

# Evaluación de Escenarios de Diversidad Energética en la Planificación de la Matriz del Sector Generación Chileno.

Víctor Martínez A. *GSM*, Juan D. Molina C. *GSM*, David Watts C., Hugh Rudnick V., *Fellow, IEEE*  
Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento de Ingeniería Eléctrica.

**Abstract--.** This paper shows an assessment of multiple scenarios of electricity generation in Chile. This study uses an energy planning model for the main Chilean electricity interconnection and allows analyzing alternative supply and demand scenarios and their variation with respect to different expansion and energy resources diversity policies.

**Resumen--.** En este trabajo se presenta una evaluación de escenarios de generación de energía eléctrica mediante la aplicación de una herramienta para la planificación energética del sector eléctrico en Chile, con el fin de establecer las implicancias de las variables de suministro, demanda y su variación respecto a las políticas de expansión y diversidad de recursos energéticos.

**Palabras Claves—** Planificación energética, Matriz eléctrica, Escenarios de generación, Message.

## I. INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de energía es una materia compleja con una gran diversidad de variables de carácter político, económico y ambiental. El propósito de los modelos que buscan planear el suministro energético se centra en el análisis de la evolución de la demanda y/o el suministro de la energía, ya sea a nivel global o de algún sector o subsector de la economía, como en el sector de la energía eléctrica. En la actualidad, la planificación energética se ha convertido en un tema esencial para evaluar la sustentabilidad del desarrollo de los países, respecto a la seguridad de suministro energético y diversidad de fuentes de energía, y como éstos pueden satisfacer sus necesidades básicas; hecho por el cual es indispensable garantizar la existencia de las fuentes primarias que permitan el desarrollo de estas.

La diversificación de las fuentes de energía es una pieza clave para establecer altos niveles de seguridad en el suministro energético. La diversidad se puede analizar desde un enfoque de diversidad económica, la cual puede incluir variables tales como el precio, la cantidad y la tecnología [1].

La energía eléctrica es un producto con características únicas, dado que esta no puede ser almacenado con fines de

operación en un mercado de energía; debe ser transportado a través de sistemas coordinados de transmisión (red eléctrica y/o rutas de abastecimiento de combustibles) que se enfrentan a problemas de congestión y restricciones en los procesos competitivos y se requiere un balance entre oferta y demanda.

Uno de los aspectos más importantes de la planificación energética es el estudio de la matriz de energía, la cual se puede considerar de manera global o por tipo de energético. En la literatura, es común encontrar que se utiliza el término ambiguamente para un grupo de energéticos y la cadena de un energético. Sin embargo, se considera global en el sentido de abarcar todos los aspectos de la energía y su transformación, es decir, considerar todos los recursos energéticos, en general se conoce como sistema de recursos de energía o sistema energético de referencia (RES). Ahora, cuando se habla de una cadena de energía se hace alusión a un sector en especial, por ejemplo el sector eléctrico el cual utiliza diferentes energéticos pero con un mismo fin, la generación de energía eléctrica [2].

En este trabajo se presenta una evaluación de escenarios de generación de energía eléctrica mediante la aplicación de la herramienta MESSAGE y su implementación al sistema energético más importante de Chile. Este trabajo tiene por objetivo establecer las implicancias de las variables de suministro y demanda y su variación respecto a distintos escenarios de la matriz energética del sector eléctrico, desde los puntos de vista de la seguridad y la diversidad de recursos energéticos.

El resto de este trabajo se organiza de la siguiente forma. En la sección II se describen brevemente los aspectos más relevantes de la planificación energética, tales como, la consideración de distintos periodos, los enfoques de modelación y la herramienta MESSAGE. En la sección III se presenta el sistema de energía eléctrica de Chile, algunos aspectos de su política energética, su evolución histórica y escenarios de crecimiento. En la sección IV se presentan los distintos escenarios de evolución de la matriz energética, considerando la expansión del sistema con energías renovables, nuclear y gas natural licuado. Acá se evalúan dos horizontes de planificación, el primero comprende el 2008-2019 y el segundo 2008-2036. Finalmente, en la sección V se concluye y sugiere las líneas de investigación a seguir.

