



Factor de **emisión de CO₂**

del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador

INFORME 2022

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

Ministerio de Energía y Minas


**Gobierno
del Ecuador**
GUILLERMO LASSO
PRESIDENTE

Factor de **emisión de CO₂**

del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador

INFORME 2022



El Gobierno del Ecuador, a través del Ministerio de Energía y Minas, ratifica su firme compromiso de hacer frente al Cambio Climático, incorporando políticas que continúen impulsando el desarrollo de generación eléctrica por medio de energías renovables; la eficiencia energética en todos los campos; y, la introducción de tecnologías limpias en el uso de la energía. Además, bajo el liderazgo del presidente Guillermo Lasso, trabajamos de forma permanente en la implementación de políticas alineadas con los ODS definidos, encaminadas en asegurar una mayor equidad, accesibilidad y resiliencia en el sector energético ecuatoriano.

Fernando Santos Alvite
Ministro de Energía y Minas

Factor de **emisión de CO₂**

del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador

INFORME 2022



Uno de los más trascendentales hitos del Gobierno Nacional, liderado por el presidente Guillermo Lasso Mendoza, es haber elevado la Transición Ecológica como política pública, en ese sentido, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica trabaja arduamente en promover proyectos y políticas de desarrollo sostenible compatibles con la conservación de nuestra biodiversidad.

Contar con el factor de emisión del Sistema Nacional Interconectado, facilitará a instituciones públicas y privadas calcular su huella de carbono por el uso de electricidad y medir el impacto de sus actividades, así como promover la implementación de acciones que contribuyan a la transición ecológica, en beneficio del ambiente y de las futuras generaciones. Ecuador avanza hacia un desarrollo bajo en emisiones y resiliente al clima.

José Antonio Dávalos Hernández
Ministro del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

Factor de emisión de CO₂

del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador

INFORME 2022



El factor de emisión de CO₂ es un indicador clave para la mitigación del cambio climático, que nos permite evaluar la reducción de emisiones de CO₂ asociadas a la producción de electricidad en una red eléctrica con recursos renovables, así como, de la implementación de la eficiencia energética. Es por ello que trabajamos en mejorar la calidad de la cuantificación de contaminantes atmosféricos bajo principios de transparencia, exactitud, comparabilidad y consistencia, a fin de reducir la incertidumbre al preparar los inventarios de gases de efecto invernadero del sector, al igual que, en los mecanismos de seguimiento de las NDC, resultantes del compromiso que tiene el país como suscriptor del Acuerdo de París.

Carlos Marcelo Jaramillo Carrera
Viceministro de Electricidad y Energía Renovable

Factor de emisión de CO₂

del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador
INFORME 2022

MINISTRO DE ENERGÍA Y MINAS

Fernando Santos Alvite

VICEMINISTRO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE

Marcelo Jaramillo

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. Jaime Guerrero
Ministerio de Energía y Minas
Ing. Paul Melo e Ing. Guillermo Fernandez
Ministerio de Ambiente, Agua
y Transición Ecológica
Ing. Andrea Torres e Ing. Andrés Mera
Agencia de Regulación y Control de Energía
y Recursos Naturales No Renovables
Ing. Verónica Cárdenas
Operador Nacional de Electricidad, CENACE

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

José Xavier Arévalo H.
Dirección de Comunicación Social
Ministerio de Energía y Minas

2023

© Ministerio de Energía y Minas
Av. República de El Salvador N36-64
y Suecia
Código Postal: 170135 / Quito - Ecuador
Teléfono: 593-2 3976000

La reproducción parcial o total de esta publicación, en cualquier forma y por cualquier medio mecánico o electrónico, está permitida siempre y cuando sea autorizada por los editores y se cite correctamente la fuente.

Ministerio de Energía y Minas



GUILLERMO LASSO
PRESIDENTE

La Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de gases de efecto invernadero – CTFE el 3 de agosto de 2023 emitió el informe de conformidad al factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador para la estadística 2022 y recomendó su aprobación y publicación.

Contenido

Introducción.....	7
Definiciones.....	7
Resumen Ejecutivo.....	8
1. Método de cálculo del FE CO₂ de la red eléctrica de Ecuador.....	9
1.1. Aspectos considerados para la realización del cálculo.....	10
2. Desarrollo del cálculo del factor de emisión de CO₂ del SNI.....	10
2.1. Parámetros del cálculo.....	10
2.2. Procedimiento de Línea Base.....	11
2.2.1. Paso 1. Identificación del sistema eléctrico relevante.....	11
2.2.2. Paso 2. Unidades de generación aisladas de la red eléctrica.....	11
2.2.3. Paso 3. Selección del método de cálculo del Margen de Operación (OM).....	11
2.2.4. Paso 4. Parte 1: Método seleccionado para el Cálculo del factor de Margen de Operación OM.....	12
2.2.5. Paso 4. Parte 2: Resultados del Cálculo del factor de Margen de Operación OM.....	16
2.2.6. Paso 5. Cálculo del factor de Margen de Construcción (BM).....	17
2.2.7. Paso 6. Cálculo del factor de Margen Combinado (CM).....	19
2.3. Evolución de las emisiones de CO ₂ en el SNI.....	21
3. Factor de emisión por el uso de electricidad en el SNI para cálculo de huella de carbono.....	22
3.1. Descripción de la Metodología.....	22
3.2. Desarrollo de la estimación del factor de emisión para huella de carbono del SNI.....	23
3.2.1. Paso 1. Definición de alcance del factor.....	23
3.2.2. Paso 2. Definición de la información a ser utilizada y factores de emisión.....	23
3.2.3. Paso 3. Estimación del factor.....	24
3.3. Resultados obtenidos para el 2022.....	25
4. Síntesis de resultados y aplicabilidad.....	26
4.1. Factor de emisión del SNI de Ecuador aplicable en proyectos.....	26
4.2. Factor de emisión del SNI de Ecuador aplicable para Inventarios de GEI o Huella de Carbono Corporativa.....	27
Referencias.....	28

Introducción

El Gobierno Ecuatoriano ha ratificado su firme compromiso para hacer frente al Cambio Climático, incorporando políticas que permitan el desarrollo de energías limpias y la eficiencia energética en todos campos. Para lograr cumplir los objetivos propuestos el Ministerio de Energía y Minas (MEM) y el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) trabajan en la implementación de medidas de mitigación y monitoreo de los parámetros ambientales. En este sentido, desde el 2011 se crea la Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de gases de efecto invernadero (CTFE), encargada de emitir el informe del Factor de Emisión de Dióxido de Carbono (CO₂) del Ecuador Continental.

