



La Represa de Inambari – Escenario de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Documento de Trabajo # 15

Autor: Bruce Forsberg

Fecha: Junio 2013

Uno de los efectos esperados con la construcción de la Represa Inambari es el incremento en las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI). El área que se proyecta inundar por el reservorio comprende actualmente bosque tropical en pie, el cual se ha demostrado que captura CO_2 de la atmósfera de manera muy eficiente (Davidson y Artaxo 2004, Ometto et al. 2006, Bonan et al. 2008). Luego del represamiento, estos ecosistemas terrestres quedarán sumergidos y la materia orgánica proveniente de la vegetación y del suelo comenzará a descomponerse, liberándose CO_2 al reservorio. El consumo de oxígeno disuelto en el proceso de descomposición, combinado con la estratificación térmica que ocurrirá en el reservorio, generará una zona en el fondo desprovista de oxígeno, conocida científicamente como “hipolimnion anóxico”, en donde se producirán cantidades significativas de metano disuelto, un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global 23 veces mayor al del CO_2 . Ambos gases serán liberados a la atmósfera por difusión desde la superficie del reservorio (Abril et al. 2005; Kemenes et al. 2007, 2011). El metano (CH_4) también será liberado en cantidades significativas en forma de burbujas directamente desde el fondo de las zonas poco profundas (< 10m) (Abril et al. 2005). Aguas abajo del reservorio, CH_4 y el CO_2 también serán liberados tanto por una rápida desgasificación (liberación de gas directamente del agua) a la salida de las turbinas como por difusión desde la superficie del canal del río aguas abajo (Abril et al. 2005; Kemenes et al. 2007, 2011).

Es difícil predecir la potencial magnitud de estas emisiones en el reservorio Inambari. Se conocen únicamente dos estudios para reservorios en regiones tropicales en los cuales se han registrados las emisiones de GEI, uno es el reservorio Balbina en la Amazonía Central Brasileña (Kemenes et al. 2007, 2011) y otro es el reservorio Petit Saut en la Guyana Francesa (Abril et al. 2005). Usualmente las estimaciones de emisión de GEI para reservorios se derivan de modelos de emisión de carbono los cuales no siempre han sido validados, por tanto sus resultados son cuestionables (Fearnside 1997, 2002, 2005a, 2005b, 2005c, 2006). Otros métodos para estimar estas emisiones (Lima et al. 2008) se basan en las relaciones de emisión para lagos de climas templados (Bastviken et al. 2004), los cuales consideramos no apropiados para reservorios tropicales. Existe un modelo empírico obtenido recientemente a partir de datos disponibles de 85 reservorios distribuidos en todo el planeta (Barros et al. 2001), este estudio ha facilitado una línea base sólida para estimar emisiones de CO_2 y CH_4 desde la superficie de los reservorios según las latitudes. Estas estimaciones consideran tanto las emisiones por difusión como las emitidas desde zonas poco profundas (a partir de burbujas). Se ha encontrado que las emisiones de CO_2 (Flujo CO_2 , $\text{mgC/m}^2/\text{d}$) varían en función de la antigüedad del reservorio (años), la latitud y la concentración de carbono orgánico disuelto (COD, mg/l), según la siguiente ecuación ($R^2=0.40$; $gl=73$; $p<0.001$).

$$\text{Log(Flujo CO}_2+400) = 3.06 - 0.16 \text{ Log (años)} - 0.01 \text{ Latitud} + 0.41 \text{ Log COD} \quad (1)$$

Las emisiones de CH₄ (Flujo CH₄, mgC/m²/d) varían en función de la edad del reservorio (años), profundidad media (m), contenido de carbono orgánico disuelto (COD_{cont}, mgC/m²/d) y la latitud, según la siguiente ecuación (R²=0.53; gl=89; p<0.001).

$$\begin{aligned} \text{Log(Flujo CH}_4) = & 1.33 - 0.36 \text{ Log (años)} - 0.32 \text{ Log (profundidad media)} \\ & + 0.39 \text{ Log CODcont} - 0.01 \text{ Latitud} \end{aligned} \quad (2)$$