---

Los autores están afiliados al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 306, Correo 22, Santiago, Chile (e-mail: vlmartin@uc.cl, jvmolina@uc., dwatts@ing.puc.cl, h.rudnick@ieee.org).

## II. ASPECTOS DE PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA

Las herramientas de planeación buscan modelar posibles escenarios sobre la oferta y la demanda de energía y que consideraciones tecnológicas o de recursos deben existir para encontrar un balance entre estas. Los objetivos principales son disminuir la incertidumbre, en cuanto a la disponibilidad de los energéticos y sus fuentes primarias, incrementar la eficiencia en el sistema de energía y considerar aspectos técnico-económicos que impacten aspectos sociales, políticos y medioambientales.

### A. Aspectos Teóricos.

Los procesos de planeación, al igual que la operación, involucran problemáticas que se desarrollan en diversas escalas de tiempo, y que generalmente se han clasificado en tres intervalos de análisis: Corto plazo, mediano plazo y largo plazo. La planeación de corto plazo se ha considerado para períodos diarios ó semanales, enfocado principalmente en la operación, despacho y pre despacho de corto plazo de las centrales de energía. La planeación de mediano plazo la cual abarca un par de años y generalmente enfocado a la distribución de recursos y evaluación de ciertas condiciones de operación y la planeación de largo plazo para períodos que consideran generalmente décadas y se utiliza en particular para la toma de decisiones de políticas energéticas, nuevas tecnologías e inversión.

Ahora, dependiendo del horizonte del tiempo se han desarrollado diferentes metodologías para la simulación y optimización bajo conceptos económicos y técnicos los cuales se pueden caracterizar por la técnica de modelación o área de la ciencia (aspectos teóricos) para su evaluación. Básicamente, se pueden considerar los siguientes modelos en el área de la economía y las ciencias matemáticas para implementar técnicas econométricas, de simulación, optimización ó un híbrido entre las técnicas mencionadas. En general, los modelos econométricos evalúan en función del pasado y consideran a la energía y en particular el sector eléctrico, como un sector de la economía de un país o región con el fin de evaluar e identificar la influencia de la política energética en la economía o viceversa. Los modelos de simulación generalmente son utilizados para análisis globales, por ejemplo evaluar el sistema de fuentes de energía u otro tipo de agregación que se considere necesaria para evaluar el sistema.

Ahora, para evaluar sistemas muy desagregados se utiliza modelos de optimización, ya sea utilizando técnicas de programación matemática ó meta-heurísticas para obtener el óptimo de una función objetivo, siendo esta una variable económica (inversión, costo, etc.) o técnica (tecnologías, capacidad, etc.). En general, definen estrategias de inversión en función del comportamiento de las variables y restricciones del sistema definidas para todo el horizonte de análisis. Para una revisión detallada de las distintas familias de modelos presentadas aca véase [3] y para una mas resumida [4]. Para una revisión más actualizada de los distintos modelos de

planeación energética y ambiental y sus posibles clasificaciones véase [2]. En este además se corrigen varios de los errores presentados en las referencias anteriores incluyendo [5].

### B. MESSAGE.

Para la evaluación y planificación del sector eléctricos se ha seleccionado la herramienta MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact). Esta herramienta ha sido desarrollada por el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA)<sup>1</sup> y en la actualidad por el departamento de energía nuclear de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA)<sup>2</sup>. MESSAGE INT 2 utiliza un modelo de optimización de las estrategias de abastecimiento energético para un horizonte de planificación de mediano-largo plazo, que permite la inclusión de restricciones para modelar las diversas variables exógenas que afectan el suministro de la demanda a partir de las tecnologías disponibles.