En este contexto, el Operador Nacional de Electricidad CENACE como ente técnico responsable de la actualización anual del cálculo del Factor de

Emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador Continental ha venido recopilado la información del último año de operación del sistema eléctrico ecuatoriano (2022) con la finalidad de actualizar del Factor de Emisión de CO₂, trabajado que se ha realizado desde el año 2010.

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 “Tool 07 - 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 catorceava edición de la publicación Compendio Metodológico del Mecanismo de Desarrollo Limpio (UNFCCC, 2022).



Definiciones

• **Energías Renovables No Convencionales (ERNC):** conforme consta en la Regulación ARCERNR 005/21, en su artículo 10 se indica “se considerarán como energías renovables no convencionales a las siguientes tecnologías, conforme a lo previsto en el artículo 3 de la LOSPEE y el artículo 22 del RGLOSPEE: solar, eólica, biomasa, biogás, geotérmica, mareomotriz y centrales hidroeléctricas de hasta 100 MW de capacidad instalada”, por lo que su factor de emisión se considera 0 t CO₂/MWh.

• **Factor de emisión de CO₂ (FE):** 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)

• **Gases de Efecto Invernadero (GEI):** 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)

• **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).

• **Generación Bruta:** Representa el total de generación de la unidad, incluido los servicios auxiliares. En el presente informe se utiliza la

Generación Bruta para determinar el factor de emisión por el uso de electricidad en el SNI para cálculo de huella de carbono.

• **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)

• **Lambda:** Está determinado por número de horas en el año en que la generación de bajo costo abasteció la demanda de potencia por sí sola.

• **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).

• **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)

• **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.
- **MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio):** Establecido para ejecución de proyectos bajo el Protocolo de Kyoto, que tiene como objetivo alcanzar una efectiva contabilización de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en países en desarrollo. En el Ecuador existen aún proyectos registrados como MDL, los cuales por metodología deben quedar por fuera del cálculo del factor de emisión.
- **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.
- **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 (SNT):** 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.



Resumen Ejecutivo

La Comisión Técnica de Determinación de Factores de Emisión de gases de efecto invernadero (CTFE) es responsable de calcular el factor de emisión (FE) de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado (SNI) en el contexto de la mitigación del cambio climático en el país. Este cálculo es de gran importancia para los proponentes y ejecutores de proyectos de generación eléctrica renovable y eficiencia energética; así como, para el monitoreo de la huella de carbono de las empresas/usuarios que requieren evaluar los inventarios corporativos. La CTFE alineada a las metodologías por la UNFCCC, ha analizado los niveles de cálculo y herramientas disponibles para la estimación del FE de una red eléctrica. El factor de emisión

presentado en este documento utiliza la herramienta “Tool 07 v7.0” publicada por la UNFCCC en conjunto con las estadísticas nacionales del año 2022 así, como la información de los nuevos proyectos de generación incorporados del SNI. Es importante destacar que el FE es un indicador clave en la lucha contra el cambio climático ya que permite medir la cantidad de emisiones de CO₂ asociadas a la producción de electricidad en una red eléctrica. Además, evalúa la efectividad de las políticas de mitigación implementadas por el país y las empresas; y, facilita la toma de decisiones informadas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Factor de emisión del SNI de Ecuador aplicable en proyectos

En el presente estudio se ha recopilado la estadística del SNI para el año 2022, con la cual se realizó el cálculo de los Márgenes de Operación, Construcción y Combinado para las opciones Ex Ante y Ex Post; el detalle del cálculo se encuentra en la sección 2.2. Para cuantificar el CO₂

resultante de un año de operación de un proyecto o iniciativa, se utiliza el Margen Combinado Ex post, mismo que se encuentra expresado por la suma de la ponderación de los otros márgenes, tomando en consideración lo siguiente:

$$FE_{grid,CM,2022} = FE_{grid,OM,2022}W_{OM} + FE_{grid,BM,2022}W_{BM} \quad (1)$$

a) FE de la red para proyectos eólicos y solares

Los factores de ponderación W conforme a la metodología, serían de 0,75 y 0,25 para el margen de operación y de construcción, respectivamente. Dando como resultado un margen combinado o factor de emisión de la red de 0,3761 t CO_{2-eq}/MWh.

b) FE de la red para otros proyectos

El factor de ponderación W conforme a la metodología, sería de 0,50 tanto para el margen

de operación como para el de construcción. Dando como resultado un margen combinado o factor de emisión de la red de 0,2508 t CO_{2-eq}/MWh.

Estos factores de emisión deben ser utilizados para cuantificar los impactos resultantes de la incorporación de proyectos nuevos en la red eléctrica, tomando en cuenta su tecnología; así como, para cuantificar los impactos obtenidos de ahorro en el consumo de la energía eléctrica suministrada por la red (eficiencia energética).

