

## **LA REPRESA DE INAMBARI Y LAS EMISIONES DE LOS GASES DE INVERNADERO**

*Martin Arana Cardó  
Agosto del 2009*

*Agradecimientos al Ing. José Vasquez Huarcaya por su apoyo en los cálculos para las estimaciones de emisiones y al Dr Ivan Breiger da Lima por brindar los modelos para la estimación de las emisiones de gases de invernadero para proyectos de embalses hidroeléctricos.*

### **Antecedentes**

El 17 de Mayo del 2008, los Gobiernos de Perú y Brasil, firman un acuerdo bilateral de cooperación energética, para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de exportación de energía. Este acuerdo comprende un paquete de proyectos de centrales hidroeléctricas, dentro del cual está incluido el proyecto de la Hidroeléctrica de Inambari.

Con fecha 12 de Junio del 2008, el Ministerio de Energía y Minas, otorga mediante Resolución Ministerial N° 287-2008-MEM/DM la Concesión Temporal a favor de la Empresa de Generación Eléctrica Anazonas Sur S.A.C, para el desarrollo de estudios relacionados a la actividad de generación de energía eléctrica en la futura Central Hidroeléctrica de Inambari.

El proyecto se ubica en el punto de encuentro de las regiones de Puno, Cusco y Madre de Dios y contempla la construcción de una presa de 210m de altura, generando un área de embalse de 46,000 Has. Toda el área a embalsar abarca bosques tropicales amazónicos, comprendidos entre los 300 y 600 msnm.

### **La energía limpia**

Uno de los principales argumentos para promover el desarrollo de proyectos para el aprovechamiento de hidroenergía, es aquel que indica que, en comparación con la energía generada por la quema de combustibles fósiles, la hidroenergía, no genera gases de efecto invernadero, por lo que se le considera como energía limpia.

Para el Perú, este argumento se ve claramente reflejado en el Diagnóstico Ambiental del Perú (1) en el cual se indica que la explotación del potencial hidroenergético del Perú, del cual sólo se aprovecha el 4%, “se perfila como una de las grandes oportunidades del país para contribuir a reducir los gases de efecto invernadero GEI”, adicionalmente se indica que de manera especial, en la selva alta, el desarrollo de la hidroenergía contribuye a la conservación de los espacios naturales.

De otro lado, en el Inventario Integrado de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Perú para el año 2000 (5) para el sector energía, como fuente de emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de azufre, se consideran únicamente a las emisiones por quema de combustibles, emisiones fugitivas de metano por extracción y manipuleo de carbón y actividades relacionadas con petróleo y gas natural y emisiones fugitivas de precursores de ozono y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) por efecto de la refinación del petróleo. Hay que indicar, que estas fuentes de emisiones de gases de invernadero identificadas en el Inventario Nacional, responden a las directrices metodológicas del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés, que

es el grupo internacional de expertos que da respaldo técnico y científico a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático) estipuladas en el documento Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero - versión revisada en 1996

Sin embargo, recientes resultados de diversas investigaciones a nivel mundial, ponen en tela de juicio el concepto de que las centrales hidroeléctricas son una fuente de energía limpia por la no emisión de gases de efecto invernadero. Entre las principales investigaciones, destacan las realizadas por el Dr Ivan Lima y el equipo de investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE por sus siglas en inglés).

Según las investigaciones de Lima, las grandes represas del mundo (aquellas con embalses superiores a los 15m) aportan el 4% del calentamiento global, con un aproximado de 104 millones de toneladas de metano por año (2). Estas cifras implican que las represas serían la mayor fuente antropogénica de metano.

