



BASES PARA ESTIMAR LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI EN PROYECTOS DE PCH

Contrato INE/ENE/ERG-T1886-SN1/11:

“Estudio de factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)”

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) - Fundación Julio Ricaldoni, Uruguay

Mayo 2013

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO	4
2.1 EMISIONES DE LA LÍNEA DE BASE	5
2.2 EMISIONES DEL PROYECTO DE PCH.....	6
2.3 REDUCCIÓN DE EMISIONES	9
3. CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI EN EMBALSES SEGÚN EL IPCC.....	10
4. ANEXO I: ASPECTOS GENERALES DE LAS EMISIONES GEI EN EMBALSES	13
5. ANEXO II: DOCUMENTOS ADJUNTOS.....	16
BIBLIOGRAFÍA	17

ACRÓNIMOS

ACM	Approved Consolidated Methodologies
AMS	Approved Methodology for Small-scale CDM project activities
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
COP	Conferencia de las Partes de la CMNUCC
DINAMA	Dirección Nacional de Medio Ambiente
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JE	Junta Ejecutiva del MDL
MDL (CDM)	Mecanismo de Desarrollo Limpio (Clean Development Mechanism)
PCH	Pequeña Central Hidroeléctrica
PD	Densidad de Potencia (de una central hidroeléctrica)
PK	Protocolo de Kyoto
SimSEE	Simulador de Sistemas de Energía Eléctrica
UCC	Unidad de Cambio Climático
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UTE	Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas

1. INTRODUCCIÓN

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es uno de los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kyoto (PK), concebido para facilitar el cumplimiento de los compromisos de reducción de emisiones de gases causantes del cambio climático por países industrializados. Por este mecanismo, ciertos proyectos que demuestren causar una reducción neta de emisiones con respecto a un escenario de referencia (“situación sin proyecto”), pueden certificar esas reducciones y comercializar los certificados en el mercado.

La implementación de proyectos de generación hidroeléctrica que impliquen una sustitución de combustibles fósiles es una de las formas de lograr reducciones de emisiones certificables bajo el MDL.

El objetivo del presente trabajo es brindar las bases para estimar la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de un proyecto de Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) con conexión a la red en Uruguay.

Para ello se requiere abordar los siguientes puntos:

- Selección de una metodología de cálculo.
- Estimación de las emisiones de la línea de base (escenario de referencia).
- Estimación de las emisiones del proyecto de PCH.
- Estimación de la reducción de emisiones de GEI debido a la implementación del proyecto.

En particular, interesa la estimación de las emisiones del proyecto de PCH, ya que se entiende que es el aspecto menos desarrollado hasta el presente y en el cual aún no existe consenso en la comunidad científica y tecnológica.

2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

La metodología de línea de base describe los pasos que deben ser tomados en cuenta para identificar el escenario más probable en ausencia del proyecto MDL, para el cálculo de las emisiones correspondientes a dicho escenario y de las reducciones de emisiones relacionadas al proyecto.

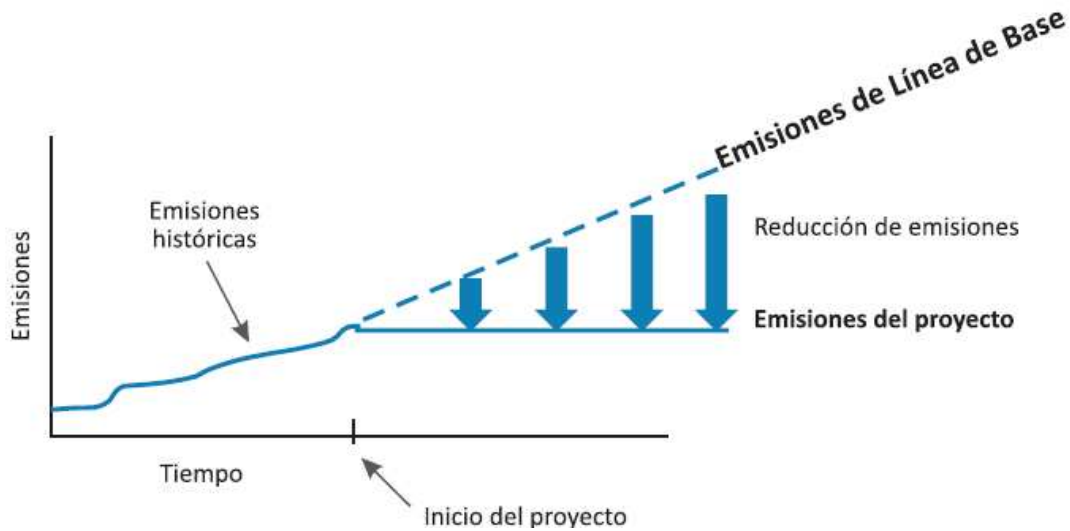


Figura 2-1: La línea de base y la reducción de emisiones de GEI

Fuente: Guía Práctica para Desarrolladores de Proyectos MDL, MINAM (2011)

