

Avances en el Campo de las Emisiones de Embalses

Un Informe sobre la Investigación y las Directrices Recientes

*Elaborado por el Dra. Payal Parekh¹ para International Rivers
2 de diciembre de 2011*

Introducción

Un número grande y creciente de estudios científicos indican que los embalses, especialmente en los trópicos, son una fuente global significativa de contaminación por gases de invernadero. Instituciones importantes como la Asociación Internacional de Hidroenergía (International Hydropower Association) y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) han desarrollado directrices específicas para medir las emisiones de los embalses en el campo, aunque éstas no son obligatorias en países que realizan inventarios nacionales de gases de invernadero.

Este informe resalta algunas de las investigaciones y directrices claves para calcular las emisiones de embalses de proyectos específicos y regionales. Comienza con una evaluación de cómo instituciones claves miden los gases de invernadero y luego examina a los avances claves en la investigación desde 2007,² y concluye con una evaluación de las áreas en las que se necesita mayor investigación. Preveemos este informe a ONGs, académicos, gobiernos, miembros de la sociedad civil, y a cualquiera que tenga interés en entender en qué se encuentra la investigación sobre emisiones de embalses actualmente y cuándo/dónde será necesario incluir las emisiones de embalses en los inventarios nacionales de gases de invernadero.



Figura 1: Árboles muertos en el embalse Petit Saut reservoir, Guayana Francesa

Contacto: Katy Yan, katy@internationalrivers.org

Mayor información: www.internationalrivers.org/global-warming/reservoir-emissions

¹ Payal Parekh, Consultor Climático, www.climate-consulting.org/

² Para obtener información sobre la investigación antes de 2007, ver *Fizzy Science [Ciencia Gaseosa]*: www.internationalrivers.org/node/1349

Índice

Directrices de Medición para Gases de Invernadero	3
Directrices de Medición de Gases de Invernadero de la UNESCO/IHA (2010)	3
Otras Directrices	3
Programa Nacional de Inventarios de Gases de Invernadero del IPCC (2006)	3
Instituto de Energía Eléctrica (2010)	4
Registro Climático de Norteamérica	4
Acuerdo de Implementación de la Hidroelectricidad de la Agencia Internacional de Energía	4
Calculador Hidrico del Fondo de Estrategia de Conservación	4
Perspectivas Institucionales sobre las Emisiones de Embalses	5
Informe Especial del IPCC sobre Fuentes de Energía Renovable (2011)	5
El Mecanismo de Desarrollo Limpio de la UNFCCC	6
Avances en la Investigación	8
Estudios en Zonas Boreales	8
Embalse Eastmain 1– Hydro Quebec	8
Estudios en Zonas Templadas	8
Lago Wohlen - Del Sontro et al. (2010)	8
El Embalse de Three Gorges - Chen et al. (2009)	8
Estudios en Zonas Tropicales	9
Represa Balbina - Kemenes et al. (2007, 2011)	9
Las Represas de la RDP de Laos - Chanudet et al (2011)	9
Las Represas Brasileñas - Fearnside (2008, 2009)	9
Represas Tropicales - Demarty y Bastien (2011)	10
Emisiones N ₂ O: Guérin et al. (2008)	11
Emisiones de Metano en Agua Dulce	11
Estimaciones Globales	11
Análisis y Conclusión	12
Necesidades de Investigación Futura	12
Apéndice	14
Cuadro de Estimaciones Globales	14
Investigadores Claves	14
Referencias	14

Directrices de Medición para Gases de Invernadero

Directrices de Medición de Gases de Invernadero de la UNESCO/IHA (2010)

Las Directrices de Medición de Gases de Invernadero de la UNESCO/IHA UNESCO/IHA para Embalses de Agua Dulce es la norma actual sobre medición de emisiones de gases de invernadero (GEI) de embalses. El propósito de las Directrices es desarrollar un protocolo para mediciones estandarizadas en el campo para poder comparar las mediciones entre embalses, construir una base de datos y utilizar los datos para desarrollar un modelo de predicción de emisiones de gases de los embalses. Están pensadas para científicos e investigadores, no para centrales hidroeléctricas, que realizan mediciones rutinarias.

Luego de varias rondas de revisiones de expertos, la publicación final es una mejora importante de los borradores anteriores. La Sección 2 hace un repaso del estado del conocimiento actual de una manera equilibrada e integral. Hace un mejor trabajo que el Informe Especial del IPCC sobre Fuentes de Energía Renovable (ver la p. 6). El documento será actualizado en intervalos regulares.

El documento es de carácter muy técnico. Cuenta con una sección sobre la realización de campañas de campo. Aborda el alcance del muestreo espacial y temporalmente, antes y después del embalsado. Por ejemplo, se enfatiza la importancia de medir con mayor frecuencia durante los años iniciales, así como la toma de mediciones en diferentes zonas, lo que incluye a las desembocaduras para dar cuenta de la desgasificación del aliviadero. Las Directrices también exigen mediciones de las emisiones en las zonas de abatimiento en intervalos regulares para dar cuenta de la estacionalidad y los niveles cambiantes del agua. Espacialmente, las Directrices requieren que se realicen mediciones en las áreas de inundación máxima y mínima.

Se presentan diferentes técnicas para capturar u medir los flujos de gases de invernadero con los pros y contras de cada método. La sección final aborda los cálculos. Esto incluye a la extrapolación espacial de datos, el cálculo de emisiones netas y la evaluación de

incertidumbres. En la sección de las incertidumbres, la discusión sobre la incertidumbre y cómo calcularla es exhaustiva. Esto es importante que muchos científicos de campo tienen debilidades en esta área.

