

## Apéndice 2 Enfoque posible para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las tierras convertidas en tierras permanentemente inundadas: Base para su futuro desarrollo metodológico

El tiempo transcurrido desde que se ha producido una inundación ejerce una influencia significativa sobre los flujos de gases de efecto invernadero a partir de las tierras inundadas y también sobre la repartición de los gases. Estudios estadísticos recientes sobre los reservorios a escala mundial indican que hay un aumento abrupto de las emisiones inmediatamente después de una inundación, tras lo cual las emisiones disminuyen hasta un nivel relativamente estable (Tremblay *et al.*, 2005; Therrien *et al.*, 2005; Soumis *et al.*, 2005; y Huttunen *et al.*, 2002, 2003). La tasa de decrecimiento de las emisiones post-inundación puede depender de la región donde se ubica el reservorio, pero parece variar dentro de un período de 10 años (Delmas *et al.*, 2005; Abril *et al.*, 2005; Tremblay *et al.*, 2005).

Las pruebas sugieren que las emisiones de CO<sub>2</sub> para, aproximadamente, los primeros diez años posteriores a la inundación, son el resultado de la descomposición de una parte de la materia orgánica existente en las tierras antes de la inundación. El carbono fácilmente degradable y los nutrientes quedan a disposición de los organismos productores al momento de la inundación y son metabolizados. Más allá de este lapso, las emisiones de CO<sub>2</sub> se sostienen a través de la entrada de materia orgánica transferida desde la cuenca hidrográfica hacia la zona inundada (Houel, 2003; Hélie, 2004; Cole y Caraco, 2001). Para evitar el cómputo doble de las emisiones de CO<sub>2</sub> que pueden haber sido ya capturadas en el balance de gases de efecto invernadero de las tierras gestionadas de la cuenca hidrográfica y ante la ausencia de pruebas concluyentes sobre el impacto a largo plazo de la inundación sobre estas emisiones, la metodología por defecto considera sólo los 10 primeros años posteriores a la inundación.

Toda emisión provocada por la actividad de cambio en el uso de las tierras, por sí misma (p. ej., el despeje de las tierras debido a las emisiones de CO<sub>2</sub> o de no CO<sub>2</sub>, ocurrido antes de la inundación), debe estimarse mediante las metodologías proporcionadas en otros lugares de este Volumen.

Antes de la inundación, las tierras pueden despejarse. El material orgánico puede quemarse o cosecharse (p. ej., para extraer madera). Las emisiones que resultan deben estimarse utilizando las metodologías apropiadas, proporcionadas en este Volumen, para estimar el cambio en las existencias de carbono anteriores a la inundación. Estas emisiones deben estimarse para el año en el que se producen.

Luego de la inundación y de cualquier despeje de tierras, las emisiones de dióxido de carbono provenientes de las *tierras convertidas en tierras inundadas*, pueden producirse a través de las vías siguientes:

- Emisiones difusoras debidas a la difusión molecular a través de la interfaz aire-agua; esta es la vía mayoritaria de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Emisiones de burbujas, o emisiones de gas proveniente del sedimento a través de la columna de agua en forma de burbujas; ésta es una vía minoritaria de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- 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 fluya a través de una turbina y/o una vía de desagüe (Duchemin, 2000; Hélie, 2004; Soumis *et al.*, 2004; y Delmas *et al.*, 2005).

En este apéndice se presenta una jerarquía de 3 métodos de sofisticación creciente llamados de Niveles 1, 2 y 3. Los Niveles 1 y 2 estiman solamente las emisiones difusoras. Un método de Nivel 3, que se basa en mediciones detalladas, incluye todos los flujos de emisiones de dióxido de carbono pertinentes que provienen de las tierras inundadas. El Nivel 3 incluye las emisiones de desgasificación y considera la edad, la ubicación geográfica y la temperatura del agua del reservorio. El método de Nivel 3 no se desarrolla más extensamente en este Apéndice, pero los países deben referirse al Recuadro 2a.1 sobre la derivación de los factores de emisión específicos del país como recurso para implementar el Nivel 3. Al utilizar el Nivel 3, todas las emisiones pertinentes procedentes de las tierras inundadas deben estimarse para el tiempo de vida útil del reservorio. El Cuadro 2a.1 es un resumen de la cobertura de los tres niveles en relación con las vías de emisión de CO<sub>2</sub>.

