



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE



**Centro UC**  
Cambio Global

# Cambio Climático e Hidroelectricidad en Chile

*Preparado para la Mesa de Hidroelectricidad Sustentable*

*Por: Sebastian Vicuña / Secretaría Técnica*

*Ministerio de Energía / Chile*

*Diciembre de 2016*

## Introducción

Los vínculos entre el cambio climático y la hidroelectricidad son muchos y reflejan los mecanismos de retroalimentación que afectan a este problema. Por un lado, la hidroelectricidad es una fuente de generación que depende de recursos estrechamente relacionados con el clima como lo es el agua. Por lo tanto, puede ser afectada por los impactos del cambio climático. Y por otra parte la hidroelectricidad puede reducir o aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero, reduciendo o aumentando las causas del cambio climático. Ambos temas son tratados brevemente en este recuadro tomando en consideración elementos propios de la hidroelectricidad en Chile.

## Los impactos del cambio climático y la hidroelectricidad

Recientemente ha habido una serie de estudios que analizaron los impactos potenciales del cambio climático en la capacidad de generación hidroeléctrica en Chile. El primero de estos trabajos fue desarrollado para el estudio Economía del Cambio Climático (CEPAL, 2009, 2012a, 2012b). En dicho trabajo se analizaron los impactos asociados a dos escenarios de emisión de GEI en la generación eléctrica de los sistemas Maule Alto, Laja y Biobío. En base al análisis de estas cuencas se infirieron posibles impactos en el resto de los sistemas hidroeléctricos del país, encontrándose que producto de la disminución en precipitaciones promedio y un aumento en la temperatura el cambio climático implica una reducción en la capacidad de generación hidroeléctrica de la zona central del país. Este tipo de inferencias fue posteriormente confirmado a través de modelaciones hidrológicas para las principales cuencas hidroeléctricas del país a través del estudio desarrollado por la Universidad de Chile para el Ministerio de Energía (Ministerio de Energía 2011). Posteriormente en el marco del Estudio de Cuencas se volvió a realizar un análisis

de los posibles impactos del cambio climático considerando los nuevos escenarios de cambio climático utilizados en el Quinto Informe del IPCC y con especial foco en las siete cuencas donde se trabajó en ese proyecto. La Figura 1 da cuenta de los impactos esperados en términos de potencial de desarrollo hidroeléctrico futuro para una serie de escenarios de emisión de GEI (escenarios RCP). Se da cuenta en la figura que los impactos más relevantes, en torno a un 30% de reducción en potencial de generación futuro, se podría dar en un escenario de alto nivel de emisiones de GEI (RCP 8.5) hacia fines de siglo. Para entender los impactos de estos escenarios con un mayor nivel de detalle el Ministerio de Energía contrató un estudio técnico para determinar el impacto del cambio climático en el potencial esperado de generación hidroeléctrica en la cuenca del río Maule. Utilizando un modelación hidrogeológica de la parte alta de la cuenca del Maule (incluyendo las subcuencas del Melado, Invernada, Maule alto, Claro y Garzas) se da cuenta que el impacto del cambio climático implica un cambio en las condiciones hidrológicas de las subcuencas afluentes el sistema manifestándose por un aparte una reducción en los caudales de entrada y por otra un adelantamiento de los caudales de primavera y verano hacia los meses de invierno. Estos impactos se pueden apreciar en la Figura 2.

