

## El caso del río Madera

### Emisión de gases en represas tropicales

Expositor: Gwenael Abril – IRD (Francia)

Yo trabajo la incidencia de los ecosistemas acuáticos continentales en el ciclo de carbono como fuente de CO<sub>2</sub> y de metano. Hoy voy dar unos conceptos generales de cómo funciona el ciclo de carbono en los ecosistemas acuáticos y luego voy a hablar de represas hidroeléctricas tropicales, del ciclo de carbono y de los gases de efecto invernadero emitidos por esas represas. Finalmente voy a referirme al caso del Río Madera, de lo poco que se puede decir sobre ese río y las represas.

Las imágenes muestran el ciclo del carbono global en equilibrio, es decir que todo lo que entra en cada reservorio sale. Las fuentes de los pozos son iguales y los intercambios de carbono entre la atmósfera y el océano están equilibrados, de igual manera entre la atmósfera y la biosfera continental. Ese ciclo fue perturbado por la actividad humana, con el uso de combustibles fósiles en primera instancia. Estoy usando los siguientes números 10 elevado a 15 gramos de carbono por año. La combustión de combustibles fósiles emite 6 giga-toneladas por año, la deforestación emite 2; de estas 8 giga-toneladas sólo 3 se encuentran en la atmósfera, 2 se van a los océanos y se piensa que las 3 restantes van a ser captadas por la biosfera continental.

En las ilustraciones se puede ver que los intercambios de carbono entre la biósfera continental y la atmósfera son muy largos y por eso es necesario establecer una diferenciación entre los ecosistemas acuáticos y los ecosistemas terrestres.

Presento tres estimaciones de fuentes de metano a escala global. Podemos ver que las zonas húmedas naturales como también las artificiales, donde por ejemplo se cultiva el arroz, son las fuentes más importantes. También se observa que hay demasiada

## El caso del río Madera

incertidumbre o inexactitud entre las estimaciones, por esa razón es necesario realizar más estudios con respecto a las fuentes de metano.

En la *ilustración 3*, vemos la estimación de las represas hidroeléctricas a escala global (fuente St Louis et al 2000). Una fuente seria es la de los rumiantes, por ejemplo.

¿Cómo funciona el ciclo de carbono en los ecosistemas acuáticos?

Tenemos la vegetación terrestre y los suelos. La vegetación realiza la fotosíntesis y la respiración produciendo un intercambio de  $\text{CO}_2$  con la atmósfera, pero también hay una parte del carbono que se va a los ecosistemas acuáticos, como  $\text{CO}_2$  o Carbono Orgánico y también el metano producido en suelos anóxicos (sin oxígeno). Después de este proceso en el medio acuático, hay respiración que va a convertir el carbono orgánico en  $\text{CO}_2$  y esas dos fuentes de  $\text{CO}_2$  van a ir hacia la atmósfera.

En los ecosistemas acuáticos hay producción primaria por macrofitas (fitoplancton) que limita el flujo de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. Ese carbono orgánico que viene de los suelos y que proviene de la vegetación acuática puede sedimentarse y sin oxígeno se produce el gas metano. Este metano producido, en esas condiciones, está por una parte oxidado en  $\text{CO}_2$  y por la otra se va a la atmósfera. Hay que resaltar que el metano es 20 veces más potente que el  $\text{CO}_2$  como gas invernadero, por lo que la oxidación de éste gas, que ocurre en esas condiciones, es muy importante ya que el impacto es menor si se emite  $\text{CO}_2$  en lugar del metano directamente.

Otro dato relevante es que el metano puede pasar a la atmósfera de 3 maneras diferentes: la primera es difusión simple del agua a la atmósfera; la segunda es por ebullición que se produce en los sedimentos, cuando se crean burbujas que salen directamente a la atmósfera; finalmente la tercera es a través de las plantas acuáticas.

En una columna de agua la concentración de metano, donde hay oxígeno, es baja. En el fondo de la columna de agua, donde el oxígeno es menor, la concentración de metano es más alta y más aún en los sedimentos. Cuando esa concentración es más alta que la solubilidad se producen las burbujas en los sedimentos. Las burbujas salen a la atmósfera sobre todo cuando hay turbulencia y también si baja el nivel del agua, en este caso cambia la presión produciendo la salida del metano. Lo difícil es medir las emisiones de metano, ya que los eventos de estas emisiones son muy cortos y ocurren en condiciones de viento.

