



## Estimado de la reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> por acciones de ahorro de electricidad en las condiciones de Cuba

### *Estimation of reduction of CO<sub>2</sub> emission by electric power saving project in the Cuba conditions*

Irina Salazar - Fonseca  
Israel Omar Mockey - Coureaux  
Maryem Canal - Solanes

Recibido: Septiembre del 2009  
Aprobado: Diciembre del 2009

#### Resumen/ Abstract

Este trabajo expone los resultados del estudio realizado a las numerosas vías que existen para el cálculo del factor de emisión de CO<sub>2</sub> a nivel mundial. A partir de una amplia búsqueda de información, se obtuvo la metodología propuesta para el cálculo del factor de emisión de CO<sub>2</sub> para proyectos de ahorro de energía eléctrica, teniendo en cuenta las particularidades de la matriz energética del país en cuestión. La metodología propuesta es el resultado de las modificaciones realizadas a la metodología ACM 0002, que es la aprobada por la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). A partir de los datos reales del consumo de combustible para la electricidad en Cuba en los años 2007 y 2008, se calcula el factor de emisión de CO<sub>2</sub>, obteniéndose un valor igual a 0,795 y 0,794 t CO<sub>2</sub>/MWh, respectivamente. Estos resultados evidencian el paulatino desarrollo hacia fuentes de energía más limpias que se ha realizado en ese periodo en el país, caracterizado por la entrada en funcionamiento de varios emplazamientos de Fuel-oil.

**Palabras claves:** factor de emisión de CO<sub>2</sub>, metodología ACM 0002, modificaciones

*This work exposes result of accomplished study to the many manners that exist for the calculation of CO<sub>2</sub> emission factor in the world. Latter a ample quest of information, the proposed methodology was obtained for calculation of CO<sub>2</sub> emission factor for electric power saving project, taking the particularities of electrical systems into account country. The proposed methodology is results of modifications realized to the methodology ACM 0002, this are the approved in Executive Board of the Clean Development Mechanism (CDM). Whit the real data of fuel consumption for the electricity in Cuba in the years 2007 and 2008, CO<sub>2</sub> emission factor is calculated, obtained an equal value to 0.795 and 0.794 tCO<sub>2</sub>/MWh, respectively. These aftermath evidence the gradual development to cleaning sources of energy that success in period at the country, characterized for the entrance in functioning of several Fuel's-oil emplacements.*

**Keywords:** CO<sub>2</sub> emission factor, methodology ACM 0002, modifications.

#### INTRODUCCIÓN

Los procesos de producción y uso de la energía constituyen una de las causas fundamentales del deterioro ambiental ya que estos producen CO<sub>2</sub> entre otros gases. Sus impactos se producen en todas las fases, desde la extracción de los combustibles o la construcción de embalse, hasta el uso final de la energía.

El contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es una de las principales causas del efecto invernadero, que se traduce en un aumento de la temperatura ambiental, lo cual ocasionaría cambios apreciables en el planeta. [1]

El ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en si, se puede considerar como tal, ya que ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos, lo que es equivalente a disponer de más energía. El incremento de la eficiencia energética tiene un beneficio ambiental inmediato y directo, ya que implica una reducción en el uso de recursos naturales y en la emisión de contaminantes, incluido el CO<sub>2</sub>. Toda fuente de energía renovable tiene un cierto efecto negativo sobre el medio ambiente, por ejemplo: la eólica afecta la emigración de las aves y el ambiente paisajístico, las hidroeléctricas crean embalses que perjudican el hábitat de muchas especies, la solar emplea ciertos materiales en sus construcción que pueden dañar el medio además de modificar el entorno natural. Sin lugar a dudas, la energía más limpia es la energía ahorrada. Fidel Castro Ruz expreso: "...Hemos encontrado, afortunadamente, algo más importante, el ahorro de energía, que es como encontrar un gran yacimiento<sup>1</sup>....[2]"

**DESARROLLO**

Se conocen varias vías para el cálculo del volumen de los gases emitidos a la atmósfera por la combustión en el proceso de generación de electricidad.

Según la publicación Protección ambiental y producción limpia, parte 2, [1], para determinar la reducción de emisiones de contaminantes por concepto de ahorro de energía se utiliza la siguiente expresión:

$$E = (FE \cdot EA) \cdot 10^{-6}$$

Donde:

E- Emisiones (tCO<sub>2</sub>/año)

FE- Factor de emisión (g CO<sub>2</sub>/kWh)

EA- Energía ahorrada (kWh/año)

En la siguiente tabla se muestran los factores de emisión de contaminantes a utilizar para determinar las emisiones por la expresión antes expuesta.

Impactos ambientales	Contaminantes	Factor de emisión g CO <sub>2</sub> /kWh	Factor de emisión g CO <sub>2</sub> /L
Efecto invernal	CO <sub>2</sub>	799	2986

Esta metodología no toma en cuenta el tipo de combustible utilizado en el proceso de generación. Si se comprende que a nivel de país, la matriz de generación está compuesta por diversas tecnologías y combustibles empleados y que el peso que cada una de ellas tiene varía en cada año, se podrá entender que este método no permite tomar en cuenta estas realidades.

También se cuenta con la información publicada en el XVIII SNPTEE Seminario Nacional de Producción y Transmisión de Energía Eléctrica. [3] El cálculo de la emisión anual de CO<sub>2</sub> por un sistema de generación térmica puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$E = C \cdot FC \cdot FO \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E – emisión de CO<sub>2</sub> en toneladas.

C – consumo de combustible, en m<sup>3</sup>.

FC – contenido de Carbono, en toneladas de Carbono / unidades de combustible.

FO – la fracción de oxidación, el valor adoptado fue 0,99.

44/12 = 3,66 – es la razón entre el peso molecular del CO<sub>2</sub> y del Carbono.

En esta publicación se brindan los valores de FC para ciertos combustibles con un alto nivel de incertidumbre e imprecisión, pues no se brinda la información de que es combustible 1B y 1A y PTE.

Combustible	Combustible 1B	Combustible 1A	Diesel	PTE
Contenido de Carbono FC (t C/m <sup>3</sup> )	0,857	0,857	0,736	0,534

A este inconveniente se suma el ya descrito en el método anterior referido a considerar el peso que tiene los diferentes combustibles utilizados en el país y su variación en el tiempo.

**METODOLOGÍA ACM-0002**

La metodología ACM-0002 es la metodología consolidada de base de referencia para generación de electricidad por fuentes renovables conectada a

la red, la cual fue aprobada por la Junta Ejecutiva del MDL

Esta herramienta metodológica permite determinar el factor de emisión de CO<sub>2</sub> para proyectos donde a partir del emplazamiento de fuentes renovables de energía se reduce la cantidad de electricidad generada por centrales eléctricas en un sistema eléctrico dado.

Para el caso de una fuente renovable, para el cálculo de reducción de emisiones la metodología ACM0002, provee los procedimientos para calcular el factor de emisión del sistema, o sea la cantidad de CO<sub>2</sub> por unidad de energía eléctrica generada. Multiplicando este factor por la generación del proyecto se obtienen las emisiones de la línea de base (o sea las evitadas).

Esta herramienta metodológica determina el factor de emisión de CO<sub>2</sub> calculando el "margen operativo" (OM) y el "margen constructivo" (BM) así como también el "margen combinado" (CM). El margen operativo se aplica al grupo centrales eléctricas existentes cuya generación de electricidad sería afectada por el proyecto. [4]

Ninguna de las metodologías aprobadas ofrece la herramienta que posibilite el cálculo del factor de emisión de CO<sub>2</sub> en proyectos de ahorro de energía. Sin embargo, considerando que el efecto logrado con las acciones de incremento de la eficiencia energética es similar a las descritas en la metodología ACM 0002, se puede considerar que la misma puede aplicarse para estos fines, con las modificaciones que a continuación se expondrán. La metodología ACM0002 consta de seis pasos que son los siguientes:

1. Identificar el sistema eléctrico. Este paso no es necesario porque todos los cálculos están referidos al ahorro de energía.
2. Seleccionar el método del margen operativo (OM). Existen cuatro métodos para calcular el OM pero en el caso de proyectos de ahorro de energía eléctrica en general nunca se supera el 50% de la generación total del país, por lo que se recomienda el método Simple.
3. Calcular el factor de emisión OM.
4. Identificar las unidades de generación que se incluirían en el margen constructivo (BM). En este caso no es necesario considerarlo ya que no se construirá ninguna planta de generación.
5. Calcular el BM. No procede por lo anteriormente referido

6. Calcular el margen combinado (CM).  $CM = OM \cdot w_{OM} + BM \cdot w_{BM}$ . Solo se calcula si existen los márgenes OM y BM. Por lo tanto no procede

#### METODOLOGÍA PROPUESTA

Luego del análisis anterior se muestra como queda la metodología con los cambios que se le realizaron para adecuarlas a las condiciones de proyectos de ahorro de energía eléctrica.

