

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI ASOCIADAS AL CICLO DE VIDA DE LA GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA DEL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL

Jacqueline Méndez^{1*}

Alberto Bezama²

*ESTIMATION OF GHG EMISSIONS ASSOCIATED WITH LIFE CYCLE
THERMOELECTRIC CENTRAL INTERCONNECTED SYSTEM*

Abstract

The increase in CO₂ emissions has become a topic of relevance because they generate negative consequences on the environment, being one of these global warming. This work considered the Chilean Central power grid (SIC) as study system, whose power generation is mainly based on hydro and thermal power. The methodology has been divided in two stages: the first is an analysis of the power generation life cycle, in order to identify, quantify and characterize its potential environmental impacts. In the second stage a projection of emissions has been developed through the implementation of present and future scenarios. We have found that plants present in the SIC emitted more than 18 million tonnes of CO₂ equivalent in the year 2008. In terms of projections for the years 2020 and 2025 it is expected that GHG emissions will increase due to an increased generation based on thermal processes, mainly coal, reaching values of 29 and 33 million tonnes of CO₂ for the respective years. Improving system efficiency contributes towards minimizing the GHG emissions from electricity generation systems, as the power generation process is the largest contributor of CO₂ emissions in the cycle thermoelectric life. It is therefore important to improve current power generation technologies, as this will directly reduce GHG emissions and fuel consumption, but also indirectly the latter has a high incidence in reducing emissions from other stages of life cycle such as extraction, refining and shipping.

Key Words: Central Interconnected System, GHG, life cycle analysis, power generation.

¹ Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción

*Corresponding author: Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. Universidad de Concepción. Barrio Universitario S/N, Concepción. Teléfono: 041-3120805, 2204070. Email: jacquemendez@udec.cl, abezama@udec.cl

Resumen

El aumento de las emisiones de CO₂ se ha convertido en un tema de relevancia debido a las consecuencias negativas que generan sobre el medio ambiente, siendo una de éstas el calentamiento global. En este trabajo se consideró como sistema de estudio al Sistema Interconectado Central de Chile (SIC), cuyos sistemas de generación eléctrica se basan principalmente en hidroeléctricas y termoeléctricas. La metodología ha sido dividida en dos etapas, en la primera se ha realizado un Análisis de Ciclo de Vida, que ha permitido la identificación, cuantificación y caracterización de los impactos potenciales al medio ambiente; En la segunda etapa se ha desarrollado una proyección de emisiones a través de la realización de escenarios presentes y futuros. Se ha obtenido que las centrales presentes en el SIC emitieron más de 18 Millones de toneladas de CO₂ equivalentes debido a sus procesos en el año 2008. En cuanto a las proyecciones realizadas para los años 2020 y 2025 se prevé que las emisiones de GEI aumentarán debido al aumento de generación a través de termoeléctricas, principalmente a carbón, lo cual aumentara a 29 y 33 Millones de toneladas equivalentes de CO₂ para los años respectivos. Mejorar la eficiencia de los sistemas contribuye en la disminución las emisiones de GEI de los sistemas de generación eléctrica, debido a que la etapa de generación de energía es la mayor emisora dentro del ciclo de vida de las termoeléctricas. Por esta razón es importante mejorar las actuales tecnologías de generación eléctrica, ya que al aumentar la eficiencia de los sistemas, disminuyen las emisiones de GEI y los consumos de combustible a quemar, éstos último tiene una alta incidencia en la disminución de emisiones de las otras etapas del ciclo de vida, como son la extracción y refinado y el transporte marítimo.

Palabras clave: Análisis de ciclo de vida, GEI, Generación eléctrica, Sistema Interconectado Central

Introducción

Uno de los sectores económicos que mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) genera en los países, es la generación de energía eléctrica, la que puede alcanzar un 25% de las emisiones totales. En Chile, la matriz energética del Sistema Interconectado Central (SIC), está compuesta por generación eléctrica a través de centrales hidráulicas (52%) y térmicas (47%). Las centrales térmicas operan a través de la quema de combustibles fósiles como diesel, gas natural o carbón, los cuales en términos de emisiones son significativamente mayores a las centrales hidroeléctricas. Sin embargo, el aumento de la demanda por energía eléctrica ha hecho optar por soluciones rápidas para poder suplirla, siendo hoy en día las centrales termoeléctricas a carbón los proyectos más viables de comenzar a operar a corto plazo debido a la disponibilidad del mineral, con lo que se proyecta al año 2030 que la capacidad instalada de energía proveniente de esta fuente energética aumentará en aproximadamente 10 veces en comparación a la disponibilidad actual (PROGEA, 2009). Si dicha proyección se cumple, las emisiones de GEI aumentarán, lo cual se contradice a las políticas y acuerdos relacionados a la reducción de emisiones, como es el Protocolo de Kioto e ingreso de Chile a la OCDE.