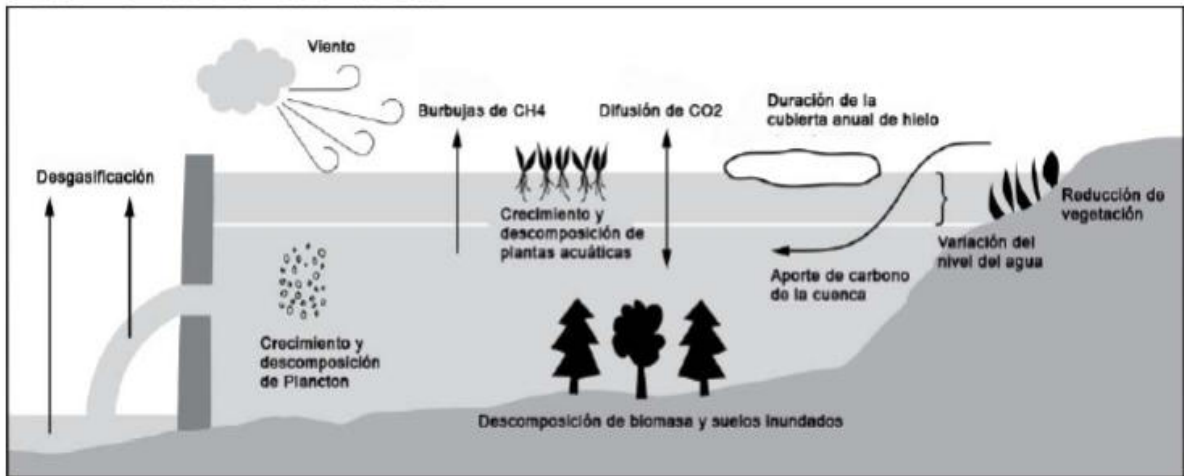
Los gases de invernadero de los embalses se generan a partir de la descomposición de la materia orgánica que permanece sumergida.

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se genera por la descomposición del carbono contenido en la materia orgánica presente en el área embalsada, la materia orgánica transportada por los cursos de agua que derivan al embalse, que puede incluir los desagües de zonas urbanas y por el plancton y plantas acuáticas propias del embalse.

Por su parte el metano, se forma por las bacterias que descomponen la materia orgánica en sedimentos y agua con bajos contenidos de oxígeno; para el caso de zonas tropicales, las zonas profundas de los cuerpos de agua, tienen contenidos muy bajos de oxígeno. Parte del metano generado en zonas profundas, se oxida en dióxido de carbono al subir hacia la superficie. El metano es un gas de efecto invernadero 21 veces más potente que el  $\text{CO}_2$ .

El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se genera por la ruptura bacteriana del nitrógeno, aunque el  $\text{N}_2\text{O}$  es casi 300 veces más potente que el  $\text{CO}_2$ , se requieren más investigaciones para cuantificar este tipo de emisiones (International Rivers)

Figura 1: Un esquema de los principales factores que influyen en las emisiones de gases de efecto invernadero en los embalses.



Tomado de International Rivers "Represas Sucias"

Aunque el IPCC, todavía no ha incorporado formalmente en su metodología de Inventarios Nacionales de Gases de Invernadero la evaluación de emisiones de las represas y embalses, en los apéndices 2 y 3 de la Directrices del IPCC del 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Invernadero (3) proponen las bases metodológicas para su desarrollo futuro, sobre la evaluación de las emisiones CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> de tierras convertidas a permanentemente inundadas.

En estos apéndices, tanto para CO<sub>2</sub> como para CH<sub>4</sub> se identifican tres fuentes de emisión:

- Emisiones difusoras debidas a la difusión molecular a través de la interfaz aire – agua, esta sería la mayor vía de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Emisiones de burbujas o emisiones de gas proveniente del sedimento através de la columna de agua. Esta sería una fuente minoritaria de emisiones de CO<sub>2</sub>, pero sería una fuente muy importante de CH<sub>4</sub>, sobre todo en regiones templadas y tropicales.
- Emisiones de desgasificación, que son el resultado de un cambio repentino de presión hidrostática, así como de la superficie creciente de intercambio aire-agua, luego que el agua del embalse fluye por las turbinas o vertederos. Esta posiblemente sea la vía más importante de emisión de CH<sub>4</sub>.

Vale mencionar que las emisiones de gases de invernadero provenientes de las represas, no se limitan a la superficie del embalse, turbinas y vertederos. Investigaciones de Guérin, F. et. al (2008) citado por International Rivers (1), reporta emisiones elevadas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O hasta 40 Km aguas abajo del dique de la represa Petit Saut en la Guiana Francesa.