#### PROCEDIMIENTO

Paso 1: Cálculo del factor de emisión del margen operativo (OM) por el método Simple.

El método Simple OM para el cálculo del factor de emisión de margen operativo ( $EF_{grid,OM,y}$ ) sólo puede usarse si las acciones por ahorro de energía constituyen

menos del 50% de la generación total en uno de los tres años más recientes.

Paso 2: Selección de las opciones para calcular el factor de emisión.

El método Simple tiene tres opciones para calcular el factor de emisión:

Opción A: Cuando se poseen los datos del consumo por tipo combustible y electricidad neta generada por tipo de combustible.

Cálculo del factor de emisión:

$$EF_{OMsimple,y} = \frac{\sum_m FC_{m,y} \cdot EF_{CO_2,m} \cdot NCV_m}{\sum_m EG_{m,y}} \quad (1)$$

$EF_{grid, OMsimple, y}$  = Factor de emisión de CO<sub>2</sub> del simple OM en el año y (tCO<sub>2</sub>/MWh)

$FC_{i,m,y}$  = Consumo por tipo de combustible i en el año y (kg)

$NCV_{i,y}$  = Poder Calórico Inferior o ( Neto) del tipo de combustible (TJ / kg) [5]

$EF_{CO_2, i, y}$  = Factor de emisión por tipo de combustible (tCO<sub>2</sub>/TJ)

$EG_{m,y}$  = Energía eléctrica generada en el año y por tipo de combustible m (MWh)

m = Cantidad total de tipos de combustibles

y = Año considerado

PCI: Es el poder calorífico neto. Es el calor desprendido en la combustión de 1 Kg de

combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión no condensa.

Opción B: Cuando se poseen los datos de la electricidad neta generada, la eficiencia y el tipo de combustible de cada planta generadora.

Cuando se usa esta opción el factor de emisión se calcula basado en la generación de electricidad de cada generador y un factor de la emisión para cada generador, como sigue:

$$EF_{grid,OMsimpley} = \frac{\sum EG_{m,y} \cdot EF_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}} \quad (2)$$

$EF_{EL, m, y}$  = El factor de emisión en el año  $m$  del generador en el año  $y$  (tCO<sub>2</sub>/MWh)

El factor de emisión en el año  $m$  del generador en el año  $y$  se calcula como sigue:

Opción B1: Si los datos del consumo de combustible y generación de electricidad en el año "y" de cada generador están disponibles entonces:

$$EF_{EL,m,y} = \frac{\sum FC_{m,y} \cdot EF_{CO_2,m} \cdot NCV_m}{EG_{m,y}} \quad (3)$$

Opción B2: Si solo se poseen los datos de la generación de electricidad y el tipo de combustibles usado en cada generador en el año "y" entonces:

$$EF_{EL,m,y} = \frac{EF_{CO_2,i,y} \cdot 3,6}{\eta_{m,y}} \quad (4)$$

$\eta_{m,y}$  = Eficiencia del generador por tipo de combustible  $m$  en el año  $y$  (%)

Opción C: Cuando se poseen los datos de la electricidad neta total generada, el tipo de combustible y el consumo de combustible de todas las planta generadora.

Es usada cuando se tiene la generación neta suministrada por todas las plantas del sistema, sin incluir las hidroeléctricas, eólicas y todas las de generaciones renovables además de los tipos de combustible y el consumo de combustible de estas plantas:

$$EF_{gridOMsimple} = \frac{\sum_m FC_{m,y} \cdot EF_{CO_2,m} \cdot NCV_m}{EG_m} \quad (5)$$

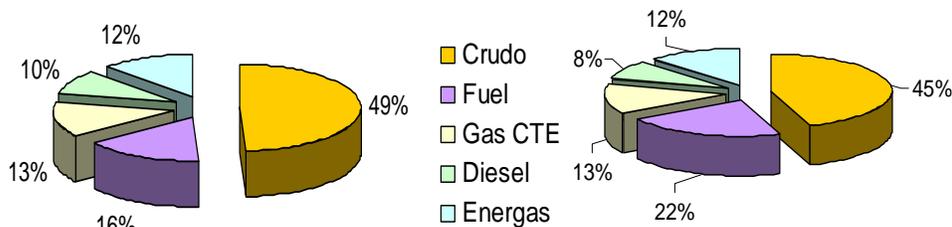
$EG_m$  = Energía eléctrica neta suministrada por todas las plantas del sistema (MWh)

La opción A debe ser usada si los datos del consumo por tipo combustible están disponibles para cada tipo de generación. En otros casos, la opción B y C pueden ser usadas. La opción C sólo debería ser usada si los datos necesarios para la A y la B no están disponibles.