Estas dos ecuaciones fueron utilizadas para estimar las emisiones potenciales de CO₂ y CH₄ desde la superficie del propuesto reservorio Inambari. La principal dificultad que encontramos para aplicar estas ecuaciones fue estimar los valores esperados de COD y CODcont para el reservorio, en ambos casos estos valores van a depender de las tasas de aporte de carbono orgánico al sistema. El aporte de carbono orgánico proviene del drenaje de las partes más altas de la cuenca y de la vegetación sumergida por el reservorio. El cálculo del aporte de las partes altas de la cuenca fue calculado como el producto de la descarga total media y la concentración media de COD en los tributarios que llegan al reservorio y dividido por la superficie media de la superficie del reservorio. La concentración media de COD de estos tributarios fue estimada a partir de una relación entre el COD y la elevación (Figura 1), datos presentados por Guyot y Wasson (1994) para los tributarios andinos.

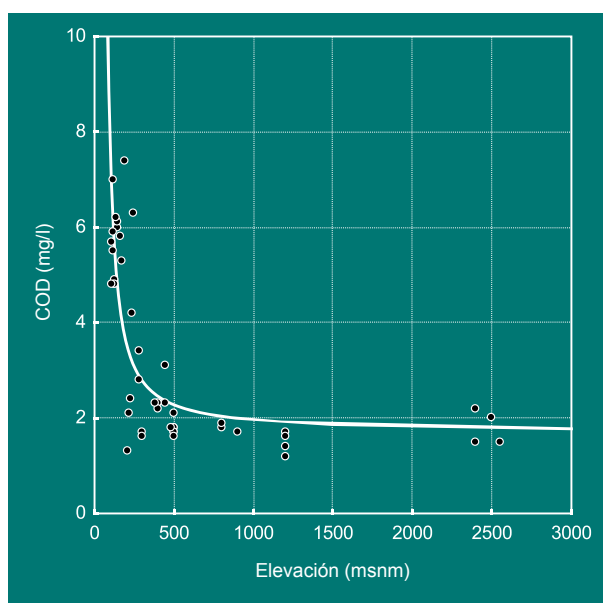


Figura 1. Variación de las concentraciones de Carbono Orgánico Disuelto (COD) en los tributarios andinos según la elevación. Datos provenientes de Guyot y Wasson (1994)

Bajo el supuesto que la elevación promedio de los tributarios aportantes al reservorio Inambari es 514 msnm, el COD promedio de estos tributarios fue estimado en 2.00 mg/l. La descarga media anual estimada para estos tributarios fue calculada como el producto del área de drenaje aguas arriba del reservorio, 18,144 km² y el coeficiente de la escorrentía promedio (0.0845 m³/km²/s). La escorrentía promedio fue estimada a partir de la relación nivel del río-escorrentía (Figura 2) y los valores diarios de nivel del río en el puente Inambari.

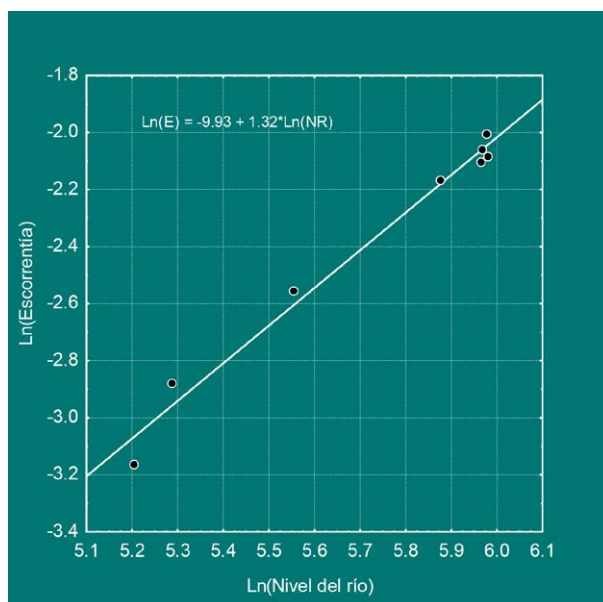


Figura 2. Logaritmo natural de la Escorrentía ($m^3/km^2/s$) versus el logaritmo natural del nivel del río (m) para el río Inambari en el punete Inambari.