Factor de emisión del SNI de Ecuador aplicable para Inventarios de GEI o Huella de Carbono Corporativa

Para el cálculo de este factor de emisión se toma en cuenta las metodologías internacionales como la del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol por sus siglas en inglés) y las Normas ISO 14064-1:2018, ISO 14064-2:2019, ISO 14064-3:2019 y ISO 14067:2018 su respectiva

adopción técnica, Normas Técnicas Ecuatorianas: NTE INEN-ISO 14064, partes 1, 2 y 3, NTE INEN-ISO 14067, para el presente informe se está tomando en consideración lo establecido por el GHG Protocol, dando los siguientes resultados:

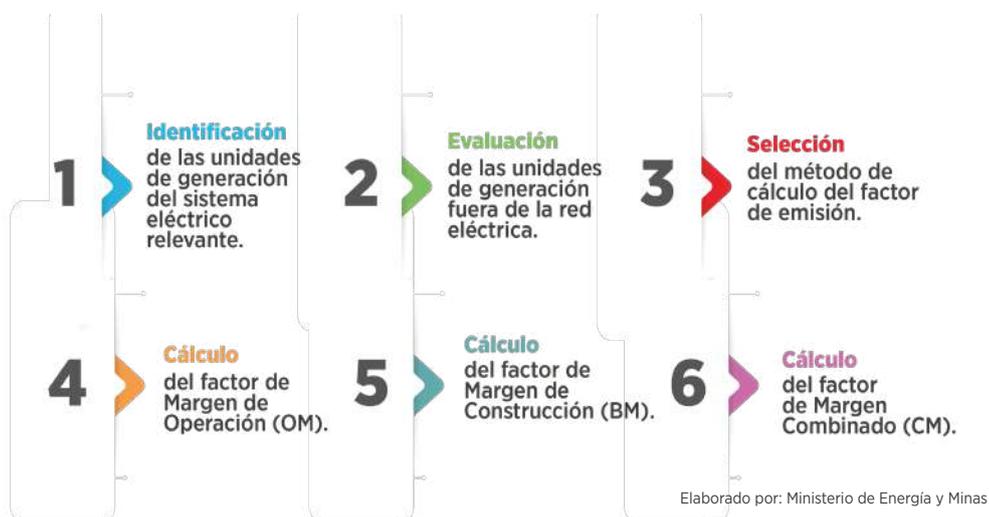
$$FE_{H,2022} = \frac{Emisiones\ Totales\ de\ CO_2\ de\ la\ Generación_{2022}}{Electricidad\ Generada_{2022}} \quad (2)$$

Para la estadística del 2022 se tiene el siguiente Factor de Emisión: 0,0920 t CO_{2eq}/MWh



1. Método de cálculo del FE CO₂ de la red eléctrica de Ecuador

Esquematizando la herramienta metodológica de la UNFCCC se puede establecer los siguientes pasos a seguir para el cálculo del factor de emisión.



1.1. Aspectos considerados para la realización del cálculo

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

- La herramienta metodológica de la UNFCCC contempla una red eléctrica interconectada, es por ello que deben quedar por fuera los sistemas eléctricos aislados¹.
- 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 presenta una descripción de la herramienta metodológica de las UNFCCC, tomando en cuenta las condiciones del sistema eléctrico ecuatoriano que permite calcular 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): Permite establecer 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
$FE_{grid.BM}$	tCO_2/MWh	Factor de emisión de CO ₂ para el Margen de construcción en el año “j”
$FE_{grid.OM}$	tCO_2/MWh	Factor de emisión de CO ₂ para el Margen de operación en el año “j”
$FE_{grid.CM}$	tCO_2/MWh	Factor de emisión de CO ₂ para el Margen combinado en el año “j”

Fuente: (UNFCCC, 2018)

¹El presente documento solo contempla el Sistema Nacional Interconectado.

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 continental².

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 lo son:

- 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.

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

	Despacho OM	Simple ajustado OM	Simple OM	Promedio OM	Margen Construcción
Generación de energía por planta		✓	✓		✓
Consumo de combustible por planta		✓	✓		✓
Generación de energía agregada			✓	✓	
Consumo de combustible agregado			✓	✓	
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					✓

Fuente: (UNFCCC, 2018)

² 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 90,1% en promedio. 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 desplazará 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	Low cost/ must run (1)	No Low cost/ must run (2)	Total	% low cost	% No low cost
2018	21.023,55	3.715,19	24.738,73	84,98%	15,02%
2019	24.877,04	2.605,36	27.482,40	90,52%	9,48%
2020	24.820,31	2.104,00	26.924,31	92,19%	7,81%
2021	26.305,35	1.729,41	28.034,76	93,83%	6,17%
2022	25.359,88	3.329,15	28.689,03	88,40%	11,60%
	122.386,13	13.483,11	135.869,24	90,08%	9,92%

Fuente: (CENACE, 2023)

2.2.4. Paso 4. Parte 1: Método seleccionado para el Cálculo del factor de Margen de Operación OM

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

$$FE_{grid,OM-adj,y} = (1-\lambda_y) \frac{\sum_m EG_{m,y} \times FE_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}} + \lambda_y \frac{\sum_k EG_{k,y} \times FE_{EL,k,y}}{\sum_k EG_{k,y}} \quad (3)$$

Donde:

- $FE_{grid,OM-adj,y}$ 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)
- $FE_{EL,m,y}$ Factor de emisión de las unidades de generación “m” (generación no renovable convencional y no convencional) en el año “y” (t CO₂/MWh)
- $FE_{EL,k,y}$ Factor de emisión de las unidades de generación “k” (generación de bajo costo) en el año “y” (t CO₂/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:

base de la generación eléctrica neta de cada unidad de potencia y el factor de emisión para cada una de las unidades de generación como muestra la siguiente ecuación:

Opción A1: Para este caso se realiza el cálculo en

$$FE_{EL,m,y} = \frac{\sum_i FC_{i,m,y} \times NCV_{i,y} \times FE_{CO_2,i,y}}{EG_{m,y}} \quad (4)$$

Donde:

- FE_{EL,m,y}*** Factor de emisión de CO₂ de las unidades de generación “*m*” en el año “*y*” (*t CO₂/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)
- FE_{CO₂,i,y}*** Factor de emisión de CO₂ por tipo de combustible “*i*” en el año “*y*” (*t CO₂/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:

$$FE_{EL,m,y} = \frac{FE_{CO_2,m,i,y} \times 3.6}{\eta_{m,y}} \quad (5)$$

Donde:

$FE_{EL,m,y}$ Factor de emisión de CO₂ de las unidades de generación en el año “y” (t CO₂/MWh)