Hidroeléctrica	Media de dos campañas			
	Kg/Km2/día		T/año	
	CH4	CO2	C-CH4	C-CO2
Miranda	154,15	4.388	2.135	22.104
Tres Marías	196,28	1.117	55.880	115.650
Barra Bonita	20,89	3.985	1.784	123.779
Segredo	8,78	2.695	197	22.000
Xingó	40,09	6.138	659	36.663
Samuel	104,02	7.448	15.918	414.430
Tucuruí	109,36	8.475	72.749	2,050.051

Fuente: Primer Inventario de Emisiones de Co2 y CH4 de Reservorios Hidroeléctricos de Brasil 2006

### Estimación de las emisiones del Proyecto Represa de Inambari

Para la estimación de las emisiones de gases de invernadero del proyecto de la represa de Inambari, se aplicó el modelo BCL (Biome Carbon Loss) desarrollado por el Dr Ivan Bergier de Lima (4) como adaptación del modelo doble G (Abril et al., 2005) para la evaluación de diez grandes represas de Brasil.

El modelo BCL estima las emisiones totales de carbono como CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Ct = (Co/5) * e^{(-0.3*t)} + (Co/3) * e^{(-0.03*t)} + Co/2$$

Donde

Ct: es la producción total de carbono por CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> por hectárea

Co: es la cantidad de carbono inicial en el tiempo inicial (al momento del embalse) por hectárea, expresado en toneladas

t: es el tiempo en años

El modelo estima la cantidad de carbono inicial a partir del tipo de bioma embalsado, tal como se muestra en la siguiente tabla

Tipo de vegetación	Co (Ton de C/Ha)
Sabana seca	55
Sabana húmeda	108
Bosque tropical	185

Para el caso de la estimación de la emisiones de metano, se aplicó el Organic Matter Cycling (OMC), desarrollado por Lima et. al (2007) y Bastviken (2004).

El modelo se basa en la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Eomc = (bub + diff + stg) / At$$

$$Eomc = 10 * [(15.5 * At^{0.841}) + (1.73 * At^{0.927}) + (35.2 * At^{0.649})] / At$$

Eomc está compuesto por

Eomc_bub * At	2,48E+09
Eomc_diff *At	1,51E+09
Eomc_stg * At	1,28E+08

Para la estimación integral de las emisiones, Lima, considera las emisiones en el embalse y las emisiones en la descarga de turbinas y aliviaderos; sin embargo, para el caso del proyecto de la Represa de Inambari, no fue posible realizar los cálculos en las descargas y aliviaderos ya que para ello se requiere de información específica del proyecto como son los flujos de descarga de las turbinas y aliviaderos, información técnica que por el momento todavía no está disponible.

Aplicando el modelo BCL al proyecto de la Hidroeléctrica de Inambari, en el cual se tiene como área total del embalse 460 Km<sup>2</sup> sobre bosque tropical, tenemos:

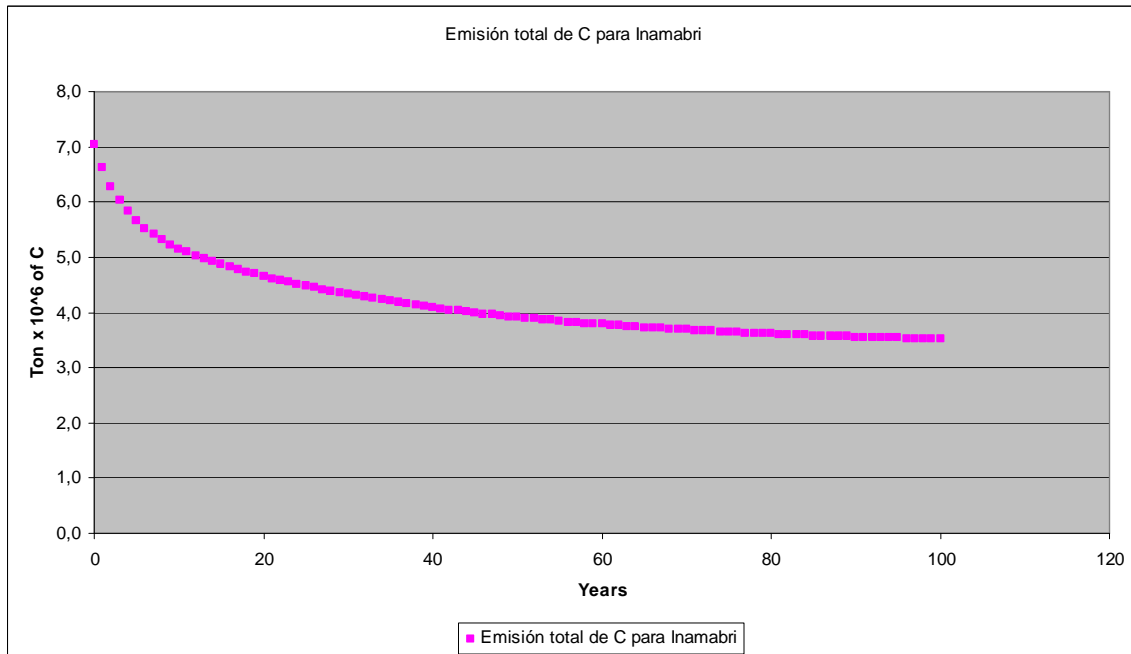
Area embalse	de	460 Km <sup>2</sup>
Area embalse	de	46,000 Has
Area embalse efectiva (80%)	de	36,800 Has
Tipo vegetación	de	Bosque tropical
Carbono embalsado inicial		185 Ton/Ha