Para registrar un proyecto en el MDL se requiere utilizar una metodología de línea de base previamente aprobada por la Junta Ejecutiva (JE) del MDL.

El anexo con las Modalidades y Procedimientos para el MDL incluido en los Acuerdos de Marrakech (2001)¹, definió dos tipos de proyectos, según su escala. Aquellos proyectos cuya emisión de GEI no supere 15 ktCO₂eq/año, o que tengan una potencia eléctrica instalada menor a 15 MW, fueron definidos como de pequeña escala, lo cual los habilita a utilizar modalidades y procedimientos simplificados.

La Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) definió tres tipos de proyectos de pequeña escala, y preparó metodologías de línea de base indicativas para cada uno de los proyectos bajo esas tres categorías. En particular, las PCHs que se considerarán en lo sucesivo están comprendidas en el “*Tipo I: Actividades de proyecto de energía renovable con una capacidad máxima de 15 MW (o su equivalente apropiado)*”, y su correspondiente metodología indicativa es la “*AMS-I.D: Generación de electricidad a partir de fuentes renovables con conexión a la red*”². Esta metodología es aplicable a las centrales hidroeléctricas que cumplan al menos una de las siguientes condiciones:

¹ <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop7/cp713a02s.pdf>

² <http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/approved>

- La actividad del proyecto se implementa en un embalse existente, sin cambios en el volumen del reservorio.
- La actividad del proyecto se implementa en un embalse existente³, al cual se le aumenta el volumen del reservorio, siendo la densidad de potencia (*PD*) del proyecto mayor a 4 W/m^2 (definida como la potencia instalada dividida entre el área del embalse, ver punto 2.2).
- La actividad del proyecto resulta en un nuevo embalse y la *PD* del proyecto es mayor a 4 W/m^2 .

2.1 EMISIONES DE LA LÍNEA DE BASE

La metodología distingue dos situaciones posibles para la línea de base: sistemas eléctricos basados exclusivamente en generación a partir de combustibles fósiles; y todos los otros sistemas. Para el caso de Uruguay, corresponde considerar el segundo escenario.

Para el cálculo del factor de emisión de CO_2 equivalente (CO_2eq) del sistema eléctrico nacional, esta metodología propone dos procedimientos:

- (1) El promedio ponderado de las emisiones por unidad de energía eléctrica producida ($\text{tCO}_2\text{eq/MWh}$) por todas las fuentes usadas en el sistema.
- (2) La combinación de dos factores de emisión, el margen operativo y el margen de construcción, de acuerdo al procedimiento descrito en el *“Tool to calculate the emission factor for an electricity system”*. El margen operativo permite estimar el factor de emisiones de los generadores que hubieran operado en lugar del proyecto MDL propuesto. El margen de construcción permite estimar el factor de emisiones de los generadores que hubiesen sido construidos en lugar del proyecto MDL propuesto.

Este procedimiento ya ha sido utilizado para el cálculo de las emisiones del sistema eléctrico uruguayo por UTE (2008) y por diversos proyectos de reducción de emisiones aprobados por la Unidad de Cambio Climático (UCC) de la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA), registrados o en vías de registrarse como MDL⁴.

En ambas opciones se requiere conocer el factor de emisión de cada una de las fuentes empleadas y los datos de generación del sistema. El factor de emisión de cada generador termoeléctrico se calcula en base al factor de emisión de CO_2eq del tipo de combustible que utiliza y a la eficiencia de la unidad.

A modo de ejemplo, a continuación se presentan los factores de emisión por unidad de generación para las diferentes centrales térmicas del sistema eléctrico uruguayo,

³ Un embalse es considerado como existente si ha almacenado agua durante al menos tres años antes de la implementación de la actividad del proyecto.

⁴ Proyectos MDL con aprobación nacional:
http://www.cambioclimatico.gub.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=82

calculados por Maciel et al. (2013) a partir del documento de “Memoria Anual 2010” (UTE, 2010).