$FE_{CO_2,m,i,y}$ Factor de emisión de CO₂ promedio del combustible “i” utilizado por la panta “m” en el año “y” (t CO₂/TJ)

$\eta_{m,y}$ Eficiencia de conversión promedio 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:

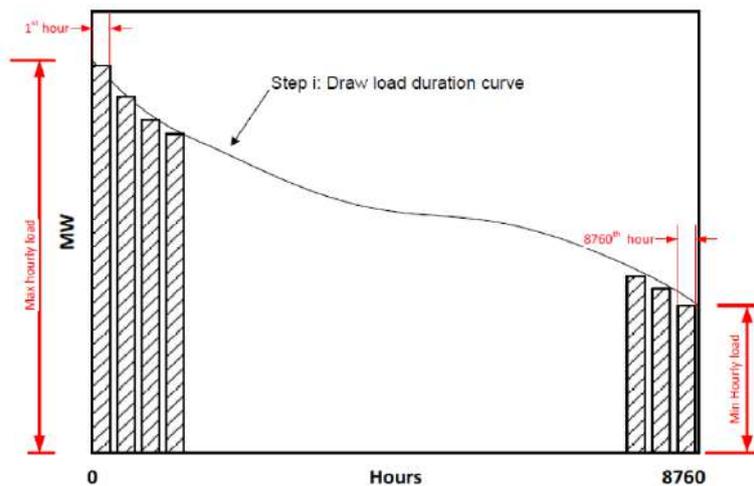
$$\lambda_y = \frac{\text{Number of hours low-cost/must-run are on the margin in year "y"}}{8760 \text{ hours per year}} \quad (6)$$

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

mayor a menor, de tal forma de establecer la mínima potencia del año y la máxima potencia del año.

1. Se establece la curva de duración de carga, apilamos las potencias horarias presentados durante los 8.760 periodos horarios del año de

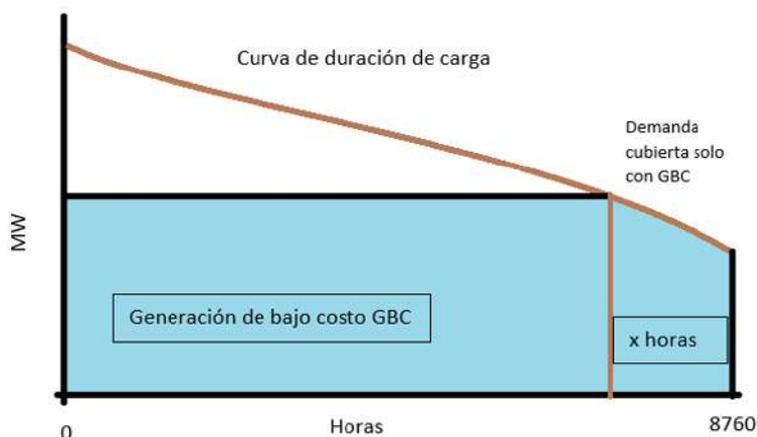
2. Se establece la suma de la generación de todas las unidades de bajo costo.



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

3. Se establece el área que tendía 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 Generación de Bajo Costo (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_2022.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_2022.xlsx”.

$NCV_{i,y}$ se consideró la información disponible sobre Poder Calórico Neto de la Tabla 1.2. del Capítulo 1 de las Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006) 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/Gg)
Fuel oil	40,1
Diésel	42,5
Gas Natural	46,5
Nafta	42,5
Residuo	40,1
Bunker	40,1

Fuente: IPCC 2006

$FE_{CO_2,i,y}$ 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 valor por defecto, los criterios para seleccionar los factores de emisión de los combustibles son similares a los indicados para el Poder Calorífico Neto como se indica en la Tabla Nro. 5.

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

Combustible	Valor (kg CO ₂ /TJ)
Diesel	74.100
Fuel Oil	77.400
Petróleo	73.300
Gasolina	69.300
GLP	63.100
Gas Natural	56.100
Bagazo	100.000
Biogás	54.600

Fuente: IPCC 2006

2.2.5. Paso 4. Parte 2: Resultados del Cálculo del factor de 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 2022.

Tabla Nro. 6. Resultados del Margen de Operación (OM) para el 2022

	Parámetros	Valor	Unidad
Lambda	λ_{2022}	0,370	
Generadores de no bajo costo	$\sum_m EG_{m,2022} \times FE_{EL,m,2022}$	2.648.135	tCO ₂
	$\sum_m EG_{m,2022}$	3.329.151	MWh
Generadores de bajo costo	$\sum_k EG_{k,2022} \times FE_{EL,k,2022}$	-	tCO ₂
	$\sum_k EG_{k,2022}$	25.359.882	MWh
Factor de emisión de CO ₂ para el Margen de operación	$FE_{grid,OM-adj,2022}$	0,5015	tCO ₂ / MWh

Fuente: (CENACE, 2023)

El factor de emisión ex post se determina con los datos del año 2022.

$$FE_{grid,OM-adj,ex\ post\ 2022} = 0,5015 [tCO_2/MWh]$$

Datos para el cálculo del factor de emisión ex Ante

Para el factor de emisión Ex Ante se considera los datos de margen de operación de los últimos tres, dando como resultado los siguiente:

	2020	2021	2022	
$FE_{grid,OM-adj,y} [tCO_2/MWh]$	0,3829	0,2953	0,5015	
	2020	2021	2022	Total
Generación anual (GWh)	26.924,31	28.034,76	28.689,03	83.648,11
Ponderación	32,2%	33,5%	34,3%	

$$FE_{grid,OM-adj,ex\ ante\ 2020-2022} = 0,3942 [tCO_2/MWh]$$

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

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

- a) 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 la Generación Anual de Electricidad para un conjunto de 5 unidades (AEG SET 5-units); en base a su generación se estima el porcentaje de participación en el año de estudio, para este cálculo representan el 0,21% de la generación total de la red eléctrica para el año de operación 2022, tal como muestra la Tabla Nro. 7.

