



FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR – INFORME 2021



**Comisión Técnica de determinación
de Factores de Emisión de gases de
efecto invernadero**



FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR - INFORME 2021

Área responsable de la elaboración:

Operador Nacional de Electricidad CENACE
Gerencia Nacional de Planeamiento Operativo

Elaboración:

- Ing. Lenin Haro Estrella - Operador Nacional de Electricidad CENACE

Revisión:

- Ing. Alex Posso e Ing. Ángel Echeverría - Ministerio de Energía y Minas
- Ing. Paul Melo e Ing. Andrea Bedón - Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica
- Ing. Andrea Torres - Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables

La Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de gases de efecto invernadero - CTFE, el 19 de agosto de 2022 emitió el informe de conformidad al factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador para la estadística 2021 y recomendó su aprobación y publicación. Este material puede ser utilizado siempre que se cite la fuente.



El Gobierno del Encuentro, a través del Ministerio de Energía y Minas, ratifica su firme compromiso de continuar impulsando el desarrollo de generación eléctrica, por medio de energías renovables. Además, bajo el liderazgo del presidente Guillermo Lasso, trabajamos de forma permanente en la implementación de políticas encaminadas en asegurar una mayor equidad, accesibilidad y resiliencia en el sector energético ecuatoriano.

Fernando Santos Alvite
Ministro de Energía y Minas



El Gobierno del Encuentro a través del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica apoya la transformación de la matriz energética del país hacia un desarrollo sostenible bajo en emisiones y resiliente al clima, proceso que requiere contar con información que fortalezca la transparencia y oriente la toma de decisiones.

Por esta razón, los resultados del cálculo del factor de emisión del Sistema Nacional Interconectado contribuyen con la planificación energética del país así como la cuantificación de los aportes en la mitigación del cambio climático.

Gustavo Manrique Miranda

Ministro del Ambiente, Agua y Transición Ecológica



El factor de emisión de CO₂ se constituye una herramienta fundamental para la planificación energética nacional, que nos permite cuantificar la reducción de emisiones al promover la energía renovable o la eficiencia energética. Es por ello, que trabajamos en mejorar los datos estadísticos bajo principios de transparencia y consistencia, que se establecen como piezas clave para el desarrollo de este sector, considerado estratégico para el país.

Enith Carrión Quezada

Viceministra de Electricidad y Energía Renovable

Contenido

1.	Antecedentes	4
1.1.	Definiciones generales	4
1.2.	Descripción de la metodología	5
1.3.	Aspectos considerados para la realización del cálculo	5
2.	Desarrollo del cálculo del factor de emisión de CO₂ del SNI	6
2.1.	Parámetros del cálculo	6
2.2.	Procedimiento de Línea Base	6
2.2.1.	Paso 1. Identificación del sistema eléctrico relevante	6
2.2.2.	Paso 2. Unidades de generación aisladas de la red eléctrica	7
2.2.3.	Paso 3. Selección del método de cálculo del Margen de Operación (OM)	7
2.2.4.	Paso 4. Cálculo del factor de emisión de CO ₂ OM, conforme el método seleccionado	8
2.2.5.	Resultados obtenidos para el Margen de Operación (OM)	12
2.2.6.	Paso 5. Cálculo del Margen de Construcción (BM)	13
2.2.7.	Paso 6. Cálculo del Margen Combinado (CM)	15
3.	Evolución del factor emisión de CO₂	17
4.	Resultados	19
	Referencias	20



1. Antecedentes

El Operador Nacional de Electricidad CENACE como ente técnico responsable de la actualización anual del cálculo del Factor de Emisión de Dióxido de Carbono (CO₂) del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador Continental desde el año 2010, ha recopilado la información del último año de operación del sistema eléctrico ecuatoriano con la finalidad de realizar la actualización del Factor de Emisión de CO₂.

Se ha establecido como guía la herramienta metodológica de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) denominada “Herramienta para el cálculo del factor de emisión de CO₂ para un sistema eléctrico”, versión v7.0. (UNFCCC, 2018). Dicha herramienta se encuentra vigente y ratificada por la UNFCCC conforme se indica en la treceava edición de la publicación Compendio Metodológico del Mecanismo de Desarrollo Limpio (UNFCCC, 2021)