**RECUADRO 2A.1**  
**DERIVACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN ESPECÍFICOS DEL PAÍS**

Los programas para derivar los factores de emisión específicos del país deben considerar cuidadosamente la superposición parcial posible con otros sectores y la atribución apropiada de las emisiones. Por ejemplo, las emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes, en última instancia, de las aplicaciones de fertilizantes o del tratamiento de las aguas servidas en la cuenca hidrográfica no deben declararse en la categoría Tierras inundadas.

Por lo general, para derivar los factores de emisión específicos del país es necesario efectuar mediciones reales de los flujos de gases de efecto invernadero a partir de la superficie de los reservorios. Deben desarrollarse factores de emisión por separado para los tipos predominantes de reservorios en el territorio nacional. Para minimizar el esfuerzo requerido, los reservorios deben clasificarse primero en categorías que tomen en cuenta los principales factores responsables de la variabilidad entre los reservorios, en particular la zona climática y el sustrato geológico (que afecta de manera considerable el pH). Los mapas y la estratificación ecológica nacional pueden ser útiles para realizar esta tarea.

Debe diseñarse una estrategia de medición para obtener los valores representativos de los flujos, dentro de cada categoría de reservorio, por edad, morfología, régimen de gestión, estado de los nutrientes y otros factores pertinentes, si fuera necesario. Por último, dentro de cada reservorio, debe aplicarse un esquema de muestreo rigurosamente diseñado para tomar en cuenta la variabilidad espacial provocada por las variaciones de profundidad y de las corrientes de agua, por la proximidad de las riberas y la presencia de vegetación acuática; así como la variabilidad temporal causada por los ciclos diurnos y estacionales. La medición de los flujos debe realizarse durante un año entero y, de preferencia, durante varios años.

La información útil puede obtenerse de las referencias siguientes: Therrien *et al.*, 2005; Duchemin *et al.*, 2006; Delmas *et al.*, 2005; Abril *et al.*, 2005; Rosa *et al.*, 2004; Soumis *et al.*, 2004; Tavares de Lima, 2002; Huttunen *et al.*, 2002; Duchemin, 2000; Duchemin *et al.*, 1999; Rosa *et al.*, 1996; y Duchemin *et al.*, 1995.

El desarrollo de los factores de emisión debe tomar en cuenta los tipos de emisiones predominantes: emisiones difusoras, por burbujas y por desgasificación. Para estimar las emisiones de desgasificación se necesitan mediciones de las concentraciones acuosas de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en varios puntos corriente arriba y corriente abajo del reservorio.

<b>CUADRO 2A.1</b> <b>NIVELES Y VÍAS DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PARA LAS TIERRAS</b> <b>CONVERTIDAS EN TIERRAS INUNDADAS</b>	
	<b>CO<sub>2</sub></b>
<b>Nivel 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones difusoras</li> </ul>
<b>Nivel 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones difusoras</li> </ul>
<b>Nivel 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todas las emisiones</li> </ul>

## ELECCIÓN DEL MÉTODO

El diagrama de flujo de la Figura 2a.1 es una guía para los compiladores del inventario a través de los procesos de selección del nivel apropiado. La selección del nivel y el nivel de la desagregación espacial y temporal implementado por los organismos encargados del inventario dependen de la disponibilidad de los datos sobre la actividad y los factores de emisión, así como de la importancia de los reservorios en tanto contribuidores a las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero.

### Nivel 1

El Nivel 1 proporciona un enfoque simplificado para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de los reservorios mediante el empleo de factores de emisión por defecto y de datos muy agregados sobre el área. La única vía de emisión de CO<sub>2</sub> incluida en el Nivel 1 es la difusión que ocurre durante el periodo libre de hielos.

