



**CALCULO DEL FACTOR DE  
EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DEL  
SISTEMA ELÉCTRICO URUGUAYO  
2008**

**Estimación para el PDD**

Autores:

MSc. Ing. Claudia Cabal  
Ing. Fernando Fontana  
Cr. Enrique García Pini  
Lic. Ricardo Kramer

**Mayo 2009**  
Versión 02



## INDICE

<i>ALCANCE</i> .....	3
<i>1. OBJETIVO</i> .....	3
<i>2. METODOLOGÍA</i> .....	4
<i>3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO URUGUAYO</i> .....	4
<i>4. TRATAMIENTO DE LAS IMPORTACIONES PARA EL CÁLCULO</i> .....	5
<i>5. EXPANSION DEL PARQUE GENERADOR</i> .....	5
<i>6. INFORMACIÓN ENERGÉTICA UTILIZADA</i> .....	6
<i>7. CRITERIO DE DESPACHO PARA UN GENERADOR LIBRE</i> .....	6
<i>8. CALCULO DEL MARGEN OPERATIVO (Operating Margin)</i> .....	6
<i>7. CALCULO DEL MARGEN DE CONSTRUCCIÓN (Build Margin)</i> .....	8
<i>8. ANEXOS</i> .....	9
<i>ANEXO 1: Estimación del Factor de Emisión “Ex – Ante”</i> .....	9
<i>ANEXO 2 – Factor de Emisión de CO<sub>2</sub> por central térmica de generación</i> .....	11
<i>9. REFERENCIAS</i> .....	11

## ALCANCE

El presente documento es oficial de UTE y ha sido elaborado en la Gerencia de Medio Ambiente para ser presentado ante la Junta Ejecutiva del MDL, con el único propósito de registrar el proyecto de un parque eólico de 10 MW. Para el cálculo del factor de emisiones del sistema eléctrico uruguayo se ha utilizado la Metodología de Naciones Unidas presentada en el Anexo 12 “Methodological Tool” (Versión 01.1) denominada “Tool to calculate the emission factor for an electricity system”. UTE no asume ninguna responsabilidad por el uso de la información contenida en este documento por parte de terceros.

### 1. OBJETIVO

Para poder presentar proyectos del sector eléctrico ante el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) (acuerdo suscrito en el Protocolo de Kyoto, establecido en su artículo 12) donde se pueden reducir emisiones al medio ambiente, se requiere calcular la cantidad de toneladas CO<sub>2</sub> producidas por MWh de energía eléctrica generado.

En el documento anterior “Calculo del factor de emisiones de CO<sub>2</sub> del sistema eléctrico uruguayo 2007” publicado en nuestro sitio Web, se hizo una estimación “ex – ante” del factor de emisión, siguiendo la Metodología de Naciones Unidas ACM0002 versión 06 vigente al 19 de Mayo de 2006 aprobada por la Junta Ejecutiva del MDL.

Una vez definida nuestra actividad de proyecto final, fue necesario realizar un cambio metodológico sustituyendo la Metodología ACM0002 versión 6 por la AMS I-D versión 13 (Small Scale CDM Methodologies, “Grid connected renewable electricity generation”, en adelante la “Metodología”) que hace referencia al Anexo 12 “Methodological Tool”, “Tool to calculate the emission factor for an electricity system versión 01.1”.

Para realizar la estimación “ex – ante” del factor de emisión para el PDD (Documento de Diseño de Proyecto) se utilizaron los métodos (b) “Simple Adjusted OM” y (d) “Average OM”.



## 2. METODOLOGÍA

El factor de emisión (EF) de la línea base se obtiene como combinación de dos factores de emisión, el Margen Operativo (“Operating Margin OM”) y el Margen de Construcción (“Build Margin BM”).

El Margen Operativo (“Operating Margin”) permite estimar el factor de emisiones de los generadores que han operado en lugar de la actividad de proyecto MDL propuesta.

El Margen de Construcción (“Build Margin”) permite estimar el factor de emisiones de los generadores que se construyeron en lugar de la actividad de proyecto MDL propuesta.