Tabla 2-1: Factor de emisión por central térmica de generación (Fuente: Maciel et al., 2013)

Nombre	Combustible	EF (tCO ₂ /MWh)
Central Batlle Sala B (*)	Fueloil	0,894
Central Batlle U5	Fueloil	0,838
Central Batlle U6	Fueloil	0,860
Central Térmica de Respaldo	Gasoil	0,940
Punta del Tigre (**)	Gasoil	0,713
Motores	Fueloil	0,610

(*) A partir de 2015 quedaría fuera de servicio.

(**) A partir de 2014 pasaría a funcionar con gas natural.

Recientemente, en el marco del proyecto ANII-FSE-2009-18 (Chaer et al., 2012), se elaboró un manual para el cálculo del factor de emisión de CO₂eq del sistema eléctrico uruguayo, adaptando el segundo procedimiento para su incorporación al software SimSEE (Simulador de Sistemas de Energía Eléctrica, Chaer (2008), ie.fing.edu.uy/simsee). A partir de esta herramienta, en el trabajo realizado por Maciel et al. (2013), se evaluó la evolución del factor de emisión de CO₂ en el periodo 2012-2020. El escenario del año 2020 se basa en un plan óptimo de expansión de la generación eléctrica en Uruguay (León et al, 2011). Los resultados obtenidos indican una fuerte disminución del factor de emisión entre 2012 y 2020, pasando de valores medios (para 100 simulaciones realizadas en el SimSEE) en el entorno de **0,60 tCO₂/MWh a 0,16 tCO₂/MWh**.

Finalmente, para calcular las emisiones de la línea de base se multiplica el factor de emisión del sistema por la generación de energía anual estimada del proyecto:

$$BE_y = EG_{PJ,y} * EF_{grid,CM,y}$$

Donde:

BE_y : Emisiones de la línea de base en el año y (tCO₂eq/año)

$EG_{PJ,y}$: Energía eléctrica entregada a la red por el proyecto en el año y (MWh)

$EF_{grid,CM,y}$: Factor de emisión del sistema eléctrico (tCO₂eq/MWh)

2.2 EMISIONES DEL PROYECTO DE PCH

Para la mayoría de las actividades de proyectos de energía renovable se considera que las emisiones del proyecto son nulas. Sin embargo, la metodología *AMS-I.D* menciona de forma explícita que las emisiones de los embalses de centrales hidroeléctricas deben ser consideradas según el procedimiento descrito en la metodología “*ACM0002*”:

Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources⁵.

En dicha metodología, las emisiones de CO₂ y CH₄ de los embalses se calculan de la siguiente manera, dependiendo del valor de la *PD*.

$$PD = (Cap_{PJ} - Cap_{BL}) / (A_{PJ} - A_{BL})$$

donde:

PD: Densidad de potencia del proyecto (W/m²)

Cap_{PJ}: Potencia instalada en la central luego de la implantación del proyecto (W)

Cap_{BL}: Potencia instalada en la central antes de la implantación del proyecto (W)

A_{PJ}: Área de la superficie del embalse luego de la implantación del proyecto, cuando el embalse está lleno (m²)

A_{BL}: Área de la superficie del embalse antes de la implantación del proyecto, cuando el embalse está lleno (m²)

Si la actividad del proyecto resulta en un nuevo embalse se tiene *Cap_{BL}* = 0 y *A_{BL}* = 0.

Si la actividad del proyecto se implementa en un embalse existente, sin cambios en el volumen del reservorio (*A_{PJ}* = *A_{BL}*), es razonable considerar que *PD* > 10.

- Si $4 \text{ W/m}^2 \leq PD \leq 10 \text{ W/m}^2$:

$$PE_{HP,y} = EF_{Res} * TEG_y$$

Donde:

PE_{HP,y}: Emisiones del proyecto desde el embalse en el año *y* (tCO₂eq/año)

EF_{Res}: Factor de emisión por defecto para emisiones desde embalses de centrales hidroeléctricas en el año *y* (tCO₂eq/MWh)

TEG_y: Energía total generada por el proyecto en el año *y* (MWh)

Según la JE (EB23), el factor de emisión por defecto para emisiones desde embalses de centrales hidroeléctricas es de **0,090 tCO₂eq/MWh**.

- Si $PD > 10 \text{ W/m}^2$:

$$PE_{HP,y} = 0$$

Resumen

Para dar cuenta de las emisiones de GEI de los embalses hidroeléctricos, el MDL basa la elegibilidad de un proyecto en la densidad de potencia (*PD*), que se define como la potencia instalada dividida entre el área del embalse.