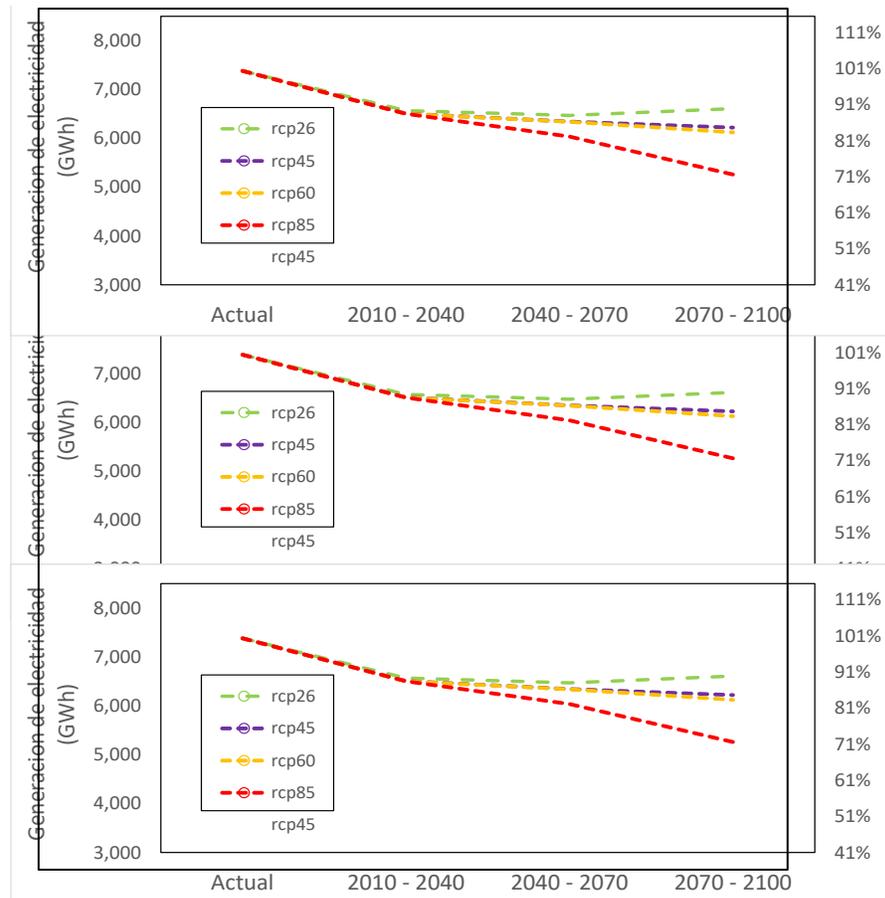


Figura 1. Potencial de generación hidroeléctrica futura en cuencas Maule, Biobio y Toltén (Proyecto Cuencas. Ministerio de Energía, 2016)

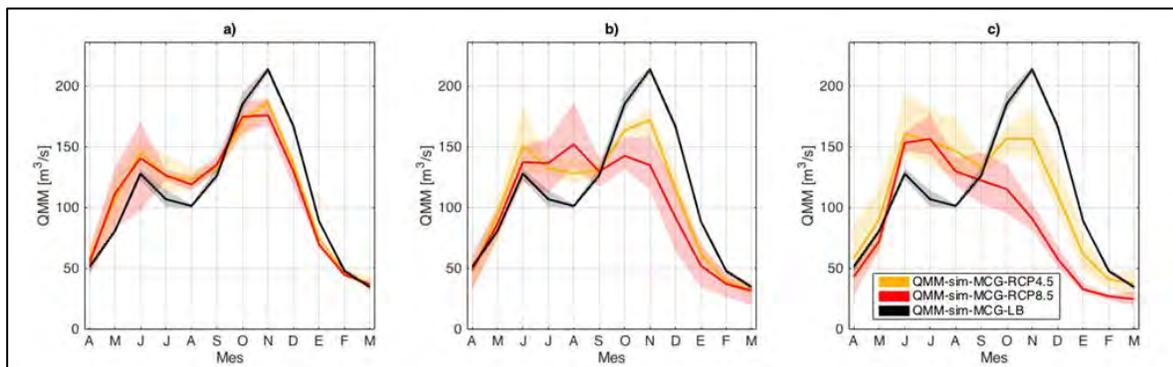


Figura 2. Caudales medios mensuales en subcuenca del Río Melado para un escenarios histórico y distintos escenarios de emisión de GEI para los periodos a) 2009-2039; b) 2039-2069 y c) 2069-2099 (Ministerio de Energía 2016b).

Se puede concluir que de acuerdo a los escenarios esperados para la zona central de Chile proyectados el de cambio climático puede alterar condiciones hidrológicas promedio, reduciendo el potencial de generación futuro, alterando los hidrograma y la operación de embalses. Sin embargo, faltan estudios que den cuenta de los impactos esperables en las condiciones extremas de operación de las centrales hidroeléctricas.

## Emisiones de GEI y generación hidroeléctrica

A nivel global el principal sector que contribuye a emisiones de GEI es el sector energía (IPCC, 2014). En Chile de acuerdo al inventario de emisiones presentado en la Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas frente al Cambio Climático este sector contribuía (al año 2013) con poco más del 77% de las emisiones totales de GEI (excluyendo FOLU). Dentro de este sector la generación de electricidad contribuye aproximadamente un 45% seguido de un 29% de Transporte y un 17% de Industrias manufactureras y de la construcción (Ministerio de Medioambiente, 2016).