$$C_t = (C_0/5) * e^{(-0.3*t)} + (C_0/3) * e^{(-0.03*t)} + C_0/2$$

Tiempo [años]	Ct ton de C / ha	Emisión total de C para Inambari Millones de Ton C
0	191,2	7,0
1	179,8	6,6
2	170,9	6,3
3	163,9	6,0
4	158,3	5,8
5	153,8	5,7
6	150,1	5,5
7	147,0	5,4
8	144,4	5,3
9	142,1	5,2
10	140,0	5,2
11	138,2	5,1
12	136,5	5,0
13	135,0	5,0

14	133,6	4,9
15	132,2	4,9
16	131,0	4,8
17	129,8	4,8
18	128,6	4,7
19	127,5	4,7
20	126,4	4,7
21	125,4	4,6
22	124,4	4,6
23	123,5	4,5
24	122,5	4,5
25	121,6	4,5
26	120,8	4,4
27	119,9	4,4
28	119,1	4,4
29	118,3	4,4
30	117,6	4,3
31	116,8	4,3
32	116,1	4,3
33	115,4	4,2
34	114,7	4,2
35	114,1	4,2
36	113,4	4,2
37	112,8	4,2
38	112,2	4,1
39	111,6	4,1
40	111,1	4,1
41	110,5	4,1
42	110,0	4,0
43	109,5	4,0
44	109,0	4,0
45	108,5	4,0
46	108,0	4,0
47	107,6	4,0
48	107,1	3,9
49	106,7	3,9
50	106,3	3,9
51	105,9	3,9
52	105,5	3,9
53	105,1	3,9
54	104,7	3,9
55	104,3	3,8
56	104,0	3,8
57	103,7	3,8
58	103,3	3,8
59	103,0	3,8
60	102,7	3,8
61	102,4	3,8
62	102,1	3,8
63	101,8	3,7
64	101,5	3,7

65	101,3	3,7
66	101,0	3,7
67	100,8	3,7
68	100,5	3,7
69	100,3	3,7
70	100,1	3,7
71	99,8	3,7
72	99,6	3,7
73	99,4	3,7
74	99,2	3,7
75	99,0	3,6
76	98,8	3,6
77	98,6	3,6
78	98,4	3,6
79	98,3	3,6
80	98,1	3,6
81	97,9	3,6
82	97,8	3,6
83	97,6	3,6
84	97,5	3,6
85	97,3	3,6
86	97,2	3,6
87	97,0	3,6
88	96,9	3,6
89	96,8	3,6
90	96,6	3,6
91	96,5	3,6
92	96,4	3,5
93	96,3	3,5
94	96,2	3,5
95	96,1	3,5
96	96,0	3,5
97	95,9	3,5
98	95,8	3,5
99	95,7	3,5
100	95,6	3,5
<b>Acumulado 100 años</b>		<b>422.1</b>



De los resultados obtenidos podemos observar que el año cero sería el pico de las emisiones (7 millones de toneladas de C como Co<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>), y luego va decreciendo paulatinamente, sin embargo hay que destacar que aún después de un período de 100 años, las emisiones anuales continúan (3.5 millones de toneladas de C), reduciéndose apenas un 50% con relación al año cero.