Las emisiones difusoras de CO<sub>2</sub> relacionadas con el periodo cubierto de hielos se suponen nulas. La hipótesis por defecto es que las emisiones de CO<sub>2</sub> se limitan a los 10 primeros años siguientes al incidente de inundación y que toda emisión consiguiente de CO<sub>2</sub> proviene del carbono que entra en el reservorio proveniente de otras áreas de tierras (p. ej., de la agricultura corriente arriba). Para estimar el cambio en las existencias de carbono en la biomasa aérea viva debido a la conversión de tierras en Tierras inundadas, puede emplearse la Ecuación 2.16 del Capítulo 2 si la biomasa aérea es despejada antes de la inundación. Si se quema la biomasa aérea, se debe usar la Ecuación 2.14 o 2.27 del Capítulo 2 (Emisiones de la quema de biomasa). Más aún, la ecuación de flujo descrita más abajo debe utilizarse en todos los casos para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del carbono no despejado.

La descomposición, tanto de la biomasa aérea que permanece en el sitio como de la materia orgánica del suelo, contribuye a las emisiones. La Ecuación 2a.1 muestra el método de Nivel 1 para estas emisiones de CO<sub>2</sub>.

**ECUACIÓN 2A.1**  
**EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PROVENIENTES DE TIERRAS CONVERTIDAS EN TIERRAS INUNDADAS**  
**(NIVEL 1)**

$$Emisiones\ de\ CO_{2LWinundación} = P \cdot E(CO_2)_{dif} \cdot A_{inundación,superficie\_total} \cdot f_A \cdot 10^{-6}$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> LW inundación = total de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las *Tierras convertidas en tierras inundadas*, Gg de CO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup>

P = cantidad de días sin cobertura de hielos durante un año, días año<sup>-1</sup>

E(CO<sub>2</sub>)<sub>dif</sub> = promedio diario de las emisiones difusoras, kg. de CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>

A<sub>inundación, superficie total</sub> = área total de la superficie del reservorio, incluidas las tierras inundadas, los lagos y ríos, ha

f<sub>A</sub> = fracción del área total del reservorio que se ha inundado en los últimos 10 años

Las emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas con la Ecuación 2a.1 son muy inciertas pues el factor de emisión por defecto no da cuenta de las diferencias en las condiciones específicas del sitio ni del tiempo transcurrido desde el incidente de inundación. El empleo de la Ecuación 2a.1 puede conducir también a una sobreestimación de las emisiones cuando se utiliza en conjunto con las Ecuaciones 2.14, 2.16 o 2.27 del Capítulo 2. Los países que utilizan el método de Nivel 2 pueden representar con mayor exactitud el perfil temporal apropiado de las emisiones de CO<sub>2</sub> consiguientes a la inundación. Más abajo se brinda orientación sobre los métodos de Nivel 2.

### Nivel 2

Bajo el Nivel 2, para estimar las emisiones difusoras de CO<sub>2</sub> se utilizan los factores de emisión específicos del país. En el Nivel 2, las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden estimarse a partir de los reservorios siguiendo el enfoque presentado en la Ecuación 2a.2.

La estimación de las emisiones difusoras puede extenderse también para distinguir entre los periodos en los que los reservorios están libres de hielo y aquéllos en que están cubiertos de hielo (Duchemin *et al.*, 2006). Esto puede introducir una mejora significativa en la exactitud para los países con climas más fríos. El área inundada puede desagregarse más aún por zona climática, sustrato geológico o cualquier otro parámetro pertinente listado en el Recuadro 2a.1.

**ECUACIÓN 2A.2**  
**EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PROVENIENTES DE TIERRAS CONVERTIDAS EN TIERRAS INUNDADAS**  
**(NIVEL 2)**

$$Emisiones\ de\ CO_{2LWinundación} = \left[ \frac{\left( (P_f \cdot E_f(CO_2)_{dif}) + (P_i \cdot E_i(CO_2)_{dif}) \right)}{\left( A_{inundación,superficie} \cdot f_A \cdot 10^{-6} \right)} \right]$$

Donde:

Emisiones de  $\text{CO}_2$   $LW_{\text{inundación}}$  = total de las emisiones de  $\text{CO}_2$  provenientes de la *Tierras convertidas en tierras inundadas*, Gg de  $\text{CO}_2$  año<sup>-1</sup>