⁵ <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved>

Tabla 2-2: Restricciones para proyectos hidroeléctricos bajo el MDL

Densidad de potencia (W/m ²)	Contabilización de GEI
< 4	No se permite utilizar las metodologías aprobadas actuales.
4 - 10	Se permite utilizar las metodologías aprobadas y las emisiones del proyecto deben ser incluidas al nivel de 0,090 tCO ₂ eq/MWh.
> 10	Se permite utilizar las metodologías aprobadas y se admite no considerar las emisiones del proyecto.

Si bien no se excluye del MDL a los proyectos con bajas densidades de potencia (Tabla 2-2), los desarrolladores de dichos proyectos tendrían que crear una nueva metodología y obtener su aprobación por el Panel Metodológico del MDL. En general, debido a que este proceso es arduo y sin certidumbre de su aceptación, los proyectos con bajas densidades de potencia son excluidos de facto del MDL. Igualmente, en el punto 3 se propone una metodología para calcular las emisiones GEI de embalses basada en las Directrices del IPCC.

En febrero de 2006 el Panel Metodológico recomendó este criterio de elegibilidad debido a que existían muy pocos datos científicos y entendimiento como para calcular con mayor exactitud las emisiones anticipadas de un embalse.

Los datos de embalses latinoamericanos respaldan la recomendación del Panel Metodológico. En la Figura 2-2 se presentan las emisiones de CO₂eq (kgCO₂e/MWh) en función de la densidad de potencia (MW/km²) de embalses tropicales de América Latina en la Amazonia, la zona costera de la Mata Atlántica y en zonas semiáridas del Caatinga (Brasil); la línea punteada (coal line) indica la emisión de una central termoeléctrica con una eficiencia del 37% (Gunkel, 2009).

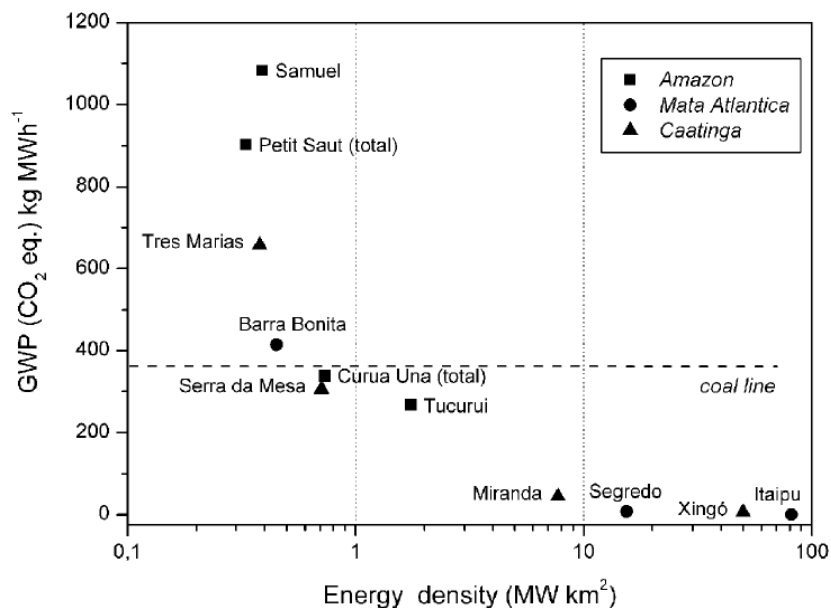


Figura 2-2: Emisiones de CO₂eq en función de la densidad de potencia (W/m²) de embalses tropicales de América Latina
Fuente: Gunkel (2009)

Las represas con bajas densidades de potencia se caracterizan por tener emisiones relativamente altas, mientras que aquellas con altas densidades de potencia presentan relativamente bajas emisiones.

2.3 REDUCCIÓN DE EMISIONES

A partir de las emisiones de la línea de base y de las emisiones del proyecto de PCH, se calcula la reducción de emisiones en cada año según:

$$ER_y = BE_y - PE_y$$

Donde:

ER_y : Reducción de emisiones en el año y (tCO₂eq/año)

BE_y : Emisiones de la línea de base en el año y (tCO₂eq/año)

PE_y : Emisiones del proyecto en el año y (tCO₂eq/año)

En general, se presentan las emisiones de la actividad del proyecto, las emisiones de la línea de base, la reducción de emisiones del proyecto en cada año, y la cantidad total de GEI reducidos durante el periodo considerado, utilizando la siguiente forma tabular.