Tabla Nro. 7. Conjunto de las 5 unidades de generación recientemente ingresadas

Unidad	Tecnología	Inicio de Operación	Generación Neta (MWh)	%	% acumulado
SABANILLA U2	Hidroelectrica	1/9/22	8.969,77	0,03%	0,03%
SABANILLA U1	Hidroelectrica	1/9/22	8.510,55	0,03%	0,06%
SARAPULLO U3	Hidroelectrica	1/3/22	12.334,15	0,04%	0,10%
SARAPULLO U2	Hidroelectrica	2/2/22	14.082,46	0,05%	0,15%
SARAPULLO U1	Hidroelectrica	2/2/22	16.046,88	0,06%	0,21%
Generación Anual de Electricidad (5 unidades recientes)			59.943,82	0,21%	0,21%

b) Se establece un conjunto de las unidades que representan el 20% de la generación del último año de operación (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. 8 se presenta este conjunto de unidades.

Tabla Nro. 8. Conjunto de las unidades que conforman el 20% de la generación eléctrica del 2022

Unidad	Tecnología	Inicio de Operación	Generación Neta (MWh)	%	% acumulado
SABANILLA U2	Hidroeléctrica	1/9/22	8.969,77	0,03%	0,03%
SABANILLA U1	Hidroeléctrica	1/9/22	8.510,55	0,03%	0,06%
SARAPULLO U3	Hidroeléctrica	1/3/22	12.334,15	0,04%	0,10%
SARAPULLO U2	Hidroeléctrica	2/2/22	14.082,46	0,05%	0,15%
SARAPULLO U1	Hidroeléctrica	2/2/22	16.046,88	0,06%	0,21%
CHALPI U2	Hidroeléctrica	1/4/21	-	0,00%	0,21%
CHALPI U1	Hidroeléctrica	1/4/21	48.525,43	0,17%	0,38%
VINDOBONA U1	Hidroeléctrica	1/2/21	2.092,55	0,01%	0,39%
EL LAUREL U1	Hidroeléctrica	1/11/20	7.681,80	0,03%	0,41%
DUE U3	Hidroeléctrica	1/10/20	76.285,82	0,27%	0,68%
HIDROPERLABI U1	Hidroeléctrica	12/7/20	14.983,20	0,05%	0,73%
HIDROPERLABI U2F	Hidroeléctrica	12/7/20	-	0,00%	0,73%
LA CALERA U1	Hidroeléctrica	1/8/19	7.380,97	0,03%	0,76%
LA CALERA U2	Hidroeléctrica	1/8/19	-	0,00%	0,76%
LA CALERA U3	Hidroeléctrica	1/8/19	-	0,00%	0,76%
SERMAA U1	Hidroeléctrica	1/8/19	388,89	0,00%	0,76%
RIO VERDE CHICO U1	Hidroeléctrica	1/3/19	78.939,15	0,28%	1,03%
RIO VERDE CHICO U2	Hidroeléctrica	1/3/19	-	0,00%	1,03%
ISIMANCHI U1	Hidroeléctrica	1/12/18	-	0,00%	1,03%
ISIMANCHI U2	Hidroeléctrica	1/12/18	-	0,00%	1,03%
ISIMANCHI U3	Hidroeléctrica	1/12/18	-	0,00%	1,03%
PUSUNO 1 U1	Hidroeléctrica	1/12/18	181.600,69	0,63%	1,67%
PUSUNO 1 U2	Hidroeléctrica	1/12/18	-	0,00%	1,67%
DELSITANISAGUA U1	Hidroeléctrica	1/9/18	216.359,12	0,75%	2,42%
DELSITANISAGUA U2	Hidroeléctrica	1/9/18	264.539,84	0,92%	3,34%
DELSITANISAGUA U3	Hidroeléctrica	1/9/18	274.274,90	0,96%	4,30%
NORMANDIA U1	Hidroeléctrica	1/7/18	358.256,21	1,25%	5,55%
NORMANDIA U2	Hidroeléctrica	1/7/18	-	0,00%	5,55%
NORMANDIA U3	Hidroeléctrica	1/7/18	-	0,00%	5,55%
NORMANDIA U4	Hidroeléctrica	1/7/18	-	0,00%	5,55%
NORMANDIA U5	Hidroeléctrica	1/7/18	-	0,00%	5,55%

PALMIRA U1	Hidroeléctrica	1/12/17	65.641,87	0,23%	5,78%
PALMIRA U2	Hidroeléctrica	1/12/17	-	0,00%	5,78%
SIGCHOS U1	Hidroeléctrica	1/8/17	128.658,28	0,45%	6,22%
SIGCHOS U2	Hidroeléctrica	1/8/17	-	0,00%	6,22%
SIGCHOS U3	Hidroeléctrica	1/8/17	-	0,00%	6,22%
DUE U1	Hidroeléctrica	1/6/17	351.065,53	1,22%	7,45%
DUE U2	Hidroeléctrica	1/6/17	-	0,00%	7,45%
CORAZON U01	Hidroeléctrica	1/3/17	4.566,23	0,02%	7,46%
URAVIA U01	Hidroeléctrica	1/3/17	4.942,62	0,02%	7,48%
JIVINO 1 MC U3	Térmico Diesel	1/12/16	-	0,00%	7,48%
HIDROVICTORIA U1	Hidroeléctrica	4/11/16	36.643,25	0,13%	7,61%
HIDROVICTORIA U2	Hidroeléctrica	4/11/16	-	0,00%	7,61%
COCA CODO SINCLAIR U5	Hidroeléctrica	8/10/16	-	0,00%	7,61%
COCA CODO SINCLAIR U6	Hidroeléctrica	8/10/16	-	0,00%	7,61%
COCA CODO SINCLAIR U7	Hidroeléctrica	8/10/16	-	0,00%	7,61%
COCA CODO SINCLAIR U8	Hidroeléctrica	8/10/16	-	0,00%	7,61%
ALAZÁN U1	Hidroeléctrica	16/9/16	16.025,05	0,06%	7,66%
TOPO U1	Hidroeléctrica	12/9/16	182.549,13	0,64%	8,30%
TOPO U2	Hidroeléctrica	12/9/16	-	0,00%	8,30%
COCA CODO SINCLAIR U1	Hidroeléctrica	19/3/16	6.828.151,50	23,80%	32,10%
Generación Anual de Electricidad (AEG SET->= 20%)			9.209.495,84	32,10%	32,10%