Asumiendo que la superficie del reservorio es de $319 km^2$, la tasa media de descarga de COD desde los tributarios aportantes se estimó en $821 mgC/m^2/d$. La descarga adicional de carbono derivado de la vegetación terrestres y suelos inundados fue calculada a partir de la biomasa total de la vegetación inicialmente en pie, estimada por Vega et al. (2012) en 9'665,107 toneladas de C, asumiendo una tasa exponencial de descomposición simple en el tiempo. Incluyendo los aportes de carbono a partir de fuentes externas e internas, se estimó una disminución gradual de la carga total de carbono desde $17,882 mgC/m^2/d$, al momento del llenado el embalse, hasta $821 mg C/m^2/d$ para fines del año 30 de funcionamiento de la represa. Se prevé que la concentración de COD disminuirá desde 43.55 hasta $2.0 mgC/l$ durante el mismo período. Estos valores fueron utilizados en las ecuaciones (1) y (2) para predecir las emisiones superficiales de CO_2 y CH_4 desde el reservorio Inambari durante los primeros 30 años después de su llenado (línea verde en figura 3).

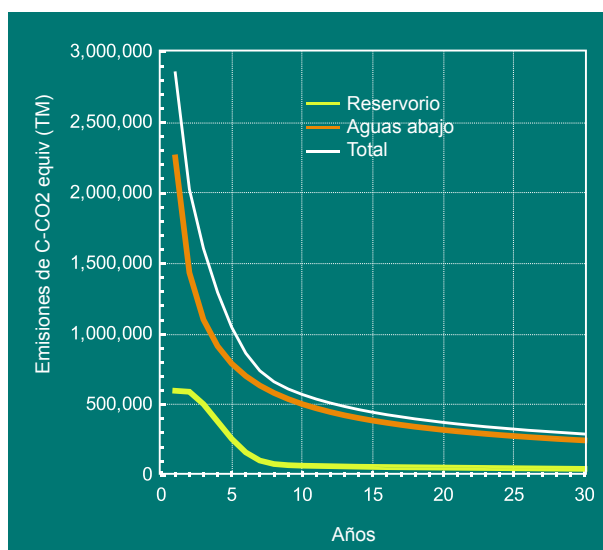


Figura 3. Cálculo de emisiones de carbono total (CO_2 y CH_4) para la represa Inambari durante sus primeros 30 años luego de llenado el reservorio.

Las estimaciones de las emisiones de gases aguas abajo de la represa también fueron obtenidas a partir de datos derivados de otros reservorios, que en la zona tropical son Balbina en Brasil y Petit Saut en la Guyana

Francesa. En ambos casos las estimaciones incluyeron tanto la liberación de gases en el punto de salida de las turbinas así como la liberación directa desde la superficie del canal del río aguas abajo. Considerando los procesos físicos que ocurren en ambos casos, la liberación de gases fuera del reservorio dependerá de la descarga que sale por las turbinas. Así, tomando como promedio la descarga de estos dos sistemas (570 y 260 m³/s para Balbina y Petit Saut, respectivamente) el flujo de CO₂ fue de 22.64 y 26.92 C-CO₂e por m³ de descarga en cada represa respectivamente. Como se aprecia estos dos valores son bastante similares, lo cual indica que las emisiones parecen mantenerse constantes entre estos dos sistemas (Abril et al. 2005; Kemenes et al. 2007). En el caso de la represa Petit Saut, la descarga se mantuvo en promedio constante durante los primeros 10 años luego del represamientos, tiempo durante el cual los valores totales de emisión de GEI aguas abajo del reservorio disminuyeron de manera casi constante hasta 20% de su valor máximo. Para estimar estas emisiones fuera de la represa Inambari asumimos una tasa de disminución similar en las emisiones durante los 10 primeros años luego del represamiento y una tasa de emisión de 24.80 g C-CO₂e por m³ de descarga (el promedio de los valores de Balbina y Petit Saut). Asumiendo que la represa maximizará su descarga para la generación de energía se utilizó en la simulación como descarga máxima de 1,408 m³/s, lo cual es posible ya que se espera que la descarga total del sistema sea mayor de 1,533 m³/s. La variación en las descargas aguas abajo se muestran en la línea naranja en la figura 3.