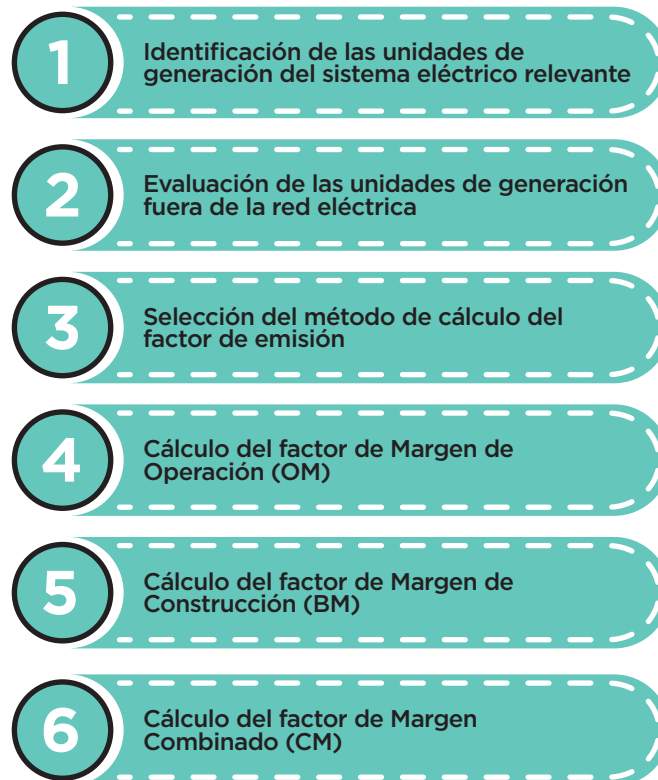
1.1. Definiciones generales

- **MWh:** Unidad de medida energética, equivalente a un millón de vatios hora. Es la energía necesaria para suministrar una potencia de un millón de vatios constante durante una hora.
- **Factor de emisión de CO₂:** Es la masa estimada de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera, por cada unidad de MWh de energía eléctrica generada en base a la combustión de combustible fósil. (UNFCCC, 2018)
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero. Los gases de efecto invernadero son aquellos constituyentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. (IPCC, 2013)
- **Planta/unidad de generación:** La unidad de generación es el equipamiento que genera energía eléctrica, una planta de generación está compuesta por varias unidades de generación. (UNFCCC, 2018)
- **Red Eléctrica:** Se establece como el conjunto de elementos y sistemas que se encuentran entre las unidades de generación y los consumidores finales (UNFCCC, 2018).
- **Sistema Nacional de Transmisión:** Es el sistema de trasmisión de energía eléctrica o medio de conexión entre consumidores y centros de generación (unidades de generación), el cual permite el paso de la energía a todo el territorio nacional.
- **Sistema Nacional Interconectado (SNI):** En el Ecuador es el sistema integrado por los elementos del sistema eléctrico, conectado entre sí, que permite la producción y transferencia de energía eléctrica entre centros de generación y consumo.
- **Generación Neta:** Es la diferencia entre la generación total y el consumo de los servicios auxiliares de la unidad de generación. Es aquella energía que se entrega a la red eléctrica para el consumo del usuario y el consumo propio del sistema de transmisión. (UNFCCC, 2018)
- **Margen de Construcción (BM):** El factor de emisión de CO₂ del margen de construcción representa las emisiones asociadas al ingreso de nuevas unidades de generación para el periodo en el que se ha calculado, cuya construcción y operación sería desplazada por la actividad del proyecto renovable. (UNFCCC, 2018)
- **Margen de Operación (OM):** El factor de emisión de CO₂ del margen de operación se estima con la operación de las centrales actualmente conectadas a la red, que sería afectada por la actividad del proyecto renovable. (UNFCCC, 2018)
- **Margen Combinado (CM):** El factor de emisiones de CO₂ del margen combinado corresponde a la ponderación asignada en el cálculo de los dos márgenes anteriores. (UNFCCC, 2018).
- **Generación de bajo costo (Low cost/must run):** Es la energía compuesta por las unidades hidráulicas, y renovables no convencionales (bagazo, biomasa, biogás, eólica, solar).

- **Mínima potencia anual:** Es la mínima potencia horaria registrada en el año calendario
- **Máxima potencia anual:** Es la máxima potencia horaria registrada en el año calendario.
- **Lambda:** Está determinado por número de horas en el año en que la generación de bajo costo abasteció la demanda de potencia por si sola.

1.2. Descripción de la metodología

En esta sección se presenta un esquema de los pasos a seguir para el cálculo del factor de emisión.



1.3. Aspectos considerados para la realización del cálculo

Algunas consideraciones fueron tomadas en cuenta para la realización de este informe, destacándose las siguientes:

- Los sistemas eléctricos aislados de la red eléctrica no se consideran dentro del cálculo. Entre estos sistemas se encuentran:
 - Isla Puna
 - Región Insular - Galápagos
 - Sistema Oriental (Sistemas menores ubicados en la región nororiental del Ecuador manejados por la unidad de negocio TERMOPICHINCHA de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP)
 - El sistema de Generación del Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero – SEIP,
- Para el caso de la interconexión eléctrica con Colombia, sobre la base que en 2008 se realizó una repotenciación del sistema de transmisión de 230 kV, se consideró la energía registrada en los medidores en barras de Ecuador por los circuitos adicionales con un factor de emisión de CO₂ igual a cero, como indica la “Herramienta para el cálculo del factor de emisión para un sistema eléctrico v7.0”. (UNFCCC, 2018)



- Las unidades que se han registrado como proyectos MDL en la Junta Ejecutiva (JE) MDL de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, no han sido consideradas dentro del cálculo, así como las unidades de generación de energías renovables no convencionales (fotovoltaicas, eólicas, biomasa, biogás).

2. Desarrollo del cálculo del factor de emisión de CO₂ del SNI

En esta sección se hace un desarrollo de la herramienta metodológica de las UNFCCC, tomando en cuenta las condiciones del sistema eléctrico ecuatoriano que permite estimar los factores de operación (OM), construcción (BM) y combinado (CM).

Parámetros que son utilizados para establecer la línea base de proyectos de eficiencia energética; así como también, para los proyectos de generación de electricidad con fuentes renovables, convencionales y no convencionales.

2.1. Parámetros del cálculo

Considerando los criterios de la Herramienta metodológica v7.0, de la UNFCCC para determinar el factor de emisión de CO₂ de una red eléctrica, se deben considerar los siguientes parámetros a ser calculados.

- Margen de construcción (BM):** Permite establecer el factor de emisión de la nueva generación que se ha incorporado a la red eléctrica en los últimos 10 años y que corresponde al 20% de la generación del último año que se tiene datos.
- Margen de Operación (OM):** Establece el factor de emisión que se presentó durante el año, con este factor se calculan las emisiones de CO₂ que se presentaron en los diferentes años de estudio.
- Margen Combinado (CM):** Este factor se utiliza para crear una línea base para un proyecto renovable, su cálculo se lo realiza en base a los dos anteriores dándoles un porcentaje tanto al **BM** como al **OM**, la suma del porcentaje asignado no puede ser mayor que el 100%.