La importancia de estimar estas emisiones, se debe a que la energía eléctrica es ampliamente utilizada y las emisiones de GEI de éste sector afectan en el ciclo de vida de cualquier producto, por lo cual es importante estimar la huella de carbono del SIC.

Objetivo

Se considera como objetivo general el estimar las emisiones de GEI del ciclo de vida de los sistemas de generación termoeléctricos presentes en el SIC de Chile

Metodología

En una primera etapa, se realizó un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), metodología que permite identificar, cuantificar y caracterizar los potenciales impactos que se podrían producir al medio ambiente.

Este método cuenta con cuatro etapas, según lo planteado en las normas ISO 14040-14043 (ISO, 2000).

a.- Definición de objetivos y alcances: El objetivo del ACV es estimar las emisiones de GEI procedentes de la generación de energía eléctrica del SIC, en la etapa de producción eléctrica. Los principales alcances, son el establecer como unidad funcional 1 GWh de energía generada, el límite del sistema es la etapa de producción eléctrica de las centrales, la cual abarca desde la extracción de los combustibles hasta la generación de energía eléctrica. La etapa de producción eléctrica fue dividida en tres fases: Extracción y refinado, transporte marítimo y generación eléctrica.

b.- Análisis de Inventario (ICV): Se llevó a cabo utilizando las Directrices del IPCC en las cuales se presentan tres niveles de métodos para estimar las emisiones procedentes de la quema de combustible fósil:

- Nivel 1: Cantidad de combustible quemado y los factores de emisión del IPCC, llamados factores de emisión por defecto.
- Nivel 2: Cantidad de combustible quemado, pero utilizando los factores de emisión específicos de cada país.
- Nivel 3: Combustibles quemado, junto con los factores de emisión específico de la tecnología utilizada en las centrales.

Cada una de las fases del sistema fue evaluada con un nivel diferente según el factor de emisión utilizado.

c.- Evaluación de Impactos e Interpretación de los resultados: Utilizando los datos del ICV, se determinó las fases del proceso que generan las mayores emisiones de GEI y posibles soluciones.

La segunda etapa consistió en la evaluación de escenarios futuros y supuestos sobre opciones que permitan mejorar la planificación de la generación eléctrica. Los escenarios discutidos son:

- Escenario 1: Proyección de la matriz del SIC. Estimación de emisiones para los años 2020 y 2025.

- Escenario 2: Proyectar la reducción de emisiones para los años 2020 y 2025. Este escenario se realizó considerando una reducción de GWh generados por las centrales eléctricas producto de los programas de eficiencia energética.

Resultados Obtenidos

Escenario 2008

Según el ICV para el año 2008, fueron generados 17.407 GWh a través de sistemas termoeléctricos, los cuales emitieron un total de 18.216.497 millones de toneladas equivalentes (eq) de CO₂ para la etapa de producción eléctrica. La etapa de producción eléctrica a su vez esta subdividida en tres etapas: Extracción y refinado, Transporte marítimo y Generación de energía, para calcular las emisiones de cada una de estas etapas se utilizaron diversos factores de emisión, utilizando el nivel 1, 2 o 3 de las directrices del IPCC según la calidad de los factores de emisión y datos obtenidos. A continuación, en la Tabla 1 se presentan las emisiones de CO₂ eq de cada una de las etapas analizadas.

Tabla 1. Emisiones de CO₂ equivalentes para cada etapa del sistema

Combustible	Extracción y	Trasporte maritino	Generación de	Total
	refinado		energía	
Emisiones CO ₂ eq (ton/año)				
Carbón	2.822.786,8	136.853,4	7.299.371,2	10.259.011,5
Diesel	6.381,88	102.655,55	5.277.745,3	5.386.782,7
GN Ciclo Abierto	58.715,9	0	1.329.073,03	1.387.788,93
GN Ciclo Combinado	25.297,6	0	580.865,91	606.163,51
Pet-coke	-	-	576.750,4	576.750,4
Total	2.913.182,2	239.508,95	15.069.672,14	18.216.497,3

*GN: Gas natural

Siendo la unidad funcional 1 GWh, en la Tabla 2 se presentan las emisiones de cada sistema por unidad funcional.

Tabla 2. Emisiones en equivalentes de CO₂ de los sistemas termoeléctricos por unidad funcional

Combustible	Emisiones de CO ₂ eq (kg/GWh)
Carbón	1.625.602
Diesel	780.505,7
Gas natural Ciclo Abierto	604.054,9
Gas natural Ciclo Combinado	428.656,7
Pet-coke	1.167.747,4
Promedio ponderado termoeléctricas	1.045.869

De la Tabla 1 se puede apreciar que los mayores emisores son los sistemas en base a carbón y pet-coke, analizando estas emisiones a lo largo de su ciclo de vida (etapa de producción eléctrica) es posible conocer el aporte de cada una de las fases, lo que se puede apreciar en la Figura 1.

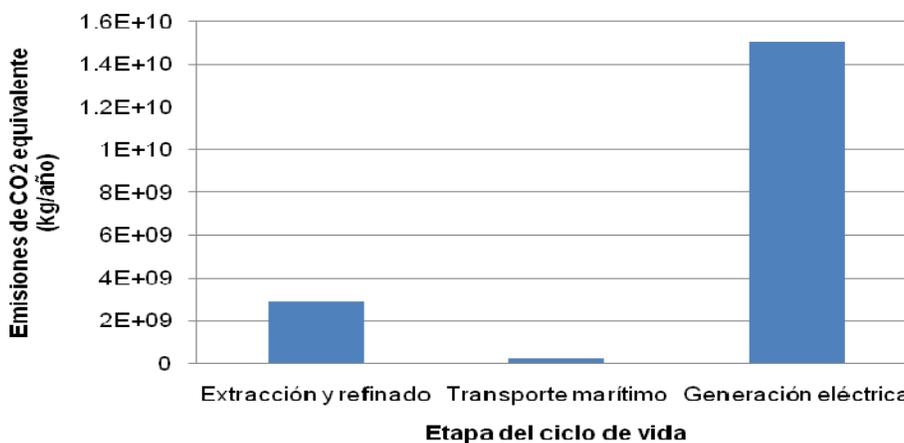
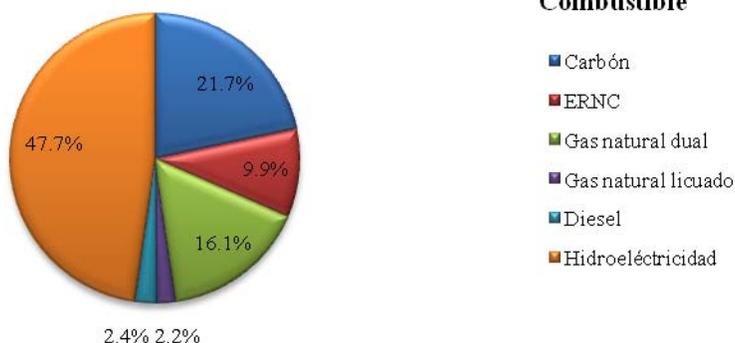


Figura 1. Aporte de GEI en el ciclo de vida del SIC

En la Figura 1 se puede apreciar el aporte, en términos de emisiones de CO₂ eq, de cada una de las etapas del ciclo de vida de las centrales termoeléctricas del SIC. El mayor aporte se realizó en la fase de generación de energía, lo cual se debe básicamente a que en esta etapa el combustible es quemado generándose las mayores emisiones de GEI. Por otra parte, el aporte más bajo se logra en la fase del transporte marítimo. Esto se debe en parte, a que los sistemas que operan a gas natural no están incluidos debido a que su transporte desde Argentina se realiza mediante gasoductos, y en el estudio solo se considero como etapa el transporte marítimo.

