

MINUTA CEC N° 28

Matriz Energética y Generación Eléctrica: Una mirada Internacional.

AREA: Energía

ORIGEN DEL REQUERIMIENTO: Gerencia de Estudios

VERSION: Definitiva

FECHA: 02 de agosto de 2013

1. Introducción

Sin duda el tema energético ha marcado la agenda mundial y ha sido foco de atención de la ciudadanía global en un contexto de cambio climático. Esta agenda ha estado situada en episodios de aumentos en el precio del petróleo y de la energía en general, además de una creciente preocupación sobre los impactos de una política energética basada en su mayoría en combustibles fósiles. Nuestro país no ha estado ajeno a estas inquietudes. La evolución creciente de la demanda energética - proveniente tanto de productores como de consumidores finales-, la disponibilidad de este insumo, su costo y los posibles impactos sociales y ambientales de proyectos energéticos, han configurado un escenario de intenso debate.

En la literatura económica existe cierto consenso de la relevancia del tema energético en la configuración del patrón de desarrollo de los países¹. Desde la vereda puramente económica la energía se puede pensar como un insumo o un factor productivo, o como la causante de una externalidad en la producción. Por lo que el tema energético puede ser visto desde distintos ángulos y posiciones.

Con todo, y como se observa en el Gráfico 1, existe una correlación estadística positiva entre producción y consumo de energía eléctrica². Desde ese punto de vista, un aumento del PIB debiese ir acompañado de un mayor consumo de energía. Así, la paralización de proyectos energéticos que vayan dirigidos a asegurar el abastecimiento energético, resultaría negativa para las expectativas de crecimiento del país.

Chile posee la característica de importar aproximadamente dos tercios de su energía³, lo que implica una vulnerabilidad natural ante shocks externos de oferta. Ello implica tanto la necesidad de aprovechar de manera eficiente la capacidad hídrica natural del territorio como diversificar la matriz energética en función del mínimo costo alcanzable y el riesgo de suministro bajo escenarios de sequía

Dado lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta minuta es establecer un panorama general de la situación energética de Chile, desde un punto de vista comparativo y observando la experiencia internacional. En particular, se realiza una caracterización de la oferta eléctrica de Chile, estudiando su

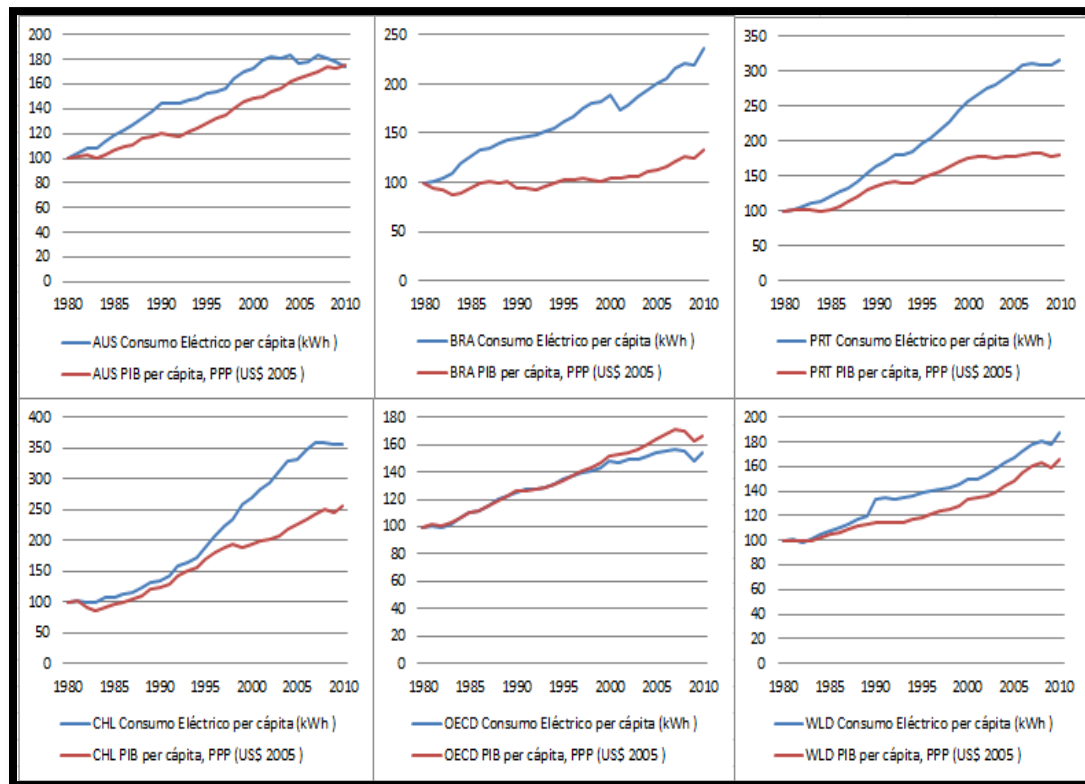
¹ Para mayor detalle de la literatura revisar Ozturk, I., (2010), "A literature survey on energy-growth nexus", Energy Policy, 38, 340-349.