Respecto de las emisiones asociadas a la generación de electricidad el inventario de GEI en Chile considera exclusivamente aquellas asociadas a la quema de combustibles fósiles, sin considerar el ciclo de vida completo de las distintas tecnologías de generación y en el caso de la generación hidroeléctrica sin considerar las posibles emisiones de metano y dióxido de carbono que pueden ser emitidas en embalses de regulación. En la siguiente figura tomada del IPCC se muestra los niveles de emisión de distintas tecnologías en gCO<sub>2</sub>eq/kWh generado. La figura muestra las emisiones en distintas fases del ciclo de vida de un proyecto incluyendo las emisiones

asociadas a la construcción de la infraestructura y las emisiones directas. En el caso de las emisiones de la hidroelectricidad los resultados del análisis presentados en el informe del IPCC indican que las emisiones asociadas a la quema de combustible fósil y producción de cemento en la etapa de construcción y operación es de aproximadamente 40 gCO<sub>2</sub>eq/kWh. Por otra parte las emisiones producto de la degradación de materia orgánica en embalses es altamente variable con un promedio estimado en 70 gCO<sub>2</sub>eq/kWh. Sin embargo, el informe del IPCC no recomienda usar ese promedio para estimar las emisiones de casos específicos ni para el desarrollo de inventarios (Bruckner et al., 2014).