El modelo permite la formulación de estrategias de suministro de energía y planes de expansión del sistema y determina cuánto de cada una de las tecnologías disponibles y recursos deben usarse para satisfacer una demanda particular, minimizando el costo total actualizado (operación e inversión), teniendo en cuenta las restricciones ambientales, de operación, regulatorias entre otras.

La herramienta MESSAGE permite además modelar que los costos de las tecnologías decrecen en función del grado de inversión y la capacidad instalada acumulada (penetración de nuevas tecnologías). También es posible modelar el impacto de impuestos por contaminación atmosférica y la clasificación del mix de energía. Por otra parte, es posible identificar algunas ventajas del uso de esta herramienta entre las cuales se destacan:

1. Flexibilidad en la modelación del horizonte de análisis, representación de la estacionalidad de la demanda permitiendo detallar bloques semanales, tipos de días y bloques horarios.
2. Modelación de toda la cadena de suministro energético y la inclusión de pérdidas a través de los enlaces de cada sector.
3. Desarrollo de estructuras muy desagregadas Bottom-up hasta sencillos escenarios agrupados para ver efectos globales por tipo de tecnología.
4. Si bien no permite la modelación de incertidumbre hidrológica, es capaz de optimizar el uso del agua de los embalses considerando un escenario hidrológico determinístico dado. En este la modelación de las cuencas hidrográficas se realiza por medio de factores de generación esperada, además de volúmenes máximos y mínimos que es posible embalsar.

<sup>1</sup> <http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/models.html#MESSAGE>

<sup>2</sup> <http://www.iaea.or.at/OurWork/ST/NE/Pess/PESSenergymodels.shtml>

### III. SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE CHILE.

El mercado eléctrico en Chile está compuesto principalmente por cuatro actividades: La generación, la transmisión, la distribución y el consumo a nivel de usuario final (regulado y clientes libres). En general, las empresas del sector eléctrico en Chile son controladas en su totalidad por capitales privados, mientras que el Estado sólo ejerce funciones de regulación y planeación indicativa en la generación y transmisión.

El sistema eléctrico de Chile tiene una capacidad instalada total de 9,385.75 MW y una demanda que alcanza 41,873.96 MWh. Se compone de cuatro sistemas eléctricos independientes entre sí. El Sistema Interconectado Central (SIC), que cubre las localidades entre Taltal y Chiloé con un 71,4% de la capacidad instalada nacional; El Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), que cubre el territorio comprendido entre las ciudades de Arica y Antofagasta con un 27,4%; el Sistema de Aysén que cubre el consumo de la Región XI con un 0,8% de la capacidad; y el Sistema de Magallanes, que cubre la Región XII con un 0,4% de la capacidad instalada a 2008<sup>3</sup>.

#### A. Política Energética.

Dentro de los objetivos de la política energética definida en Chile se busca el análisis de opciones estratégicas como la diversificación de fuentes y proveedores, la minimización de impactos ambientales, el fortalecimiento de programas de eficiencia energética y el desarrollo tecnológico, en particular tecnologías referentes a energías alternativas [6]. La política energética implementada en Chile se enmarca en una política de desarrollo económico y social que concibe a la libre iniciativa e inversión privada como un eje central, velando por la eficiencia en la asignación de recursos a través del fomento a la libre competencia, el fortalecimiento institucional (creación del Ministerio de Energía), el mejoramiento de la capacidad de gestión, fortalecimiento de relaciones internacionales, promoción y fomento de la eficiencia energética, optimización de la matriz energética (inversiones competitivas), creación de mecanismos para el incremento de las energías renovables no convencionales (ERNC), estudios de viabilidad de la Energía Nuclear como una opción para la diversificación de la matriz energética y el fortalecimiento de la integración energética para contribuir de manera significativa a la eficiencia (económica y ambiental), a través de una disponibilidad de energía a menor costo para cada país/región, como de la seguridad de suministro, al aprovechar complementariedad en la oferta y demanda.