Implicaciones

El manual provee una metodología exhaustiva para evaluar las emisiones de gases de invernadero de embalses. Será importante para monitorear la interpretación de los resultados a medida que los científicos las envíen. Revistas científicas recientes abordan la falta de técnicas de medición estandarizadas y señalan al estudio de UNESCO/IHA study. Las otras iniciativas indicadas a continuación no son utilizadas de manera generalizada ni son tan exhaustivas como las Directrices.

www.hydropower.org/climate_initiatives/GHG_Measurement_Guidelines.html

Otras Directrices

Programa Nacional de Inventarios de Gases de Invernadero del IPCC (2006)

La versión actualizada de las directrices para reportar inventarios nacionales de GEI (2006) del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) provee orientación sobre la estimación de emisiones de dióxido de carbono de los embalses. Sin embargo, la orientación no ha sido aprobada por la UNFCCC con propósitos de informes oficiales. Por lo tanto, los reportes de emisiones de GEI de los embalses son voluntarios. La orientación se concentra en tierras convertidas en humedales. Se basa en el método de cambio de existencias de carbono, que estima la cantidad de biomasa en el área inundada y supone que es emitida de inmediato. No se incluyen a otras emisiones. En el apéndice, se incluye orientación para desarrollar metodologías futuras para la estimación de emisiones difusas, burbujeantes y de desgasificación.

En 2009, Canadá incluyó algunas emisiones de embalses en su Informe Nacional de Inventarios a la UNFCCC.

www.ipcc-nggip.iges.or.jp/index.html

Instituto de Energía Eléctrica (2010)

El Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI, en inglés) publicó un informe titulado *El Papel de los Embalses Hidroeléctricos en las Emisiones de Gases de Invernadero* en mayo de 2010. El informe hace un repaso de la literatura existente sobre emisiones de GEI de embalses, con concentración primaria en los embalses templados. El informe también evaluó los métodos para medir o estimar las emisiones de GEI de los embalses.

La evaluación del EPRI es equilibrada. Deja en claro que se han observado emisiones de GEI de los embalses, en particular los tropicales. También deja en claro que hay pocos estudios sobre los embalses templados y que las dinámicas estacionales también pueden desempeñar un papel en las regiones templadas. Manifiesta que la generación de hidroelectricidad podría clasificarse como emisora de carbono dentro de los límites y sistemas de intercambio de los EE.UU. si se determina que los embalses templados son emisores de GEIs.

El Laboratorio Nacional de Oakridge ha iniciado un estudio con el apoyo del Departamento de Energía de EE.UU. y EPRI sobre embalses en el sudeste de EE.UU. y el Pacífico noroeste, puesto a que las emisiones podrían ser mayores en estas regiones debido a las temperaturas relativamente altas y/o los altos aportes de materia orgánica.

my.epri.com

Registro Climático de Norteamérica

Las directrices para informes del Registro Climático hacen que los informes sobre emisiones de embalses hidroeléctricos sean opcionales y cita a las directrices del IPCC de 2006.

www.theclimateregistry.org

Acuerdo de Implementación de la Hidroelectricidad de la Agencia Internacional de Energía

El borrador de las directrices para el “Análisis Cuantitativo de Emisiones Netas de GEI de Embalses” se hizo público para la evaluación por pares luego del Taller Hidrico sobre el Manejo de Emisiones de Embalses de la Agencia Internacional de Energía (IEA), que se llevó a cabo en Praga a fines de Octubre de 2011. Por la información limitada disponible en el sitio Web de la organización, el proyecto parece similar al estudio de UNESCO/IHA.

www.ieahydro.org

Calculador Hidrico del Fondo de Estrategia de Conservación

El cálculo de emisiones de GEI con esta herramienta en particular es una aproximación. Simplemente calcula las emisiones de GEI sobre la base de el contenido global promedio de carbono de diferentes tipos de vegetación de los Modelos de Pérdida de Carbono de los Biomás. Sólo se consideran las emisiones de la superficie de un embalse. No se considera la desgasificación. Los resultados están basados en los aportes provistos por los usuarios. Existen aproximadamente 90 análisis en el sitio Web—algunos son entradas múltiples de la misma represa. La herramienta ha sido utilizada principalmente para generar análisis de represas latinoamericanas. Pese a que los usuarios deben registrarse e ingresar al sitio, hay poca información disponible sobre los usuarios mismos. Una búsqueda superficial de nombres que aparecen con bastante frecuencia sugiere que científicos sociales, periodistas y ONGs están utilizando la herramienta.

conservation-strategy.org/hydrocalculator-analyses

Implicaciones

No parece que ninguna de estas metodologías es tan exhaustiva como las directrices de UNESCO/IHA. Además, no se las utiliza mucho.

Perspectivas Institucionales sobre las Emisiones de Embalses

Informe Especial del IPCC sobre Fuentes de Energía Renovable (2011)

El Informe Especial sobre Fuentes de Energía Renovable (SRREN, en inglés) evalúa la literatura existente sobre el potencial futuro de la energía renovable para la mitigación del cambio climático. Cubre seis tecnologías de energía renovable principales, lo que incluye a la hidroelectricidad, así como su integración a los sistemas de energía presentes y futuros.

No hay nada factualmente incorrecto sobre la sección que aborda las emisiones de embalses (sección 5.6.3.2 *Cuantificación de las emisiones brutas y netas de los embalses*). No obstante, se resta importancia del tema y la sección sugiere que las emisiones de GEI de embalses son probablemente insignificativas cuando se consideran las emisiones netas.