Tabla Nro. 1 Parámetros de cálculo del factor de emisión de CO₂

PARÁMETROS	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
$EF_{grid,BM}$	tCO_2/MWh	Factor de emisión de CO ₂ para el Margen de construcción en el año “y”
$EF_{grid,OM}$	tCO_2/MWh	Factor de emisión de CO ₂ para el Margen de operación en el año “y”
$EF_{grid,CM}$	tCO_2/MWh	Factor de emisión de CO ₂ para el Margen combinado en el año “y”

Fuente: (UNFCCC, 2018)

2.2. Procedimiento de Línea Base

2.2.1. Paso 1. Identificación del sistema eléctrico relevante

La red eléctrica considerada en este cálculo está conformada por todos los elementos conectados al Sistema Nacional Interconectado del Ecuador continental.¹

2.2.2. Paso 2. Unidades de generación aisladas de la red eléctrica

Para el presente cálculo no se consideran las unidades de generación que no están conectadas al SNI, como son las unidades de la región Insular Galápagos, Isla Puna, sistemas aislados de la región Oriental, y los sistemas eléctricos de PETROECUADOR.

2.2.3. Paso 3. Selección del método de cálculo del Margen de Operación (OM)

Para el cálculo del factor de emisión de CO₂ de una red eléctrica debido a su operación denominado “margen de operación” se encuentra basado en uno de los siguientes métodos:

- a) **Simple OM.**- Puede ser utilizado solamente si la generación de energía eléctrica de las plantas de bajo costo de la red eléctrica representan menos del 50% del total de la generación.
- b) **Simple ajustado OM.**- Puede ser utilizado solamente si la generación de energía eléctrica de las plantas de bajo costo de la red eléctrica representan más del 50% del total de la generación.
- c) **Análisis de despacho OM.**- Está sujeto al nivel de información que se posee en el país, puesto que son los datos horarios de la producción de energía.
- d) **Ponderado OM.**- Es calculado mediante el uso del rendimiento promedio en el periodo de análisis de la generación de todas las plantas termoeléctricas que hacen parte de la red.

Tabla Nro. 2. Requerimientos de determinación de los Márgenes de Operación y Construcción

Requisitos de datos para la selección de las diferentes opciones

	DESPACHO OM	SIMPLE AJUSTADO OM	SIMPLE OM	PROMEDIO OM	MARGEN CONSTRUCCIÓN
Generación de energía por planta.		✓	✓		✓
Consumo de combustible por planta		✓	✓		✓
Tipo de combustible y tecnología.		✓	✓		✓
Generación de energía por hora y consumo de combustible por planta.	✓				
Carga horaria de la red.		✓			
Fecha de puesta en servicio de centrales / unidades.					✓

¹ El Sistema Nacional Interconectado está conformado por los Sistemas de Distribución, Transmisión, generación, auto-generadores, grandes consumidores e interconexiones internacionales con Perú y Colombia



Para el caso del Ecuador y de acuerdo a la conformación del SNI y los datos del sistema eléctrico analizados, se aplicó el Método Simple Ajustado, realizando el balance de los últimos cinco años como muestra la Tabla Nro. 3, en la cual se puede observar que la generación de bajo costo (*low cost*), representa el 85.2% del promedio de los últimos cinco años. Esto es congruente con el método utilizado que indica que la generación de electricidad de bajo costo debe ser mayor al 50% del total.

Para este método de cálculo la herramienta propone establecer la estadística de datos tomando en cuenta los siguientes antecedentes:

- **Opción ex post:** Esta opción es tomada para el año en que el proyecto desplaza energía de la red eléctrica, y su monitoreo debe realizarse anualmente es por ello que este factor debería actualizarse de forma anual y, tomando en cuenta que los datos para el cálculo anual se encuentran disponibles seis meses después de finalizado el año, alternativamente se puede tomar datos anteriores del año y-1, si no se tienen datos después de 18 meses de terminado el año.
- **Opción ex ante:** Este método permite realizar el cálculo del factor de emisión una vez en la etapa de validación del proyecto que desplaza generación eléctrica de la red, por lo que no es necesario su actualización periódica, se debe realizar el cálculo de los últimos 3 años más recientes.

Tabla Nro. 3. Generación eléctrica del SNI de los últimos 5 años en GWh

Año	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio	%
Low cost/must run	20.333	21.024	24.877	24.820	26.305	23.472	89,7%
No Low cost/must run	3.354	3.715	2.605	2.104	1.729	2.702	10,3%
Total	23.687	24.739	27.482	26.924	28.035	26.173	100%

Fuente: (CENACE, 2022)

2.2.4. Paso 4. Cálculo del factor de emisión de CO₂ OM, conforme el método seleccionado.

El Margen de Operación (OM) bajo el método Simple Ajustado se lo calcula utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

$EF_{grid\ OM-adj,y}$ Factor de emisión de CO₂ del margen de operación simple ajustado para el año “y” (t CO₂/MWh)

λ_y	Factor que expresa el porcentaje de tiempo que marginó la generación de bajo costo en el año “y”
$EG_{m,y}$	Energía neta entregada a la red por las unidades de generación “m” en el año “y” (MWh)
$EG_{k,y}$	Energía neta entregada a la red por las unidades de generación “k” en el año “y” (MWh)
$EF_{EL,m,y}$	Factor de emisión de las unidades de generación “m” (generación no renovable convencional y no convencional) en el año “y” (tCO ₂ /MWh)
$EF_{EL,k,y}$	Factor de emisión de las unidades de generación “k” (generación de bajo costo) en el año “y” (tCO ₂ /MWh)
m	Todas las unidades de generación conectadas a la red en el año “y” a excepción de la generación de bajo costo
k	Todas las unidades de generación de bajo costo conectadas a la red en el año “y”
y	Año correspondiente a los datos utilizados para el análisis

El cálculo del factor de emisión por el método **Simple Ajustado OM** se lo realiza considerando las siguientes opciones:

Opción A1: Para este caso se realiza el cálculo en base de la generación eléctrica neta de cada unidad de potencia y el factor de emisión para cada una de las de las unidades de generación, como muestra la siguiente ecuación:

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

Donde:

$EF_{EL,m,y}$	Factor de emisión de CO ₂ de las unidades de generación “m” en el año “y” (t CO ₂ /MWh)
$FC_{i,m,y}$	Cantidad de combustible fósil “i” consumido en el año “y” de las unidades de generación “m” (unidad de masa o volumen)
$NCV_{i,y}$	Poder calorífico neto (contenido de energía) del combustible fósil tipo “i” en el año “y” (TJ/unidad de masa o volumen)
$EF_{CO_2,i,y}$	Factor de emisión de CO ₂ por tipo de combustible “i” en el año “y” (t CO ₂ /TJ)
$EG_{m,y}$	Energía neta generada en el año “y” a excepción de las unidades de bajo costo (MWh)



- m* Todas las unidades de generación conectadas a la red en el año “y” a excepción de las unidades de bajo costo
- i* Todos los combustibles utilizados por las unidades de generación “m” en el año “y”
- y* Año correspondiente a los datos utilizados para el análisis

Opción A2: Si se dispone solo del dato de generación eléctrica y el tipo de combustible, el factor de emisión debe ser determinado con base en el factor de emisión de CO₂ del tipo de combustible utilizado y la eficiencia de la unidad de energía con la siguiente ecuación:

$$EF_{EL,m,y} = \frac{EF_{CO_2,m,i,y} \times 3,6}{\eta_{m,y}}$$

Donde:

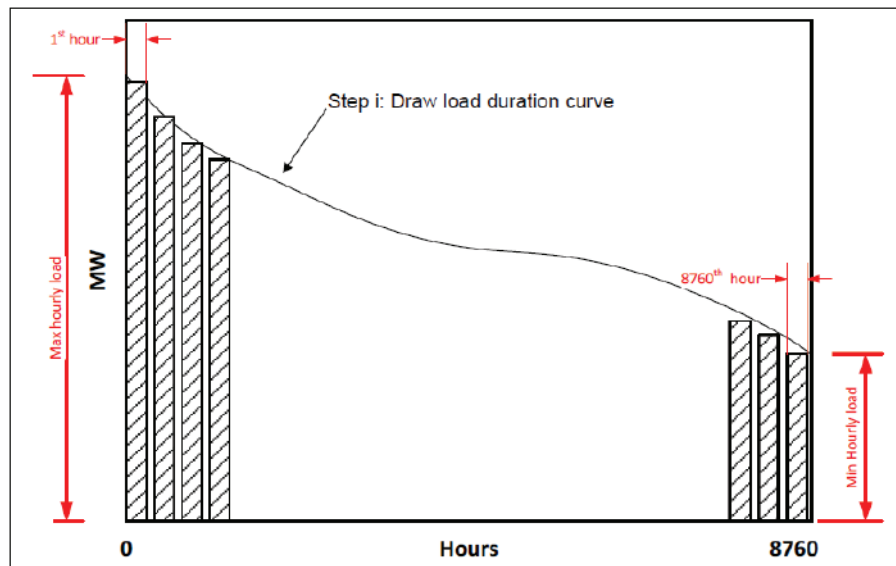
- $EF_{EL,m,y}$ Factor de emisión de CO₂ de las unidades de generación en el año “y” (t CO₂/MWh)
- $EF_{CO_2,m,i,y}$ Factor de emisión de CO₂ promedio del combustible “i” utilizado por la planta “m” en el año “y” (t CO₂/TJ)
- $\eta_{m,y}$ Eficiencia de conversión promedia de la planta “m” en el año “y”
- m* Todas las unidades de generación conectadas a la red en el año “y” a excepción de las unidades de bajo costo
- y* Año correspondiente a los datos utilizados para el análisis

Cálculo de lambda λ_y: el cálculo de este parámetro se lo realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$\lambda_y = \frac{\text{Number of hours low – cost/must – run are on the margin in year "y"}}{8760 \text{ hours per year}}$$

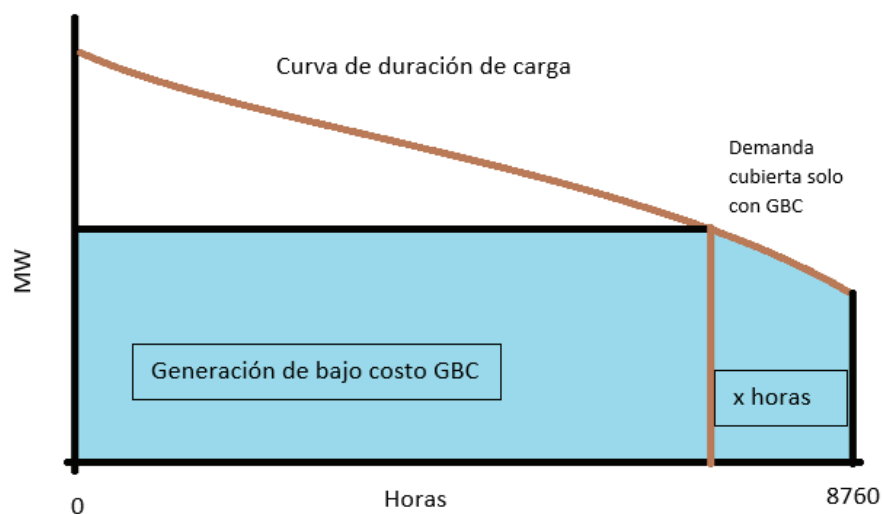
La determinación del número de horas en las que la generación de bajo costo cubre la demanda:

1. Se establece la curva de duración de carga, apilamos las potencias horarias presentados durante los 8,760 periodos horarios del año de mayor a menor, de tal forma de establecer la mínima potencia del año y la máxima potencia del año.
2. Se establece la suma de la generación de todas las unidades de bajo costo.



Gráfica Nro. 1 Curva de duración de carga. (UNFCCC, 2018)

3. Se establece el área que tendría la potencia de mínimo costo, se va obteniendo el área de la generación de bajo costo que cruce con la curva de carga, de tal forma de establecer las horas en las que la generación de bajo costo abasteció la demanda por sí sola, tal como se muestra la Gráfica Nro 2.



Gráfica Nro. 2 Cálculo de horas marginales de GBC. Fuente (UNFCCC, 2018)

Las fuentes de información empleadas para el cálculo del Factor de Emisión de CO₂ del SNI del Ecuador son las siguientes:

- $FC_{i,m,y}$ la cantidad de combustible fósil utilizado por las unidades de generación conectadas a la red eléctrica es proporcionada por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables - ARCERNNR, presentada en la hoja de cálculo "6. Combustibles" del archivo "Matriz Factor de Emisión_CO2_SNI_2021.xlsx".
- $EG_{m,y}$ la energía neta generada por cada unidad de generación conectada a la red eléctrica es proporcionada por CENACE, presentada en la hoja "3. FE_OM" del archivo "Matriz Factor de Emisión_CO2_SNI_2021.xlsx".



- $NCV_{i,y}$ se consideró la información disponible de Petroecuador sobre Poder Calórico Neto utilizado para fuel oil 6, fuel oil 4, diésel, y residuo; los valores de Nafta y Gas Natural se tomaron de la Tabla 1.2. del Capítulo 1 de las *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2006) correspondientes a Naphtha y Natural Gas, como lo muestra la Tabla Nro. 4.

Tabla Nro. 4. Poder calórico de los combustibles utilizados por el sector eléctrico.

Combustible	Poder Calórico Neto (TJ/1000 ton)
Fuel oil	39,2
Diésel	40,8
Gas Natural	46,5
Nafta	41,8
Residuo	39,0
Bunker	39,7

Fuente: IPCC, PETROECUADOR

- $EF_{CO_2,i,y}$ el factor de emisión por cada tipo de combustible tiene como referencia la Tabla 1.4 del Capítulo 1 de las *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, IPCC 2006, utilizando el límite inferior del inventario al 95% de confianza, los criterios para seleccionar los factores de emisión de los combustibles son similares a los indicados para el Poder Calórico Neto como se indica en la Tabla Nro. 5.

Tabla Nro. 5. Factor de Emisión de CO₂ por cada uno de los combustibles utilizados por el sector eléctrico

Combustible	FE (kg CO ₂ /TJ)
Fuel oil	75.500
Diésel	72.600
Gas Natural	54.300
Nafta	69.300
Residuo	73.300
Bunker	73.300

Fuente: IPCC, PETROECUADOR

2.2.5. Resultados obtenidos para el Margen de Operación (OM)

Con base en las ecuaciones y los parámetros de cálculo mencionados en los párrafos anteriores, se realizó el cálculo del factor OM para el año 2021.

Tabla Nro. 6. Resultados del Margen de Operación (OM) para el 2021

Parámetros		Unidad	
Lambda	λ_{2021}	0,5757	
Generadores de no bajo costo	$\sum_m EG_{m,2021} \times EF_{EL,m,2021}$	1.203.602	tCO_2
	$\sum_m EG_{m,2021}$	1.729.411	MWh
Generadores de bajo costo	$\sum_k EG_{k,2021} \times EF_{EL,k,2021}$	0,000	tCO_2
	$\sum_k EG_{k,2021}$	26.305.353	MWh
Factor de emisión de CO_2 para el Margen de operación	$EF_{grid,OM-adj,2021}$	0,2953	tCO_2/MWh

Fuente: (CENACE, 2022)

Con referencia al margen de operación de los últimos tres años de estadística, se establece que el cálculo del factor de emisión del CO_2 Ex ante, la ponderación de los últimos tres años como se muestra en la Tabla Nro 7.

Tabla Nro. 7. Factor De Emisión Margen de Operación (OM) ex ante.

	2019	2020	2021
$EF_{grid,OM-adj,y} [tCO_2/MWh]$	0,4509	0,3834	0,2953

	2019	2020	2021	Total
Generación anual [GWh]	27.482,40	26.924,31	28.035,76	82.441,48
Ponderación	33,34%	32,66%	34,01%	

Fuente: (CENACE, 2022)

$$EF_{grid,OM-adj,ex\ ante\ 2019-2021} = 0,3758 [tCO_2/MWh]$$

El cálculo del factor de emisión ex post se determina con los datos solo del año 2021,

$$EF_{grid,OM-adj,ex\ post\ 2021} = 0,2953 [tCO_2/MWh]$$

2.2.6. Paso 5. Cálculo del Margen de Construcción (BM)

Las unidades que deben ser incluidas dentro del cálculo BM se ha determinado conforme los siguientes parámetros:

- Tomando en cuenta el último año de operación, se debe establecer cuáles fueron las cinco unidades de generación que ingresaron a la red eléctrica, estas unidades constituyen el conjunto SET 5-units; en base a su generación se estima el porcentaje de participación en el año de estudio, para este cálculo



representan el 0,1% de la generación total de la red eléctrica para el año de operación 2021, tal como muestra la Tabla Nro 8.

Tabla Nro. 8. Conjunto de las 5 unidades de generación recientemente ingresadas.

Unidad	Tecnología	Inicio de Operación	MDL	Generación Neta (MWh)	%	% acumulado
VINDOBONA U1	Hidroeléctrica	1/2/2021		378	0,0%	0,0%
CHALPI U2	Hidroeléctrica	1/4/2021		0	0,0%	0,0%
CHALPI U1	Hidroeléctrica	1/4/2021		32.581	0,1%	0,1%
PICHACAY MC U2	Térmico Biogás	1/7/2021	Renovable	0	0,0%	0,1%
EL LAUREL U1	Hidroeléctrica	1/11/2020		7.454	0,0%	0,1%
TOTAL				40.413	0,1%	0,1%

Fuente: (CENACE, 2022)

- b) Se establece un conjunto de las unidades de generación que representan el 20% de la generación del último año de operación y son parte del conjunto AEG SET->= 20%, para esto solo se consideran las unidades que tengan menos de 10 años de operación en la red eléctrica. En la Tabla Nro 9 se presenta este conjunto de unidades.

Tabla Nro. 9. Conjunto de las unidades que conforman el 20% de la generación eléctrica del 2021

Unidad	Tecnología	Inicio de Operación	MDL	Generación Neta (MWh)	%	Acumulado %
VINDOBONA U1	Hidroeléctrica	1/2/2021		378	0,0%	0,0%
CHALPI U2	Hidroeléctrica	1/4/2021		0	0,0%	0,0%
CHALPI U1	Hidroeléctrica	1/4/2021		32.581	0,1%	0,1%
PICHACAY MC U2	Térmico Biogás	1/7/2021	Renovable	0	0,0%	0,1%
EL LAUREL U1	Hidroeléctrica	1/11/2020		7.454	0,0%	0,1%
DUE U3	Hidroeléctrica	1/10/2020		92.691	0,3%	0,5%
HIDROPERLABI U1	Hidroeléctrica	12/7/2020		11.687	0,0%	0,5%
HIDROPERLABI U2F	Hidroeléctrica	12/7/2020			0,0%	0,5%
SAN JOSE DE MINAS U1	Hidroeléctrica	7/2/2020	R - 2008	0	0,0%	0,5%
LA CALERA U1	Hidroeléctrica	1/8/2019		6.072	0,0%	0,5%
LA CALERA U2	Hidroeléctrica	1/8/2019		0	0,0%	0,5%
LA CALERA U3	Hidroeléctrica	1/8/2019		0	0,0%	0,5%
SERMAA U1	Hidroeléctrica	1/8/2019		4.645	0,0%	0,6%
RIO VERDE CHICO U1	Hidroeléctrica	1/3/2019		82.383	0,3%	0,8%
RIO VERDE CHICO U2	Hidroeléctrica	1/3/2019		0	0,0%	0,8%
ISIMANCHI U1	Hidroeléctrica	1/12/2018		0	0,0%	0,8%
ISIMANCHI U2	Hidroeléctrica	1/12/2018		0	0,0%	0,8%
ISIMANCHI U3	Hidroeléctrica	1/12/2018		0	0,0%	0,8%
PUSUNO 1 U1	Hidroeléctrica	1/12/2018		208.409	0,7%	1,6%
PUSUNO 1 U2	Hidroeléctrica	1/12/2018		0	0,0%	1,6%
MINAS SAN FRANCISCO U1	Hidroeléctrica	1/10/2018	R - 2013	0	0,0%	1,6%
MINAS SAN FRANCISCO U2	Hidroeléctrica	1/10/2018	R - 2013	0	0,0%	1,6%
MINAS SAN FRANCISCO U3	Hidroeléctrica	1/10/2018	R - 2013	0	0,0%	1,6%
DELSITANISAGUA U1	Hidroeléctrica	1/9/2018		295.838	1,1%	2,6%
DELSITANISAGUA U2	Hidroeléctrica	1/9/2018		282.189	1,0%	3,7%
DELSITANISAGUA U3	Hidroeléctrica	1/9/2018		257.721	0,9%	4,6%
NORMANDIA U1	Hidroeléctrica	1/7/2018		392.421	1,4%	6,0%

NORMANDIA U2	Hidroeléctrica	1/7/2018		0	0,0%	6,0%
NORMANDIA U3	Hidroeléctrica	1/7/2018		0	0,0%	6,0%
NORMANDIA U4	Hidroeléctrica	1/7/2018		0	0,0%	6,0%
NORMANDIA U5	Hidroeléctrica	1/7/2018		0	0,0%	6,0%
PALMIRA U1	Hidroeléctrica	1/12/2017		69.944	0,2%	6,2%
PALMIRA U2	Hidroeléctrica	1/12/2017		0	0,0%	6,2%
SIGCHOS U1	Hidroeléctrica	1/8/2017		133.252	0,5%	6,7%
SIGCHOS U2	Hidroeléctrica	1/8/2017		0	0,0%	6,7%
SIGCHOS U3	Hidroeléctrica	1/8/2017		0	0,0%	6,7%
DUE U1	Hidroeléctrica	1/6/2017		366.228	1,3%	8,0%
DUE U2	Hidroeléctrica	1/6/2017		11	0,0%	8,0%
PICHACAY MC U1	Térmico Biogás	1/5/2017	Renovable	0	0,0%	8,0%
CORAZON U01	Hidroeléctrica	1/3/2017		5.036	0,0%	8,0%
URAVIA U01	Hidroeléctrica	1/3/2017		4.980	0,0%	8,0%
JIVINO 1 MC U3	Térmico Diésel	1/12/2016		0	0,0%	8,0%
HIDROVICTORIA U1	Hidroeléctrica	4/11/2016		29.747	0,1%	8,1%
HIDROVICTORIA U2	Hidroeléctrica	4/11/2016		4	0,0%	8,1%
COCA CODO SINCLAIR U1	Hidroeléctrica	19/3/2016		6.599.583	23,5%	31,7%

(CENACE, 2022)

c) Tomando en cuenta los resultados de los dos grupos anteriores, se ha seleccionado las unidades que conforman el 20% de la generación eléctrica, con las siguientes consideraciones:

- Las unidades de generación entran en operación el día que inicia su suministro de energía a la red eléctrica.
- Las unidades de generación registradas como MDL se excluyen de la muestra m .

El Margen de Construcción con datos operativos del 2021 es el siguiente:

$$EF_{grid,BM,2021} = 0,00 [t CO_2/MWh]$$

2.2.7. Paso 6. Cálculo del Margen Combinado (CM)

El factor de emisión del margen combinado representa un promedio ponderado de los márgenes OM y BM calculados, como se muestra en las siguientes ecuaciones.

a) Opción ex ante:

$$EF_{grid,CM,2019-2021} = EF_{grid,OM,2019-2021}W_{OM} + EF_{grid,BM,2021}W_{BM}$$

Dónde:

$EF_{grid,CM,2019-2021}$ Factor de emisión margen combinado en los años 2019-2021
($t CO_2/MWh$)

$EF_{grid,OM,2019-2021}$ Factor de emisión margen operación entre los años 2019-2021
($t CO_2/MWh$)

$EF_{grid,BM,2021}$ Factor de emisión margen de construcción en el año 2021
($t CO_2/MWh$)



Las ponderaciones W_{OM} - W_{BM} son dependientes de la tecnología del proyecto de energía renovable que se quiere certificar, la metodología indica que se puede utilizar los siguientes porcentajes para ciertas tecnologías.

Tabla Nro. 10 Valores del factor de emisión de CO₂ del margen combinado ex Ante

TERMOELÉCTRICA, HIDROELÉCTRICA	
W_{OM}	0,5
W_{BM}	0,5

EÓLICA, SOLAR	
W_{OM}	0,75
W_{BM}	0,25

$$EF_{grid,CM,2019-2021} = 0,1879 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

$$EF_{grid,CM,2019-2021} = 0,2818 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

El factor CM ex ante se lo debe utilizar para los proyectos en fase de validación, por lo tanto, no se necesita realizar un nuevo cálculo durante el periodo de acreditación y es por ello que es la ponderación de los últimos tres años.

b) Opción ex post

$$EF_{grid,CM,2021} = EF_{grid,OM,2021}W_{OM} + EF_{grid,BM,2021}W_{BM}$$

Donde:

$EF_{grid,CM,2021}$ Factor de emisión margen combinado al año 2021 ($t \text{ CO}_2/\text{MWh}$)

$EF_{grid,OM,2021}$ Factor de emisión margen operación en el año 2021 ($t \text{ CO}_2/\text{MWh}$)

$EF_{grid,BM,2021}$ Factor de emisión margen de construcción en el año 2021 ($t \text{ CO}_2/\text{MWh}$)

Las ponderaciones W_{OM} - W_{BM} son dependientes de la tecnología del proyecto de energía renovable que se quiere certificar, la metodología indica que se puede utilizar los siguientes porcentajes para ciertas tecnologías.

Tabla Nro. 11 Valores del factor de emisión de CO₂ del margen combinado ex Post

TERMOELÉCTRICA, HIDROELÉCTRICA	
W_{OM}	0,5
W_{BM}	0,5

EÓLICA, SOLAR	
W_{OM}	0,75
W_{BM}	0,25

$$EF_{grid,CM,2021} = 0,1477 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

$$EF_{grid,CM,2021} = 0,2215 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

El factor CM ex post debe utilizarse una vez que el proyecto empiece a desplazar generación en la red eléctrica y debe ser actualizado anualmente durante la fase de seguimiento.

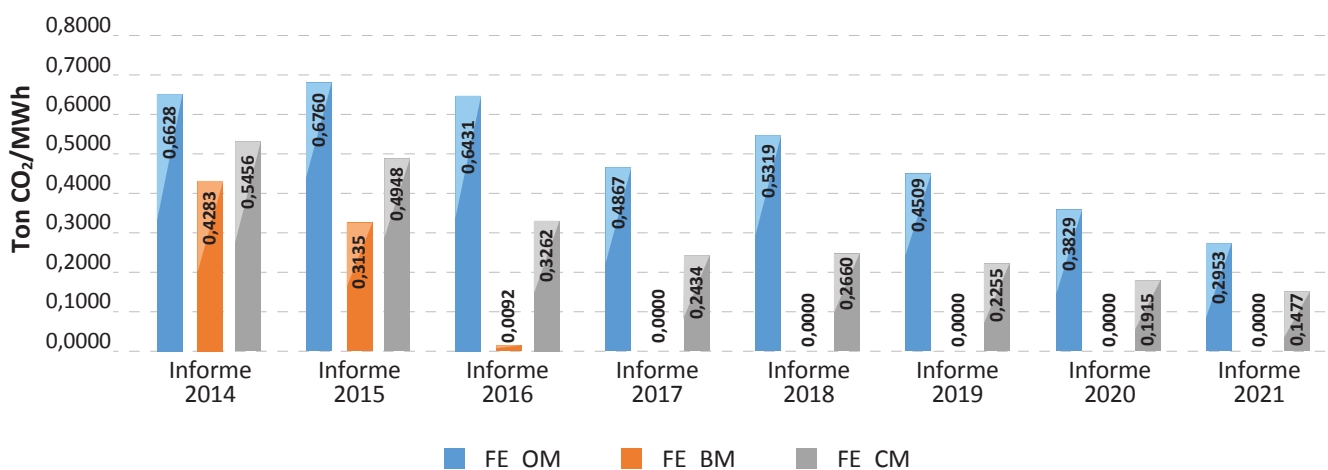


3. Evolución del factor emisión de CO₂

Este informe presenta el cálculo de los factores de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado dada la operación de los últimos tres años (2019, 2020, y 2021), considerando el ingreso de nuevas unidades de generación. Dicha información puede ser utilizada para realizar cálculos de las reducciones de emisiones de CO₂ de proyectos o estudios asociados a la eficiencia energética o ingreso de nuevas instalaciones de generación, verificando su impacto ambiental en la red eléctrica del país; así como también, se puede evidenciar las toneladas de CO₂ emitidas al ambiente por la utilización de combustibles fósiles en la generación de electricidad.

En esta sección se recopilan los resultados que se ha presentado en los informes del factor de emisión para los años 2014 al 2021; en la Gráfica Nro. 3 se presenta la evolución del factor de emisión de CO₂ anual del SNI en este periodo donde se muestra la participación del margen de operación (OM), el margen de construcción (BM), y el Margen Combinado (CM), para cada uno de los informes (escenario Ex Post).

Factor de emisión 2014 al 2021 (ex Post)

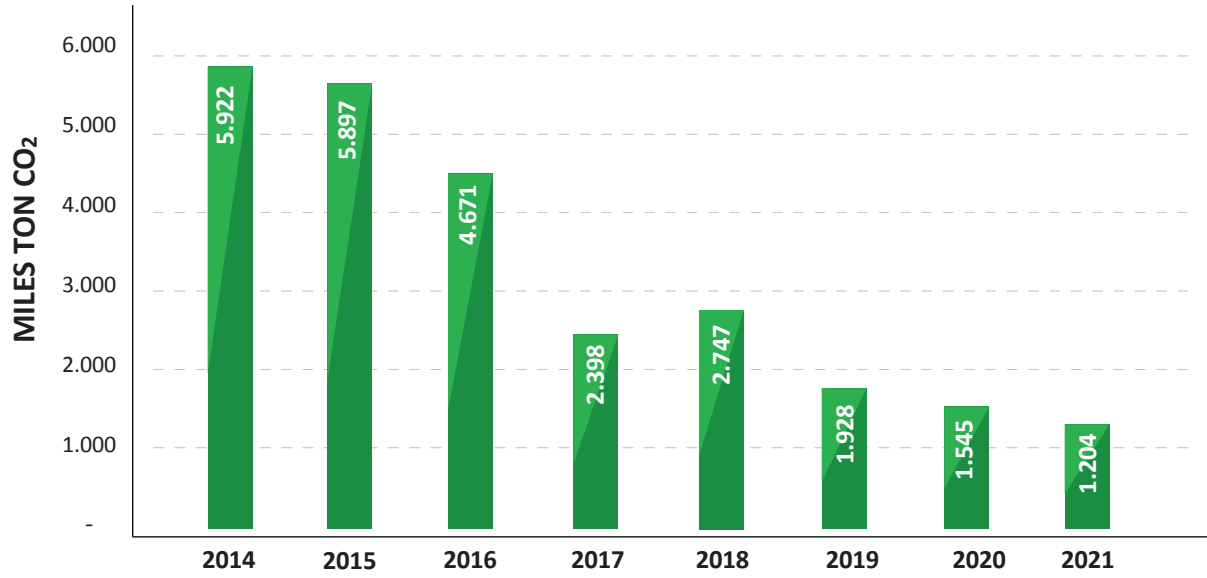


Gráfica Nro. 3 Evolución de los márgenes del Factor de Emisión. Fuente: (CENACE, 2022)

Del presente análisis que se ha realizado en los diferentes informes sobre el factor de emisión de CO₂ del SNI. En la Gráfica No. 4 se puede evidenciar las toneladas de CO₂ emitidas al ambiente por el abastecimiento de la demanda eléctrica del país, desde el año 2014 al 2021. Se identifica el incremento de la generación hidroeléctrica desde el año 2016 cuando empezaron a ingresar los grandes proyectos hidroeléctricos.



Miles de Toneladas de CO₂ emitidas al ambiente



Gráfica Nro. 4 Emisiones de CO₂ del 2014 al 2021. Fuente (CENACE, 2022)

4. Resultados

Del presente informe se deben destacar los resultados más relevantes que se han presentado:

El factor de emisión que se debe considerar para proyectos de generación renovable es el margen combinado CM, considerando los criterios de las opciones de Ex Post y Ex Ante detalladas en el paso 6 de la sección 2.2. Estos resultados son válidos para proyectos térmicos e hidroeléctricos:

$$\text{Factor Ex Ante } EF_{grid,CM,2019-2021} = 0,1879 \text{ tonCO}_2/\text{MWh}$$

$$\text{Factor Ex Post } EF_{grid,CM,2021} = 0,1477 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

Estos factores son aplicables para:

- Los proyectos que desplacen combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica del Sistema Nacional Interconectado; es decir, cuando una actividad de proyecto con energías renovables suministre electricidad a la red,
- Los proyectos que resultan en ahorros en el consumo de la energía eléctrica suministrada por la red (por ejemplo: proyectos de eficiencia energética, uso eficiente de energía)

Por otra parte, las emisiones de CO₂ en el cálculo de Huella de Carbono, corresponden proporcionalmente conforme se señala en la sección de resultados del Margen de Operación (OM). Esto aplica para el Sistema Nacional Interconectado, en el desarrollo de los siguientes estudios:

- Estimación de GEI por consumo de energía eléctrica en el año de operación,
- Inventarios de emisiones de GEI en el año de operación y,
- Cálculo de la huella de carbono empresarial o corporativa, mediante la cual se puede cuantificar las emisiones de GEI de una organización.



Referencias

- CENACE. (2022). Matriz Factor Emisión_CO2_SNI_2021. *Factor de Emisión de CO2 2021*. Ecuador.
- IPCC. (2013). *Bases físicas*. Organización Mundial de Meteorológica. Obtenido de [https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_fg.html#:~:text=Greenhouse%20Gas%20\(GHG\),atmosphere%20itself%2C%20and%20by%20clouds](https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_fg.html#:~:text=Greenhouse%20Gas%20(GHG),atmosphere%20itself%2C%20and%20by%20clouds).
- UNFCCC. (2018). *TOOL07*. Obtenido de Tool to calculate the emission factor for an electricity system: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-07-v7.0.pdf>
- UNFCCC. (2021). *Clean Development Mechanism Methodology Booklet*. Boon: UNFCCC.



GUILLERMO LASSO
PRESIDENTE

**Ministerio de
Energía y Minas**

**Ministerio de Ambiente, Agua y
Transición Ecológica**

**Operador Nacional de
Electricidad**

**Agencia de Regulación y
Control de Energía y Recursos
Naturales No Renovables**