Estos resultados obtenidos se compararon con las estimaciones obtenidas por Vega et al. 2012, quien también calculó emisiones de carbono desde la represa Inambari usando modelos y supuestos similares a los propuestos por Fearnside (2005c, 2006). Para poder comparar estos resultados fue necesario recalculer las emisiones de metano de Vega y colegas aplicando un factor de calentamiento global (FCG) igual a 23, considerando que el CH₄ tiene un potencial de calentamiento global 23 veces mayor al del CO₂. En sus estimaciones Vega usó un FCG mucho mayor e igual a 34, sugerido por Fearnside (2005c, 2006), valor que es considerado muy elevado por la comunidad científica. El valor que usamos en este reporte está respaldado por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y usado por la mayoría de climatólogos. En la figura 4 se muestran las predicciones en la variación de las emisiones de carbono equivalente (C-CO₂e) obtenidos por el modelo MASUKO (Vega et al. 2012) y nuestras estimaciones (modelo FORSBERG).

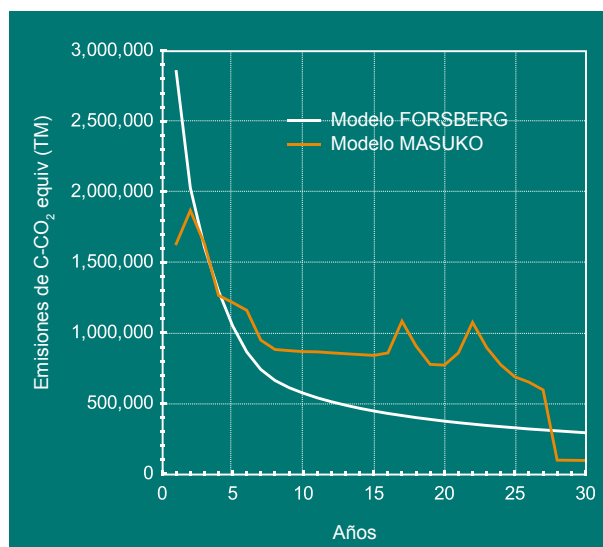


Figura 4. Comparación de las estimaciones de emisión total de carbono equivalente (C-CO₂e) desde la represa Inambari, obtenidas por nuestros análisis (Modelo FORSBERG) y recalculadas a partir de Vega et al. 2012 (Modelo MASUKO).

Ambos modelos estiman valores similares en magnitud, sin embargo los pronósticos a lo largo del mismo período son significativamente diferentes. El Modelo FORSBERG muestra una rápida disminución hasta casi el 20% de los valores iniciales en los 10 primeros años, mientras que el modelo MASUKO mantiene valores casi constantes durante los primeros 27 años y luego caen abruptamente. La represa Petit Saut es la única represa en la región tropical que cuenta con registros históricos de emisiones de C-CO₂e y aunque el patrón de disminución es similar a los estimados por nuestros análisis, la dinámica en las emisiones resulta diferente a lo largo del periodo considerado. Los valores acumulativos de las emisiones de C-CO₂e estimados por el modelo FORSBERG para los primeros 30 años luego del represamiento fueron de 20 millones de toneladas de C-CO₂e, con 19% liberado desde el punto de descarga de la represa y 81% liberado aguas abajo de la represa. Las emisiones estimadas por el modelo MASUKO para el mismo período fueron de 28 millones de toneladas de C-CO₂e, significativamente más elevadas. En términos generales, y dado que el modelo FORSBERG estimó una dinámica de emisiones similar a resultados obtenidos en otros reservorios tropicales, consideramos que el modelo FORSBERG representa bastante bien lo que podría ocurrir en Inambari.

Emisiones durante el proceso de construcción

Durante esta la etapa de construcción la emisión de GEI proviene de la combustión producida por el uso de las maquinarias, emisiones que no han sido incluidas en este reporte. Un estimado razonable de este valor se presenta en el trabajo de Vega et al. 2012, quienes calcularon 900,000 toneladas como carbono asociado a la construcción de la represa.

Emisiones Netas

Las emisiones netas se obtienen de la diferencia entre las emisiones naturales de GEI ya existentes en la zona y las emisiones que ocurrirán luego de la presencia del reservorio de la hidroeléctrica. Estos cálculos también deberían considerar diferencias entre las emisiones asociadas a escenarios alternativos de generación de energía y a escenarios alternativos de uso de la misma zona, en lugar de una hidroeléctrica. Vega et al. (2012) incluyeron en sus cálculos de emisiones netas las emisiones a partir de escenarios alternativos de desarrollo y de fuentes de energía, sin embargo el cambio de uso de la tierra es principalmente una decisión política, la cual ya no depende únicamente de la información incluida en los análisis. Como se ha mencionado anteriormente, casi toda el área proyectada a ser inundada consiste de bosque tropical en pie, el cual captura de manera eficiente el CO₂ de la atmósfera (Davidson y Artaxo 2004; Ometto et al. 2006; Bonan et al. 2008). Solamente una pequeña parte es ocupada por canales de río y humedales inundados de manera muy intermitente, los cuales han sido sugeridos como fuentes de CO₂ y CH₄ (Richey et al. 2002). En general estas condiciones sugieren que la zona en etapa pre-construcción debe ser considerada como sumidero de CO₂ y CH₄.