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 2022 es el siguiente:

$$FE_{grid,BM,2022} = 0,00 [tCO_2/MWh]$$

2.2.7. Paso 6. Cálculo del factor de 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:

$$EF_{grid,CM,2020-2022} = EF_{grid,OM,2020-2022}W_{OM} + EF_{grid,BM,2022}W_{BM} \quad (7)$$

Donde:

- $EF_{grid,CM,2020-2022}$ Factor de emisión margen combinado en los años 2020-2022 ($t\ CO_2/MWh$)
- $EF_{grid,OM,2020-2022}$ Factor de emisión margen operación entre los años 2020-2022 ($t\ CO_2/MWh$)
- $EF_{grid,BM,2022}$ Factor de emisión margen de construcción en el año 2022 ($t\ CO_2/MWh$)

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. 9 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

$$FE_{grid,CM,2020-2022} = 0,1971\ t\ CO_2/MWh$$

$$FE_{grid,CM,2020-2022} = 0,2957\ t\ CO_2/MWh$$

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:

$$FE_{grid,CM,2022} = FE_{grid,OM,2022}W_{OM} + FE_{grid,BM,2022}W_{BM} \quad (8)$$

Donde:

- $FE_{grid,CM,2022}$ Factor de emisión margen combinado al año 2022 ($t\ CO_2/MWh$)
- $FE_{grid,OM,2022}$ Factor de emisión margen operación en el año 2022 ($t\ CO_2/MWh$)
- $E_{grid,BM,2022}$ Factor de emisión margen de construcción en el año 2022 ($t\ CO_2/MWh$)

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 Post

Termoeléctrica, Hidroeléctrica	
W _{OM}	0,5
W _{BM}	0,5

Eólica, Solar	
W _{OM}	0,75
W _{BM}	0,25

$$FE_{grid,CM,2022} = 0,2508 \text{ t CO}_2/MWh$$

$$FE_{grid,CM,2022} = 0,3761 \text{ t CO}_2/MWh$$

El factor CM ex post debe utilizarse una vez que el proyecto empiece a desplazar generación en la red

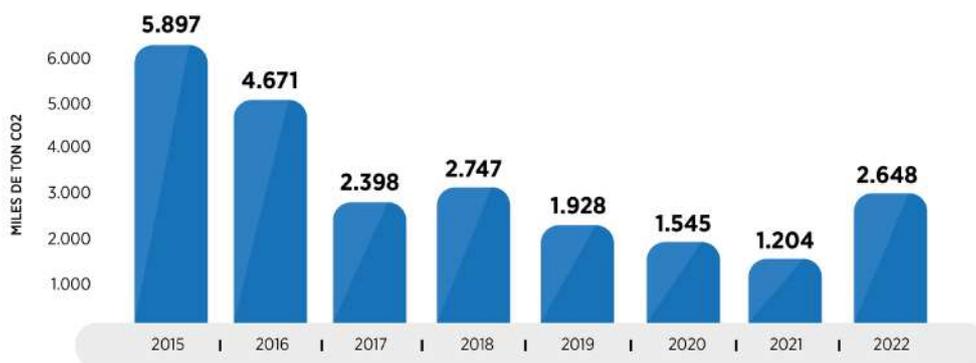
eléctrica y debe ser actualizado anualmente durante la fase de seguimiento.

2.3. Evolución de las emisiones de CO₂ en el SNI

Este informe presentó el cálculo de los factores de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado dada la operación del año 2022, 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.

Del presente análisis que se ha realizado en los diferentes informes sobre el factor de emisión de CO₂ del SNI. En la siguiente gráfica se puede evidenciar las toneladas de CO₂ emitidas al ambiente por el abastecimiento de la demanda eléctrica del país, desde el año 2015 al 2022. Se identifica el incremento de la generación hidroeléctrica desde el año 2016 cuando empezaron a ingresar los grandes proyectos hidroeléctricos.

Gráfica Nro. 3 Emisiones de CO₂ del 2015 al 2022 en el SNI



Fuente: (CENACE, 2023)



3. Factor de emisión por el uso de electricidad en el SNI para cálculo de huella de carbono

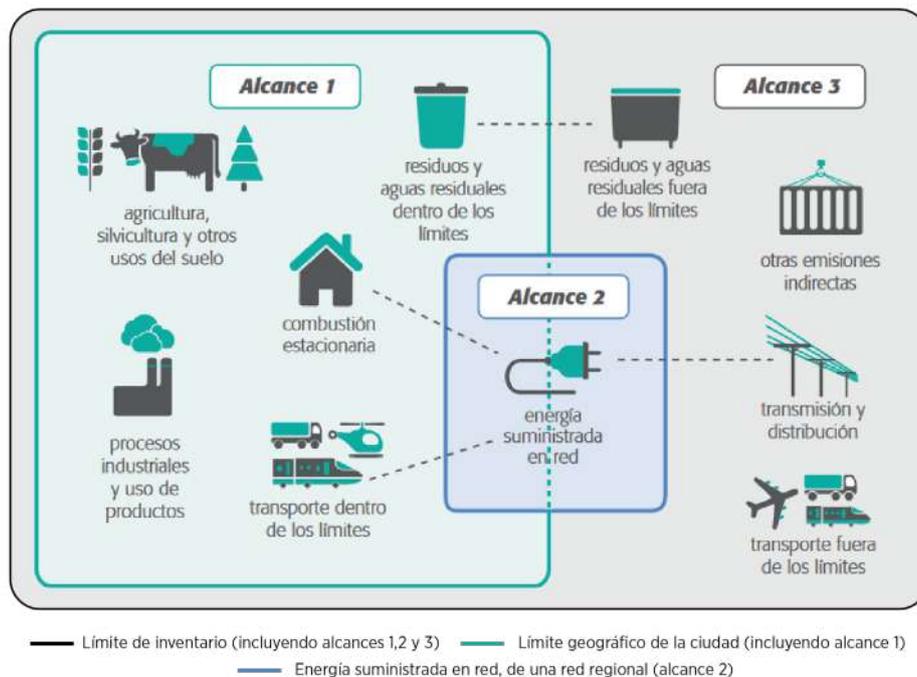
3.1. Descripción de la Metodología

El GHG Protocol lanza su primer estándar en 1998, se establece como un estándar voluntario internacional para la contabilización y generación de reportes de GEI para ayudar a que los gobiernos de todos los niveles diseñen, evalúen y reporten la cantidad de GEI y sus progresos en la reducción de las mismas.