## El caso del río Madera

Por ejemplo, para hacer mediciones el científico tiene que estar presente en el momento de lo contrario no se podría cumplir con esa tarea.

¿Por qué son especiales las represas? El problema de las represas es que para saber cuánto gas emiten a la atmósfera es preciso hacer la diferencia entre el flujo de metano antes de construir la represa y el flujo después de construida, ya que las empresas que construyen represas señalan que antes de construir las mismas existen emisiones de metano, esa afirmación es cierta.

Siguiendo las ilustraciones vemos que en una represa como señala la imagen (*ilustración 4*) se puede ver que es difícil cuantificar las emisiones de todos los diferentes ecosistemas, unos son fuentes y otros son pozos de CO<sub>2</sub> y de metano. La segunda relevación importante es que cuando se construye una represa se inunda de material orgánico terrestre y este material va a ser descompuesto por bacterias produciendo CO<sub>2</sub> y metano. Al principio hay mucha emisión debido a la gran cantidad de material orgánico, pero con el tiempo estas emisiones son cada vez menores. Por lo tanto, las represas no están en equilibrio y los gases tampoco.

En el caso de la selva, cuando los árboles mueren por encima del nivel del agua, emiten CO<sub>2</sub> a la atmósfera y hay que cuantificarlo. En las represas hay una estratificación térmica, especialmente en las represas tropicales, y ocurre que el oxígeno de la atmósfera ya no penetra el agua, se tiene un termo clima que es también una línea de oxidación. Por lo tanto, en la *ilustración 7* se puede apreciar una región con oxígeno y otra en el fondo sin oxígeno, la concentración de metano y CO<sub>2</sub> en son muy altas. Si fuera un lago, no habría mucho problema porque para que el metano salga a la atmósfera precisa encontrarse con el oxígeno y eso generalmente no ocurre en un lago. Sin embargo, en el caso de las represas que usan el agua del fondo de la misma para generar electricidad, provocan que el metano salga del fondo.

Mostramos el ejemplo de un estudio de emisiones de CO<sub>2</sub> y de metano en la Guyana Francesa, una represa que es la más documentada en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> y de metano. Esta represa fue cerrada ya hace 15 años. La superficie era selva primaria (*ilustración 12*) con una superficie de 320 Km<sup>2</sup>, con aproximadamente 10 millones de toneladas de carbono (36% del suelo y 64% de la biomasa).

En la *ilustración 13* se aprecia una foto de la represa con la salida de las aguas de las turbinas, con una superficie de árboles inundados que estuvieron 6 meses hasta que se

## El caso del río Madera

cayeron sus hojas. Un año y medio después fueron cortados al nivel del agua, este material también cayó en la represa.

La *ilustración 14* muestra una fotografía de la zona litoral donde los árboles están de pie y donde se pueden apreciar micrófitos adheridos a los mismos.

La *ilustración 15* muestra la salida de las aguas. Estas aguas contienen poco oxígeno debido a la estratificación térmica que mencionamos anteriormente. Acatando la legislación europea, se instalaron aereadores para que exista oxígeno en el agua y así impedir la muerte de los peces aguas abajo, de esta manera el metano sale a la atmósfera.

La *ilustración 16* muestra el intercambio de gases en una represa. En primera instancia, la materia orgánica se descompone por una actividad microbiológica produciendo  $\text{CO}_2$  y metano liberado por simple difusión en la columna de agua. En la región de la línea de oxidación, se produce la oxidación de una parte del metano, hay producción primaria (fitoplancton) que va a consumir una parte del  $\text{CO}_2$  y producir oxígeno en el nivel superior de la columna de agua. Parte del metano se va a la atmósfera rápidamente (sin oxidación) en forma de ebullición.

La *ilustración 17* muestra las concentraciones típicas de  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  y metano en la región más profunda de la represa. Se puede ver que debajo de cinco metros ya no hay oxígeno, ahí empieza a subir la concentración de metano. Vemos una variación muy importante entre el periodo seco y húmedo.

