

Apéndice 3 Emisiones de CH₄ provenientes de tierras inundadas: Base para su futuro desarrollo metodológico

Este apéndice proporciona una base para los futuros desarrollos metodológicos, aunque no una orientación exhaustiva.

Las tierras inundadas pueden emitir CH₄ en cantidades significativas, según una variedad de características tales como la edad y la profundidad de los reservorios, el uso de las tierras anterior a la inundación, el clima y las prácticas de gestión. A diferencia de las emisiones de CO₂, las de CH₄ son muy variables tanto espacialmente como temporalmente. Las mediciones actuales de los flujos de CH₄ provenientes de las tierras inundadas no son lo suficientemente exhaustivas como para sostener el desarrollo de factores de emisión exactos por defecto (en particular, para las emisiones de burbujas y de desgasificación). Además, no se dispone de datos sobre los países con áreas sustanciales cubiertas por reservorios, como la India, China y Rusia.

El estudio de las mediciones no indica que el tiempo transcurrido desde el incidente de la inundación ejerza una influencia significativa en los flujos de CH₄ a partir de los reservorios de climas templados y boreales. Lo contrario es cierto en las regiones tropicales, donde el tiempo transcurrido desde el inicio de la inundación puede influir significativamente tanto en las emisiones difusoras, por burbujas como por desgasificación de CH₄. Esta tendencia fue observada sólo en el reservorio Petit-Saut de la Guayana Francesa (Abril *et al.*, 2005); sin embargo, algunos reservorios tropicales antiguos muestran altas emisiones de burbujas (Duchemin *et al.*, 2000; Stallard y Keller, 1994). El modelo desarrollado para el reservorio Petit-Saut predijo muy bien las concentraciones de CH₄ disuelto de un reservorio de la Costa de Marfil (Galy-Lacaux *et al.*, 1998).

Las pruebas sugieren que en las tierras inundadas, por lo general, el CH₄ se produce exclusivamente a partir de los suelos inundados; la producción de este gas es suficiente para sostener las mediciones de flujos en la interfaz agua-aire (Houel, 2003; Duchemin, 2000; Abril *et al.*, 2005).

3a.1 Tierras inundadas que permanecen como tales

Esta sección proporciona información sobre cómo estimar las emisiones de CH₄ provenientes de las *Tierras inundadas que permanecen como tales*. Esta información se ha extraído de la bibliografía disponible, con la intención de que sirva a los países que desean desarrollar estimaciones preliminares de las emisiones de CH₄ a partir de esta fuente. Los países con emisiones potencialmente significativas de CH₄ provenientes de las tierras inundadas, y que se plantean declarar estas emisiones, deben considerar el desarrollo de factores de emisión específicos del país para reducir la incertidumbre total. En el Recuadro 2a.1 del Apéndice 2 se brinda orientación para desarrollar tales factores.

3A.1.1 EMISIONES DE CH₄ PROVENIENTES DE TIERRAS INUNDADAS QUE PERMANECEN COMO TALES

CUESTIONES METODOLÓGICAS

Las emisiones post-inundación de CH₄ pueden ocurrir a través de las vías siguientes:

- Emisiones difusoras provocadas por la difusión molecular a través de la interfaz aire-agua;
- Emisiones de burbujas, o emisiones de gas provenientes del sedimento a través de la columna de agua mediante burbujas; ésta es una vía muy importante de emisiones de CH₄, en particular en las regiones templadas y tropicales.
- Emisiones de desgasificación o emisiones que son el resultado de un cambio repentino de la presión hidrostática, así como de la superficie creciente de intercambio aire/agua después de que el agua de los reservorios fluye a través de una turbina y/o una vía de desagüe (Hélie, 2004; Soumis *et al.*, 2004; Delmas *et al.*, 2005); ésta es una vía muy importante de emisiones de CH₄ desde los jóvenes reservorios tropicales.