La sección empieza señalando que “todos los sistemas de agua dulce, ya sea las naturales o hechas por el hombre, emiten GEIs debido a la descomposición de material orgánico.” Continúa manifestando que los embalses y sistemas de agua naturales tienen flujos de GEI comparables bajo condiciones ecológicas similares. Aunque ambas aseveraciones son correctas, son engañosas en el contexto de esta sección.

La pregunta clave no es si los embalses emiten GEIs en relación a los sistemas naturales en general, sino en relación a la situación en el lugar del embalse antes de su construcción (es decir, las emisiones netas). Por ejemplo, un bosque sumergido por un embalse puede tener emisiones similares a los humedales o manglares, pero antes de su sumersión, podría en realidad haber sido un sumidero, lo que sugeriría que las emisiones netas son mayores que bajo las condiciones ‘naturales’. Esto todavía no ha sido resuelto en la literatura científica y es probable que difiera según la región geográfica (ver la p. 7).

No se abordan en detalle las emisiones altas de metano (CH₄) de los embalses tropicales; simplemente se enumeran en un cuadro. Se presta mucha más información al hecho que las

emisiones son bajas en las regiones boreales y templadas.

El informe también enfatiza el hecho que en los embalses boreales y templados, las emisiones de GEI disminuyen dentro de diez años. Sin embargo, esto no se ha confirmado respecto a los embalses tropicales (ver el Lago Wohlen, p. 7; y Chanudet 2011, p. 8). El informe también da a entender que las emisiones más bajas que ocurren posteriormente son naturales, ya que los pocos estudios que existen muestran que son similares en magnitud a las de otros lagos boreales. Una vez más, no se debería comparar a un embalse con otros lagos, sino con las condiciones en el lugar antes de la inundación.

El informe hace generalizaciones basadas en datos boreales/templados, pero cuando se trata de datos tropicales, éste sostiene que existen muy pocas mediciones y que los datos no son concluyentes.

El informe también aborda en detalle (3/4 de una página de tres) la iniciativa de UNESCO/IHA y presenta también los resultados preliminares que sugieren que los embalses antiguos podría actuar como sumideros de carbono bajo ciertas condiciones. En general, se hace referencia moderada a los resultados que no han sido sometidos a una evaluación por pares en artículos académicos sobre las ciencias de la tierra. Además, los informes del IPCC normalmente sólo consideran la literatura evaluada por pares publicada antes de una fecha límite.

Como observación paralelo, parece que Fearnside (2002) es la única publicación citada que aborda los resultados de las emisiones de embalses por un investigador que no tiene vínculos con la empresa hidroeléctrica. Se citan a los investigadores no afiliados a la industria hidroeléctrica cuando se discuten aspectos del ciclo de carbono y el ciclo de carbono en aguas naturales.

Una mejor estructuración de esta sección podría haber sido la siguiente:

- Introducción: Reconocimiento que los embalses pueden producir emisiones de GEI;
- Cómo se producen las emisiones de los embalses;
- Recopilación de las mediciones y estimaciones existentes;
- Discusión de las incertidumbres y dificultad en evaluar las emisiones netas;
- Y
- Investigación adicional necesaria para tener un entendimiento más claro.

Implicaciones

La sección del SRREN sobre emisiones de embalses hace un mal trabajo en revisar la ciencia, pero no es incorrecta en los hechos.

srren.ipcc-wg3.de

El Mecanismo de Desarrollo Limpio de la UNFCCC

Para dar cuenta de las emisiones de GEI de los embalses hidroeléctricos (requerido para proyectos de más de 15 MW), el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) basa la elegibilidad de un proyecto en la densidad de la energía, que se define como la potencia instalada dividida entre el área del embalse. El Cuadro 1 resume los criterios de elegibilidad.

No se excluyen a los proyectos con bajas densidades de energía del MDL (ver el Cuadro 1), sin embargo, los constructores de dichos proyectos tendrían que crear una nueva metodología y obtener su aprobación por el panel metodológico del MDL. Debido a que este es proceso arduo y tampoco hay certidumbre de su aceptación, los proyectos con bajas densidades de energía son excluidas *de facto* del MDL.

En febrero de 2006, el Panel Metodológico recomendó este criterio umbral simple debido a que existían muy pocos datos científicos y entendimiento

como para calcular con mayor exactitud las emisiones anticipadas del embalse de una actividad propuesta de un proyecto. Los datos de embalses latinoamericanos respaldan la recomendación del Panel Metodológico (ver la Figura 2). Las represas con bajas densidades de energía se caracterizan por tener emisiones altas, mientras que aquéllas con altas densidades de energía tienen bajas emisiones.

En ríos con represas múltiples, la medición de la densidad de energía acumulada del conjunto entero de represas podría ser más apropiada. Fearnside (2009) muestra que pese a que la

Densidad de la energía (W/m ²)	Contabilización de GEIs
< 4	Exclusión de utilizar las metodologías aprobadas actuales (ACM0002, AM0019, AM0026)
4-10	Permiso para utilizar las metodologías aprobadas, pero las emisiones del proyecto deben ser incluidas al nivel de 90 g CO ₂ eq/kWh
> 10	Permiso para utilizar las metodologías aprobadas y se pueden desatender las emisiones del proyecto.

Cuadro 1: Restricciones para proyectos de hidroelectricidad bajo el MDL (Fuente: Mäkinen y Khan, 2010).

