Tabla 5 Cinco Plantas de generación 2018- Grupo -5-unidades 17](#_Toc26449708)

[Tabla 6 Conjunto de las adiciones de capacidad en el sistema eléctrico AEGset>=20% 17](#_Toc26449709)

[Tabla 7 Margen de Construcción año 2018 23](#_Toc26449710)

[Tabla 8 Parámetros para cálculo del margen combinado 23](#_Toc26449711)

[Tabla 9 Cálculo del Margen Combinado FE del SIN 2018 Simple Ajustado 24](#_Toc26449712)

[Tabla 10 Factor de Emisión para Huella de carbono 25](#_Toc26449713)

# 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:

## 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 (CMNUCC[[1]](#footnote-1)) 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).

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

El Factor de Emisión del Sistema Interconectado Nacional SIN puede ser empleado para proyectos y mediciones específicas de emisiones 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.

El Factor de Emisión de la Generación Eléctrica, en adelante FEG presenta ventajas significativas en comparación con otros métodos, dado que, por una parte opera un leguaje de cálculo sencillo y se emplea usualmente para estimar 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 *CO2* provenientes del consumo de combustible y la cantidad de electricidad generada[[2]](#footnote-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 1999–2018  Capacidad efectiva por tipo de generación | <http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad> |
| - Generación Mensual Plantas Menores 2018 | XM S.A E.S.P |
| - Generación real horaria, diaria y mensual SIN 2018  - Consumo combustibles anual por central y tipo de combustible, 2018. |
| Noticias entrada de plantas | PARATEC |
| Heat Rate Reportado | <http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad> |
| Documento | - Methodological 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 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 2018



Fuente: <https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Plan_GT_2017_2031_PREL.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.

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 (*tCO*2/MWh) de todas las plantas de generación eléctrica conectadas al SIN, sin incluir las plantas *low-cost/must-run[[3]](#footnote-3).* Para el desarrollo del cálculo por el método *MO* simple, el instrumento presenta dos opciones:

Se calcula mediante:



*Ecuación (1).*

Donde:

|  |  |
| --- | --- |
| *EF Red\_OM\_simple,y* | Factor de emisión margen de operación simple para el año y (t *CO2*/MWh) |
| *EGm,y* | Energía neta entregada a la red por cada unidad de generación *m* en el año y (MWh) |
| *EFEL,m,y* | Factor de emisión de la unidades de generación *m* 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 |
| *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.



*Ecuación (2).*

Donde:

*EFEL,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).

*NCVi,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.



*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.



*Ecuación (4).*

Donde:

*EFgrid,MO-adj,y* Factor de emisión margen de operación simple ajustado para el año y (t CO2/MWh)

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

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

*EGk,y*  Energía neta entregada a la red por cada unidad de generación k en el año y (MWh)

*EFEL,m,y* Factor de emisión de la unidades de generación m en el año y (t CO2/MWh)

*EFEL,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 2018, 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. CALCULAR EL 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]](#footnote-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 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%* |
| *2018* | *68.949.475* | *58,490,774* | *85%* |

Al decidir por esta interpretación de las unidades *low-cost/must-run, n*o es factible aplicar el método simple para calcular el MO del SIN en 2018.

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 2018* | | |
| Generación Neta de Energía Total | 68,949,475 | MWh |
| Generación Neta de Energía Low-Cost/Must-Run (MWh) | 58,590,338 | MWh |
| Generación Neta de Energía No Low-Cost/Must-Run (MWh) | 10,359,369 | MWh |
| *Lambda* | 0.1916 |  |
| ∑ EGm,y \*EFEL,m,y | 7,351,087 | tCO*2* |
| ∑ EGk,y \*EFEL,k,y | 1,452,955 | tCO*2* |
| **Margen de Operación** | **0.578** | ***tCO2*/MWh** |

3.3 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 2018 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 2018*.

3.4 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: 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:

* + 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>=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 2018, se parte de la información consignada en la Tabla 4.