El enfoque de Nivel 1 cubre sólo las emisiones difusoras. El Nivel 2 incluye un término para estimar las emisiones de CH₄ por burbujas y, donde sea aplicable, una consideración separada para los periodos libres de hielo y cubiertos de hielo. Los métodos de Nivel 3 se refieren a todo enfoque basado en mediciones detalladas que incluya una estimación de todos los flujos de CH₄ pertinentes que provienen de las tierras inundadas, lo cual incluye también las emisiones de desgasificación y considera la profundidad, la ubicación geográfica y la

temperatura del agua del reservorio durante la totalidad de su vida útil. Los métodos de Nivel 3 no se esbozan con más detalle en este capítulo, pero los países deben referirse al Recuadro 2a.1 del Apéndice 2, sobre la derivación de factores de emisión específicos del país, como recurso para implementar el enfoque de Nivel 3. El Cuadro 3a.1 es un resumen de la cobertura de los tres niveles en relación con las vías de emisión de CH₄.

CUADRO 3A.1 RESUMEN DE LOS MÉTODOS Y LA COBERTURA DE LAS EMISIONES	
	CH ₄
Nivel 1	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones difusoras
Nivel 2	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones difusoras • Emisiones por burbujas
Nivel 3	<ul style="list-style-type: none"> • Todas las emisiones

La sección siguiente describe los enfoques de Nivel 1 y Nivel 2 para las emisiones de CH₄.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

El metano puede emitirse desde las tierras inundadas a través de la liberación de burbujas, por difusión y por desgasificación. El árbol de decisión de la Figura 3a.1 orienta al compilador del inventario a través del proceso de selección del enfoque apropiado para estimar las emisiones de CH₄ provenientes de las tierras inundadas. La selección del nivel y el nivel de desagregación espacial y temporal implementado por los compiladores del inventario dependen de la disponibilidad de los datos de la actividad y los factores de emisión, así como de la importancia de los reservorios en tanto contribuyentes a las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero. Siempre se prefieren las pruebas científicas y los datos específicos del país en vez de los datos por defecto del Nivel 1.

Nivel 1

El método de Nivel 1 para estimar las emisiones de CH₄ provenientes de las tierras inundadas incluye sólo las emisiones difusoras durante el periodo libre de hielos. Las emisiones producidas durante el periodo cubierto de hielos se suponen nulas. La Ecuación 3a.1 puede utilizarse con las emisiones medidas proporcionadas en el Cuadro 3a.2 y con el área total de las tierras inundadas.

ECUACIÓN 3A.1 EMISIONES DE CH ₄ PROVENIENTES DE LAS TIERRAS INUNDADAS (NIVEL 1)
$Emisiones\ de\ CH_{4\ WW\ inundación} = P \cdot E(CH_4)_{dif} \cdot A_{inundación_superficie_total} \cdot 10^{-6}$

Donde:

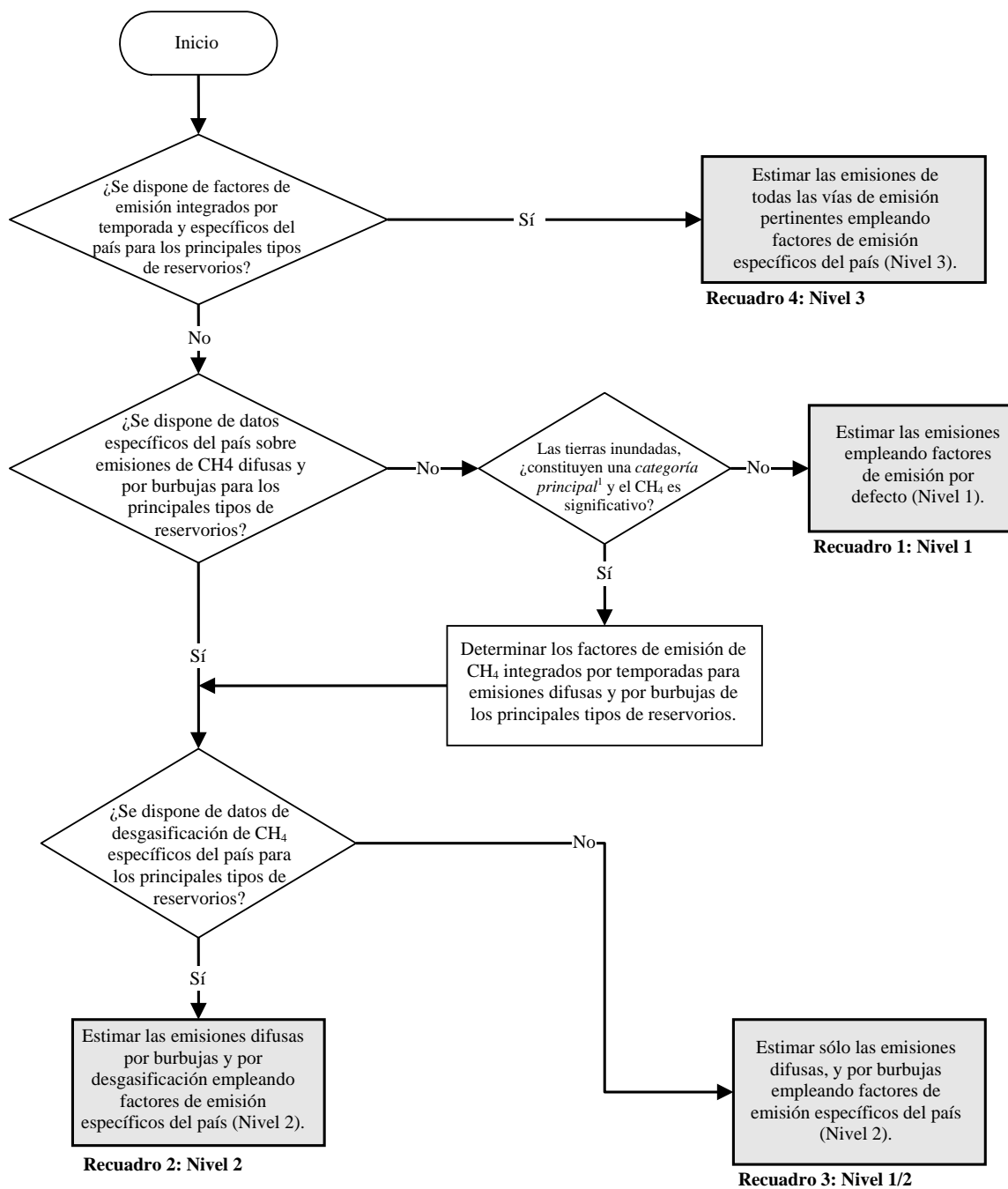
Emisiones de CH₄ _{ww inundación} = total de las emisiones de CH₄ provenientes de las tierras inundadas, Gg de CH₄ año⁻¹

P = periodo libre de hielos, días año⁻¹ (por lo general, 365 para las estimaciones de inventario anuales, o menos en los países con periodo con cobertura de hielo)

E(CH₄)_{dif} = promedio diario de las emisiones difusoras, kg. de CH₄ ha⁻¹ día⁻¹

A_{inundación, superficie total} = área total de la superficie inundada, incluidas las tierras inundadas, los lagos y ríos, ha

Figura 3a.1 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH₄ provenientes de las Tierras inundadas que permanecen como tales**



Nota:

- 1: Véase el Volumen 1, Capítulo 4, «Opción metodológica e identificación de categorías principales» (principalmente la sección 4.1.2 relativa a los recursos limitados) para el análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión.
- 2: Una subcategoría es significativa si implica un 25-30% del total de las emisiones/absorciones del total de la categoría.

Nivel 2

Un método de Nivel 2 para estimar las emisiones de CH₄ requiere factores de emisión específicos del país para las emisiones difusoras y por burbujas y da cuenta, donde corresponda, de las diferentes tasas de difusión y de formación de burbujas de las emisiones durante los periodos de reservorios libres de hielo y cubiertos de hielo. El área de las tierras inundadas puede desagregarse también por zona climática o según cualquier parámetro pertinente listado en el Recuadro 2a.1 del Apéndice 2. Este enfoque está descrito por la Ecuación 3a.2.