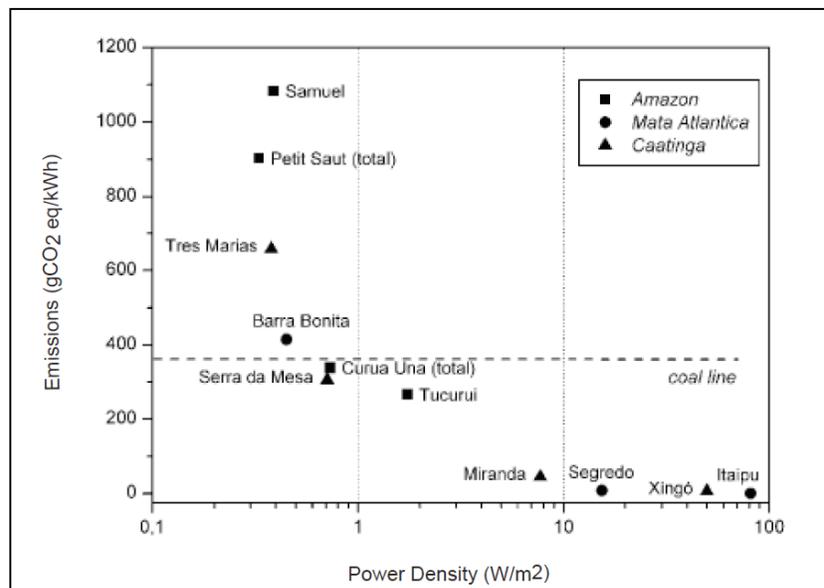


Figura 2: Emisiones (gCO₂ eq./kWh) respecto al registro de densidad de energía (W/m²), Fuente Gunkel, 2009

Represa de Belo Monte tiene una densidad de energía de 25 W/m^2 , cuando se considera la densidad de energía acumulada con la Represa Babaquara Dam corriente arriba, el resultado es una densidad de energía de 2.65 W/m^2 . Para que Belo Monte produzca energía adecuada, depende del almacenamiento de agua en los embalses corriente arriba.

Implicaciones

La metodología del MDL es adecuada para evitar que la mayoría de las represas con altas emisiones de GEI entren a los proyectos del MDL.

cdm.unfccc.int

Avances en la Investigación

Los resultados de la investigación sobre emisiones de los embalses desde 2007 se resumen a continuación. Las fuentes de esta información son artículos científicos de revistas evaluadas por pares a nivel internacional. La bibliografía completa se encuentra en la sección de referencias (p.13).

Estudios en Zonas Boreales

Embalse Eastmain 1– Hydro Quebec

Hydro Quebec esta realizando un experimento interesante en el Embalse Eastmain 1 al norte de Quebec. El objetivo del estudio es evaluar las emisiones netas del embalse, que fue embalsado en 2005, y comparar las emisiones con los lagos y ríos circundantes en la región. El objetivo final es crear un modelo predictivo de emisiones a lo largo de los siguientes 100 años. Además de Hydro Quebec, están involucrados científicos de la Universidad de Québec en Montreal (UQAM) y la Universidad de McGill.

Las mediciones tomadas antes de la inundación muestran que, en general, los ecosistemas naturales eran una fuente neta baja de CO₂ y metano. Luego del embalsado, las emisiones netas de GEI experimentaron un pico y luego disminuyeron nuevamente. El pico puede ser atribuido a la descomposición de materia orgánica voluble que se ha sumergido. La ruta principal para la liberación de GEIs es por difusión. Las emisiones por desgasificación y ebullición (burbujeo) representan menos de 1% de las emisiones totales. Las emisiones netas de GEI del embalse son bajas en comparación con aquéllas de una central de energía térmica de la misma capacidad (16%).

Estudios en Zonas Templadas

Lago Wohlen - Del Sontro et al. (2010)

Investigadores de Eawag, el Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática, halló altas emisiones de metano de un pequeño embalse hidroeléctrico de filo de agua en Suiza. Con una toma de mediciones

aproximadamente de forma mensual desde junio de 2007 hasta junio de 2008, el promedio de las emisiones de metano fue de $>150 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, el más alto documentado para embalses de altitud media. Los investigadores hallaron una correlación positiva entre las emisiones de metano y la temperatura.

La fuente del metano eran los sedimentos burbujeantes. Las dos rutas para la salida de las emisiones de metano del embalse son vía ebullición (burbujeo) y difusión. Las tasas de ebullición son comparativas a las estimaciones de embalses boreales o tropicales o las sobrepasan. Pese a que las emisiones anuales de carbono son de varios órdenes de magnitud inferiores a las de un embalse en una región tropical, las emisiones del Lago Wohlen se encuentran muy por encima del promedio de un lago pequeño en Europa.

Anteriormente, los investigadores habían sugerido que las emisiones disminuyen diez años luego del represado ya que el material orgánico que fue sumergido se ha descompuesto. (Tremblay et al., 2005). Sin embargo, el Lago Wohlen tiene 90 años y aún tiene emisiones altas. Las hipótesis de los investigadores son que la alta carga de carbono orgánico junto con la rápida tasa de sedimentación explican la producción alta de metano. Mientras que los embalses templados emiten menos que los embalses tropicales, este estudio indica que se deberían considerar y tomar en cuenta en las estimaciones globales.

El Embalse de Three Gorges - Chen et al. (2009)

Los investigadores hallaron que porciones del embalse de Three Gorges que se drenan parcialmente en el verano emiten metano. Este es el primer estudio que midió emisiones en la región de abatimiento del embalse. Usualmente constituyen una parte pequeña de la extensión del embalse, de manera que las regiones de abatimiento han sido mayormente descuidadas. Sin embargo, en el caso del Embalse de Three Gorges, un tercio del embalse es una región de abatimiento. Este estudio sugiere que se debería someter a mayor investigación a las regiones de abatimiento de los embalses para cuantificar su aporte a las emisiones de GEI de las represas.