La *ilustración 18* presenta 10 años de mediciones de metano y  $\text{CO}_2$ . La concentración es la media de toda la columna de agua. Se puede ver que hay una correlación entre la concentración de metano y  $\text{CO}_2$  con el tiempo de permanencia de agua. Esto quiere decir, que la fuente de metano está al fondo de la represa y no en el agua, si el tiempo de permanencia del agua fuera más alto entonces bajaría la concentración.

La *ilustración 19* muestra las mediciones que hicimos del flujo de  $\text{CO}_2$  y de metano, utilizando diferentes sistemas, el más simple es una cámara que flota y en la que se acumulan los gases y donde se realiza la medición por tiempo, de 5 minutos o media hora, dependiendo del gas.

La *ilustración 20* muestra la forma en la que se hacen las mediciones de flujos de metano (en ebullición o de burbujas). Se utilizan conos que capturan las burbujas y botellas donde se acumula el gas.

## El caso del río Madera

La *ilustración 21* muestra gráficos que son una síntesis de todos los flujos, los de la represa (del agua), difusivos y de ebullición. En amarillo tenemos lo que sale por debajo de las turbinas y en negro lo que sale en el estuario. Hubo un gran cambio durante el tiempo en cuanto a las emisiones totales, que bajaron sobre todo la del metano. Al principio había mucha ebullición, la misma que bajó con los años. Otro tema importante es que la línea térmica y la línea de oxidación se estabilizaron en mucho tiempo, por lo que las bacterias responsables de la oxidación del metano, empezaron a trabajar recién al año y medio o dos años después. En consecuencia, el flujo difusivo (en color azul) fue relevante al principio. Una conclusión importante es que puesto que el metano se concentra en la parte inferior del agua (agua retenida) éste sale por las compuertas de la represa fluyendo libremente con el agua retenida.

La *ilustración 22* presenta un balance de carbono de la represa, muestra lo que entra a partir de los ríos y lo que sale de la represa luego, en cuanto a carbono. Muestra que lo que sale a la atmósfera es casi tres veces superior, esto demuestra que la fuente de carbono excedente proviene del suelo y de la selva inundada.

La *ilustración 23* presenta una extrapolación de 100 años que permite ver si es interesante construir una represa en comparación a otras formas de energía, recurriendo sólo al criterio del efecto invernadero.

Comparado con una central térmica, la represa (llamada Petit Saut) debe funcionar 25 años para tener un mismo balance de carbono, para el caso del gas se requieren 80 años.

Fueron realizadas comparaciones (*ilustración 25*) con otras represas brasileras como "Balbina" y "Samuel", lo que permitió confirmar que la mayoría del metano sale debajo de las represas y no de la superficie de los lagos artificiales.

Ahora existe una institución la IHA (International Hidropower Association) que realizará un programa para estudiar los gases. El IPCC exige que se hagan inventarios nacionales incluyendo a las represas hidroeléctricas. Pienso que también el Banco Mundial antes de financiar represas, pide un estudio de impacto ambiental que incluye el tema de los gases.

Mostramos los primeros resultados de la región del Río Madera, son resultados de este año. Tenemos experiencia con ríos de aguas negras o aguas claras, no así con aguas blancas. No hay represas de aguas blancas. Sin embargo, lo que he visto en otros lugares es que cuando hay mucha sedimentación de aguas blancas, hay mucha emisión de

## El caso del río Madera

metano. Mucha sedimentación de material fino y material orgánico es un contexto propicio para la producción de metano y CO<sub>2</sub>. De manera natural esta región es de mucha sedimentación, los datos vienen de esas áreas de inundación del Río Beni y la confluencia con el Río Mamoré.

En la *ilustración 28* las concentraciones de metano están en verde (parte superior), en rojo está lo que encontramos en el Río Amazonas, la escala para el metano es logarítmica. En azul tenemos el valor en la atmósfera (o sea de agua en equilibrio con la atmósfera). Vemos que las concentraciones, que se producen de forma natural, son muy altas en estas aguas y son fuentes de metano que incluyen sólo el flujo difusivo. En cuanto a las concentraciones de CO<sub>2</sub> éstas son muy altas, por lo tanto, sacamos la conclusión de que estos ríos o estas aguas son también fuentes naturales de CO<sub>2</sub>.