Tabla 4 Datos cálculo MCo 2018

| **CALCULO DEL MARGEN DE CONSTRUCCIÓN AÑO 2018** | | | |
| --- | --- | --- | --- |
| Total energía Generada 2018 (sin plantas MDL) | EG total | 61,324,445 | MWh |
| 20 % del total energía Generada en 2018 (Sin Plantas MDL) | 20% de EG Total | 12,264,889 | MWh |
| Generación del grupo de plantas incorporadas más recientemente (Últimas 5 plantas - sin plantas MDL) | EG Grupo -5-unidades | 400,514 | MWh |
| Grupo de plantas que comprenden el 20% de la EG total (sin Plantas MDL) | EG grupo -≥20% | 16,210,628 | MWh |
| Grupo de plantas que comprenden la mayor generación anual de electricidad (Menos Plantas MDL) | EG Grupo Muestra | 16,210,628 | MWh |
| Grupo de plantas que comprenden la mayor generación anual de electricidad (Incluyendo Plantas MDL) | EG Muestra -MDL->10 años | 23,722,148 | MWh |

1. Grupo -5-unidades: El conjunto de cinco plantas de generación que han sido construidas recientemente, SET 5-unidades con una energía que representa el 0.65% de la energía suministrada Tabla 5.

Tabla 5 Cinco Plantas de generación 2018- Grupo -5-unidades

| **Dato de Entrada** | **Compañía/Planta** | **Tipo** | **Generación 2018** | | **Emisiones** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **MWh Anual** | **MWh Acumulado** | ***EGm x EFEL,m*** |
| 20-Nov-18 | TERMONORTE | Gas | 8,465 | 8,465 | 4,272.99 |
| 16-Nov-18 | CELSIA SOLAR BOLIVAR | Solar | 1,079 | 9,544 |  |
| 15-Nov-18 | EL PASO | Solar | 1,179 | 10,723 |  |
| 26-Sep-18 | AUTOG ARGOS SOGAMOSO | Agua | 2,405 | 13,128 |  |
| 26-Jul-18 | JUAN GARCIA | Agua | 6,489 | 19,617 |  |
| **Total** | | | | **19,617** | **4,272.99** |

1. AEGset>=20%: El conjunto de las adiciones de capacidad en el sistema eléctrico que comprende el 20% de la generación (MWh), AEGset>=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>=20%