Tabla 2-3: Resumen de la estimación ex-ante de la reducción de emisiones

Año	Estimación de emisiones del proyecto (tCO ₂ eq)	Estimación de emisiones de la línea base (tCO ₂ eq)	Estimación de reducción de emisiones (tCO ₂ eq)
Total (tCO₂eq)			

3. CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI EN EMBALSES SEGÚN EL IPCC

Para el caso de proyectos de centrales hidroeléctricas con una *PD* menor a 4 W/m^2 , en los que no se permite aplicar la metodología *ACM0002*, a continuación se presentan los métodos para estimar las emisiones de CO_2 y CH_4 provenientes de tierras convertidas en tierras permanentemente inundadas propuestos en las Directrices del IPCC en 2006 (*Apéndice 2 y Apéndice 3 del Capítulo 7: Humedales, Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*)⁶.

Estas directrices brindan recomendaciones sobre los métodos de estimación en tres niveles de detalle, desde el nivel 1 (el método por defecto) hasta el nivel 3 (el más detallado):

- **Nivel 1:** proporciona un enfoque simplificado para estimar las emisiones provenientes de los embalses mediante el empleo de factores de emisión por defecto y de datos generales sobre el área de estudio. El único mecanismo de emisión incluido es la difusión que ocurre durante el periodo libre de hielos (que en el caso de Uruguay corresponde a todo el año).
- **Nivel 2:** para estimar las emisiones requiere factores de emisión específicos del país, pudiendo distinguir entre los periodos en los que los reservorios están libres de hielo y aquéllos en que están cubiertos de hielo. El único mecanismo de emisión de CO_2 incluido es la difusión, mientras que en el caso del CH_4 se incluyen las emisiones por flujo difusivo y burbujeo.
- **Nivel 3:** los métodos para estimar las emisiones son exhaustivos e incluyen datos adicionales específicos del país sobre todos los procesos de emisión pertinentes. Considera además la edad, la profundidad, la ubicación geográfica, y la temperatura del agua del reservorio.

En la Tabla 3-1 se presenta un resumen de la cobertura de los tres niveles en relación con los procesos y factores de emisión de CO_2 y CH_4 .

Tabla 3-1: Niveles de detalle y coberturas de las emisiones

Nivel	Mecanismos de emisión (*)		Factores de emisión
	CO_2	CH_4	
Nivel 1	Flujo difusivo	Flujo difusivo	Por defecto
Nivel 2	Flujo difusivo	Flujo difusivo Burbujeo	Específicos del país
Nivel 3	Todas	Todas	Mediciones detalladas

(*) En el Anexo I se presentan los aspectos generales de las emisiones de GEI en embalses, identificando las fuentes de carbono y los diferentes mecanismos de emisión (flujo difusivo, burbujeo, desgasificación y directamente desde el curso de agua aguas abajo de la presa).

⁶ <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>

En la Tabla 3-2 se presentan las emisiones medidas de CO₂ y CH₄ provenientes de tierras inundadas en varias zonas climáticas. Todos los datos se han obtenido a partir de mediciones en centrales hidroeléctricas o en embalses para el control de inundaciones (IPCC, 2006).

Tabla 3-2: Emisiones medidas provenientes de tierras inundadas

Emisiones medidas de CO ₂ (kgCO ₂ eq/há/día)					
Clima	Mediana *	Mín. *	Máx. *	N _m **	N _{res} **
Polar / Boreal muy húmedo	11,8	0,8	34,5	1011	20
Templado frío, húmedo	15,2	4,5	86,3	633	20
Templado cálido, húmedo	8,1	-10,3	57,5	507	33
Templado cálido, seco	5,2	-12,0	31,0	390	43
Tropical, muy húmedo	44,9	11,5	90,9	642	7
Tropical, seco	39,1	11,7	58,7	197	5

Emisiones medidas de CH ₄ (kgCH ₄ /há/día)					
Clima	Mediana *	Mín. *	Máx. *	N _m **	N _{res} **
Polar / Boreal muy húmedo	0,086	0,011	0,3	253	13
Templado frío, húmedo	0,061	0,001	0,2	233	10
Templado cálido, húmedo	0,150	-0,05	1,1	416	16
Templado cálido, seco	0,044	0,032	0,09	135	5
Tropical, muy húmedo	0,630	0,067	1,3	303	6
Tropical, seco	0,295	0,070	1,1	230	5

* Se emplean las medianas pues las distribuciones de frecuencia de las mediciones de flujo no son normales y sus medias aritméticas están sesgadas por los valores extremos. Los valores Mín y Máx corresponden a los más bajos y los más altos de todas las mediciones individuales dentro de una región climática dada; se dan sólo como indicación de la variabilidad.