El desarrollo de un inventario de GEI es el primer y más crítico paso hacia el establecimiento de un objetivo de mitigación. Los inventarios de GEI brindan información de la magnitud de las emisiones generadas en ciudades, corporaciones y productos. El siguiente gráfico muestra los diferentes alcances proporcionados por el GHG Protocol para estimar las emisiones; en el cual, **principalmente se pueden identificar:**

- **Alcance 1:** Emisiones directas que se producen dentro de los límites de la organización por ejemplo las emisiones estacionarias generadas por calderas dentro de una fábrica.
- **Alcance 2:** Emisiones indirectas producidas en el proceso de generación de electricidad comprada con una compañía.
- **Alcance 3:** Emisiones indirectas generadas en consecuencia de las actividades de la compañía. Estas no ocurren ni están en los límites o control de la compañía por lo que su reporte es opcional. Un ejemplo de estas pueden ser las emisiones por la compra de materiales.

Gráfica 4. Proceso de construcción del factor de emisión por el uso de electricidad en el SNI para cálculo de huella de carbono



En base a las competencias de la CTFE, esta sección del informe se enfocará en los pasos a seguir para la construcción del factor de emisión por uso de

electricidad en base a los lineamientos del GHG Protocol – Scope 2³.

³ El Scope 2 o Alcance 2 se refiere a las emisiones indirectas generadas por el uso de la electricidad dentro de una organización.

3.2. Desarrollo de la estimación del factor de emisión para huella de carbono del SNI

3.2.1. Paso 1. Definición de alcance del factor

La aplicación de este factor tiene como alcance todas las áreas de cobertura del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, adoptando un método de **estimación basado en ubicación**⁴ a nivel de Ecuador Continental.

Consideraciones iniciales para la aplicación de la metodología GHG Protocol



• Los sistemas eléctricos aislados del SNI no se consideran dentro de la estimación, **entre estos se encuentran:**

- › Isla Puna.
- › Región Insular – Islas 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.



Las empresas que funcionen sistemas eléctricos aislados, deben considerar las emisiones producidas en generación eléctrica en alcance 1 como fuentes estacionarias de combustión.



Debido a que el factor basado en ubicación no considera transacciones de empresas privadas, las empresas que funcionen como autoprodutores de energía con conexión al SNI deben estimar las reducciones de emisiones en base a su respectivo caso mencionado en la metodología.



No se consideran las importaciones de electricidad desde Colombia y Perú para la estimación del factor de emisión.

3.2.2. Paso 2. Definición de la información a ser utilizada y factores de emisión

Se utilizará la información reportada de consumo de combustibles a la Agencia de Regulación y Control de la Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNRR) por las empresas parte del Sistema Nacional Interconectado. Para la estimación de gases de efecto invernadero se utilizan los poderes calóricos y factores de conversión de unidades utilizados en el Balance Energético Nacional los mismos que son referenciados del Manual de Estadísticas de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) del año 2017. Para la estimación de GEI se utilizan los factores de emisión por defecto publicados en la metodología del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio

Climático (IPCC) en su Guía para Elaboración de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del año 2006 para Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) y Oxido Nitroso (N₂O) y los Potenciales de Calentamiento Global publicados en el Quinto Reporte de Evaluación (Fifth Assesment Report - AR5) de la misma institución.

En cuanto a la información de la cantidad de electricidad generada, se utilizará la información proporcionada por la ARCERNRR en sus campos de “Generación Bruta” de las centrales registradas en el SNI.

⁴ Método basado en ubicación referido en la metodología GHG Protocol – Scope 2 para el cuál se consideran todas las emisiones generadas para todos los consumidores de energía eléctrica del Sistema Nacional Interconectado.

3.2.3. Paso 3. Estimación del factor

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en unidades físicas

Para la determinación de las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O es necesario tomar en consideración los siguientes parámetros:

Tabla Nro. 11 Factores de emisión de CO₂, CH₄ y N₂O (IPCC,2006)

Combustible	kg CO ₂ /TJ	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Diesel	74.100	3	0,6
Fuel Oil	77.400	3	0,6
Petróleo	73.300	3	0,6
Gasolina	69.300	3	0,6
GLP	63.100	1	0,1
Gas Natural	56.100	1	0,1
Bagazo	100.000	30	4
Biogás	54.600	1	0,1

$$Emisión_{GEL,uf} = DA * FE_{GEL,comb} \quad (9)$$

Donde:

$Emisión_{GEL,uf}$ Emisión de gases de efecto invernadero en unidades físicas [t CO₂, t CH₄ y t N₂O]

DA Dato de actividad o cantidad de combustible utilizado en unidades energéticas [TJ]

$FE_{GEL,comb}$ Factor de emisión de gases de efecto invernadero por unidad energética del combustible [t/TJ]

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en unidades físicas

$$Emisión_{GEL-eq} = \sum Emisión_{GEL-uf} * GWP_{GEL} \quad (10)$$

Donde:

$Emisión_{GEL,eq}$ Emisión de gases de efecto invernadero en unidades equivalentes [t CO₂-eq]

$Emisión_{GEL-uf}$ Emisión de gases de efecto invernadero en unidades físicas [t CO₂, t CH₄, t N₂O]

GWP_{GEL} Potencial de Calentamiento Global AR5

Tomando en cuenta el Potencial de Calentamiento Global (GWP) del documento “**Fifth Assessment Report**” del IPCC (AR5), se establecen los parámetros para cuantificar contaminantes atmosféricos en unidades comunes y/o equivalentes al Dióxido de Carbono (CO_{2-eq}) para un análisis a 100 años.