Estudios en Zonas Tropicales

Represa Balbina - Kemenes et al. (2007, 2011)

Alexandre Kemenes del Instituto Nacional de Investigación sobre la Amazonia en Brasil y sus colegas han estado estudiando las emisiones de metano y dióxido de carbono del embalse Balbina por varios años. Los investigadores realizaron mediciones regulares de las emisiones superficiales del embalse, de la desgasificación en la descarga de las turbinas y las pérdidas por difusión corriente abajo. Las emisiones anuales del embalse y corriente abajo fueron de 73 Gg C, con un 55% emitido corriente abajo. Las emisiones corriente abajo son equivalentes a 3% de todo el metano liberado en la planicie aluvial del Amazonas central.

Kemenes et al. (2011) también midieron las emisiones de dióxido de carbono en el embalse Balbina y corriente abajo de la represa. Se calcularon las emisiones por la difusión y ebullición (burbujeo) de mediciones realizadas en intervalos regulares entre septiembre de 2004 y febrero de 2006. Las emisiones anuales de dióxido de carbono del embalse y corriente abajo de la represa fueron de 2450 y 81 Gg C respectivamente, alcanzando un flujo anual total de 2531 Gg C. Las emisiones corriente arriba se debían predominantemente a la difusión, mientras que 51% de las emisiones corriente abajo podían atribuirse a la desgasificación en la descarga de la turbina.

Las emisiones de dióxido de carbono y metano combinadas de la Represa Balbina alcanzan 3 Tg C yr⁻¹, aproximadamente equivalente a 2,5% de todo el metano y 0,5% de todo el dióxido de carbono liberados de los humedales y canales de ríos en las tierras bajas de la cuenca del Amazonas. Se supone que las turbinas de Balbina operan a 50% de su potencia nominal, el factor de emisión atmosférica de 2,9 toneladas de CO₂ eq C/MWh de energía generada es varias veces superior a la de una central termoeléctrica a carbón (0,3 toneladas de C/MWh).

Aunque estos valores son de emisiones brutas y no netas, la mayor parte de la región del embalse consistía en bosque tropical de árboles de hoja ancha en tierras altas, que se considera un sumidero neto de carbono. Por lo tanto, lo más

probable es que estas mediciones subestimen las emisiones netas.

Las Represas de la RDP de Laos - Chanudet et al (2011)

Uno de los primeros estudios sobre emisiones de embalses que se realizó en el sudeste de Asia fue llevado a cabo por un equipo internacional de investigadores que pasó dos años midiendo las emisiones de GEI de dos embalses subtropicales en Laos, los embalses de Nam Ngum y Nam Leuk (el último de los cuales desvía agua del Río Nam Leuk al Embalse de Nam Ngum). Lo que ellos hallaron fue que en Nam Leuk, "las emisiones de GEI aún son significativas luego de 10 años del embalsado" y que los valores de las emisiones eran comparables con las de otros embalses tropicales (aunque son mucho menores que las de una central termoeléctrica). La exportación anual de carbono (lo que incluye a la difusión a la atmósfera tanto del embalse como de corriente abajo) representaba alrededor de 2,2 ±1,0 Gg C al año.

El otro embalse, Nam Ngum, era un sumidero de carbono como resultado de su antigüedad, lo que es coherente con los datos existentes (fue embalsado en 1971). La remoción de la biomasa no redujo la cantidad de GEI emitida por el embalse, como se pudo haber supuesto previamente. El Embalse de Nam Leuk fue embalsado en 1999 luego de un desmonte y quema parcial de la vegetación, mientras que el Embalse de Nam Ngum Reservoir fue llenado sin una remoción significativa de la biomasa.

Las Represas Brasileñas - Fearnside (2008, 2009)

Fearnside (2008) aborda el desarrollo de un modelo explícito de existencias de carbono y degradación que puede ser aplicado a la evaluación de emisiones de GEI de un embalse en el Amazonas a lo largo del tiempo. Aunque las emisiones hidroeléctricas son más altas en los primeros años, el suministro continuo de materia orgánica al embalse resulta en emisiones permanentes. Fearnside aplica su modelo para predecir emisiones de largo plazo de una cantidad de embalses, pero los resultados son publicados en un estudio posterior que todavía no ha pasado por una evaluación por pares a nivel internacional. Ha aparecido en una revista brasileña en portugués.

En Pueyo y Fearnside (2009), los investigadores encuentran un error matemático en la aplicación de la ley de potencia para estimar las emisiones de GEI de las superficies de embalses en represas brasileñas por la agencia gubernamental de planificación energética. Pueyo y Fearnside estiman que las emisiones reales son tres veces mayores que la estimación del gobierno.

Las zonas de abatimiento son una fuente continua de emisiones de GEI. Cuando el agua retrocede, las plantas herbáceas suaves, como hierbas y pastos crecen rápidamente en la zona de abatimiento. Cuando el agua sube rápidamente, las plantas mueren y se descomponen rápidamente liberando dióxido de carbono o metano (bajo condiciones anaeróbicas). Fearnside (2009) ha hecho un modelo de las emisiones del abatimiento a lo largo de tiempo. La Figura 3 muestra que la zona de abatimiento se convierte en una fuente de metano del embalse de Babaquara de importancia creciente mientras que otras fuentes disminuyen.

En 2005, Fearnside mostró que las emisiones de GEI de las regiones de abatimiento en la Represa de Curua-Una son significativas y sugirió que las emisiones de esta región deberían ser medidas regularmente en otras represas. Se publican pocos estudios sobre las regiones de abatimiento de los embalses. Un estudio sobre la Represa Samuel reveló emisiones de abatimiento de 15,3 g C/m²/año a través de burbujeo cuando se la inunda estacionalmente, comparado con 7,2 g C/m²/año entre los árboles muertos aún de pie en regiones inundadas permanentemente (Rosa et al., 1996).