² La correlación estadística entre consumo per cápita de energía eléctrica y PIB per cápita es de 0,74. El coeficiente se calculó tomando una muestra de 90 países para el período 1980-2011.

³ Según datos del Banco Mundial en 2012 Chile importó el 72% de la energía consumida.

composición y evolución en el tiempo. Finalmente, se discuten las opciones planteadas anteriormente para superar el *problema energético*, identificando sus principales argumentos.

Gráfico 1: Evolución Índice Consumo Eléctrico per cápita y PIB per cápita, 1980-2010 (1980=100).



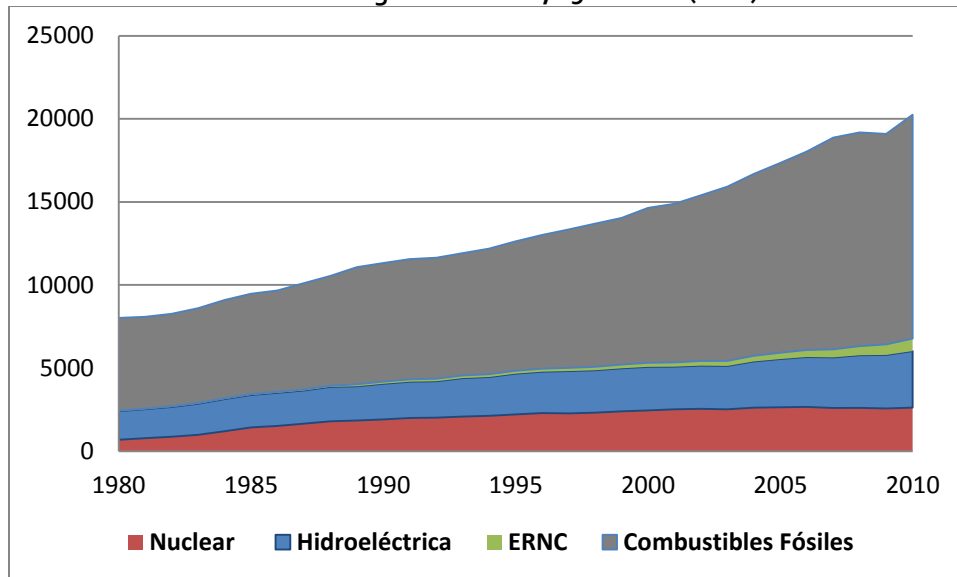
Fuente: Elaboración Propia. Banco Mundial 2012. Primera fila de izquierda a derecha: Australia, Brasil y Portugal. Segunda fila de izquierda a derecha: Chile, OECD y el Mundo.