$P_f$  = periodo libre de hielos, días año<sup>-1</sup>

$P_i$  = periodo cubierto de hielos, días año<sup>-1</sup>

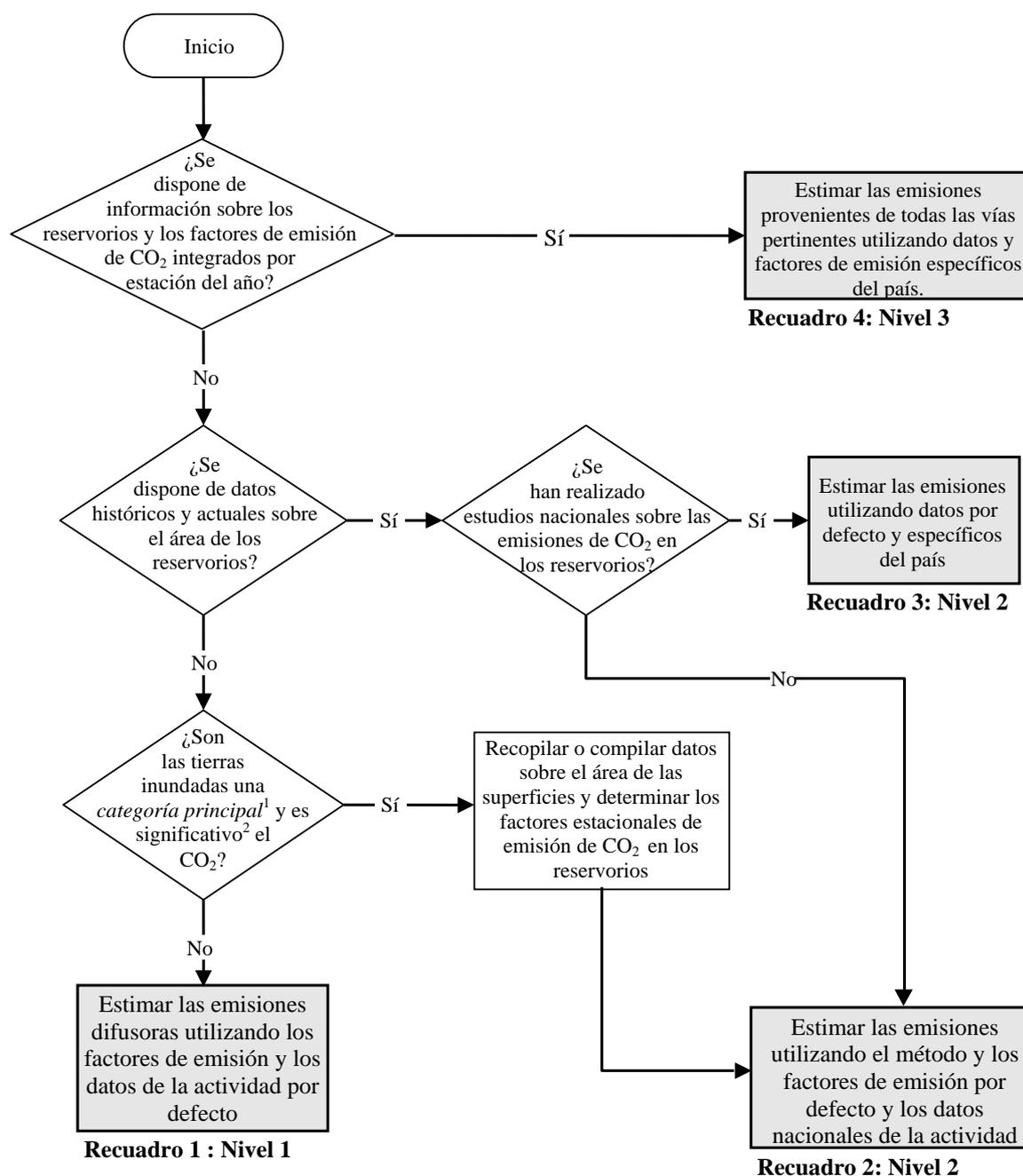
$E_f(\text{CO}_2)_{\text{dif}}$  = promedio diario de las emisiones difusoras provenientes de la interfaz aire-agua durante el periodo libre de hielos, kg. de  $\text{CO}_2$  ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>

$E_i(\text{CO}_2)_{\text{dif}}$  = emisiones difusoras relacionadas con el periodo cubierto de hielos, kg. de  $\text{CO}_2$  ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>

$A_{\text{inundación, superficie total}}$  = área total de la superficie del reservorio, incluidas las tierras inundadas, los lagos y ríos, ha

$f_A$  = fracción del área total del reservorio que se ha inundado en los últimos 10 años, adimensional

Figura 2a.1 Diagrama de flujo para la selección del nivel apropiado.