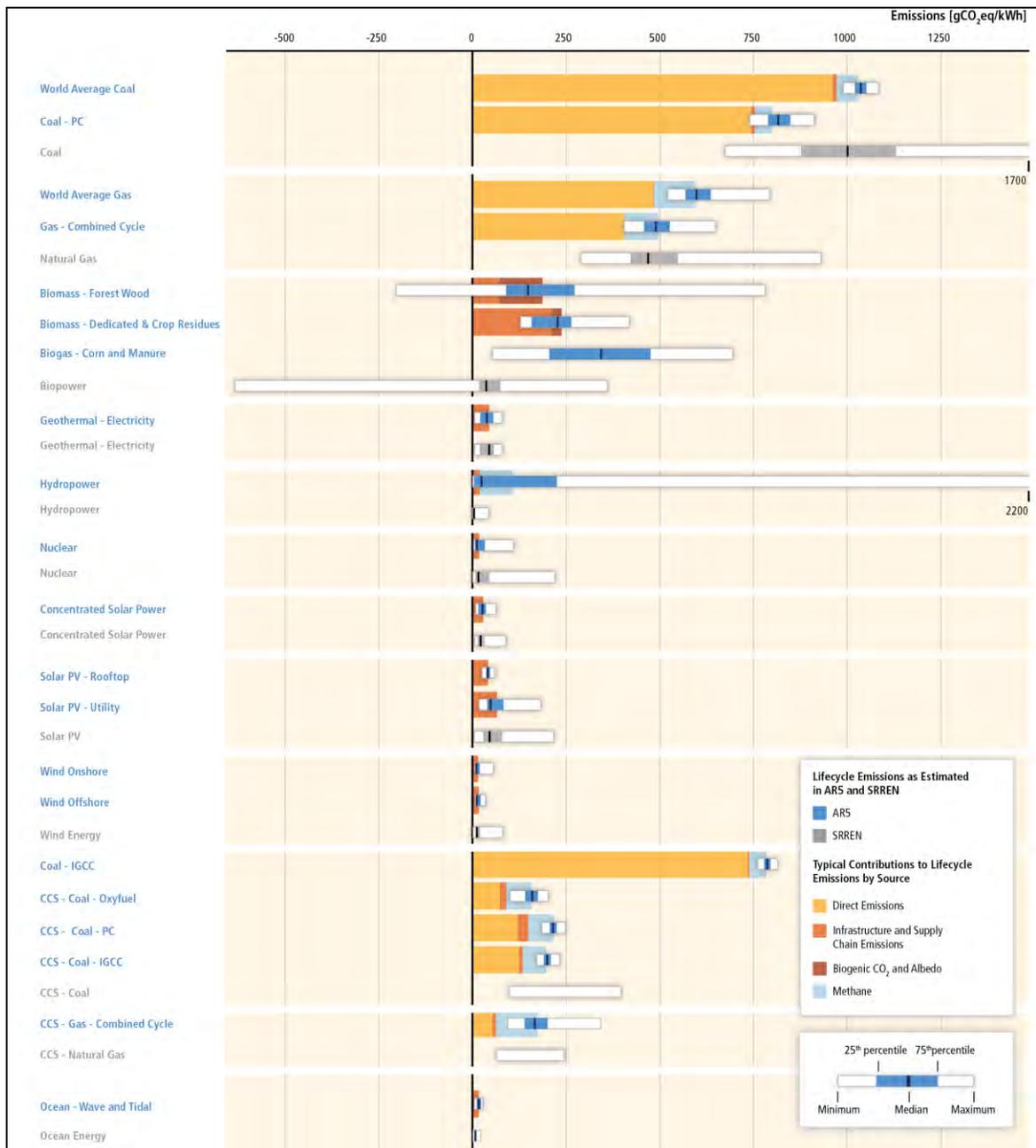


Figura 3. Factores de emisión de Tecnologías de generación de electricidad (Bruckner et al., 2014 / IPCC AR5)

La siguiente figura explica la manera en que se emiten GEI (con base de carbono) desde un embalse (o cualquier otro sistema de almacenamiento de agua natural o artificial). La emisión

está asociado a la descomposición de materia orgánica que ha quedado inundada por un embalse o que ingresa al embalse desde los aportes de la cuenca. Esta emisión puede ocurrir en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o metano (CH<sub>4</sub>). La emisión ocurre en forma de metano cuando la descomposición se produce de manera anaeróbica (con baja o sin presencia de oxígeno). Este es un factor relevante ya que el potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés) del metano es 34. Esto quiere decir que un kilogramo de metano equivale a 34 kilogramos de CO<sub>2</sub>. Una vez que se ha formado el CO<sub>2</sub> o metano este puede difundir disuelto en el agua o ser ascender en la columna de agua como burbuja (sin disolución). También pueden ser emitidos por un proceso de desgasificación en la descarga de agua. Es importante destacar que todos estos procesos corresponden a emisiones brutas de GEI. Una correcta evaluación debe considerar las emisiones netas que descuentan las emisiones que existían de manera natural en el sistema antes de construirse el embalse.

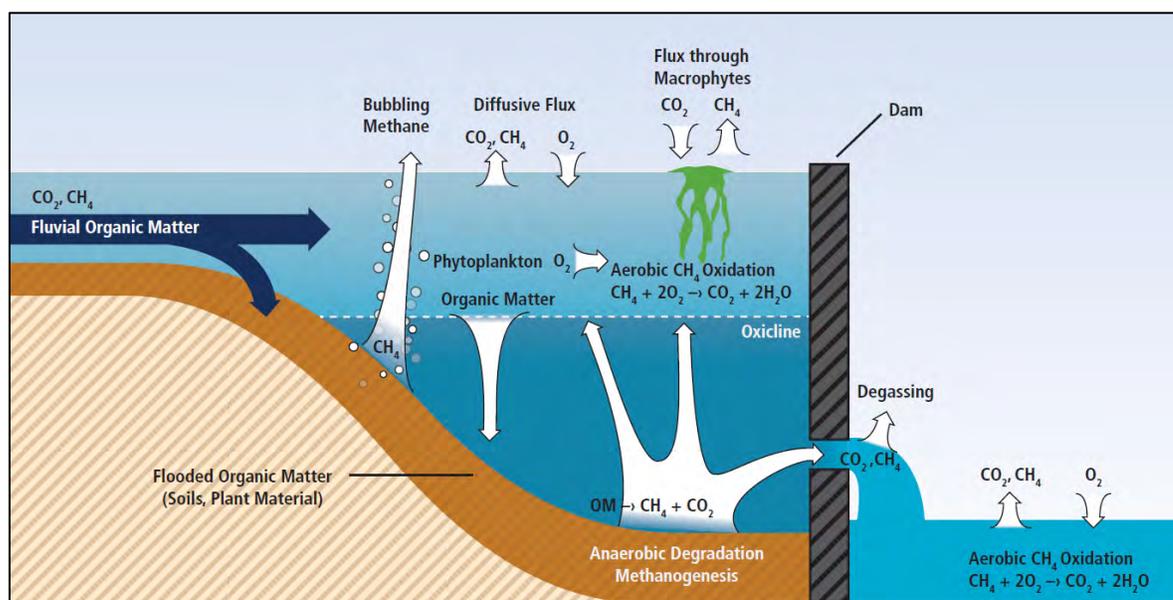


Figura 4. Emisiones brutas de GEI desde embalses (Kumar et al., 2011)