Un aspecto importante a considerar es el tiempo de vida útil estimado para la represa, aún cuando por el momento, de acuerdo a la información oficial disponible sobre el proyecto, no se indica la vida útil proyectada, asumiendo un período de 60 años, las emisiones acumuladas serían de unos 277.4 millones de toneladas de C (65.7% del total acumulado en 100 años). Es de suponer que en este caso la empresa EGASUR, tomaría acciones para la mitigación del impacto producido, sin embargo luego de la vida útil de la represa, todavía restaría un 34.5% de las emisiones acumuladas durante 100 años, que podrían convertirse en un serio pasivo ambiental, si es que no se toman las previsiones del caso.

Otro aspecto importante a resaltar, es que estas cantidades de emisiones calculadas, podrían ser significativamente mayores si se considera la estimación de las emisiones de gases de invernadero producidas en las descargas de las turbinas y vertederos. Es necesario profundizar las investigaciones cuando se cuente con la información completa del diseño de ingeniería y operación de la hidroeléctrica.

### **El Inventario Integrado de Emisiones de Gases de Invernadero y la represa de Inambari**

De acuerdo con el Inventario Integrado de Emisiones de Gases de Invernadero en el año 2000 (5), se reporta que en Perú se genera un total de 119,5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalente. Si incluimos en este inventario, las emisiones calculadas provenientes del proyecto de la represa de Inambari, tendríamos que para el año cero del embalse, las emisiones totales a nivel nacional se incrementarían en un 5.86 %. En comparación con otras actividades incluidas en el inventario nacional, las emisiones del proyecto de



<b>Bunkers internacionales</b>	<b>0</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Aviación	0		0	0	0	0	0	0	0
Marítimo	0		0	0	0	0	0	0	0
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> de biomasa</b>	<b>0</b>								0
<b>TOTAL NACIONAL DE EMISIONES Y REMOCIONES</b>	<b>142 124</b>	<b>-53 541</b>	<b>965</b>	<b>34</b>	<b>145</b>	<b>379</b>	<b>197</b>	<b>160</b>	<b>119 419</b>

Fuente: Inventario Integrado de Gases de Invernadero para el año 2000 MINAM

De acuerdo a las cifras mostradas en el Inventario Nacional de Gases de Invernadero, la mayor fuente de generación a nivel nacional es el cambio de uso del suelo y silvicultura, principalmente por efecto de la deforestación. Esta realidad es concordante con la Estrategia Nacional para el Cambio Climático (CONAM 2002), en la cual entre otras, se define como uno de los ejes, las acciones destinadas a reducir las tasas de deforestación. Sin embargo, el proyecto de la represa de Inambari, no solo significa la pérdida de 46,000 Has de bosque tropical, el cual tiene un excelente potencial como sumidero de carbono, sino que además, se incrementarían los gases de efecto invernadero en un 5.86%.

Este incremento en las emisiones a nivel nacional, representa un serio problema para el cumplimiento de los compromisos asumidos por el Estado Peruano al firmar y ratificar el Protocolo de Kioto. Esto cobra mayor relevancia en la medida que Perú, como miembro de los países comprometidos en el cambio climático, deberá definir sus metas de reducción de gases de efecto invernadero, en la Cumbre Mundial a realizarse en Copenhague, en diciembre del presente año.

### **Mitigación de la emisión los gases de invernadero**

Ante la evidencia de que las represas son una gran fuente de emisión de gases de efecto invernadero, en especial de metano CH<sub>4</sub>, las investigaciones de Bambace et al 2007 (8) han encontrado una solución que no solo ayuda a reducir las emisiones de metano en los embalses, sino que además permiten la recuperación del metano para su utilización como fuente adicional de energía. Los sistemas ya se encuentran patentados en Brasil.