ECUACIÓN 3A.2
EMISIONES DE CH₄ PROVENIENTES DE LAS TIERRAS INUNDADAS (NIVEL 2)

$$Emisiones\ de\ CH_{4\ WW\ inundación} = \left[\begin{array}{l} (P_f \cdot E_f(CH_4)_{dif} \cdot A_{inundación,superficie}) + \\ (P_f \cdot E_f(CH_4)_{burbuja} \cdot A_{inundación,superficie}) + \\ P_i \cdot (E_i(CH_4)_{dif} + E_i(CH_4)_{burbuja}) \cdot A_{inundación,superficie} \end{array} \right]$$

Donde:

Emisiones de CH₄ _{WW inundación} = total de las emisiones de CH₄ provenientes de las tierras inundadas por año, kg. de CH₄ año⁻¹

P_f = periodo libre de hielos, días año⁻¹

P_i = periodo cubierto de hielos, días año⁻¹

E_f(CH₄)_{dif} = promedio diario de las emisiones difusoras provenientes de la interfaz aire-agua durante el periodo libre de hielos, kg. de CH₄ ha⁻¹ día⁻¹

E_f(CH₄)_{burbuja} = promedio diario de las emisiones por burbujas provenientes de la interfaz aire-agua durante el periodo libre de hielos, kg. de CH₄ ha⁻¹ día⁻¹

E_i(CH₄)_{dif} = emisiones difusoras relacionadas con el periodo cubierto de hielos, kg. de CH₄ ha⁻¹ día⁻¹

E_i(CH₄)_{burbuja} = emisiones por burbujas relacionadas con el periodo cubierto de hielos, kg. de CH₄ ha⁻¹ día⁻¹

A_{inundación, superficie total} = área total de la superficie inundada, incluidas las tierras inundadas, los lagos y ríos, ha

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Nivel 1

Los principales valores por defecto necesarios para implementar el método de Nivel 1 son los factores de emisión de CH₄ a través de la vía de la difusión. El Cuadro 3a.2 proporciona emisiones medidas para varias zonas climáticas. En la medida de lo posible, dada la investigación disponible, estas emisiones medidas integran las variaciones espaciales (al interior de los reservorios y regionales) y temporales (seco/lluvioso y otras variaciones estacionales e inter-anales) de las emisiones de los reservorios. Para el Nivel 1, deben usarse sólo los factores de emisión por defecto para el periodo libre de hielos. Las emisiones de CH₄ producidas durante el periodo cubierto de hielos se suponen nulas. Cuando no se disponga de datos por defecto, los países deben utilizar los valores de los factores de emisión más cercanos (emisiones de las zonas climáticas más similares).

Nivel 2

Bajo el Nivel 2, deben emplearse, en la medida de lo posible, los factores de emisión específicos del país en vez de los factores por defecto. También es necesario hacer estimaciones adicionales para las emisiones invernales y las emisiones de burbujas, las cuales requieren el desarrollo de factores de emisión específicos del país. Se prevé el uso de una mezcla de valores por defecto y de factores de emisión específicos del país cuando estos últimos no cubren el rango total de las condiciones ambientales ni de gestión. El desarrollo de los factores de emisión específicos del país se analiza en el Recuadro 2a.1 del Apéndice 2. La derivación de los factores específicos del país debe documentarse claramente y publicarse en bibliografía con revisión de pares.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Para estimar las emisiones de las tierras inundadas pueden necesitarse varios tipos diferentes de datos de la actividad, según el nivel de la implementación y las fuentes conocidas de variabilidad espacial y temporal dentro del territorio nacional. Estos tipos de datos de la actividad corresponden a los mismos datos requeridos para las emisiones de CO₂, como se describe en la Sección 7.3.2.

Área de las tierras inundadas

Para estimar las emisiones difusoras y de burbujas se requieren los datos específicos del país sobre el área de las tierras inundadas. Como alternativa, los países pueden obtener una estimación del área de sus tierras inundadas a partir de un análisis de cobertura del drenaje de las cuencas, de una base de datos sobre represas y embalses, de la Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD, *International Commission on Large Dams*, 1998) o del informe de la Comisión Mundial sobre Represas (WCD, *World Commission on Dams*, 2000). Dado que el área de las tierras inundadas puede cambiar rápidamente, los países deben usar datos actualizados y recientes. Los enfoques de Nivel 2 y 3 se apoyan de preferencia en una base de datos nacional para seguir la evolución del área de las superficies de los reservorios. Esta base de datos debe incluir también otros parámetros como la profundidad, el año de la inundación y la ubicación geográfica de los reservorios (véase el Recuadro 2a.1 del Apéndice 2).

Periodo libre de hielos / periodo cubierto de hielos.