#### B. Descripción del Sistema de Energía Eléctrica Chileno

En la actualidad, la matriz de capacidad instalada ha presentado pocos cambios en su estructura. Sin embargo, en la Figura 1 se puede observar la evolución de la generación, en la que se destaca el aporte por parte de tecnologías tales como el Carbón y Diesel, este último debido al cambio de combustible en centrales de generación, principalmente de las centrales a Gas Natural que debieron cambiar de combustible debido a la

limitación de las importaciones de gas Argentino. Para el año 2008, la capacidad instalada del Sistema SIC fue de 9.385,7 MW y para el SING de 3.581,3 MW y a nivel de generación de energía eléctrica 41.874 GWh para el SIC y para el SING de 14.502,3 GWh.

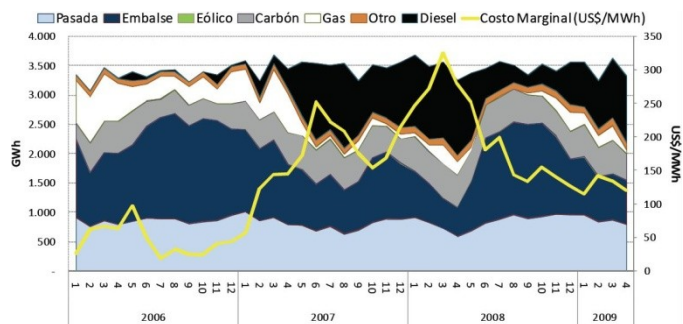


Figura 1. Generación del SIC (Fuente: CDEC-SIC, Systep, 2009).

El SIC como sistema principal de consumo en Chile, ha visto un crecimiento importante del Carbón como tecnología de expansión. A su vez, la inyección de nuevas tecnologías como la Eólica y el GNL. En Tabla 1 se describe la capacidad instalada [MW] para el año 2008, la capacidad en construcción (Const.) y la capacidad recomendada (Recom.) del actual Informe Técnico del Precio de Nudo [7].

Tabla 1. Plan de Expansión SIC [MW] (CNE, 2009).

	2008	Const.	Recom.
<b>Pasada</b>	1,516.3	433.0	744.7
<b>Embalse</b>	3,393.4	0.0	1320.0
<b>Carbón</b>	837.7	1,441.0	539.0
<b>Diesel</b>	948.5	766.3	0.0
<b>Gas Natural</b>	2,547.3	0.0	0.0
<b>Biomasa</b>	124.4	0.0	44.2
<b>Eólica</b>	18.2	164.0	320.0
<b>GNL</b>	0.0	240.0	745.0
<b>Cogeneración</b>	0.0	22.0	0.0
<b>Geotérmica</b>	0.0	0.0	195.0
<b>Total</b>	9,385.7	3,066.3	3,907.9

Si bien estos datos son emitidos por el ente regulador de Chile, es importante evaluar los futuros proyectos que se encuentran en la etapa de evaluación ambiental, para identificar el portafolio de proyectos energéticos que se encuentren aceptados y en evaluación (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental - SEIA). En la actualidad los proyectos aceptados y en evaluación equivalen a aproximadamente 9.500 MW y 7.500 MW, respectivamente.

### IV. MODELACIÓN DE ESCENARIOS.

Con base en el análisis de políticas energéticas y debates al interior del país sobre la inclusión de diversas fuentes energéticas, por ejemplo Energías Renovables No Convencionales-ERNC-, GNL y Nuclear, entre otras. Se realizó una previsión del posible comportamiento de la matriz energética del 2008 - 2019 y para el 2008 - 2036. Se