2. Caracterización de la Matriz Energética

Un primer antecedente dice relación con las características de la oferta eléctrica mundial. De acuerdo a información provista por la Agencia Internacional de Energía (AIE) (Gráfico 2), el periodo 1980-2010 se registró un aumento en la generación eléctrica anual mundial desde 8.017 TWh a 20.225 TWh. En tanto, la composición ordinal de la matriz energética no varió significativamente. Los Combustibles Fósiles lideran esta participación con 66% para el año 2010, le sigue la Hidroeléctrica (17%), Nuclear (13%) y ERNC (4%). Pese a lo anterior, es importante señalar que éstas dos últimas experimentaron un aumento de aproximadamente 4% en la participación total en el periodo analizado.

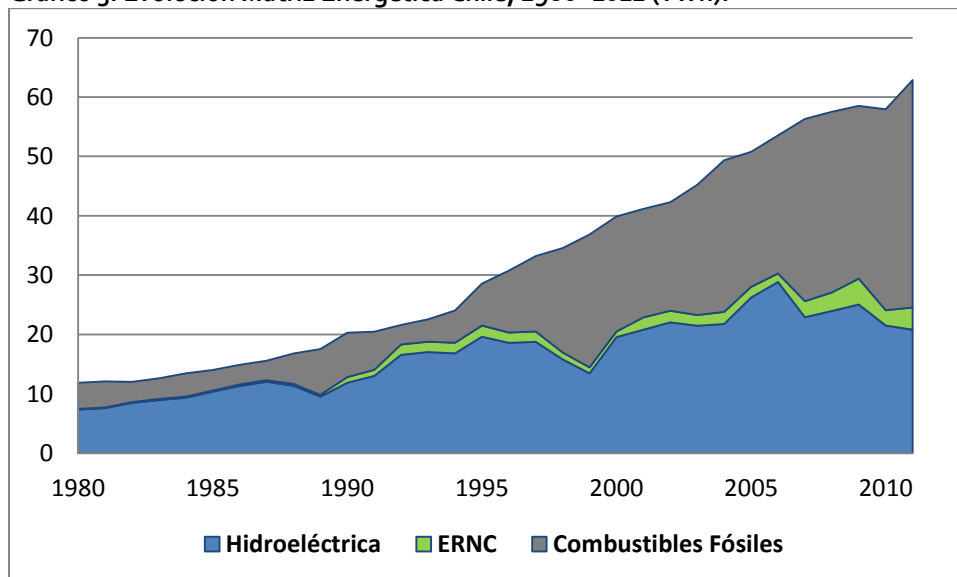
En el caso de Chile en igual periodo hubo un aumento considerable de la energía eléctrica generada vía Combustibles Fósiles, los que pasaron de representar un 37% en 1980 a un 61% en 2010; mientras la energía generada vía Hidroelectricidad bajó su participación desde un 62% a 33% y las ERNC pasaron de un 1% a un 6%. (Ver Gráfico 3)

Gráfico 2: Evolución Matriz Energética Mundial, 1980- 2010 (TWh).



Fuente: Elaboración Propia. Datos Agencia Internacional de Energía. *Combustibles Fósiles agrupan principalmente Petróleo, Carbón y Gas. **ERNC incluye energía Solar, Mareomotriz, Undimotriz, Geotérmica, Biomasa y Eólica.

Gráfico 3: Evolución Matriz Energética Chile, 1980- 2011 (TWh).



Fuente: Elaboración Propia. Datos Agencia Internacional de Energía. *Combustibles Fósiles agrupan principalmente Petróleo, Carbón y Gas. **ERNC incluye energía Solar, Mareomotriz, Undimotriz, Geotérmica, Biomasa y Eólica.