Un aspecto interesante es que el sistema de recuperación de metano, no implica grandes modificaciones en la infraestructura para generación de energía en las hidroeléctricas.

Considerando las altas concentraciones de metano en las aguas profundas de los embalses, el principio es bastante simple, las aguas profundas sometidas a la presión del embalse y ricas en metano, son transportadas a la superficie, donde el gas disuelto puede ser extraído por burbujeo o nebulización en recipientes sellados.

En las estimaciones del potencial de aprovechamiento del metano realizadas para 5 represas de Brasil, se encontraron resultados bastante promisorios al hacer la equivalencia de energía que podría ser generada a partir de la recuperación del metano. Para el caso de la represa Curuá-Una, esto podría significar un incremento hasta del 55% de su capacidad instalada.

### Características energéticas y biofísicas de los reservorios

Reservorio	Vegetación del área inundada	Area Km2	Año de inicio de inundación	CH4 por degasificación aguas abajo (Mt-CH4/y)	Poder deCH4 Equivalente (MW) [A]	Capacidad Instalada (MW) [B]	A/B (%)
Petit Saut	Bosque tropical	300	1994	0.009-0.020 a	16-36	115	14-31
Curuá-Una	Bosque tropical	78	1977	0.012 b	22	40	55
Balbina	Bosque tropical	2,360	1987	0.052 c	92	250	36
Samuel	Bosque tropical	540	1988	0.033 d	58	216	27
Tucuruí -I	Bosque tropical	2,430	1984	0.7-1.2 e	1,232-2,112	3,960	31-53

- (a) Abril et al (2005)
- (b) Fearnside (2005b)
- (c) Kemenes et al (2007)
- (d) Fearnside (2005c)
- (e) Fearnside (2004)

Fuente: Methane stocks in tropical hydropower reservoirs as potential energy source F. Ramos et. Al, publicado online en Febrero 2009

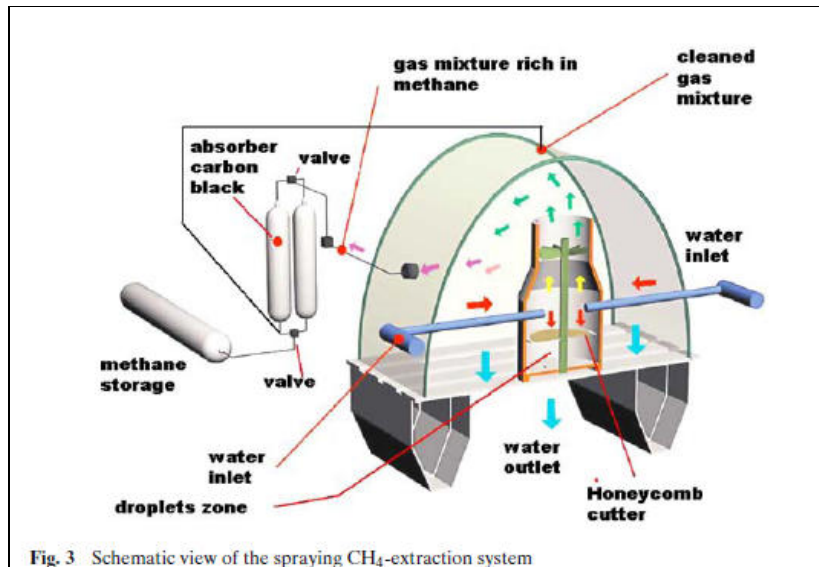
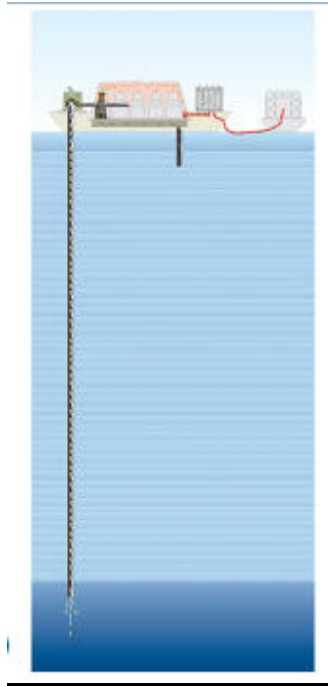