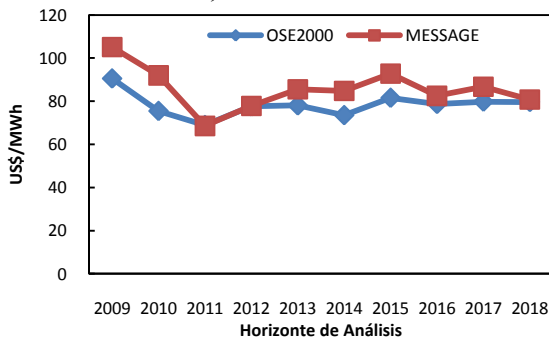
<sup>3</sup>[http://www.cne.cl/cnewww/export/sites/default/06\\_Estadisticas/Documentos/capacidad\\_instalada\\_de\\_generacion.xls](http://www.cne.cl/cnewww/export/sites/default/06_Estadisticas/Documentos/capacidad_instalada_de_generacion.xls)

implementaron seis (6) escenarios: dos escenarios de dependencia de combustibles fósiles (Carbón [E1] y GNL [E2]), Un escenario de ingreso de Energía Nuclear [E3] al sistema en el 2026, un escenario que incorpora las anteriores tecnologías con la adición de un 10% de generación de energía renovable no convencional [E4], un escenario hidráulico [E5] al considera el aprovechamiento del potencial hidráulico del sur. Por último se considera un escenario de eficiencia energética de 3% [E6]. Cada uno de estos escenarios son optimizados producto de la política implementada, por ejemplo, en el caso nuclear se optimiza la inversión y operación del sistema sujeto a la entrada de una central Nuclear de 1000 MW en el 2026. Los resultados en los que se concentra el estudio son la capacidad instalada y el costo de operación del sistema.

#### A. Costos marginales del sistema.

En Chile, la CNE define cada seis meses el precio de nudo de referencia, este precio, es un promedio de los costos marginales de la modelación del despacho económico realizado por el software OSE2000. En la Figura 2 se describe la evolución del costo marginal del OSE2000 y el MESSAGE.

Nótese que ambas herramientas computacionales presentan la misma tendencia, y las diferencias de costos especialmente al final del horizonte son mínimas. Por otra parte, es claro que la forma de modelar los escenarios es distinta, por una parte en el OSE2000 el operador del sistema modela en forma semanal, incluyendo mantenimientos en detalle semanal. La modelación implementada en MESSAGE es de tipo mensual. Otra diferencia fundamental es que en OSE2000 se utilizó una demanda mutinodal mientras que el escenario implementado en MESSAGE es uninodal. A pesar de ello se observa que ambas herramientas arrojan resultados bastante similares, con la diferencia que el tiempo computacional en MESSAGE fue de tan solo 10 minutos, en un horizonte de 10 años.



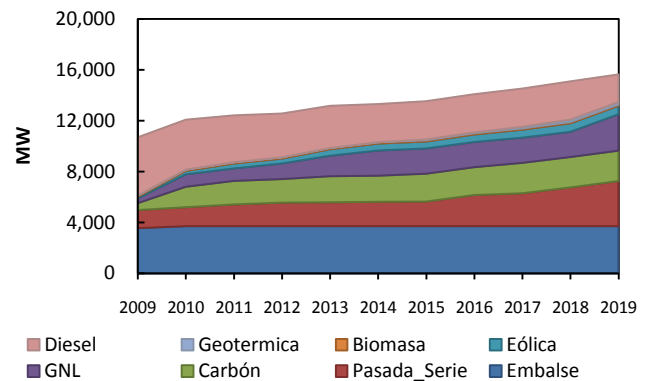
**Figura 2. Comparación de Costos Marginales de OSE2000 VS MESSAGE para el periodo 2009 - 2018.**

Este es el punto de partida para validar los resultados de la herramienta computacional en virtud de la similitud de los resultados frente a una herramienta robusta y aceptada para la fijación de precios por parte del organismo regulador en Chile. La validación de MESSAGE mediante la comparación de uso de aguas para generación eléctrica, despachos térmicos y costos marginales con OSE2000 se realiza en detalle en [4], mientras que una breve revisión del modelo MESSAGE se puede encontrar en [8].