| **Dato de Entrada** | **Compañía/Planta** | **Tipo** | **Generación 2018** | | **Emisiones** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **MWh Anual** | **MWh Acumulado** | ***EGm x EFEL,m*** |
| 20-Nov-18 | TERMONORTE | Gas | 8,465 | 8,465 | 4,272.99 |
| 16-Nov-18 | CELSIA SOLAR BOLIVAR | Solar | 1,079 | 9,544 |  |
| 15-Nov-18 | EL PASO | Solar | 1,179 | 10,723 |  |
| 26-Sep-18 | AUTOG ARGOS SOGAMOSO | Agua | 2,405 | 13,128 |  |
| 26-Jul-18 | JUAN GARCIA | Agua | 6,489 | 19,617 |  |
| 12-Dec-18 | AURES BAJO | Agua | 3,554 | 23,171 | - |
| 9-Dec-18 | JUAN GARCIA | Agua | 6,489 | 29,660 | - |
| 6-Oct-18 | SAN JOSE DE LA MONTAÑA II | Agua | 1,498 | 31,158 |  |
| 2-Oct-18 | AUTOG ARGOS SOGAMOSO | Carbón | 2,405 | 33,563 | 1,932.21 |
| 28-Sep-18 | GECELCA 32 | Carbón | 384,857 | 418,420 | 405,884.00 |
| 25-Jul-18 | AUTOG COCA-COLA FEMSA | Gas | 1,009 | 419,429 | 109,869.08 |
| 22-Jun-18 | COGENERADOR MANUELITA 2 | Bagazo | 24,518 | 443,947 | - |
| 21-May-18 | INGENIO RIOPAILA 1 | Bagazo | 79,746 | 523,693 | - |
| 28-Feb-18 | TEQUENDAMA 1 | Agua | 61,479 | 585,172 | - |
| 28-Feb-18 | TEQUENDAMA 2 | Agua | 67,259 | 652,431 | - |
| 28-Feb-18 | TEQUENDAMA 3 | Agua | 82,074 | 734,505 | - |
| 28-Feb-18 | TEQUENDAMA 4 | Agua | 83,048 | 817,553 | - |
| 2-Feb-18 | TERMOMECHERO 4 | Gas | 141,897 | 959,450 | 59,248.34 |
| 2-Feb-18 | TERMOMECHERO 6 | Gas | 143,143 | 1,102,593 | 53,495.50 |
| 16-Dec-17 | TERMOMECHERO 5 | Gas | 158,537 | 1,261,130 | 53,029.71 |
| 10-Oct-17 | PROENCA II | Carbón | 15,377 | 1,276,507 | 59.13 |
| 7-Oct-17 | LUZMA I | Agua | 143,941 | 1,420,448 | - |
| 7-Oct-17 | LUZMA II | Agua | 144,685 | 1,565,134 | - |
| 29-Sep-17 | AUTOG ARGOS EL CAIRO | Agua | 23,924 | 1,589,058 | - |
| 29-Sep-17 | AUTOG ARGOS EL CAIRO | Agua | 23,924 | 1,612,982 | - |
| 23-Sep-17 | AUTOG CELSIA SOLAR YUMBO | Rad Solar | 1,801 | 1,614,783 | - |
| 30-Aug-17 | LAS PALMAS | Agua | 10,863 | 1,625,646 | - |
| 20-May-17 | CANTAYUS | Agua | 27,918 | 1,653,564 | - |
| 25-Apr-17 | SAN MATIAS | Agua | 108,630 | 1,762,194 | - |
| 22-Apr-17 | BIOENERGY | Bagazo | 57,766 | 1,819,959 | - |
| 19-Apr-17 | EL MOLINO | Agua | 111,107 | 1,931,066 | - |
| 2-Mar-17 | ALEJANDRÍA | Agua | 84,612 | 2,015,678 | - |
| 2-Mar-17 | EL EDÉN | Agua | 78,269 | 2,093,947 | - |
| 22-Dec-16 | MAGALLO | Agua | 25,894 | 2,119,841 | - |
| 10-Dec-16 | COELLO | Agua | 7,155 | 2,126,997 | - |
| 10-Sep-16 | MORRO AZUL | Agua | 108,328 | 2,235,325 | - |
| 30-Jun-16 | TUNJITA | Agua | 110,823 | 2,346,147 | - |
| 25-Jun-16 | TEQUENDAMA BIOGAS | Biogás | 634 | 2,346,781 | - |
| 20-May-16 | EL COCUYO | Agua | 1,802 | 2,348,583 | - |
| 29-Apr-16 | LA FRISOLERA | Agua | 561 | 2,349,145 | - |
| 29-Apr-16 | DOÑA JUANA | Biogás | 3,191 | 2,352,335 | - |
| 27-Apr-16 | GUAVIO MENOR | Agua | 34,340 | 2,386,676 | - |
| 26-Apr-16 | AUTOG REFICAR | Gas | 68,263 | 2,454,939 | 29,670.88 |
| 25-Apr-16 | PORCE III MENOR | Agua | 12,435 | 2,467,374 | - |
| 22-Mar-16 | AUTOG YAGUARITO | Biogás | 689 | 2,468,064 | - |
| 20-Mar-16 | AUTOG ARGOS YUMBO | Carbón | 358 | 2,468,421 | 287.18 |
| 20-Mar-16 | AUTOG UNIBOL | Gas | 6,463 | 2,474,884 | 2,809.33 |
| 15-Mar-16 | AUTOG ARGOS CARTAGENA | Gas | 9,618 | 2,484,503 | 4,180.64 |
| 4-Mar-16 | TERMOBOLIVAR 1 | Gas | 6,360 | 2,490,863 | 2,376.82 |
| 23-Dec-15 | SAN MIGUEL | Agua | 317,501 | 2,808,364 | - |
| 30-Nov-15 | TASAJERO 2 | Carbón | 426,382 | 3,234,746 | 368,941.26 |
| 22-Nov-15 | CARLOS LLERAS | Agua | 431,389 | 3,666,134 | - |
| 16-Nov-15 | EL QUIMBO | Agua | 1,892,001 | 5,558,136 | - |
| 30-Sep-15 | PROVIDENCIA | Agua | 33,751 | 5,591,886 | - |
| 17-Sep-15 | GECELCA 3 | Carbón | 285,376 | 5,877,263 | 405,884.00 |
| 29-Jul-15 | CUCUANA | Agua | 271,393 | 6,148,656 | - |
| 30-Jan-15 | BAJO TULUA | Agua | 101,648 | 6,250,304 | - |