Nota:

1: Véase el Volumen 1, Capítulo 4, «Opción metodológica e identificación de categorías principales» (en particular la sección 4.1.2 relativa a los recursos limitados) para conocer el análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión.

2: Una subcategoría es significativa si da cuenta de un 25 a un 30 por ciento de las emisiones y/o absorciones de la categoría total

### **Nivel 3**

Los métodos de Nivel 3 para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> son exhaustivos y deben incluir datos adicionales específicos del país sobre todas las vías pertinentes para las emisiones de CO<sub>2</sub>, tales como las emisiones de desgasificación. Los factores de emisión están desagregados para que reflejen todas las fuentes pertinentes de variabilidad temporal y espacial (véase el Recuadro 2a.1). Para evitar el cómputo doble, el Nivel 3 requiere también que las emisiones se dividan según la procedencia, sea de la degradación de materia orgánica inundada o de la descomposición de la materia orgánica proveniente de la cuenca hidrográfica.

### **ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN**

Los principales valores por defecto necesarios para implementar el método de Nivel 1 son los factores de emisión de CO<sub>2</sub> a través de las vías de difusión. El Cuadro 2a.2 presenta emisiones medidas para varias zonas climáticas. Estas emisiones medidas integran las variaciones espaciales (variaciones intra-reservorios y regionales) y temporales (seco/lluvioso u otras variaciones estacionales o interanuales) conocidas de las emisiones provenientes de los reservorios, así como los flujos en la interfaz agua-aire de los reservorios. El Nivel 1 se aplica sólo al periodo libre de hielos. Durante todo el periodo cubierto de hielos, se supone que las emisiones de CO<sub>2</sub> son nulas, aunque en la realidad sí se producen. Todos los datos se han obtenido a partir de mediciones en reservorios hidroeléctricos o de control de inundaciones.

Para el Nivel 2, en la medida de lo posible, deben usarse los factores de emisión específicos del país y éstos deben incluir las emisiones que ocurren durante el periodo invernal (cubierto de hielos). El desarrollo de los factores de emisión específicos del país se discute en el Recuadro 2a.1. La derivación de los factores específicos del país debe documentarse claramente e idealmente, publicarse en bibliografía con revisión de pares. La orientación del Recuadro 2a.1 es válida también para derivar los factores de emisión del Nivel 3.

### **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 implementación y las fuentes potenciales de variabilidad espacial y temporal dentro del territorio nacional.

#### **Área de las tierras inundadas**

Para el Nivel 1 se requiere el total del área del reservorio y la proporción inundada durante los últimos diez años ( $f_A$ ). El uso, en un nivel superior, de perfiles de emisión más detallados a lo largo del tiempo requiere una información correspondiente sobre la distribución de edades de las tierras inundadas. Los países pueden obtener el área de sus tierras inundadas a partir de un análisis de cobertura del drenaje de las cuencas, de una base de datos nacional 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 tierras inundadas puede cambiar rápidamente y a causa del tiempo límite de 10 años, los países deben utilizar datos actualizados y recientes sobre el área de las superficies de los reservorios. Bajo el Nivel 2, estos datos de la actividad deben desagregarse según las categorías pertinentes (véase el Recuadro 2a.1). Para los Niveles 2 y 3, los países deben crear una base de datos nacional sobre los reservorios con datos pertinentes o información sobre los nombres, tipos, coordenadas geográficas, año de construcción del dique, área de la superficie, profundidad, tasa de desagüe y otros parámetros pertinentes de los reservorios, como se describe en el Recuadro 2a.1.