#### B. Escenario 2008 - 2019.

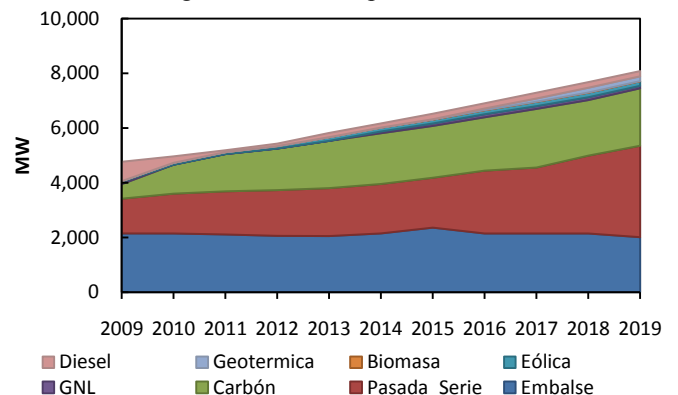
Partiendo de la recomendación de expansión del parque generador de la CNE (ITD, Abril 2009) se simuló la proyección de capacidad y energía de los recursos energéticos. En la Figura 3 se observa la evolución de la capacidad instalada en un horizonte de análisis de 10 años, en donde se muestra la actual tendencia de inversión en combustibles fósiles Carbón y GNL, así como la reapertura de inversiones en el sector hidráulico. También se observa la detención de las inversiones en tecnologías basadas a petróleo, así como la incorporación de inversiones en tecnologías renovables como los parques eólicos y centrales geotérmicas aprovechando el potencial existente en Chile en esta materia.

Desde el punto de vista de generación, se presenta que el mayor componente está dado primordialmente en base a energía hidráulica, luego en base a carbón, y por último pequeños porcentajes de energía térmica en base a GNL, petróleo y energías renovables no convencionales. La Figura 3 presenta la capacidad instalada del SIC en el horizonte de análisis de 10 años.



**Figura 3. Capacidad del Sistema Interconectado Central 2009-2018 [MWyr].**

La capacidad instalada descrita en la Figura 4, reafirma a las tecnologías en base carbón como la estrategia de expansión más eficiente económicamente desde el punto de vista de la operación. Sin embargo, es importante ver que otras vías son óptimas para una expansión de la red que incorpore políticas sustentables que disminuyan la dependencia de combustibles fósiles y maximizando el uso de los recursos renovables no convencionales que tiene Chile. Para ello en la siguiente sección veremos algunos escenarios probables.



**Figura 4. Despacho Económico del Sistema Interconectado Central para el periodo 2008-2019 [GWh]**

### C. Escenario 2008 - 2036.

Ahora, considerando la flexibilidad del MESSAGE y los parámetros técnicos de las tecnologías y la proyección de la demanda, se simuló la incidencia de los diferentes escenarios en la matriz eléctrica (recursos energéticos y costos). En la Tabla 3, se muestran las diferencias en la matriz eléctrica por cada escenario. Los escenarios carbón y GNL son aquellos en donde la expansión se caracteriza por mantener las actuales políticas de expansión del sistema, la cual incorpora un gran componente de energía en base a Carbón y GNL. El escenario Nuclear el cual permite la entrada de las tecnologías anteriormente descritas con la diferencia que incorpora un central nuclear en el 2026. En este escenario se busca evaluar las diferentes opciones sujetas a la entrada de una central Nuclear de 1000 MW.