** N_m = cantidad de mediciones; N_{res} = cantidad de reservorios muestreados.

Para expresar dichas emisiones en tCO₂eq se requiere conocer el potencial de calentamiento atmosférico del CH₄ (que expresa la capacidad de absorción de la radiación terrestre de onda larga), el cual es 21 veces el de una unidad de CO₂, es decir que 1 tCH₄ ≈ 21 tCO₂eq (Fuente: UCC, 2010).

Cabe destacar que las emisiones estimadas a partir de los factores de emisión por defecto (Tabla 3-2) son muy inciertas, ya que los mismos varían por uno y hasta tres órdenes de magnitud, y no consideran las diferencias en las condiciones específicas del sitio ni del tiempo transcurrido desde la inundación.

Para reducir las incertidumbres de los factores de emisión, la bibliografía analizada recomienda que los países desarrollen estrategias de muestreo apropiadas y estadísticamente válidas que tomen la variabilidad espacial y temporal de los ecosistemas estudiados.

Por otro lado, deben considerarse los cambios en las existencias de carbono debidos a la conversión de la tierra en tierra permanentemente inundada, y las emisiones

provocadas por el cambio en el uso de las tierras por sí mismo (por ejemplo, el despeje de las tierras ocurrido antes de la inundación y la quema de la biomasa despejada). Las mismas pueden estimarse mediante las metodologías proporcionadas en otros lugares del *Volumen 4*.

Se adjuntan los *Apéndices 2 y 3* de las Directrices del IPCC (2006), donde se detallan las hipótesis y expresiones a emplear según el nivel de detalle considerado para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄ respectivamente, provenientes de tierras convertidas en tierras permanentemente inundadas.

4. ANEXO I: ASPECTOS GENERALES DE LAS EMISIONES GEI EN EMBALSES

Todos los sistemas de agua dulce, ya sean naturales o artificiales, emiten GEI debido a la descomposición de la materia orgánica que permanece sumergida. Los principales GEI emitidos son el *dióxido de carbono* (CO₂) y el *metano* (CH₄), y en menor medida el *óxido nitroso* (N₂O).

Si no existe un aporte significativo de nitrógeno desde la cuenca como resultado de diversas actividades antropogénicas (cambios en el uso del suelo, tratamiento de aguas residuales, aplicación de fertilizantes, etc.), la limitada contribución de las emisiones de N₂O habilita a que las mismas no sean consideradas.

Las características de las emisiones de GEI de los embalses dependen del carbono y la carga de nutrientes que aporta la cuenca, de la temperatura, la concentración de oxígeno, el tipo y densidad de la vegetación inundada, la flora y fauna acuáticas, el tiempo de residencia, la velocidad del viento, la estructura térmica, la topografía, forma y edad del embalse, y el nivel de agua. En particular, la edad del embalse y la cantidad y tipo de vegetación inundada juegan un rol fundamental en la tasa de descomposición de la materia orgánica. Inmediatamente después de la inundación (durante los primeros diez años) hay un aumento abrupto de las emisiones de GEI, tras lo cual las mismas disminuyen hasta un nivel relativamente estable (Abril et al., 2005; Tremblay et al., 2005).

A su vez, las emisiones varían con el clima (boreal, templado, tropical, etc.). Según Tremblay et al. 2005, los niveles de emisión en los climas fríos y templados son generalmente bajos, pero pueden ser altos en algunos sistemas tropicales con persistente anoxia.

Según la UNESCO/IHA (2008), las fuentes de carbono para el CO₂ y CH₄ se derivan de:

- Descomposición de la materia orgánica transportada por el curso de agua (proveniente de la cuenca).
- Biomasa producida en el embalse.
- Descomposición de la materia orgánica de las plantas y suelos inundados por el embalse.

El CO₂ se forma por la descomposición del carbono orgánico presente en el embalse. Las principales fuentes de este carbono son la vegetación y el material orgánico de los suelos inundados al llenarse el embalse por primera vez, la materia orgánica transportada por el curso de agua, el plancton y las plantas acuáticas que crecen y mueren en el embalse, y la vegetación que crece en el suelo temporalmente expuesto durante periodos en los que el embalse se encuentra con poca agua. Por otra parte, las plantas acuáticas y el plancton presentes en los embalses utilizan como fuente de carbono el CO₂ mediante el proceso de fotosíntesis.