Tabla Nro. 12 Potencial de Calentamiento Global para CO₂, CH₄ y N₂O (IPCC,2014)

Gas de Efecto Invernadero	GWP
CO ₂	1
CH ₄	28
N ₂ O	265

Factor de emisión por el uso de electricidad en el SNI para cálculo de huella de carbono

$$Factor\ emisión_{HC-eq} = \frac{Emisión_{GEI-eq}}{Energía\ generada_{SNI}} \quad (11)$$

Donde:

Factor emisión_{HC-eq}

Factor de emisión por el uso de electricidad en el SNI para cálculo de huella de carbono por MWh utilizado [t CO_{2-eq}/MWh]

Emisión_{GEI-eq}

Emisión de gases de efecto invernadero generadas por centrales del SNI en unidades equivalentes [t CO_{2-eq}]

Energía generada_{SNI}

Energía bruta generada por las centrales de generación eléctrica participantes del SNI [MWh]

3.3. Resultados obtenidos para el 2022

Tabla Nro. 13 Gases de Efecto Invernadero en el SNI

GEI	Emisiones [t CO _{2-eq}]
CO ₂	2.648.135
CH ₄	2.731
N ₂ O	4.982
Total	2.655.848

Tabla Nro. 14 Factor de emisión por el uso de electricidad en el SNI para cálculo de huella de carbono

Parámetros	Valores	Unidad
Emisión _{GEL-eq}	2.655.848	[t CO ₂ -eq]
Energía generada _{SNI}	28.863.003	[MWh]
Factor emisión _{HC-eq}	0,092	[t CO ₂ -eq/MWh]



4. Síntesis de resultados y aplicabilidad

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

4.1. Factor de emisión del SNI de Ecuador aplicable en proyectos

El factor de emisión 2022 que se debe considerar para proyectos de generación renovable y eficiencia energética, 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. **A continuación, los resultados conforme al ámbito de aplicación:**

Tabla Nro. 15 Factores de emisión Ex Ante y Ex Post del SNI de Ecuador por tipo de proyecto

Tipo de proyecto	Hidroeléctricos, térmicos y eficiencia energética	Energía Renovable No Convencional (Eólica, Solar)
FE Margen Combinado		
Ex Post (t CO ₂ /MWh)	0,2508	0,3761
Ex Ante (t CO ₂ /MWh)	0,1971	0,2957

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).

En la siguiente gráfica se presenta la evolución del factor de emisión de CO₂ anual del SNI; para dicho periodo 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).

Gráfica Nro. 5 Factor de emisión 2015 al 2022 (ex Post)



Fuente: (CENACE, 2023)

4.2. Factor de emisión del SNI de Ecuador aplicable para Inventarios de GEI o Huella de Carbono Corporativa

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.

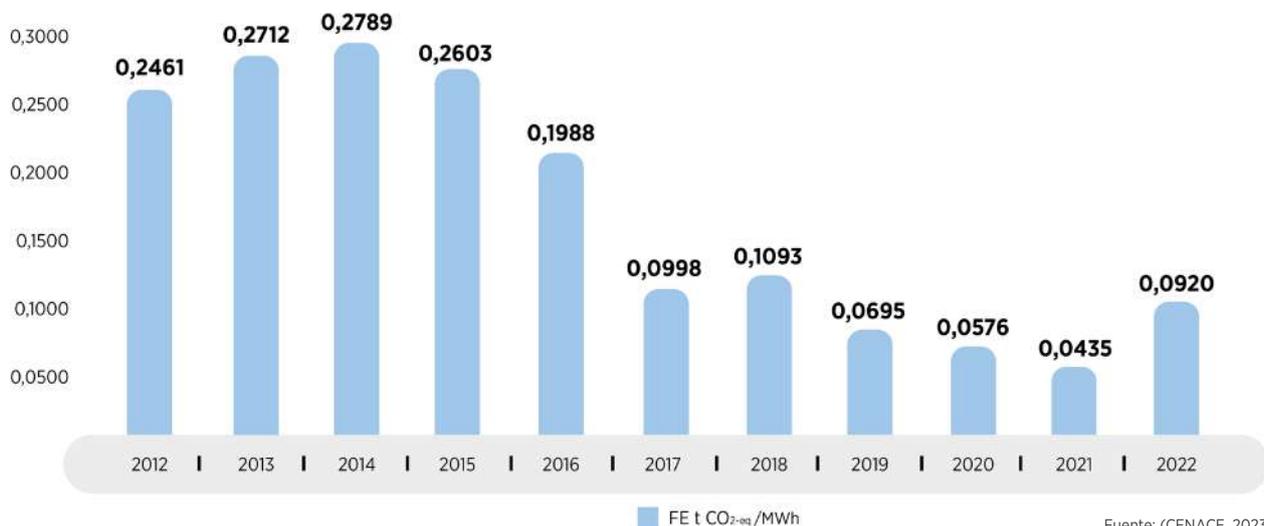


Cálculo de la huella de carbono empresarial o corporativa, mediante la cual se puede cuantificar las emisiones de GEI de una organización.

$$\text{Factor de Emisión } FE_{2022} = 0,0920 \text{ tonCO}_2 \text{ eq} / \text{MW}$$

Se presenta a continuación la estadística del Factor de Emisión para los inventarios de GEI, del 2012 al 2022:

Gráfica Nro. 6 Evolución del Factor de Emisión para inventarios de gases de efecto invernadero y/o cálculo de la huella de carbono [t CO₂-eq / MWh]



Fuente: (CENACE, 2023)

Referencias

CENACE. (2023). Matriz Factor Emisión_CO2_SNI_2022. Factor de Emisión de CO2 2022. 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. (2022). Clean Development Mechanism Methodology Booklet. Boon: UNFCCC.

WBCSD. (2004). The Greenhouse Gas Protocol. USA: World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development.