**Tabla 2. Análisis de Escenarios: porcentaje de capacidad Instalada del SIC 2020-2036.**

		E	P	C	G	R	D	N
2020	E1	22.7	22.1	16.8	17.5	5.9	14.9	
	E2	26.9	6.4	17.7	18.0	7.0	24.0	
	E3	22.7	22.1	16.8	17.5	5.9	14.9	
	E4	20.6	19.7	13.3	15.9	17.6	13.0	
	E5	19.7	26.8	20.6	15.2	5.3	12.5	
	E6	20.5	20.0	13.2	15.8	16.9	13.5	
2036	E1	15.5	27.9	30.3	12.0	4.2	10.2	3.8
	E2	17.2	29.2	19.4	11.7	4.5	18.0	
	E3	15.5	27.9	26.0	12.0	4.2	10.2	4.2
	E4	13.9	25.2	18.0	10.7	19.5	8.8	3.8
	E5	13.3	35.3	28.8	10.3	3.8	8.5	4.2
	E6	14.2	25.5	17.0	10.9	19.2	9.3	3.8

Por otra parte se crea un escenario que incorpora energías renovables no convencionales en un 10% del total de la capacidad instalada. Por último se evalúa el escenario en donde se incorpora eficiencia de un 3% a un sistema que permite la expansión del sistema con todas las tecnologías disponibles que fueron incluidas en el análisis permitiendo el mayor grado diversidad de la matriz.

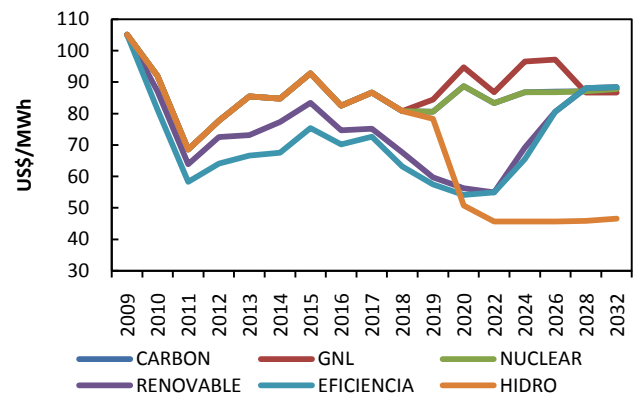
Nótese que el escenario eficiencia es aquel que optimiza el escenario renovable, disminuyendo su capacidad instalada, mejorando el sistema del escenario más diversificado sin la aplicación de eficiencia. Por otra parte el escenario en Nuclear y carbón hacen uso de la misma capacidad total instalada, aquí lo que se evidencia es un desplazamiento de tecnologías.

En la Figura 5 se muestra la evolución de los costos marginales para cada uno de los escenarios implementados. Como era de esperarse el escenario de eficiencia energética es el que presenta un menor costo de operación del sistema.

Un elemento interesante es que en el escenario nuclear no se presentan variaciones significativas frente al escenario del carbón, de hecho las dos curvas se superponen hasta el 2026 y

luego varían en menos de 1 US\$/MWh; esto es debido, a que si bien es cierto que se incorpora un gran volumen de energía al sistema, la tecnología que cubre la expansión del sistema sigue siendo carbón. También se debe al hecho que la incorporación de la central nuclear se hace en el 2026, lo cual es casi al final del horizonte por lo que el impacto de la incorporación de esta central no es evidente, en un horizonte de análisis como el que se expone en este análisis.

El escenario hidráulico del sur hace referencia a la posibilidad de inyección del potencial hidráulico del sur al sistema. La incorporación de todos los módulos hidráulicos del proyecto Aysén al sistema logra llevar el costo marginal del sistema en el 2024 a 45.67\$US/MWh y la inyección de adicionales proyectos al sistema mantendría el costo marginal del sistema durante el resto del horizonte oscilando entorno a esta cifra. Sin embargo, es importante destacar que la viabilidad de este escenario se encuentra limitada por la línea de transmisión, lo que significa que si al momento de desarrollar la línea de transmisión esta solamente tiene capacidad para el proyecto Aysén, los costos al final del horizonte tenderían a los de los escenarios Carbón, GNL y en los mejores casos renovables y eficiencia energética.