El factor de emisión para el sistema eléctrico surge como un valor ponderado a partir de dos coeficientes de ponderación de la siguiente forma:

$$EF_y = w_{OM} \cdot EF_{OMy} + w_{BM} \cdot EF_{BMy}$$

donde:

$EF_y$	: factor de emisión ponderado para el año “y”.
$EF_{OMy}$	: factor de emisión del Margen Operativo para el año “y”.
$EF_{BMy}$	: factor de emisión del Margen de Construcción para el año “y”.
$w_{OM}$	: factor de ponderación del Margen de Operación.
$w_{BM}$	: factor de ponderación del Margen de Construcción.

Para las actividades de proyecto **eólica y solar**, los factores de ponderación sugeridos en el “Methodological Tool” son  $w_{OM} = 0,75$  y  $w_{BM} = 0,25$ .

## 3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO URUGUAYO

Nuestro sistema eléctrico cuenta con centrales de generación hidráulica y térmica, con una potencia total instalada de 2.351 MW, de los cuales 1.548 MW corresponden a las centrales hidráulicas y 813 MW a las centrales térmicas que operan actualmente con fueloil y gasoil. La demanda se abastece con la energía despachada por el Despacho Nacional de Cargas que se compone por la proveniente de estas centrales de generación y cuando no es suficiente se complementa con energía de importación, grupos diesel de distribución y generadores privados.

Uruguay está interconectado con Argentina en Salto Grande a través de dos líneas de 500 kV de tensión pertenecientes al sistema mixto CTM – Salto Grande, capaces de transmitir una potencia del orden de 2.000 MW. También está conectado con Brasil en Rivera – Livramento en 150 kV de tensión, a través de una convertora de frecuencia de 72 MW de potencia.



El pico máximo de potencia del sistema eléctrico uruguayo del año 2008 fue de 1.481 MW. Por lo tanto, el sistema puede abastecer su demanda con generación hidráulica solamente, hidráulica y térmica o generación hidráulica, térmica e importación, dependiendo de las condiciones de hidraulicidad de cada año en particular.

A continuación se presentan los GWh generados en los últimos tres años:

**Cuadro 1** – Generación en GWh

Año	Hidráulica	Térmica	Importación	Eólica	Total
2006	3.501	1.877	2.833	0	8.211
2007	7.515	1.187	789	0	9.491
2008	4.396	3.446	963	3	8.808
Promedio	5.137	2.170	1.528	3	8.837

Fuente: UTE en Cifras

**Cuadro 2** – Generación anual promedio en porcentaje

Hidráulica	Térmica	Importación
58,1%	24,6%	17,3%

Como se puede apreciar en los cuadros anteriores, las importaciones de energía pueden ser significativas para el abastecimiento de la demanda y siempre son provenientes de centrales de generación térmica tanto de Argentina como de Brasil. En el sistema eléctrico argentino, marginan siempre los generadores térmicos (ver informe de la Secretaría de Energía Argentina para el cálculo del factor de emisiones) y en el sistema eléctrico brasileño si bien no marginan las centrales térmicas, cuando exportan energía utilizan centrales térmicas que no son requeridas para el abastecimiento de su demanda.

#### 4. TRATAMIENTO DE LAS IMPORTACIONES PARA EL CÁLCULO

Las importaciones de energía eléctrica desde Argentina y Brasil se han incluido en la energía de generación para el cálculo del factor de emisión como lo indica la Metodología “Tool to calculate the emission factor for an electricity system”.

#### 5. EXPANSION DEL PARQUE GENERADOR

Se han contratado empresas consultoras como Lahmeyer Internacional en 1980, la Universidad de la República en 1993, Merz and McLellan en 1996 y Oderbrecht en 2003 que han realizado estudios que demuestran que la expansión del sistema hidráulico en gran escala está agotada porque requiere



de un nivel de inversión que no resulta rentable comparado con otras alternativas de inversión en generación.

## 6. INFORMACIÓN ENERGÉTICA UTILIZADA

Para los cálculos se utilizó la información proporcionada por el Despacho Nacional de Cargas de Uruguay que es el Operador del Sistema Eléctrico Uruguayo, con la energía diaria resultante del despacho económico del sistema eléctrico uruguayo para los años 2006, 2007 y 2008, incluyendo las importaciones de energía eléctrica desde Argentina y Brasil con factor de emisión cero y las energías despachadas de los grupos diesel de distribución y generadores privados considerando sus factores de emisión correspondientes.

## 7. CRITERIO DE DESPACHO PARA UN GENERADOR LIBRE

A partir de la información disponible en el sitio Web de la ADME (Administración del Mercado Eléctrico) y de acuerdo a las características del combustible utilizado, se puede calcular el precio variable de un generador libre, que permite establecer al Despacho Nacional de Cargas un orden de mérito para el despacho de los generadores. Para que un generador libre decida si se conecta o no a la sistema eléctrico, la ADME da a conocer su Precio SPOT Programado diario por hora y a partir de este precio los generadores de despacho libre, como es el caso de BRANAA, deciden si se conectan o no al sistema eléctrico.

## 8. CALCULO DEL MARGEN OPERATIVO (Operating Margin)

### Método “Simple Adjusted OM”

El Operating Margin se calcula de la siguiente manera:

$$EF_{OM, \text{ Simple - Adjusted }, y} = (1 - \lambda_y) \times \frac{\sum_{i,j} EG_{j,y} \times EF_{EL,j,y}}{\sum_j EG_{j,y}} + \lambda_y \times \frac{\sum_{i,k} EG_{k,y} \times EF_{EL,k,y}}{\sum_k EG_{k,y}}$$

$EF_{OM, \text{ Simple - Adjusted }, y}$  : Factor de emisión de CO<sub>2</sub> Operating Margin Simple Adjusted en el año “y” (tCO<sub>2</sub>/MWh).

$EF_{EL,j,y}$  : Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para la unidad de generación “j” en el año “y” (tCO<sub>2</sub>/MWh).



- EG<sub>j, y</sub> : Electricidad neta generada y entregada a la red por todas las centrales de generación conectadas al sistema, sin incluir las unidades de generación “low-cost/must-run” en el año “y” (MWh).
- j : Todas las unidades de generación excluyendo las importaciones de energía y los generadores “low-cost/must-run” en el año “y”.
- k : Todas las unidades restantes de generación que no son “low-cost/must-run” en el año “y”.
- y : Los tres años más recientes con información disponible a la fecha de presentación del PDD.

### Método “Average OM”

El factor de emisión promedio se calcula considerando todos los generadores “m” conectados a la red, incluyendo los generadores “low-cost / must-run”. Se calcula de la siguiente manera:

$$EF_{OM, Average, y} = \frac{\sum_m EG_{m, y} \times EF_{EL, m, y}}{\sum_m EG_{m, y}}$$

- EF<sub>OM, Average, y</sub> : Factor de emisión de CO<sub>2</sub> Operating Margin Average en el año “y” (tCO<sub>2</sub>/MWh).
- EF<sub>EL, m, y</sub> : Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para la unidad de generación “m” en el año “y” (tCO<sub>2</sub>/MWh).
- EG<sub>m, y</sub> : Electricidad neta generada y entregada a la red por la unidad de generación “m” en el año “y” (MWh).
- m : Todas las unidades de generación entregando energía a la red en el año “y”.
- y : Los tres años más recientes con información disponible a la fecha de presentación del PDD.

## 7. CALCULO DEL MARGEN DE CONSTRUCCIÓN (Build Margin)

De los métodos propuestos se adoptó la opción (a) que calcula este factor basado en el grupo de cinco centrales de generación que han sido construidas más recientemente. En esta categoría entran el grupo generador Branaá (1), la central térmica de Punta del Tigre (3) y los grupos de generación diesel de Distribución (13). Los valores detallados del cálculo se presentan en el Anexo.

El Build Margin para el grupo de generadores que han sido construidos más recientemente, se calcula de la siguiente manera:

$$EF_{\text{grid, BM, y}} = \frac{\sum_m EG_{m,y} \times EF_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}}$$

$EF_{\text{grid, BM, y}}$  : Factor de emisión de CO<sub>2</sub> Build Margin en el año “y” (tCO<sub>2</sub>/MWh).

$EF_{EL,m,y}$  : Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para el grupo de generadores “m” en el año “y” (tCO<sub>2</sub>/MWh).

$EG_{m,y}$  : Cantidad neta de electricidad generada y entregada a la red para el grupo de generadores “m” en el año “y” (MWh).

m : Unidades de generación incluidas en el Build Margin.

y : Año más reciente para el cual están disponibles los datos de generación.

Se tuvieron en cuenta los Grupos Diesel y generadores privados despachados. Los Grupos Diesel despachados están integrados por los grupos generadores de Vichadero, San Borja I y II, y Rivera. Todos los datos fueron obtenidos del Despacho Nacional de Cargas. Los años de construcción de los generadores son los siguientes:

Generador	Año
Branaá	2008
Punta del Tigre II	2008
Punta del Tigre I	2006
Vichadero	2005
San Borja II	2005
San Borja I	1999
Rivera	1995



CTR	1991
Palmar	1982
CTM	1980
Maldonado	1982
Central Batlle 6ta	1975
Central Batlle 5ta	1970
Central Batlle Sala B	1957
Bonete	1945

Corresponde aclarar que si bien se destacan los grupos diesel que fueron despachados, en la información publicada por el Despacho Nacional de Cargas los mismos no aparecen discriminados porque no disponen de información diaria y horaria.

## 8. ANEXOS

### ANEXO 1: Estimación del Factor de Emisión “Ex – Ante”

#### Simple Adjusted OM

**Tabla 1.1 - Método “Simple Adjusted OM” - Margen de Operación OM**

2006	Unidad	Valores
Emisiones asociadas : $\sum_j EG_{j,y} \times EF_{EL,j,y}$	tCO <sub>2</sub>	1.652.131
Energía generada : $EG_{j,y}$	MWh	1.881.282
Emisiones asociadas : $\sum_k EG_{k,y} \times EF_{EL,k,y}$	tCO <sub>2</sub>	0
Energía generada : $EG_{k,y}$	MWh	6.224.748
Lambda ( $\lambda$ )		0,090525114
<b>Operating Margin OM : <math>EF_{grid, OM - Adjusted, y}</math></b>	tCO <sub>2</sub> /MWh	<b>0,799</b>

2007	Unidad	Valores
Emisiones asociadas : $\sum_j EG_{j,y} \times EF_{EL,j,y}$	tCO <sub>2</sub>	957.603
Energía generada : $EG_{j,y}$	MWh	1.158.238
Emisiones asociadas : $\sum_k EG_{k,y} \times EF_{EL,k,y}$	tCO <sub>2</sub>	0
Energía generada : $EG_{k,y}$	MWh	8.698.869
Lambda ( $\lambda$ )		0,294520548
<b>Operating Margin OM : <math>EF_{grid, OM - Adjusted, y}</math></b>	tCO <sub>2</sub> /MWh	<b>0,583</b>



2008	Unidad	Valores
Emisiones asociadas : $\sum_j EG_{j,y} \times EF_{EL,j,y}$	tCO <sub>2</sub>	2.624.924
Energía generada : $EG_{i,y}$	MWh	3.310.890
Emisiones asociadas : $\sum_k EG_{k,y} \times EF_{EL,k,y}$	tCO <sub>2</sub>	0
Energía generada : $EG_{k,y}$	MWh	5.365.372
Lambda ( $\lambda$ )		0,000227687
<b>Operating Margin OM : <math>EF_{grid, OM - Adjusted, y}</math></b>	tCO <sub>2</sub> /MWh	<b>0,793</b>