Estimación de emisiones para los años 2020 y 2025

Según la distribución de la matriz eléctrica en Chile para el año 2020 se proyecta según el informe de la CNE, "Política Energética: Nuevos Lineamientos" (CNE, 2008). Este escenario considera ésta proyección y la ajusta a la matriz del SIC, para obtener la distribución del sistema. La matriz utilizada en este escenario es presentada en la Figura 2.



*"Política Energética: Nuevos Lineamientos", CNE, 2008.

Figura 2. Distribución de la matriz del SIC 2020

En la evaluación de escenarios futuros, el escenario 1 se construyó en base a la generación eléctrica propuesta por PRIEN (2008), la cual corresponde a 80.768 y 105.560 GWh/año para los años 2020 y 2025. De esta proyección se estima que para el año 2020 se generarían 29.166.664 ton de CO₂ eq, la cual aumentaría a 42.389.244 ton de CO₂ eq para el año 2025. En la Tabla 3 se presenta el promedio de emisiones para cada sistema termoelectrico por unidad funcional. El promedio de emisiones para el año 2020 y 2025 se mantiene constante, sólo aumentan el total de emisiones debido al incremento de los GWh generados.

Tabla 3. Emisiones de los sistemas de generación termoelectrica por unidad funcional para los años 2020 y 2025.

Combustible	Emisiones de CO ₂ eq (kg/GWh) año 2020
Carbón	1.198.658
Diesel	763.641
Gas natural licuado	621.387
Gas natural dual	428.657
Promedio ponderado termoelectricas	852.014

La generación anual de termoelectricidad se proyecta en 34.245,6 GWh, con un promedio de emisiones de GEI de 852.014 kg/GWh para el año 2020.

En relación a las emisiones de CO₂ eq para los años 2020 y 2025, estas alcanzarían los 29 y 42 millones respectivamente.

Reducción de emisiones para los años 2020 y 2025

En relación al desarrollo del escenario 3, se estima el potencial de disminución de emisiones para los años 2020 y 2025, esto a través de la suposición que se logren los planes de eficiencia que propone el Gobierno de Chile y que las centrales a carbón que se construyan a partir del

año 2010, consideren la implementación de tecnologías que aumenten la eficiencia de las centrales, esto corresponde a utilizar tecnologías subcríticas o sistemas de lecho fluidizado o gasificación, siendo esta última capaz de lograr eficiencias que superen el 50%. En la Tabla 4, se puede observar la generación eléctrica y toneladas de CO₂ eq para los años mencionados, considerando como base lo planteado en el escenario 2.

Tabla 4. Potencial de disminución en equivalentes de CO₂ a nivel de generación

Año	Base (GWh/año)	CO ₂ eq (ton/año)	Generación (GWh/año)	CO ₂ eq (ton/año)
2008	41.887,6	18.190.192,3	41.887,6	18.190.192,3
2020	80.768	29.166.663,7	74.161	26.781.020,3
2025	105.560	42.389.243,9	94.126	33.990.781,1

De acuerdo a los resultados obtenidos, si son llevaran a cabo los programas de eficiencia energética y las mejoras tecnológicas, para el año 2020 existiría una disminución de un 8,2% de emisiones en comparación con las del mismo año sin la implementación de un programa, y en cuanto al año 2025 las emisiones se reducirían en un 19,8%. Esto se puede apreciar gráficamente en la Figura 3.