Para los Niveles 2 y 3, al estimar las emisiones de CH₄ se necesita conocer los periodos durante los cuales los reservorios están libres de hielo o totalmente recubiertos de hielo. Esta información puede obtenerse a través de los servicios meteorológicos nacionales.

Volumen de los flujos de salida y/o desagües

Para el Nivel 3, al estimar las emisiones de CH₄ por desgasificación, se necesita conocer el volumen de los flujos de salida y/o desagües de las tierras inundadas.

Concentraciones de CH₄ corriente arriba y corriente abajo de las represas.

Para el Nivel 3, al estimar las emisiones de desgasificación, es necesario conocer las concentraciones de CH₄ corriente arriba y corriente abajo de las represas. La información sobre cómo medir estos datos puede obtenerse a partir de las referencias citadas en el Recuadro 2a.1 del Apéndice 2.

CUADRO 3A.2 EMISIONES MEDIDAS DE CH ₄ PROVENIENTES DE LAS TIERRAS INUNDADAS						
Clima	Emisiones difusoras (periodo libre de hielos) E _r (CH ₄) _{dir} (kg. de CH ₄ ha ⁻¹ día ⁻¹)					Referencias
	Median	Mín.	Máx.	N _m	N _{res}	
Polar / boreal muy húmedo	0,086	0,011	0,3	253	13	Blais 2005; Tremblay <i>et al.</i> , 2005; Therrien, 2004; Therrien, 2005; Huttunen <i>et al.</i> , 2002; Lambert, 2002; Duchemin, 2000
Templado frío, húmedo	0,061	0,001	0,2	233	10	Tremblay <i>et al.</i> , 2005; Therrien, 2004; Blais, 2005; Lambert, 2002; Duchemin <i>et al.</i> , 1999
Templado cálido, húmedo	0,150	- 0,05	1,1	416	16	Tremblay <i>et al.</i> , 2005; Soumis <i>et al.</i> , 2004; Duchemin, 2000; Smith y Lewis, 1992
Templado cálido, seco	0,044	0,032	0,09	135	5	Therrien <i>et al.</i> , 2005; Therrien, 2004; Soumis <i>et al.</i> , 2004
Tropical, muy húmedo	0,630	0,067	1,3	303	6	Tavares de lima, 2005; Abril <i>et al.</i> , 2005; Therrien, 2004; Rosa <i>et al.</i> , 2002; Tavares de lima <i>et al.</i> , 2002; Duchemin <i>et al.</i> , 2000; Galy-Lacaux <i>et al.</i> , 1997; Galy-Lacaux, 1996; Keller y Stallard, 1994
Tropical, seco	0,295	0,070	1,1	230	5	Rosa <i>et al.</i> , 2002; Dos Santos, 2000

Los valores de la segunda columna representan las medianas de las emisiones de CH₄ declaradas en la bibliografía, las cuales corresponden, en sí, a las medias aritméticas de los flujos medidos sobre los reservorios individuales. Se usan las medianas, pues la frecuencia de las distribuciones de las mediciones de flujo subyacentes no son normales y sus medias aritméticas están ya 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 una indicación de la variabilidad. N_m = cantidad de mediciones; N_{res} = cantidad de reservorios muestreados.

Estas mediciones pueden incluir las emisiones no antropogénicas (p. ej., emisiones provenientes del carbono en la cuenca corriente arriba) y posibles cálculos de emisiones antropogénicas (p. ej., aguas servidas de las zonas urbanas de la región del reservorio) y de este modo pueden sobreestimar las emisiones.

EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Las dos fuentes más grandes de incertidumbre en la estimación de las emisiones de CH₄ provenientes de las tierras inundadas son los factores de emisión de calidad para las diferentes vías de emisión (difusoras, por burbujas y por desgasificación) y las estimaciones de las áreas de las tierras inundadas.

Factores de emisión

Como se muestra en el Cuadro 3a.2, las emisiones difusoras promedio pueden variar por un orden de magnitud entre las regiones boreales y templadas y por uno hasta tres órdenes de magnitud en las regiones tropicales. Se observa la misma variabilidad en las emisiones por burbujas en todas las regiones (alrededor de un orden de magnitud). Por lo tanto, el empleo de todo factor de emisión implica una alta incertidumbre.