**Tabla 1.2 - Margen de Construcción BM**

2008	Unidad	Branaá	PTI	GDiesel
Cantidad de Generadores	-	1	3	13
Emisiones asociadas : $\sum_m EG_{m,y} \times EF_{EL,m,y}$	tCO <sub>2</sub>	1.336	985.742	7.499
Energía generada : $\sum_m EG_{m,y}$	MWh	3.121	1.455.086	8.533
<b>Build Margin BM : <math>EF_{grid, BM, y}</math></b>	tCO <sub>2</sub> /MWh	<b>0,678</b>		

**Average OM**

**Tabla 1.3 - Método “Average OM” - Margen de Operación OM**

2006	Unidad	Valores
Emisiones asociadas : $\sum_m EG_{m,y} \times EF_{EL,m,y}$	tCO <sub>2</sub>	1.652.131
Energía generada : $\sum_m EG_{m,y}$	MWh	8.105.876
<b>Operating Margin OM : <math>EF_{grid, OM - Average, y}</math></b>	tCO <sub>2</sub> /MWh	<b>0,204</b>

2007	Unidad	Valores
Emisiones asociadas : $\sum_m EG_{m,y} \times EF_{EL,m,y}$	tCO <sub>2</sub>	957.603
Energía generada : $\sum_m EG_{m,y}$	MWh	9.857.107
<b>Operating Margin OM : <math>EF_{grid, OM - Average, y}</math></b>	tCO <sub>2</sub> /MWh	<b>0,097</b>

2008	Unidad	Valores
Emisiones asociadas : $\sum_m EG_{m,y} \times EF_{EL,m,y}$	tCO <sub>2</sub>	2.624.924
Energía generada : $\sum_m EG_{m,y}$	MWh	8.676.262
<b>Operating Margin OM : <math>EF_{grid, OM - Average, y}</math></b>	tCO <sub>2</sub> /MWh	<b>0,303</b>

**Tabla 1.4 - Margen de Construcción BM**

2008	Unidad	Branaá	PTI	GDiesel
Cantidad de Generadores	-	1	3	13
Emissiones asociadas : $\sum_m EG_{m,y} \times EF_{EL,m,y}$	tCO <sub>2</sub>	1.336	985.742	7.499
Energía generada : $\sum_m EG_{m,y}$	MWh	3.121	1.455.086	8.533
<b>Build Margin BM : <math>EF_{grid, BM, v}</math></b>	tCO <sub>2</sub> /MWh	<b>0,678</b>		

**Tabla 1.5 – Resultados Factor de Emisión “Ex – Ante” (tCO<sub>2</sub>/MWh)**

Método	2006	2007	2008	OM	BM	FE
Simple Adjusted OM	0,799	0,583	0,793	0,725	0,678	<b>0,713</b>
Average OM	0,204	0,097	0,303	0,201	0,678	<b>0,320</b>

**ANEXO 2 – Factor de Emisión de CO<sub>2</sub> por central térmica de generación**

Generador	Combustible	tCO <sub>2</sub> /MWh
PTI	gasoil	0,677
CTR	gasoil	0,852
Maldonado	gasoil	1,129
Central Battle U6	fueloil	0,867
Central Battle U5	fueloil	0,836
Central Battle SB	fueloil	1,118
Grupos Diesel	gasoil	0,879
Branaá	gas natural	0,428

**Fuente:** Gerencia de Medio Ambiente de UTE, junio 2008

**9. REFERENCIAS**

- Sitio Web UTE ([www.ute.com.uy](http://www.ute.com.uy)) : Costos variables de generación térmica.
- Sitio Web Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (<http://unfccc.int/>) : Metodología AMS I.D. y Methodological Tool.
- Sitio Web Despacho Nacional de Cargas ([www.dncu.gub.uy](http://www.dncu.gub.uy)): Datos de despacho diarios de generación del sistema eléctrico uruguayo e interconexiones internacionales.
- Generación de Área de Generación: Expansión del parque generador.
- Gerencia de medio Ambiente: Factor de emisión de CO<sub>2</sub> por central térmica de generación
- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.