#### **Periodo libre de hielos / periodo cubierto de hielos.**

Bajo todos los Niveles, para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> 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**

Bajo el Nivel 3, para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> por desgasificación se necesita conocer el volumen de los flujos de salida y/o desagües de las tierras inundadas.

#### **Concentraciones de CO<sub>2</sub> corriente arriba y corriente abajo de las represas.**

Bajo el Nivel 3, para estimar las emisiones de desgasificación es necesario conocer las concentraciones de CO<sub>2</sub> corriente arriba y corriente abajo de las represas. La información sobre las técnicas de medición puede obtenerse de las referencias citadas en el Recuadro 2a.1.

CUADRO 2A.2 EMISIONES MEDIDAS DE CO <sub>2</sub> PROVENIENTES DE TIERRAS INUNDADAS						
Clima	Emisiones difusoras (periodo libre de hielos) E <sub>f</sub> (CO <sub>2</sub> ) <sub>air</sub> (kg. de CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )					Referencias
	Mediana	Mín.	Máx.	N <sub>m</sub>	N <sub>res</sub>	
Polar / boreal muy húmedo	11,8	0,8	34,5	1011	20	Bergström <i>et al.</i> , 2004; Åberg <i>et al.</i> , 2004; Huttunen <i>et al.</i> , 2002
Templado frío, húmedo	15,2	4,5	86,3	633	20	Duchemin, 2000; Schlellhase <i>et al.</i> , 1994 ; Duchemin <i>et al.</i> , 1999 ; Duchemin <i>et al.</i> , 1995; Tremblay <i>et al.</i> , 2005
Templado cálido, húmedo	8,1	-10,3	57,5	507	33	Duchemin, 2000; Duchemin, 2002a ; St-Louis <i>et al.</i> , 2000; Smith y Lewis, 1992 ; Tremblay <i>et al.</i> , 2005
Templado cálido, seco	5,2	-12,0	31,0	390	43	Soumis <i>et al.</i> , 2004 ; Therrien <i>et al.</i> , 2005
Tropical, muy húmedo	44,9	11,5	90,9	642	7	Keller y Stallard, 1994; Galy-Lacaux <i>et al.</i> , 1997; Galy-Lacaux, 1996; Duchemin <i>et al.</i> , 2000; Pinguelli Rosa <i>et al.</i> , 2002; Tavares de lima <i>et al.</i> , 2002; Tavares de lima, 2005
Tropical, seco	39,1	11,7	58,7	197	5	Pinguelli Rosa <i>et al.</i> , 2002; Dos Santos, 2000
<p>Los valores de la segunda columna representan las medianas de las emisiones de CO<sub>2</sub> 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 las distribuciones de frecuencia 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 indicación de la variabilidad. N<sub>m</sub> = cantidad de mediciones; N<sub>res</sub> = cantidad de reservorios muestreados.</p> <p>Estas mediciones pueden incluir las emisiones no antropogénicas (p. ej., emisiones provenientes del carbono en la cuenca corriente arriba) y posibles cálculos dobles de emisiones antropogénicas (p. ej., aguas servidas de las zonas urbanas de la región del reservorio) y de este modo pueden sobreestimar las emisiones.</p>						

## EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Las dos fuentes más grandes de incertidumbre en la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los reservorios son los factores de emisión para las diferentes vías de emisión (difusoras, por burbujas y por desgasificación) y las estimaciones de las áreas de la superficie de los reservorios.

### Factores de emisión

Las emisiones difusoras de CO<sub>2</sub> que se muestran en el Cuadro 2a.2 varían por uno o dos órdenes de magnitud entre las regiones boreales y las templadas y por uno hasta tres órdenes de magnitud en las regiones tropicales. Por lo tanto, el empleo de cualquier factor de emisión del Cuadro 2a.2 implica una alta incertidumbre. Dado que la edad de los reservorios influye significativamente sobre los flujos de CO<sub>2</sub> durante los 10 primeros años, el método puede conducir a una sobreestimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> por desgasificación, que son significativas, típicamente, en las regiones templadas y tropicales, son una fuente importante de incertidumbre para el Nivel 3. Las investigaciones han demostrado que estas emisiones de CO<sub>2</sub> dan cuenta de todas las emisiones de gases de efecto invernadero a partir de reservorios en una región templada seca, y de hasta un 30% en las regiones templadas húmedas (Soumis *et al.*, 2004). En las regiones templadas frías, las emisiones de CO<sub>2</sub> por desgasificación dan cuenta de menos del 5% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los reservorios (Duchemin, 2000; Hélie, 2003).