Para ilustrar la metodología se realizaron los cálculos del Factor de Emisión del Margen Operativo (OM) del país para los años 2007 y 2008. Seleccionando la opción A. Con datos suministrados por la Dirección de Uso Racional de Energía (DURE) de la UNE, que recoge el consumo de combustible del país en la generación eléctrica por tipo de planta. Su comportamiento se muestra en las siguientes figuras.

Como se puede apreciar en la figura existe un menor consumo de combustible en el año 2008 con respecto al 2007, lo cual evidencia el paulatino desarrollo de fuentes de energía mas limpias.

Se sustituye en la ecuación (1) y se obtiene el valor del factor:



**Fig.1. Estructura del uso de combustible en la generación eléctrica en los Años 2007-2008.**

$$EF_{OMsimple, 2007} = 0,795 tCO_2 / MWh$$

$$EF_{OMsimple, 2008} = 0,794 tCO_2 / MWh$$

Se dejaron de emitir a la atmósfera 0,001 t CO<sub>2</sub>/MWh en el año 2008 lo que reafirma la anteriormente dicho y además demuestra que este factor depende tanto de la matriz energética del país en cuestión como de los tipos de combustibles que se empleen en la generación de electricidad

#### CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede concluir que:

1. Las modificaciones realizadas a la metodología ACM 0002 permiten determinar el factor de emisión de CO<sub>2</sub> en el caso de proyectos de ahorro de energía eléctrica de una forma precisa y sencilla.
2. El factor de emisión de CO<sub>2</sub> no es constante, sino que depende de los combustibles que se utilicen para la generación de energía y de la cantidad de energía que se consuma. En definitiva depende de la matriz energética del país en cuestión en el momento del que se realice análisis.
3. El resultado obtenido para el cálculo del factor de emisión de CO<sub>2</sub> en caso de Cuba en los años 2007-2008 evidencia una reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> por los procesos de generación eléctrica en el país lo cual está en concordancia por los esfuerzos que realiza el país dentro de la Revolución Energética que se desarrolla.
4. La metodología propuesta permite que los cálculos del factor de emisión pueden realizarse por regiones, por plantas en particular en fin que no solamente encerrarlo a un nivel nacional, sino que se puede particularizar en caso de que sea necesario y eso posibilita saber como esta el comportamiento de las emisiones por cada región del país en cuestión.

#### REFERENCIAS

[1]. CITMA. "Protección ambiental y producción limpia, parte 2.

" Tabloide del Curso de Universidad para todos, CITMA. La Habana, 2007

[2]. CASTRO RUZ, F. Discurso pronunciado 5 de mayo del 2006 en la entrega de 101 vehículos a la Unión Eléctrica. Publicado en el periódico Granma Suplemento especial. párrafo 18, página 3

[3]. O balanço de CO<sub>2</sub> da geração térmica versus suprimento das cargas pela interligação Tucuruí-Macapa-Manaus. [Publicación periódica]// Eletroevolução del Comité Brasileño de CIGRÉ, nº 46, pp. 37 – 44, Marzo 2005.

[4]. Toll to calculate the emission factor for an electricity systems. Annex 12. Methodological tool (Version 0.01). UNFCCC/CCNUCC. CDM-Executive Board, Julio 2008.

<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved>

[5]. Anexo 8. Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y PCI de los combustibles. España, Informe inventario GEI 1990-2005 (Marzo 2007).

[http://www2.larioja.org/ows-mod/act/16613\\_d\\_2.pdf](http://www2.larioja.org/ows-mod/act/16613_d_2.pdf)

#### AUTORES

##### Irina Salazar Fonseca

Ingeniera Electricista en la Universidad de Oriente, Cuba. Profesora en adiestramiento e-mail: isalazar@fie.uo.edu.cu

##### Israel Omar Mockey Coureaux

Ingeniero Electricista en la Universidad de Oriente, Cuba. Profesor Auxiliar Master en Ingeniería Eléctrica e-mail: iomc@fie.uo.edu.cu

##### Maryem Canal Solanes

Ingeniera Electricista especialista en Gestión Integral de Proyectos en la Dirección de Uso Racional de la Energía, UNE, MINBAS; e-mail: maryem@oc.une.cu