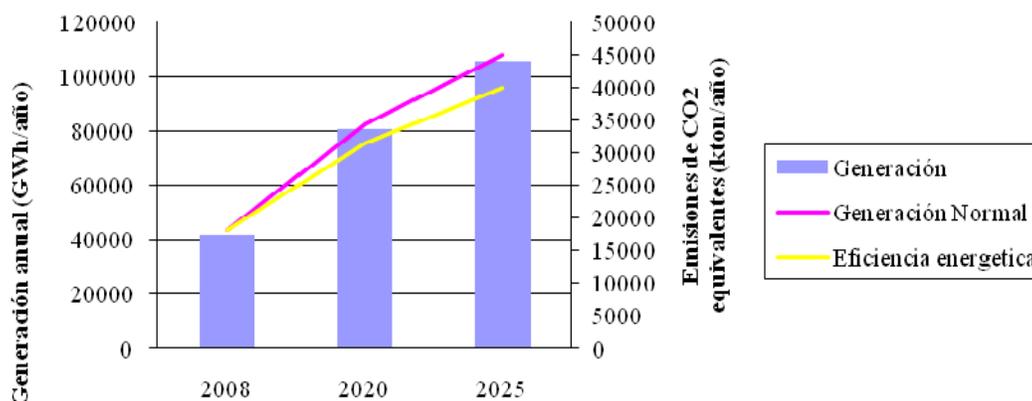


Figura 3. Variación de las emisiones según políticas energéticas

Conclusiones

Las altas emisiones de GEI que son generadas por los actuales sistemas de generación eléctrica se deben, en su mayoría, a las bajas eficiencias que poseen las tecnologías que componen el Sistema Interconectado Central. El sistema eléctrico que genera las mayores emisiones de GEI en el SIC es a base de carbón, las cuales alcanzaron los 1.625.000 kg CO₂eq/GWh en el año 2008.

Las emisiones de gases contaminantes provenientes de las centrales a carbón, pueden ser disminuidos a través de la incorporación de mejoras tecnológicas que impliquen aumentar la eficiencia de los sistemas, esto significa modificar los actuales sistemas de calderas a carbón pulverizado subcríticas, por tecnologías supercríticas debido a que poseen condiciones de operación (temperatura y presión del vapor) superiores a las tecnologías subcríticas. Otras tecnologías que son mundialmente utilizadas, ya que poseen tecnologías más avanzadas en comparación a las ya nombradas, corresponden a los sistemas de Lecho Fluidizado y gasificación. Siendo esta última capaz de lograr eficiencias que superen el 50%.

Las emisiones para el año 2020 se estiman en 29.166.663,7 toneladas, lo cual corresponde a un aumento del 60% en comparación a las emisiones del año 2008. Este aumento es producto al aporte que realizan las termoeléctricas a carbón que para ese año se espera que la generación sea el doble de la actual.

En relación a la evaluación de escenarios, se puede apreciar en el escenario número 3 que la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, no sólo depende de la distribución de los sistemas o de la eficiencia de las tecnologías, sino también de mejorar los gastos eléctricos en empresas, hogares, y en general todos los sectores involucrados en el consumo de energía, con el fin de reducir la demanda eléctrica en el sistema y evitar la generación de energía desde las centrales, lo que directamente se traduce en una reducción de emisiones de GEI en el ciclo de vida de las centrales termoeléctricas.

Esto conlleva a que la planificación estratégica del sistema eléctrico no sólo debe incluir a las empresas que lo integran, sino también a todos los sectores involucrados con el SIC.

Agradecimientos

Finalmente, quisiera agradecer al proyecto DIUC Semilla. 208.310.051-1sp. —Fortalecimiento CIEP. Evaluación de alternativas de revalorización energética de Residuos Sólidos Industriales y Domiciliarios en la Región de Aysén, mediante un Análisis de Ciclo de Vida, y al Comité Regional de Producción Limpia de la Región del Biobío los cuales han financiado la realización de la tesis Estimación de las emisiones de GEI asociadas al ciclo de vida de la generación termoeléctrica del Sistema Interconectado Central.

Referencias bibliográficas

- Comisión Nacional de Energía (CNE). (2008). Políticas Energéticas: Nuevos Lineamientos. Transformando la Crisis Energética en una Oportunidad. Gobierno de Chile. Disponible en: <http://www.cne.cl>
- Comisión Nacional de Energía (CNE), capacidad Instalada de Generación. Adquirida: Abril 05, 2009, desde la pagina web www.cne.cl

- Daniel Weisser. (2007). A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy* **32**(9) 1543-1559.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). (2007). Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- Programa de estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN). (2008). Aporte potencial de Energías Renovables No Convencionales y Eficiencia Energética a la Matriz Eléctrica, 2008-2025. Universidad de Chile y Núcleo Milenio Electrónica y Mecatrónica, Universidad Técnica Federico Santa María.
- Raúl O’Ryan, Manuel Díaz, Jacques Clerc. (2009). Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chile 2007-2030 y Opciones de Mitigación. Programa de Gestión y Economía Ambiental (PROGEA), Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial.
- U. Arena, M.L. Mastellone, F. Perugini. (2003). The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study. *Chemical engineering journal* **96** (1-3), 207-222.
- Varun, I.K. Bhat, Ravi Prakash. (2009). LCA of renewable energy for electricity generation systems—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 1067-1073