Para concluir debo decir que es muy difícil hacer pronósticos de las emisiones netas de ese tipo de represa. Primero porque las emisiones naturales ya son altas y segundo porque hay mucha heterogeneidad espacial (del paisaje). Un área, que puede ser selva, es pozo de CO<sub>2</sub> y si es inundada se convierte en una fuente de CO<sub>2</sub> (como en Petit Saut). Sin embargo, si es área húmeda que ya emite CO<sub>2</sub> y es inundada, la situación va a ser diferente. Por ello, se deben realizar estudios antes de construir la represa y después de construirla para poder hacer comparaciones. Sobre todo en ese tipo de represa como la del Río Madera.

## El caso del río Madera

### Preguntas

*P. En una conferencia de un miembro del IPCC en el Brasil se dijo que, el ciclo del metano es mucho más agresivo que el CO<sub>2</sub>, tanto para los elementos que se encuentran dentro del agua como para los externos como la capa de ozono, pero el ciclo del metano es sólo de 11 años en la atmósfera y la del CO<sub>2</sub> es de un siglo.*

*R. Si la concentración del metano en la atmósfera sigue subiendo, tomando en cuenta que el gas tiene un tiempo corto de permanencia en la atmosfera, quiere decir que las fuentes están subiendo o que los pozos atmosféricos están bajando. Hay años, como en el 2001, en el que la concentración de metano en la atmosfera bajó. Pero el año 2002 subió otra vez, entonces se puede apreciar que el ciclo de metano es mucho más dinámico y corto y el efecto climatológico es inmediato. Si ahora decidimos que vamos a bajar todas las emisiones de metano la concentración va a bajar rápido, pero no sucede lo mismo con el CO<sub>2</sub>, el CO<sub>2</sub> requiere más tiempo y en este caso hay mucha más inercia.*

*P. No sé si han hecho la comparación de toneladas que tiene el bosque en pie antes de la inundación y de la cantidad de toneladas de carbono que se llega a liberar, ¿Hay una diferencia de toneladas que queda atrapada todavía?*

*R. Se me olvidó decir esto para Petit Saut, sabemos que en 10 años la cantidad de carbono emitida a la atmosfera fue de 20% la cantidad de carbono en los suelos y la biomasa.*

*P. He leído que unos investigadores brasileños están estudiando el atrapar el metano en las represas, ¿eso es factible?*

*R. Si es muy buena idea. Me gustó mucho este estudio porque es muy inteligente, tiene muy buenos argumentos. La idea es tomar metano, extraerlo del agua, del fondo de la represa y de quemarlo para producir energía. Los cálculos de Iván Lima y colaboradores que conozco me parecen una buena idea, por lo menos para intentarlo. Seguir construyendo represas que toman agua del fondo donde ya no hay oxígeno y dejar esa agua río abajo, dejar las emisiones de metano, dejar los problemas de oxigenación, no es una buena manera de construir represas. Creo que una buena manera es dejar entrar a las turbinas agua de la superficie y que se quede el metano al fondo, luego se lo extrae para hacer energía. Así se obtiene más electricidad con menos impactos ambientales.*

## El caso del río Madera

**P.** *No me quedó muy claro en la comparación de la generación hidroeléctrica, que teóricamente tendría que ir a hacer más limpio un mix energético determinado, las emisiones de metano de ésta central hidroeléctrica y si hicieron alguna comparación con la generación térmica en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero.*

**R.** Esta comparación no la he hecho yo, la hizo un químico de la atmósfera. Esto es complicado, tomando en cuenta que los tiempos de permanencia de los gases no son los mismos. Es complejo hacer la comparación entre emisiones de metano y emisiones de CO<sub>2</sub>. Eso lo hicimos con Petit Saut, que produce bastante energía por superficie inundada. Si hacemos la misma comparación por ejemplo para Balbina, que es una superficie muy grande para poca energía producida, el resultado será mayor. Esta fue la primera vez que se hizo esta comparación, pienso que es importante hacerla para proyectos futuros, además que el IPCC quiere que estos estudios se realicen.

# MEMORIA

Evaluación de Impactos Ambientales de grandes  
hidroeléctricas en regiones tropicales :

El caso del Río Madera

Ihh

IRD

wwf

La Paz, 19 y 20 de mayo de 2009