| 20-Dec-14 | SOGAMOSO | Agua | 4,489,725 | 10,740,029 | - |
| 17-Dec-14 | LAGUNETA | Agua | 122,599 | 10,862,628 | - |
| 27-Nov-14 | LA NAVETA | Agua | 22,960 | 10,885,588 | - |
| 24-Jul-14 | LA REBUSCA | Agua | 5,386 | 10,890,974 | - |
| 25-Jun-14 | SALTO II | Agua | 121,171 | 11,012,144 | - |
| 29-Apr-14 | COGENERADOR PROENCA | carbón | 72,866 | 11,085,010 | 303,487.50 |
| 31-Mar-14 | EL POPAL | Agua | 148,272 | 11,233,282 | - |
| 19-Dec-13 | COGENERADOR COLTEJER 1 | Carbón | 6,402 | 11,239,685 | 142.99 |
| 10-Nov-13 | DARIO VALENCIA SAMPER | Agua | 720,236 | 11,959,921 | - |
| 23-May-13 | AMOYA LA ESPERANZA | Agua | 445,571 | 12,405,492 | - |
| 15-Apr-13 | SUBA | Agua | 8,383 | 12,413,874 | - |
| 15-Apr-13 | USAQUEN | Agua | 8,921 | 12,422,795 | - |
| 15-Dec-12 | SAN FRANCISCO (PUTUMAYO) | Agua | 1,378 | 12,424,173 | - |
| 30-Nov-12 | BARROSO | Agua | 150,988 | 12,575,161 | - |
| 14-Jun-12 | HIDROMONTAÑITAS | Agua | 143,508 | 12,718,669 | - |
| 28-May-12 | ALTO TULUA | Agua | 93,227 | 12,811,895 | - |
| 17-Dec-11 | TERMOVALLE 1 | GAS | 7,778 | 12,819,673 | 47,206.29 |
| 12-Aug-11 | FLORES 4B | Gas | 997,740 | 13,817,413 | 509,528.51 |
| 23-Jul-11 | INGENIO SAN CARLOS 1 | Bagazo | 8,944 | 13,826,357 | - |
| 8-Jan-11 | SANTIAGO | Agua | 12,122 | 13,838,480 | - |
| 6-Jan-11 | AMAIME | Agua | 77,519 | 13,915,999 | - |
| 18-Aug-10 | CURRUCUCUES | Agua | 4,117 | 13,920,116 | - |
| 17-Aug-10 | MAYAGUEZ 1 | carbón | 129,982 | 14,050,098 | 109,869.08 |
| 30-Jun-10 | GUANAQUITAS | Agua | 65,999 | 14,116,096 | - |
| 28-Jan-10 | CARUQUIA | Agua | 53,019 | 14,169,116 | - |
| 26-Jan-10 | INGENIO PICHICHI 1 | Bagazo | 3,074 | 14,172,190 | - |
| 11-Nov-09 | INGENIO LA CARMELITA | Bagazo | 1,221 | 14,173,411 | - |
| 18-May-09 | INGENIO PROVIDENCIA 2 | Bagazo | 121,693 | 14,295,104 | - |
| 5-Feb-09 | PAPELES NACIONALES | Gas | 2,268 | 14,297,371 | 303,487.50 |
| 5-Feb-09 | INZA | Agua | 3,592 | 14,300,963 | - |
| 10-Apr-08 | AGUA FRESCA | Agua | 59,445 | 14,360,408 | - |
| 1-Dec-07 | RIO GRANDE | Agua | 3,470 | 14,363,878 | - |
| 19-Sep-07 | REMEDIOS | Agua | 2,607 | 14,366,485 | - |
| 17-Sep-07 | LA CASCADA ( ABEJORRAL) | Agua | 6,104 | 14,372,589 | - |
| 18-Aug-07 | CIMARRON | Gas | 155,357 | 14,527,946 | 122,902.92 |
| 9-Aug-07 | EL MORRO 2 | Gas | 131,066 | 14,659,012 | 161,253.82 |
| 5-Aug-07 | AMALFI | Agua | 2,825 | 14,661,837 | - |
| 30-Jul-07 | SAN JOSE DE LA MONTAÑA | Agua | 33 | 14,661,869 | - |
| 30-Jul-07 | URRAO | Agua | 6,365 | 14,668,234 | - |
| 17-Jul-07 | LA CASCADA (ANTIOQUIA) | Agua | 16,998 | 14,685,233 | - |
| 23-May-07 | EL MORRO 1 | Gas | 165,391 | 14,850,624 | - |
| 30-Jun-06 | CALDERAS | Agua | 88,411 | 14,939,035 | - |
| 9-Jun-05 | SANTA ANA | Agua | 22,724 | 14,961,759 | - |
| 11-Mar-05 | TERMOYOPAL 1 | Gas | 140,806 | 15,102,564 | - |
| 22-Nov-04 | LA VUELTA | Agua | 60,044 | 15,162,608 | - |
| 3-Nov-04 | MIROLINDO | Agua | 19,647 | 15,182,255 | - |
| 3-Sep-04 | LA HERRADURA | Agua | 112,840 | 15,295,095 | - |
| 1-Sep-04 | CEMENTOS DEL NARE | Agua | 51,817 | 15,346,912 | - |
| 15-Aug-04 | CENTRAL CASTILLA 1 | Bagazo | 5,839 | 15,352,751 | - |
| 29-Jul-04 | TERMOYOPAL 2 | Gas | 251,965 | 15,604,715 | 193,337.84 |
| 27-Apr-04 | JEPIRACHI 1 - 15 | Viento | 43,437 | 15,648,153 | - |
| 18-Feb-04 | PASTALES | Agua | 4,626 | 15,652,779 | - |
| 6-Dec-03 | EL LIMONAR | Agua | 126,056 | 15,778,835 | - |
| 16-Nov-03 | SAN JOSE | Agua | 1,402 | 15,780,237 | - |
| 22-Aug-03 | CHARQUITO | Agua | 132,329 | 15,912,566 | - |
| 15-Aug-03 | INGENIO RISARALDA 1 | Bagazo | 118,327 | 16,030,893 | - |
| 1-Dec-02 | MIEL I | Agua | 1,722,635 | 17,753,528 | - |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  | **Total** | **17,753,528** | **TOTAL EMISIONES** | **3,253,157.51** |