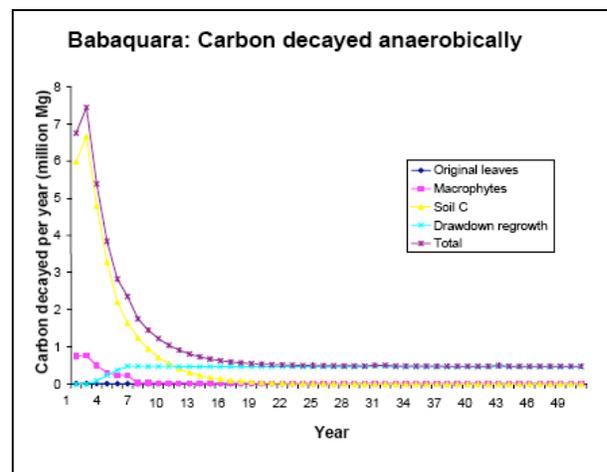
Represas Tropicales - Demarty y Bastien (2011)

Demarty Y Bastien (2011) examinaron las mediciones de metano de embalses hidroeléctricos en regiones tropicales y ecuatoriales. De 741 represas grandes (>10 MW) en los trópicos del registro de la Comisión Internacional de Represas Grandes, se han llevado a cabo mediciones de las emisiones de GEI (CO₂ y/o CH₄) en 18 represas. Once se encuentran en Brasil, cuatro en la Costa Marfil (mediciones más antiguas publicadas en 1999), una en la Guayana Francesa, una en Panamá (mediciones más antiguas, publicadas en 1994), y una en Australia.

Los autores compararon las emisiones totales de los proyectos hidroeléctricos con centrales termoeléctricas equivalentes por un plazo corto. Cabe señalar que no existen gados sobre la desgasificación para una cantidad de represas, de manera que las emisiones pueden ser significativamente más altas que lo reportado. No obstante, siete de las 12 represas tenían emisiones más altas que la de una central termoeléctrica (los embalses operados a carbón o densidad energética tienen emisiones más altas).

Las conclusiones del artículo son que (1) las emisiones de metano debido a la desgasificación son importantes; sin embargo (2) los datos existentes no bastan para generalizar sobre el aporte relativo de la hidroelectricidad a escala global.

Aunque es importante que los investigadores sean cautelosos cuando realizan extrapolaciones; es



posible que los autores sean cautelosos debido a que están a favor de la hidroelectricidad u no les agradan las implicaciones que las estimaciones globales tienen para la hidroelectricidad. El tono del estudio es similar al del IPCC SRREN.

Además, los autores no son coherentes en su tratamiento de las represas boreales y tropicales. Ellos se refieren a la relación que han establecido para las regiones boreales, pero luego sostienen simultáneamente que el conjunto de datos de las regiones tropicales es demasiado escaso.

El documento también discute en detalle el trabajo de Fearnside. Ellos señalan que sus resultados no son mediciones reales, sino que

ejercicios de ampliación y que él escribe de sus opiniones personales sobre la hidroelectricidad, y los autores abordan el debate entre Fearnside y Rosa (1996).

Emisiones N₂O: Guérin et al. (2008)

Guérin et al. (2008) midieron las emisiones de óxido nitroso (N₂O) en dos embalses tropicales y recopilaron mediciones publicadas por otros investigadores de embalses brasileños. El óxido nitroso es un GEI potente con un potencial de calentamiento global de 298 en una escala de tiempo de 100 años (IPCC, 2007). Aún si las emisiones (netas) son bajas, podría tener una influencia importante en las emisiones de GEI de los embalses.

En dos de los embalses considerados, Samuel en Brasil y Petit Saut en la Guayana Francesa, el óxido nitroso representa 16% y 29% de las emisiones brutas de GEI de los embalses, respectivamente, mientras que en los otros cuatro embalses (tres en Brasil y uno en Panamá), las emisiones de óxido nitroso son insignificantes. Los investigadores concluyen que se necesitan más estudios para determinar si las emisiones de óxido de los embalses tropicales son significativos o no.

Emisiones de Metano en Agua Dulce

Bastviken et al. (2011) estimaron recientemente que las emisiones totales de metano del agua dulce están en 103 Tg de CH₄ (0,6 Pg de CO₂ eq.). Esto es equivalente a 25% de los sumideros terrestres de GEI, si se supone un potencial de calentamiento global de 25 a lo largo de un periodo de 100 años. Si se supone un área total del embalse de 0,5 km², los embalses representan 20,1 Tg de CH₄ (0,14 Pg de CO₂ eq.).

En una carta escrita en respuesta a este artículo, Li y Lu de la Universidad Nacional de Singapur sugieren que las emisiones de GEI de los embalses podría duplicarse dentro de 40 años debido a la construcción de nuevas represas. Ellos también señalaron que los datos recopilados por Bastviken et al. (2011) eran mayormente de embalses boreales y templados y que los datos a menudo no daban cuenta de la desgasificación y por lo tanto probablemente son una subestimación.

Estimaciones Globales

Debido a que existe un número limitado de mediciones y aún un número de incógnitas respecto a los procesos que rigen las emisiones de metano de los embalses, la ampliación de los y resultados de los ejercicios y la modelación debería ser abordado con un poco de escepticismo.