**Figura 5. Costos marginales por tipo de Escenario.**

## V. CONCLUSIONES

Se ha presentado una herramienta computacional, que permite la evaluación de escenarios de expansión del sistema energético de un país, a partir de diferentes políticas posibles de operación. La herramienta computacional permite de forma eficiente evaluar cada uno de los escenarios en función de criterios como capacidad instalada y costo marginal del sistema, sujetas a la optimización de cada escenario fruto de una política de expansión definida, a partir de la cual se optimiza la inversión y operación del sistema.

La diversificación de la matriz permite una disminución del costo marginal del sistema así como la incorporación de eficiencia energética, sin embargo es importante estudiar el trade-off (Eficiencia vs Inversión) en esta última, así como incluir los costos de inversión que llevan a ella, para el desarrollo de una valoración adecuada del sistema, sin embargo la estimación de estas cifras es tema actual de investigación.



Este paper presenta parte de progreso de la investigación en la planificación energética de nuestro grupo. Nuestras principales líneas de investigación incluyen el estudio de diversos escenarios de abastecimiento energético, la modelación de energías renovables, la integración de energías intermitentes a la planificación y los costos de abatimiento de CO<sub>2</sub>.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Pontificia Universidad Católica de Chile, que a través de su programa de Becas respalda a los 2 primeros autores.

## VII. REFERENCIAS

- [1] A. Stirling, "Multicriteria diversity analysis A novel heuristic framework for appraising energy portfolios" *Energy Policy*, p. 13, 2009.
- [2] D. Watts, "Energy Planning Models: An Updated Review," in *DIE-PUC* Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008, p. 7.
- [3] D. Watts and H. Rudnick, "Modelos de Planificación Energética," in *DIE-PUC* Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008, p. 10.
- [4] D. Watts, H. Rudnick, and V. Martínez, "Modelos de Planificación Energética: Aplicación en Chile," in *DIE-PUC* Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009, p. 8.
- [5] F. Urban, R. M. J. Benders, and H. C. Moll, "Modelling energy systems for developing countries," *Energy Policy*, vol. 35, pp. 3473-3482, Jun 2007.
- [6] CNE, "Política Energética: Nuevos Lineamientos, Transformando la crisis energética en una oportunidad," Comisión Nacional de Energía, Santiago 2008.
- [7] CNE, "Informe Técnico Definitivo," Comisión Nacional de Energía, Santiago Abril 2009.
- [8] D. Watts and V. Martínez, "Análisis del efecto de grandes Inyecciones de Energía en la Planificación Energética," in *DIE-PUC* Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009, p. 9.

## VIII. BIOGRAFÍAS

**Hugh Rudnick** (F'00) Ingeniero Electricista de la Universidad de Chile, Santiago, y M.Sc y Ph.D de la Universidad de Victoria, Manchester, U.K.

Profesor del departamento de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. Docente e investigador en áreas de operación económica, planeación y regulación de sistemas de potencia. Consultor en el diseño de reestructuración de mercados y tarificación de sistemas de transmisión y distribución de libre acceso para empresas de servicios públicos y entes reguladores en diferentes países, Naciones Unidas y el Banco Mundial.



**David Watts** Ingeniero Civil Industrial y Magíster en Ciencias de la Ingeniería en la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) el año 1998 y Ph.D. de The University of Wisconsin – Madison en Estados Unidos en el 2007. Después de trabajar algunos años en finanzas, y en operación y planificación de sistemas eléctricos de potencia para diversas empresas y consultoras, en el año 2000 se integró a la PUC como profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica, donde desarrolla Investigación, Docencia y Consultoría.



**Juan D. Molina Castro** (M'06, GSM'08). Ingeniero Electricista y M.Sc de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Estudiante de Doctorado en Ciencias de Ingeniería en el área de Mercados Eléctricos del departamento de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. Investigador en áreas de planeación e inversión de la transmisión y planificación energética.



**Victor J. Martínez Aranza** (SM'03, GSM'07) Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Estudiante de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería – Ingeniería Eléctrica, en la especialidad de Mercados Eléctricos de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Investigador en las áreas gestión de la Demanda de suministro eléctrico y planificación energética.