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



*Ecuación (5)*

*Donde:*

|  |  |
| --- | --- |
| *E Fred MC y* | Factor de emisión margen de Construcción para el año y (t *CO2*/MWh) |
| *EGm y* | Energía neta entregada a la red por cada unidad de generación *m* en el año *y* (MWh) |
| *EFEL 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 2018 de operación del SIN Tabla 7:

Tabla 7 Margen de Construcción año 2018

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Cálculo del margen de Construcción año 2018** | | |
| *EG total* | 61,324,445 | MWh |
| Grupo de plantas que comprende la Mayor generación anual de electricidad (Incluyendo Plantas MDL) | 17,753,528 | MWh |
| *EGm x EFEL m* | 3,253,158 | t CO*2* |
| *EFgrid MCo 2018* | **0.183** | 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 (*W*OM) y el factor de emisión del margen de construcción (*MCo*) multiplicado por el ponderador del factor de emisión del margen de construcción (*W*BM) Tabla 8.

Tabla 8 Parámetros para cálculo del margen combinado

|  |  |
| --- | --- |
| **Hidroeléctrica Termoeléctrica** | |
| *W*OM | 0.5 |
| *W*BM | 0.5 |
| Energías Renovables No convencionales ( Eólica, Solar) | |
| *W*OM | 0.75 |
| *W*BM | 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 2018 Simple Ajustado

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **CALCULO DEL MARGEN COMBINADO FE DEL SIN 2018 SIMPLE AJUSTADO** | | |
| *EFgrid MO y* | 0.578 | **t *CO2*/MWh** |
| *Total generación* | 68,949,475 | **MWh** |
| ***EFgrid MC 2018*** | 0.183 | **tCO2/MWh** |
| *WOM* | 0,5 | **-** |
| *WBM* | 0,5 | **-** |
| ***EFgrid MC 2018*** | **0.381** | **tCO2/MWh** |

De acuerdo a las consideraciones establecidas el Factor de Emisión del SIN para proyectos MDL es de ***FE = 0.381 tCO2/MWh.***

# 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 | 68,949,475 | MWh |
| ∑ EGm y \*EFEL m y | 8,804,042 | *tCO2* |
| **FE Inventarios** | **0.13** | *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.

# RESUMEN RESULTADOS

En resumen, se debe resaltar que para proyectos MDL, el Factor de emisión resultante es de **0.381 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 **0.13 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



1. Dicha herramienta puede ser consultada en adelante en el siguiente link: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v4.0.pdf>; [↑](#footnote-ref-1)
2. <http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/calculadora.html> [↑](#footnote-ref-2)
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. [↑](#footnote-ref-3)
4. Methodological 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> [↑](#footnote-ref-4)