Fig. 3 Schematic view of the spraying CH<sub>4</sub>-extraction system

Fuente: Methane stocks in tropical hydropower reservoirs as potential energy source F. Ramos et. Al, publicado online en Febrero 2009



Fuente: Methane stocks in tropical hydropower reservoirs as potential energy source F. Ramos et. Al, publicado online en Febrero 2009

## Conclusiones

El proyecto de la Hidroeléctrica de Inambari, con un embalse proyectado de 46,000 Has de bosque tropical, sería una importante fuente de emisión de gases de efecto invernadero, al punto que las emisiones totales a nivel nacional, podrían incrementarse en un 5.8%. Este es un impacto de gran magnitud que deberá ser estudiado con mayor detalle por los responsables del proyecto y sus estudios de Impacto Ambiental, más aún, considerando que en la estimación realizada, por falta de información sobre el proyecto, no se está considerando las emisiones generadas en las turbinas y vertederos, lo cual puede implicar un incremento mucho mayor.

Otro aspecto importante a destacar, es que en la proyección temporal de las emisiones calculadas, aún después de 100 años de establecido el embalse, este se mantendría como una importante fuente de emisión de gases de invernadero. Esta es una condición que deberá ser profundamente analizada, cuando la empresa EGASUR y sus equipos consultores, desarrollen las medidas de mitigación de los impactos ocasionados. Por otra parte, los organismos competentes deberán tomar las previsiones del caso, para asegurar que en el futuro, luego de su vida útil, la represa no se convierta en un pasivo ambiental que tenga que ser asumido por el estado.

Respecto a las medidas de mitigación, en Brasil se están desarrollando técnicas muy promisorias para la mitigación y aprovechamiento del metano. Se espera que un proyecto esta envergadura, debería considerar entre las medidas de mitigación de los impactos a ocasionar, las tecnologías de vanguardia con proyección hacia el futuro. En este sentido, la aplicación de la tecnología desarrollada en Brasil, sería un claro ejemplo de innovación tecnológica y responsabilidad ambiental, más aún considerando que EGASUR es un

consorcio de empresas brasileras y que el principal beneficiario del proyecto es el propio Brasil.

Por otro lado, considerando que el IPCC si bien todavía no ha incorporado oficialmente en su metodología de inventarios nacionales de gases de invernadero, la evaluación de los gases provenientes de embalses para proyectos hidroenergéticos, ya ha desarrollado las bases metodológicas para su medición; por su parte algunos gobiernos, como el propio Brasil ya han tomado la iniciativa de desarrollar sus inventarios de gases de invernadero provenientes de embalses. En este sentido, considerando que el 17 de mayo del 2008, los Gobiernos de Perú y Brasil, firman un acuerdo bilateral de cooperación energética, para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de exportación de energía, el cual comprende un paquete de proyectos para la construcción de 17 centrales hidroeléctricas en Perú; sería adecuado que las autoridades competentes, consideren como requisito indispensable para las evaluaciones ambientales de los proyectos, la estimación de los gases de invernadero de los proyectos hidroenergéticos, así como las respectivas medidas de mitigación.

## **Bibliografía**

1. Grupo de Trabajo Multisectorial para la Preparación del Ministerio del Ambiente (2008) Diagnóstico Ambiental del Perú
2. International Rivers (2008) Represas sucias
3. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, K. Tréanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D.J. Griggs y B.A. Callender (Eds.) Directrices del IPCC para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996. Libro de Trabajo Volúmen 2
4. Lima IBT, Bambace LA, Ramos FM (2007), GHG Cycle Analysis and Novel Opportunities Arising from Emerging Technologies Developed for Tropical Damps.
5. MINAM (2009) Versión Corregida del Inventario Integrado de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el año 2000
6. MINEM (2007) Informe Final Elaboración de Resúmenes Ejecutivos y Fichas de Estudio de las Centrales Hidroeléctricas con potencial de Exportación a Brasil
7. Ministerio da Cencia e Tecnología (2006) Emissões de Dióxido de Carbono e de Metano Pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros
8. Ramos FM, Bambace LA, Lima IBT, Rosa RR, Mazzi EA, Fearnside (2008) Methane stock in tropical hydropower reservoirs as a potential energy source