El CH₄ es formado por bacterias que descomponen, habiendo nulo o bajo contenido de oxígeno, la materia orgánica de las aguas y los sedimentos presentes en el fondo del embalse. Una porción del metano se oxida a CO₂ al subir a la superficie de embalse.

Los embalses tropicales con poca profundidad de agua en los que las burbujas tienen menos tiempo para oxidarse tienden a aportar las más altas emisiones de CH_4 .

Los GEI son emitidos a la atmósfera desde los embalses a través de cuatro mecanismos: flujo difusivo, burbujeo, desgasificación, y directamente desde el curso aguas abajo de la presa.

- **Flujo difusivo**

Las emisiones por flujo difusivo ocurren a través de la evaporación del CO_2 y CH_4 desde la superficie del agua para alcanzar un equilibrio con el aire sobre el embalse. Este es el principal mecanismo de emisión del CO_2 .

- **Burbujeo**

Las emisiones por burbujeo ocurren como resultado de la descomposición del material vegetal que fue inundado. A medida que el material vegetal se descompone, el CH_4 es emitido en forma gaseosa y se eleva hasta la superficie del embalse. Este proceso constituye la fuente minoritaria de emisiones de CO_2 , pero es una fuente importante de CH_4 , sobre todo en regiones templadas y tropicales.

- **Desgasificación**

Las emisiones por desgasificación ocurren cuando el agua escurre por las compuertas de salida del embalse. A medida que el agua sale del embalse, se mezcla con el aire y promueve el flujo de CO_2 y CH_4 hacia la atmósfera. Este es un mecanismo importante de emisión de CH_4 .

- **Curso aguas abajo del embalse**

Las emisiones GEI provenientes de embalses, no se limitan a la superficie del espejo de agua, turbinas y vertederos, sino que existen emisiones aguas abajo de la presa, mediante el flujo difusivo desde la superficie del agua.

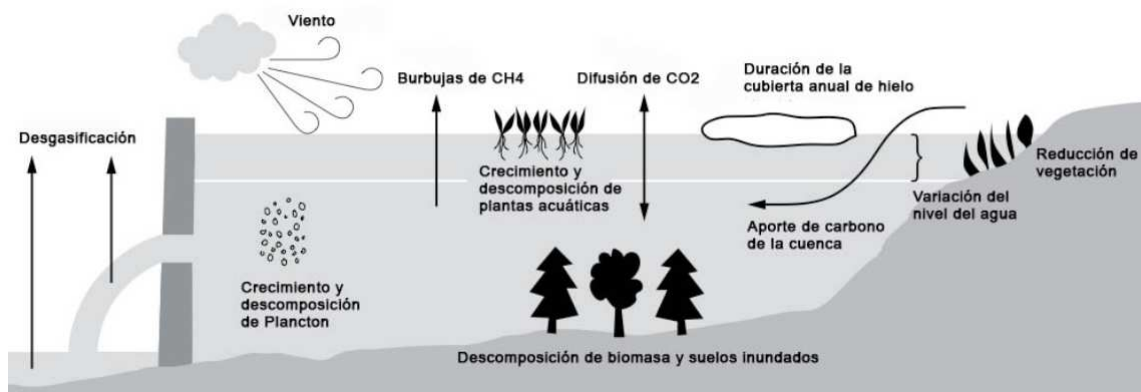


Figura 4-1: Principales factores que influyen en las emisiones GEI en embalses

Fuente: International Rivers (2008)

Hasta el presente no existe consenso en la comunidad científica sobre la metodología para la medición y evaluación de las emisiones GEI en embalses, ya que, tal como fue mencionado anteriormente, las mismas dependen de múltiples factores. Esto da lugar a diferentes grados de incertidumbre en los resultados obtenidos. Por lo tanto se

requiere de investigaciones concluyentes en la temática, que determinen reglas más estrictas y requisitos estandarizados para la evaluación de las emisiones de GEI en todo el ciclo de vida, con el fin de diferenciar entre las variaciones debidas a las diferencias metodológicas y las debidas a las diferencias reales en el desempeño de las centrales.