Para reducir las incertidumbres de los factores de emisión, los países deben desarrollar estrategias de muestreo apropiadas y estadísticamente válidas que tomen en cuenta los factores subyacentes de la variabilidad espacial y temporal de los ecosistemas estudiados (véase el Recuadro 2a.1).

### Área de las tierras inundadas

La información estadística nacional sobre el área inundada retenida detrás de las grandes represas (> 100 km<sup>2</sup>) debe estar disponible y puede ser exacta dentro de un margen de 10%. Cuando no se disponga de bases de datos sobre las represas y se utilice otra información, las áreas de las tierras inundadas retenidas detrás de las represas tendrán probablemente una incertidumbre superior al 50%, en particular en los países con extensas áreas de tierras inundadas. 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. 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.

## Referencias

- Åberg, J., Bergström, A.K., Algesten, G., Söderback, K. and Jansson, M. (2004). A comparison of the carbon balances of a natural lake (L. Östräsket) and a hydroelectric reservoir (L. Skinnmuddselet) in northern Sweden, *Water Research*, **28**, 531-538.
- 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* (in press).
- Bergström, A.K., Algesten, G., Sobek, S., Tranvik, L. and Jansson, M. (2004). Emission of CO<sub>2</sub> from hydroelectric reservoirs in northern Sweden, *Arch. Hydrobiol.*, **159**, 1, 25-42.
- Cole, J.J. and Caraco, N.F. (2001). Carbon in catchments: connecting terrestrial carbon losses with aquatic metabolism. *Marine and Freshwater Research*, **52**:101-110
- 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 CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> 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 CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> 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.

- Fearnside, P.M. (2002). Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and the energy policy implications, *Water Air and Soil Pollution* **133**, 1-4, 69-96.
- 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.
- 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., Alm, J., Liikanen, A., Juutinen, S., Larmola, T., Hammar, T., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (2003). Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes and potential anthropogenic effects on the aquatic greenhouse gas emissions, *Chemosphere*, **52**, 609-621
- 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 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub>O 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.
- Rosa, L.P., Schaeffer, R. and Santos, M.A. (1996). Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of greenhouse gases? *Environmental Conservation*, **66**, No. 1: 2-6. Cambridge University Press.
- Rosa, L.P., Santos, M.A., Matvienko, B., Santos, E.O. and Sisar, E. (2004). Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical Regions, *Climatic Change*, **66**: 9-21.
- Rosa, L.P., Matvienko Sikar, B., dos Santos, M.A., 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.
- Schlellhase, H.U. (1994). B.C. Hydro Strategic R&D; Carbon project - Reservoir case study, Powertech Labs inc., Final Report, 1-57.
- 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., Lucotte, M., Duchemin, É., Canuel, R., Weissenberger, S., Houel, S. and Larose, C. (2005). Hydroelectric reservoirs as anthropogenic sources of greenhouse gases. In *Water Encyclopedia*. Volume 3: Surface and agricultural water, sous la dir. de J. H. Lehr et J. Keeley. p. 203-210. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- 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.
- St-Louis, V., Kelly, C.A., Duchemin, É., Rudd, J.W.M. and Rosenberg, D.M. (2000). Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases: A global estimate, *Bioscience*, **50**, 9, 766-775.
- Tavares de Lima, I. (2005). Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroreservoirs, *Chemosphere*, In Press
- Tavares de Lima, I. (2002). Emissão de metano em reservatório hidroelétricos amazônicos através de leis de potência (Methane emission from Amazonian hydroelectric reservoirs through power laws), PhD Dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil, 119 p.
- Therrien, J. (2005). Aménagement hydroélectrique de l'Eastmain-1 – Étude des gaz à effet de serre en milieux aquatiques 2003-2004. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. à la Société d'énergie de la Baie James. 48 p. et annexes.

- 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). CO<sub>2</sub> 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.