Las emisiones de CH₄ por desgasificación son también una fuente importante de incertidumbre. Las emisiones por desgasificación son un componente importante de las emisiones de GEI a partir de las tierras inundadas tropicales (Galy-lacaux *et al.*, 1997), y dan cuenta de más del 40 por ciento de las emisiones de GEI generadas por un reservorio de 9 años de edad (Delmas *et al.*, 2005). Sin embargo, para muchos reservorios las emisiones por desgasificación son pequeñas o insignificantes (Duchemin, 2000; Soumis *et al.*, 2004). Por lo tanto, mientras no se disponga de mayores conocimientos sobre la dinámica de las emisiones de CH₄ por desgasificación, la estimación debe efectuarse sobre una base de caso por caso.

Para reducir las incertidumbres de los factores de emisión, los países deben desarrollar estrategias de muestreo apropiadas y estadísticamente válidas que tomen en cuenta la variabilidad natural de los ecosistemas estudiados (véase el Recuadro 2a.1 del Apéndice 2). Donde corresponda, la distinción entre los periodos libres de hielo y cubiertos de hielo puede constituir una mejora significativa de la exactitud (Duchemin *et al.*, 2005). Una estrategia de muestreo debe entonces incluir suficientes estaciones de muestreo por reservorio, así como suficientes reservorios y periodos de muestreo. La cantidad de estaciones de muestreo debe determinarse mediante un enfoque estadístico reconocido. Más aún, los países deben considerar los factores incluidos en el Recuadro 2a.1 del Apéndice 2.

Área de las tierras inundadas

La información sobre el área inundada retenida detrás de las represas más grandes (>100 km²) debe estar disponible con incertidumbres del orden del 10 por ciento, en particular en los países con grandes represas y reservorios hidroeléctricos. Para los países con muchas tierras inundadas y en los cuales no se dispone de bases de datos nacionales, las áreas inundadas retenidas detrás de las represas pueden tener incertidumbres superior al 50 por ciento. Una información detallada sobre la ubicación, el tipo y la función de las represas más pequeñas puede ser también difícil de obtener, aunque es posible realizar inferencias estadísticas basadas en la distribución del tamaño de los reservorios para los cuales se dispone de datos. Además, los reservorios se crean por una variedad de razones que influyen sobre la disponibilidad de los datos y, por consiguiente, la incertidumbre en el área de la superficie depende de las condiciones específicas del país.

3a.2 Tierras convertidas en tierras inundadas

A partir de los conocimientos reales, para las *Tierras convertidas en tierras inundadas* se sugiere utilizar las emisiones medidas del Cuadro 3a.2. Para estimar las emisiones de CH₄ de esta categoría, los compiladores del inventario deben emplear los métodos de Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3 descritos en la Sección 3a.1.

Referencias

- Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, M.A. 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*, **19**, doi:10292005GB002457.
- Blais, A.-M. (2005). Étude des gaz à effet de serre en milieux aquatiques Relevés de terrain 2005. Rapport d'Environnement Illimité à Hydro-Québec Production. 30 p. and annexes.
- Delmas, R., Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon, C. and Grégoire, A. (2005). Long Term Greenhouse Gas Emissions from the Hydroelectric Reservoir of Petit Saut (French Guiana) and Potential Impacts. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 293-312.