Se han realizado monitoreo de estas distintas fuentes de emisión de GEI en un importante y creciente número de embalses a nivel mundial. Recientemente un trabajo publicado por Deemer et al., (2016) sintetizó los resultados de trabajos previos considerando alrededor de 200 estudios de embalses de distintos propósitos (hidroelectricidad, riego y agua potable) ubicados en distintas latitudes del planeta. En comparación con estudios previos el trabajo de Deemer et al., (2016) tiene una mayor preocupación en monitoreo de emisiones directas por ebullición de metano (burbujas) y la incorporación de emisión de óxidos de nitroso ( $N_2O$ ). El trabajo concluye que existe una alta variabilidad en las tasas de emisión de GEI desde embalses. Dentro de los factores más relevantes que van a incidir en esa tasa de emisión se encuentra:

- Nivel de materia orgánica inundada por embalse;
- Nivel de nutrientes y materia orgánica ingresando al embalse
- Temperatura
- De manera indirecta (por efectos en productividad de materia orgánica y nutriente y temperatura) la latitud es un factor relevante.

El tipo de embalse (ej. riego vs hidroelectricidad) no es un factor relevante de acuerdo a los análisis realizado. Sin embargo, un embalse o lago natural puede tener diferencias importantes por los ciclos de llenado y vaciado.

En Chile no se ha realizado ningún monitoreo de emisiones de GEI desde embalses o lagos. Sin esa información y dada la alta variabilidad es complejo estimar cual sería por ejemplo la tasa de emisión para embalses de generación hidroeléctrica. Se puede suponer que la tasa sería menor que en ambientes tropicales donde existen altas temperaturas y altas tasas de producción de materia orgánica y nutrientes también se puede suponer que la tasa de emisión sea menor que tecnologías

de generación en base a la quema de combustibles fósiles. Pero tal como sugiere el IPCC no es posible utilizar tasas provenientes de estudios en otros lugares para realizar esta estimación.

## Referencias

- Bruckner T., I. A. Bashmakov, Y. Mulugetta, H. Chum, A. de la Vega Navarro, J. Edmonds, A. Faaij, B. Functammasan, A. Garg, E. Hertwich, D. Honnery, D. Infield, M. Kainuma, S. Khennas, S. Kim, H. B. Nimir, K. Riahi, N. Strachan, R. Wiser, and X. Zhang (2014). Energy Systems. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- CEPAL (2009). *La economía del cambio climático en Chile: Síntesis*. LC/W.288. Santiago, Chile.
- CEPAL (2012a). *La economía del cambio climático en Chile*. LC/W.472. Santiago, Chile.
- CEPAL (2012b). *Análisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile*. Disponible en:  
<http://repositorio.cepal.org/handle/11362/5687>
- Deemer, B.R., Harrison, J.A., Li, S., Beaulieu, J.J., DelSontro, T., Barros, N., Bezerra-Neto, J.F., Powers, S.M., dos Santos, M.A. and Vonk, J.A. (2016). Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis. *BioScience*, p.biw117.

IHA (2010). GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs. Disponible en:

<https://www.hydropower.org/ghg-measurement-guidelines>

Kumar, A., T. Schei, A. Ahenkorah, R. Caceres Rodriguez, J.-M. Devernay, M. Freitas, D. Hall, A. Killingtveit, Z. Liu (2011). Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Ministerio de Energía (2011). Selección y aplicación de un modelo hidrológico para estimar los impactos del cambio climático en la generación de energía del Sistema Interconectado Central. Realizado por la Universidad de Chile para el Ministerio de Energía. Disponible en:

[http://dataset.cne.cl/Energia\\_Abierta/Estudios/Minerg/40.Informe\\_Final\\_rev\\_B\(1163\).pdf](http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/40.Informe_Final_rev_B(1163).pdf)

Ministerio de Energía (2016). Tercer informe estudio “Base para la planificación territorial en el desarrollo hidroeléctrico futuro. Ministerio de Energía, licitación N° 584105-11-LP14. Realizado por el consorcio TECO Group y Centro UC de Cambio Global para el Ministerio de Energía.

Ministerio de Energía (2016b). Determinación del Impacto del Cambio Climático en el Potencial Esperado de Generación Hidroeléctrica en la cuenca del río Maule. Realizado por ERADINUS para el Ministerio de Energía.

Ministerio del Medio Ambiente (2016). Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático