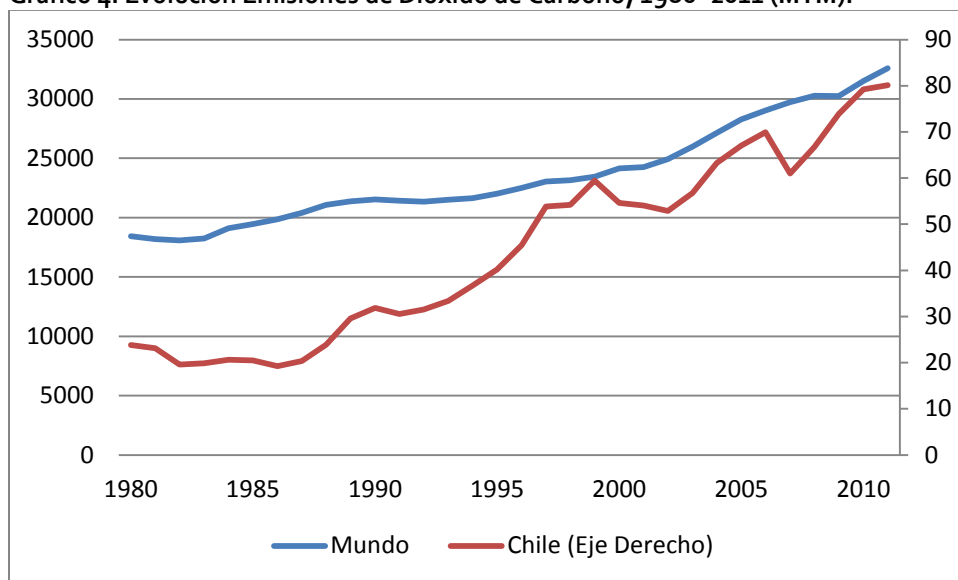
El aumento de la presencia de los combustibles fósiles en la generación eléctrica trajo consigo un aumento sostenido de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂). De acuerdo a las estimaciones realizadas por AIE las emisiones globales en 2011 alcanzaron las 32.579 millones de toneladas métricas (MMT) significando un aumento de 75% con respecto a las emisiones de 1980 y promediando un crecimiento anual de 1,86% para el periodo 1980-2011.

Para el caso de Chile también se evidencia un aumento de las emisiones de CO₂. En particular, se tiene que para 2011 las emisiones alcanzaron 80 MMT lo que representa un aumento de 236% en relación a

1980. De igual forma, presenta un crecimiento promedio anual de 4% de las emisiones para el periodo 1980-2011.

A pesar de que ambas series poseen una tendencia creciente, es importante señalar que Chile representa sólo el 0,25% de las emisiones globales para 2011. Lo anterior contrasta con la situación de China (27%), Estados Unidos (17%) o el continente europeo (13%).

Gráfico 4: Evolución Emisiones de Dióxido de Carbono, 1980- 2011 (MTM).



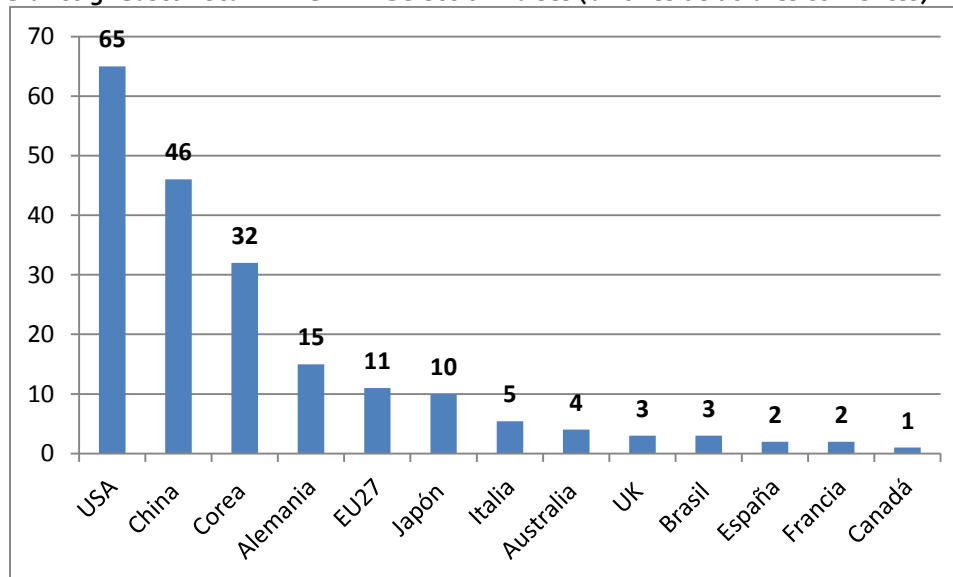
Fuente: Elaboración Propia. Datos Agencia Internacional de Energía.

3. Diversificación Energética: Una Comparación Internacional.

Existe una tendencia mundial hacia la utilización de energías renovables para la generación de energía. Esta tendencia se justifica, entre otras cosas, por los incrementos de costos de los combustibles fósiles y los potenciales riesgos de discontinuidad en el abastecimiento, acuerdos ambientales internacionales, además de un giro en las preferencias de los distintos agentes (consumidores y productores) hacia políticas *amigables* con el ambiente.

Lo anterior, ha promovido el desarrollo de mejoras tecnológicas asociadas a la producción de las ERNC⁴. En términos relativos, son los países desarrollados quienes han avanzado en desarrollar este tipo de energías. Tal es el caso de Dinamarca (34%), Portugal (24%), España (20%) o Alemania (15%) (Ver Gráfico 6). Sin embargo, es importante señalar que el desarrollo de las ERNC ha sido posible debido a la introducción de programas públicos de apoyo financiero hacia estas energías. Inicialmente en la década de los 70 fueron programas de subsidios directos dirigidos a I+D, después incentivos tributarios y tarifas preferenciales. Más recientemente, obligaciones cuantitativas de uso ERNC y permisos transables⁵ (subsidios indirectos). A modo de ejemplo de la importancia de los subsidios aplicados es que Eyraud et al. (2011) estima un gasto público mundial entre 40 y 60 billones de dólares de estímulo a ENRC. De todas formas es relevante señalar que la evaluación del costo de estas iniciativas está subestimada, por cuanto no incluye beneficios tributarios, préstamos bancarios o cuotas. Desagregando por economía, el gasto es liderado por Estados Unidos y China con 65 y 46 billones de dólares respectivamente. Mientras que países como Alemania, UK y España gastan 15, 3 y 2 billones de dólares respectivamente (Gráfico 5).

Gráfico 5: Gasto fiscal ERNC 2011 Selección Países (billones de dólares corrientes).



Fuente: Elaboración Propia. Datos Eyraud et al. (2011) "Who's Going Green and Why?". IMF Working Paper.

Por otro lado, no obstante el avance de los países desarrollados en la generación eléctrica vía ERNC posee ciertos matices. Dinamarca a pesar de ser el segundo país con mayor participación de ERNC en su matriz energética, posee un 65% de energía provenientes de Combustibles Fósiles. Irlanda a pesar de

⁴ Para una revisión más completa de la evolución tecnológica de ERNC ver Jacobsson, S. and Bergek, A., (2004), "Transforming the Energy Sector: The evolution of technological systems in renewable energy technology".