LITERATURA CITADA

- Abril G, Guerin F, Richard S, Delmas R, Galy-Lacaux C, Gosse P, Tremblay A, Louis V, Dos Santos MA, Matvienko B. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-year old tropical reservoir (Petit Saut, French Guiana). *Global Biogeochem Cycles* 19: doi:10.1029/2005GB002457.
- Barros N, Cole J, Tranvik L, Prairie Y, Bastviken D, Huszar V, del Giorgio P, Roland F. (2011). Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude *Nature Geoscience*, 4 (9), 593-596. Doi:10.1038/NGEO1211.
- Bastviken D, Cole J, Pace M. 2004. Methane emissions from lakes: dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochem Cycles* (18) doi:10.1029/2004GB0022.
- Bonan, G B., et al. 2008. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks and the Climate Benefits of Forests. *Science* 320, 1444.
- Davidson E, Artaxo P. 2004. Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: results of the Large-scale Biosphere–Atmosphere Experiment *Global Change Biology* (2004) 10, 519–529.
- Fearnside PM 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation*, v. 24, n. 1, p. 64-75, 1997.
- Fearnside PM. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. 2002. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 133, n. 1-4, p. 69-96
- Fearnside PM. 2005a. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management*, v. 35, n. 1, p. 1-19.
- Fearnside PM. 2005b. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. v. 10, n. 4, p. 675-691
- Fearnside PM. 2005c. Hidrelétricas planejadas no rio Xingu como fontes de gases do efeito estufa: Belo Monte (Kararaô) e Altamira (Babaquara). In: SEVÁ FILHO, A.O. (Ed.) Tenotã-mõ: alertas sobre as Consequências dos Projetos Hidrelétricos no rio Xingu, Pará, Brasil. São Paulo: International Rivers Network. p.204-241.
- Fearnside PM. 2006. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu River Basin. *Environmental Management*, v. 38, n. 1, p. 16-27.

- Guyot JL, Wasson JG. 1994. Regional pattern of riverine dissolved organic carbon in the Amazon drainage basin of Bolivia. *Limnology and Oceanography* 39(2): 452-458
- Kemenes A, Forsberg BR, Melack JM. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters*, v. 34, art. L12809, doi:10.1029/2007GL029479. 55.
- Kemenes A, Forsberg BR, Melack JM. 2008. As hidrelétricas e o aquecimento global. *Ciência Hoje*, v. 41, n. 145, p. 20-25.
- Kemenes A, Forsberg BR, Melack JM. 2011. CO₂ emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil), *J. Geophys. Res.*, 116, G03004, doi:10.1029/2010JG001465.
- LimaIBT, Ramos FM, Bambace LAW, Rosa RR. 2008. Methane emissions from large dams as renewable energy resources: a developing nation perspective. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 13, p. 193-206.
- Ometto JPHB, Nobre AD, Rocha HR, Artaxo P, Martinelli LA. 2005. Amazonia and the modern carbon cycle: lessons learned. *Oecologia* 143: 483–500.
- Ramaswamy V. 2001, Radiative forcing of climate change, pp 349-416. In Houghton, J.T. et al [eds] *The Scientific Basis Climate Change*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.
- Richey JE., Melack JM, Aufdenkampe AK, Ballester MV, Hess LL. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. *Nature* 416, 617–620.
- Vega, JS, Malky A, Reid J. 2012. Costos y beneficios del proyecto hidroeléctrico del río Inambari. Documento de Discusión No 2. Conservación Estratégica. 67p

Se sugiere citar:

Forsberg, B. 2013. “La Represa de Inambari – Escenario de Gases de Efecto Invernadero (GEI)”. Documento de Trabajo #15 . Wildlife Conservation Society, Lima, Perú.