5. ANEXO II: DOCUMENTOS ADJUNTOS

Se adjuntan los siguientes documentos, mencionados a lo largo del presente informe:

1. Methodology AMS-I.D: "Grid connected renewable electricity generation".
2. Methodological Tool: "Tool to calculate the emission factor for an electricity system".
3. Cálculo del factor de emisiones de CO₂ del sistema eléctrico uruguayo 2007 (UTE).
4. Methodology ACM0002: "Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources".
5. Apéndice 2 del IPCC (2006): "Enfoque posible para estimar las emisiones de CO₂ provenientes de las tierras convertidas en tierras permanentemente inundadas: Base para su futuro desarrollo metodológico".
6. Apéndice 3 del IPCC (2006): "Emisiones de CH₄ provenientes de tierras inundadas: Base para su futuro desarrollo metodológico".

BIBLIOGRAFÍA

Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, A.M. and Matvienko, B. (2005), Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycle*, 2005.

Apéndice 2 - Posible método para estimar las emisiones de CO₂ de tierras convertidas en Tierras inundadas permanentemente: Base para su futuro desarrollo metodológico. Capítulo 7: Humedales, Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Duchemin E. (Canadá), Huttunen J.T. (Finlandia), Tremblay A. (Canadá), Delmas R. (Francia), y Silveira Menezes C.F. (Brasil).

Apéndice 3 - Emisiones de CH₄ procedentes de las tierras inundadas: Base para su futuro desarrollo metodológico. Capítulo 7: Humedales, Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Duchemin E. (Canadá), Huttunen J.T. (Finlandia), Tremblay A. (Canadá), Delmas R. (Francia), y Silveira Menezes C.F. (Brasil).

Avances en el Campo de las Emisiones de Embalses - Un Informe sobre la Investigación y las Directrices Recientes, Parekh P. para International Rivers, 2011.

Chaer, R. (2008), Simulación de sistemas de energía eléctrica. Tesis de maestría en Ingeniería Eléctrica. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 2008.

Chaer R., Coppes E., Barreto F., Tutté C., Maciel F., Forets M., Cornalino E., Gurín Añasco M., Álvarez M.C., Palacios F. y Cohn D (2012), Proyecto ANII-FSE-2009-18 - Mejoras a la plataforma SimSEE, Memoria Final. Montevideo, Uruguay, 2012.

Determinación de Factores de Emisión Genéricos para Proyectos de Generación Eléctrica con Conexión a la Red en Uruguay bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto. Martino D., Montevideo, 2005.

Guía Práctica para Desarrolladores de Proyectos MDL. Ministerio del Ambiente - MINAM, Perú, 2011.

Gunkel, G. (2009), Hydropower - A green energy? Tropical reservoirs and greenhouse gas emissions, *Clean*, 37.

Hydropower Greenhouse Gas Emissions, State of the Research. Steinhurst W., Knight P. and Schultz M., Synapse Energy Economics, Inc. February, 2012.

International Rivers (2008), Represas sucias - Las represas y las emisiones de gases de efecto invernadero.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds), IGES, Japan, 2006.

León, M., N. Castromán, D. Larrosa, G. Casaravilla y R. Chaer (2011), Planificación de las inversiones de generación eléctrica con control de la volatilidad de los costos anuales

de abastecimiento. 3er Encuentro Latinoamericano de Economía de la Energía, Buenos Aires, Argentina, 2011.

Maciel F., Chaer R. y Vignolo M. (2013), Evolución prevista del factor de emisión de CO₂ del sistema de generación de energía eléctrica de Uruguay - 2012 a 2020. 4to Encuentro Latinoamericano de Economía de la Energía, Montevideo, Uruguay, 2013.

Raadal, Hanne Lerche, et al., 2011, op. cit.

IPCC (2012). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), first published 2012.

Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (2005), Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments, Environmental Science Series, Springer, New York, 732 pages, 2005.

UCC (2010). Tercera Comunicación Nacional a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Uruguay, Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Dirección Nacional de Medio Ambiente, Unidad de Cambio Climático. 2010.

UNESCO/IHA (2008), Assessment of the GHG status of freshwater reservoirs: scoping paper. Working Group on Greenhouse Gas Status of Freshwater Reservoirs. International Hydrological Programme. 28p. IHP/GHG-WG/3.

UTE (2008). Cálculo del factor de emisiones de CO₂ del sistema eléctrico uruguayo 2007. Gerencia Planificación de Inversiones y Medio Ambiente, UTE, 2008, Versión 03.

UTE (2010). Memoria Anual 2010, UTE,
http://www.ute.com.uy/pags/Institucional/memoria_anual.html