Lima et al. (2008) estiman las emisiones globales de metano de las represas grandes global utilizando un modelo teórico, el remuestreo con reemplazo (método de bootstrapping) y datos de ICOLD. Se incluyen los cálculos realizados corriente arriba y corriente abajo. Se estima que las emisiones globales de metano corriente arriba están en aproximadamente 3,5 Tg. CH₄. Se estima que las emisiones globales son mucho más altas por las emisiones corriente abajo – 100 Tg CH₄. Lima et al. (2008) estiman que las represas representan 30% de las emisiones antropogénicas de metano y que las emisiones de CH₄ antropogénicas deberían ser modificadas de manera ascendente hasta 450 Tg CH₄.

Barros et al. (2011) también evalúan las emisiones de dióxido de carbono y metano de los embalses hidroeléctricos sobre la base de 85 embalses hidroeléctricos distribuidos a nivel global, que representan 20% de todos los embalses existentes en términos de área. Ellos estiman que los embalses hidroeléctricos emiten alrededor de 48 Tg C como CO₂ y 3 Tg C como CH₄ haciendo un total de 123 Tg CO₂ eq. de la superficie del embalse. Las emisiones de metano de este estudio se encuentran en un orden de magnitud más pequeño que el de Lima Lima et al. (2008), pero no se consideraron las emisiones de las turbinas, aliviaderos y ríos outflowing. Las emisiones de carbono están correlacionadas con la edad del embalse y la latitud, con las mayores tasas de emisión provenientes de la región amazónica tropical.

Un trabajo próximo de Varis et al. (en imprenta) sugiere que las emisiones de metano de los embalses corriente arriba es 5 Tg CH₄. Ellos no estiman las emisiones corriente abajo. Ellos consideran a todos los embalses (es decir, de control de inundaciones, hidroeléctricos, de riego). Los embalses hidroeléctricos predominan, representando dos tercios de las emisiones.

Análisis y Conclusión

Debido a la parquedad de los datos temporales y espaciales, así como un entendimiento incompleto del proceso que afecta a la producción de emisiones de GEI en embalses, las proyecciones globales deberían ser vistas como aproximaciones con grandes barras de error.

La mayoría de los investigadores involucrados en este campo tienen vínculos con la industria hidroeléctrica. Esto es generalmente debido al hecho que el financiamiento proviene de las empresas hidroeléctricas mismas (tanto públicas como privadas). Pese a que la literatura evaluada por pares puede restar importancia al significado de algunos de los resultados cuando no se adecúan a la posición de la industria, los resultados de ninguna manera son fabricados o no creíbles. El artículo de Demarty y Bastien (2011) es un ejemplo. El trabajo realizado en Petit Saut es financiado por Electricite France, sin embargo fue el primer estudio en confirmar la hipótesis de Fearnside que la desgasificación es una ruta importante para la liberación de metano de los embalses hidroeléctricos.

En el caso de las emisiones de embalses boreales, se considera que las emisiones por difusión son una ruta principal que comprende más de 95% de las emisiones totales (Demarty et al. 2009 y referencias dentro del mismo). No hay suficientes datos sobre las emisiones de la desgasificación para estimar la importancia de la desgasificación en relación a la difusión y burbujeo. Demarty y Bastien (2011; Cuadro 4) proveen un resumen útil de las mediciones realizadas para embalses tropicales. Las dos represas tropicales con estimaciones de desgasificación publicadas (Balbina, Brasil; y Petit Saut, Guayana Francesa) son muchas veces mayores de los flujos de la difusión y burbujeo. Es difícil extrapolar la proporción de flujos de burbujeo y flujos de difusión sobre la base de los datos presentados en su estudio.

Necesidades de Investigación Futura

Un desafío para la comunidad científica es calcular las emisiones netas en vez de simplemente las emisiones brutas. En un

caso ideal, se conocen las emisiones de GEI del área del embalse antes del embalsado. De lo contrario, se pueden medir las emisiones de áreas cercanas con características similares a las del área embalsada y utilizarlas en representación de las emisiones anteriores a la represa. Luego se pueden restar estas emisiones de las emisiones medidas luego del embalsado (emisiones brutas) para calcular las emisiones netas. Si el sitio era una fuente de emisiones antes del embalsado, entonces las emisiones netas disminuirán. Si hubiese sido un sumidero (como es a menudo el caso en bosques tropicales), las emisiones netas en realidad habrán aumentado ya que se ha perdido el sumidero.

- Existe la necesidad de protocolos de medición y experimentos estandarizados para limitar el impacto que ciertas variables (niveles de oxígeno, niveles de mezcla, temperatura, etc.) tienen en las emisiones de GEI dentro de los embalses para mejorar los modelos de predicción.
- Existen importantes regiones y zonas calientes de construcción de represas en las que hay pocas o ninguna medición, lo que incluye a la India y China. Se han realizado mediciones en regiones boreales/templadas en Canadá, Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia, Suiza, y los Estados Unidos. Se ha realizado el mayor número de mediciones en regiones tropicales/subtropicales en Brasil, lo que incluye a cuatro sitios amazónicos y sitios adicionales en el centro y sur de Brasil. También hay mediciones disponibles de la Represa Gatum en Panamá y la Represa Petit-Saut en la Guayana Francesa. Se requiere de mediciones en escalas de tiempo más largas de represas tropicales para evaluar las emisiones de GEI de largo plazo. Se ha realizado poca investigación sobre represas en regiones levemente áridas o en África.
- Hay un debate sobre qué escala de tiempo debe usarse para comparar emisiones

(potenciales) de GEI de embalses hidroeléctricos con centrales termoeléctricas. El IPCC (2007) recomienda medir las emisiones con una escala de tiempo de 100 años. En el caso de centrales hidroeléctricas, esto es

engañoso. Debido a que las emisiones de GEI de un embalse son más altas durante los años iniciales de operación, un periodo de tiempo más corto sería más apropiado para evaluar los impactos actuales en el clima.