- dos Santos, M.A. (2000). Inventário emissões de gases de efeito estufa derivadas de Hidrelétricas, PhD. Dissertation, University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 154p.
- Duchemin, E., Lucotte, M., Canuel, R. and Soumis, N. (2006). First assessment of CH₄ and CO₂ emissions from shallow and deep zones of boreal reservoirs upon ice break-up, *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, **11**:9-19.
- Duchemin, É. (2000). Hydroelectricity and greenhouse gases: Emission evaluation and identification of biogeochemical processes responsible for their production, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 321 p (available on CD-ROM).
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R. and Chamberland, A. (1995). Production of the greenhouse gases CH₄ and CO₂ by hydroelectric reservoirs of the boreal region, *Global Biogeochemical Cycles*, **9**, 4, 529-540.
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Almeida Cruz, D., Pereira, H.C., Dezincourt, J. and Queiroz, A.G. (2000). Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir and from other reservoirs worldwide, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **27**, 3, 1391-1395.
- Duchemin, É., Canuel, R., Ferland, P. and Lucotte, M. (1999). Étude sur la production et l'émission de gaz à effet de serre par les réservoirs hydroélectriques d'Hydro-Québec et des lacs naturels (Volet 2), Scientific report, Direction principal Planification Stratégique - Hydro-Québec, 21046-99027c, 48p.
- Galy-Lacaux, C. (1996). Modifications des échanges de constituants mineurs atmosphériques liées à la création d'une retenue hydroélectrique. Impact des barrages sur le bilan du méthane dans l'atmosphère, PhD dissertation, Université Paul Sabatier, Toulouse (France), 200 p.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Jambert, C., Dumestre, J.-F., Labroue, L., Richard, S. and Gosse, P. (1997). Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: a case study in French Guyana, *Global Biogeochemical Cycles*, **11**, 4, 471-483.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Kouadio, G., Richard, S. and Gosse, P. (1998). Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions, *Global Biogeochemical Cycles*, **13**, 2, 503-517.
- Hélie, J.F. (2004). Geochemistry and fluxes of organic and inorganic in aquatic systems of eastern Canada: examples of the St-Lawrence River and Robert-Bourassa reservoir: Isotopic approach, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 205p.
- Houel, S. (2003). Dynamique de la matière organique terrigène dans les réservoirs boréaux, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 121p.
- Huttunen, J.T., Väisänen, T.S., Hellsten, S.K., Heikkinen, M., Nykänen, H., Jungner, H., Niskanen, A., Virtanen, M.O., Lindqvist, O.V., Nenonen, O.S. and Martikainen, P.J. (2002). Fluxes of CH₄, CO₂, and N₂O in hydroelectric reservoir Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland, *Global Biogeochemical Cycles*, **16**, 1, doi:10.1029/2000GB001316.
- International Commission on Large Dams (ICOLD) (1998). World Register of Dams 1998. Paris. International Committee on large Dams (Ed.). Metadatabase.
- Keller, M. and Stallard, R.F. (1994). Methane emission by bubbling from Gatun lake, Panama, *J. Geophys. Res.*, **99**, D4, 8307-8319.
- Lambert, M. (2002). Campagne d'échantillonnage sur les émissions de gaz à effet de serre des réservoirs et des lacs environnants - Rapport de terrain 2001. Rapport présenté à la Direction Barrage et environnement par la Direction Environnement, Hydro-Québec, 108 p and appendix.
- Rosa, L.P., Matvienko Sikar, B., dos Santos, M.A., and Matvienko Sikar, E. (2002). Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidroelétricos brasileiros, Relatório de referência – Inventário brasileiro de emissões antropicas de gás de efeito de estufa, Ministério da Ciência e tecnologia, Brazil, 199p.
- Smith, L.K. and Lewis, W.M. (1992). Seasonality of methane emissions from five lakes and associated wetlands of the Colorado Rockies, *Global Biogeochemical Cycles*, **6**, 4, 323-338
- Soumis, N., Duchemin, É., Canuel, R. and Lucotte, M. (2004). Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States, *Global Biogeochem. Cycles*, **18**, GB3022, doi:10.1029/2003GB002197.
- Tavares de Lima, I. (2005). Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroreservoirs, *Chemosphere*, (in press)

- Tavares de Lima, I. (2002). Emissao de metano em reservatorio hidreletricos amazonicos atraves de leis de potencia (Methane emission from Amazonian hydroelectric reservoirs through power laws), PhD Dissertation, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil, 119 p.
- Therrien, J. (2004). Flux de gaz à effet de serre en milieux aquatiques - Suivi 2003. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. présenté à Hydro-Québec. 52 p. et annexes.
- Therrien, J., Tremblay, A. and Jacques, R. (2005). CO₂ Emissions from Semi-arid Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. *In* Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm et M. Garneau (Eds.). Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 233-250.
- Tremblay, A., Therrien, J., Hamlin, B., Wichmann, E. and LeDrew, L. (2005). GHG Emissions from Boreal Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. *In* Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 209-231.
- WCD (2000). Dams and Development a New Framework for Decision-Making, The report of the World Commission on Dams, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, 356 p.