Apéndice

Cuadro de Estimaciones Globales

Autor	Emisiones de CH ₄ (Tg CH ₄)		Emisiones de CO ₂ (Tg CO ₂)		Total (CO ₂ eq.)*
	Corriente arriba	Corriente abajo	Corriente arriba	Corriente abajo	
Lima et al. (2008)	3.5	100			2503.5
Barros et al. (2011)	3		48		123
Bastivken et al. (2011)	20.1				502.5
Varis et al. (en imprenta)	5				125

*Si se supone un potencial de calentamiento global de 25 para el metano.

Investigadores Claves

Embalses Boreales

El investigador principal involucrado con el Embalse Eastmain 1 de Hydro Quebec es Alain Tremblay. Otros que colaboran con él incluyen a Bastien y Demarty de *Environnement Illimité Inc.*

Embalses Tropicales

Philip Fearnside del Instituto Nacional de Investigación en la Amazonia (INPA) continúa investigando las emisiones de embalses; sin embargo, en los últimos años, él ha publicado principalmente en revistas brasileñas más que internacionalmente. Asimismo, Fearnside no hace mediciones. Él realiza fundamentalmente ejercicios de ampliación para extrapolar datos experimentales y de observación. Alexandre Kemenes también está en el INPA y ha estado midiendo las emisiones del Embalse Balbina.

Matti Kummu y Olli Varis son investigadores en la Universidad de Aalto en Finlandia. Su trabajo es respecto al Río Mekong y las emisiones de GEIs de embalses.

Natan Barros y Fábio Roland están en la Universidad Federal de Juiz de Fora en Brasil. Ellos publicaron la estimación global reciente de GEIs de embalses.

Metano de Sistemas de Agua Dulce

J. Cole del Instituto Cary de Estudios de Ecosistemas, Milbrook, Nueva York, y D. Bastivken de la Universidad de Linköping, Suecia, estudian el metano de lagos naturales y sistemas de agua dulce. systems.

Referencias³

Barros, N. et al. (2011) Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude, *Nature Geoscience*, 4.

Bastivken, D. et al. (2007) Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink, *Science*, 331.

Chanudet, V. et al. (2011) Gross CO₂ and CH₄ emissions from the Nam Ngum and Nam Leuk sub-tropical reservoirs in Lao PDR, *Science of The Total Environment*, 209 (24).

Chen, H. et al. (2009) Methane emissions from newly created marshes in the drawdown area of the Three Gorges Reservoir, *Journal of Geophysical Research*, 114.

³ Para una bibliografía completa sobre investigación de emisiones de embalses, por favor visite: www.internationalrivers.org/en/node/2362

- Del Sontro, T. et al. (2010) Extreme methane emissions from a Swiss hydropower reservoir: Contribution from bubbling sediments, *Environmental Science and Technology*, 44.
- Demarty, M. et al. (2009) Greenhouse gas emissions from boreal reservoirs in Manitoba and Quebec, Canada. Measured with automated systems, *Environmental Science and Technology*, 43.
- Demarty, M. and Bastien, J. (2011) GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH₄ emission measurements, *Energy Policy*, 39.
- Demarty, M. et al. (2011) Annual follow-up of gross diffusive carbon dioxide and methane emissions from a boreal reservoir and two nearby lake in Quebec, Canada, *Biogeosciences*, 8.
- Fearnside, P. (2008) A framework for estimating greenhouse gas emissions from Brazil's Amazonian hydroelectric dams, *Oecologia Brasiliensis*, 12.
- Fearnside, P. (2009) As Hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como Fontes de Gases de Efeito Estufa, *Novos Cadernos NAEA*, 12.
- Guérin, F. et al. (2008) Nitrous oxide emissions from tropical hydroelectric reservoirs, *Geophysical Research Letters*, 35.
- Gunkel, G. (2009) Hydropower – A green energy? Tropical reservoirs and greenhouse gas emissions, *Clean*, 37.
- IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC (2011) Hydropower Chapter, *Special Report on Renewable Energy Sources*.
- Kemenes, A. et al. (2011) CO₂ emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil), *Journal of Geophysical Research*, 116.
- Kemenes, A. et al. (2007) Methane release below a tropical hydroelectric dam, *Geophysical Research Letters*, 34.
- Lima, I. et al. (2008) Methane emissions from large dams as renewable energy resources: A developing nation perspective, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13.
- Mäkinen, K. and Khan, S. (2010) Policy considerations for greenhouse gas emissions from freshwater reservoirs, *Water Alternatives*, 3.
- Pueyo, S. and Fearnside, P. (2011) Emissions of greenhouse gases from the reservoirs of hydroelectric dams: Implicaciones of a power law, *Oecologia Australias*, 15.
- Ramos, F. et al. (2009) Methane stocks in tropical hydropower reservoirs as a potential energy source, *Climatic Change*, 93.
- Rosa, L. et al. (1996) Emissões de metano e dióxido de carbono de hidrelétricas na Amazônia comparadas a's termelétricas equivalentes, *Cadernos de Energia*, 9,109 –157.
- Tremblay A. et al. (2010) Net greenhouse gas emissions at Eastmain 1 Reservoir, Quebec, Canada, *Proceedings of the World Energy Congress*.
- UNESCO/IHA (2010) GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs.
- Varis, O. et al. (in press) Greenhouse gas emissions from reservoirs. En *Impacts of large dams*, Editado por Tortajada, C. et al., Springer Verlag, Berlin.