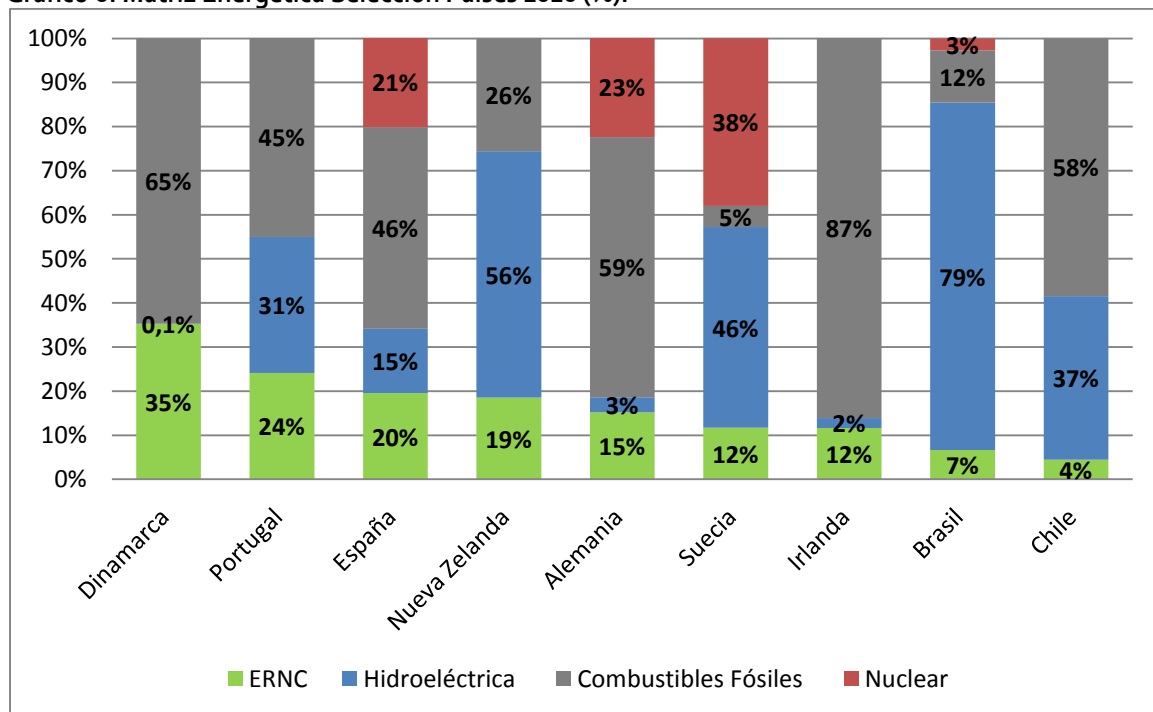
⁵ Una revisión completa de políticas públicas se encuentra en Johnstone et al. (2010), "Renewable energy policies and technological innovation: Evidence based on patent counts".

estar dentro de los 20 países con mayor utilización de ERNC, genera el 87% de la energía eléctrica a partir de Combustibles Fósiles y sólo 2% a través de energía hidroeléctrica. Un análisis similar aplica para el caso de Alemania que posee 59% de energía eléctrica generada vía Combustibles Fósiles, con la diferencia que también utiliza energía nuclear como fuente importante de generación (23%). España por su lado, ofrece una matriz diversificada pero con 46% de la energía generada por Combustibles Fósiles.

De esta manera en los países analizados la participación de las ERNC en su matriz energética es minoritaria, actuando como respaldo a la fuente de energía principal que en general es de Combustibles Fósiles o Nuclear.

Por último un caso interesante de mencionar es el de Brasil, quien lidera en Sudamérica la utilización ERNC con un 7% y produce un 86% de energía con recursos renovables; esto es ERNC más hidroeléctrica. Para los países seleccionados, sólo tres (aparte de Brasil) poseen más del 50% de su matriz en energías renovables, sean estas hidroeléctricas o ERNC, estos son Nueva Zelanda (75%), Suecia (58%) y Portugal (55%). Por su parte Chile, muestra un 41% de energías renovables.

Gráfico 6: Matriz Energética Selección Países 2010 (%).



Fuente: Elaboración Propia. Datos Agencia Internacional de Energía. *Combustibles Fósiles agrupan principalmente Petróleo, Carbón y Gas. **ERNC incluye energía Solar, Mareomotriz, Undimotriz, Geotérmica, Biomasa y Eólica.

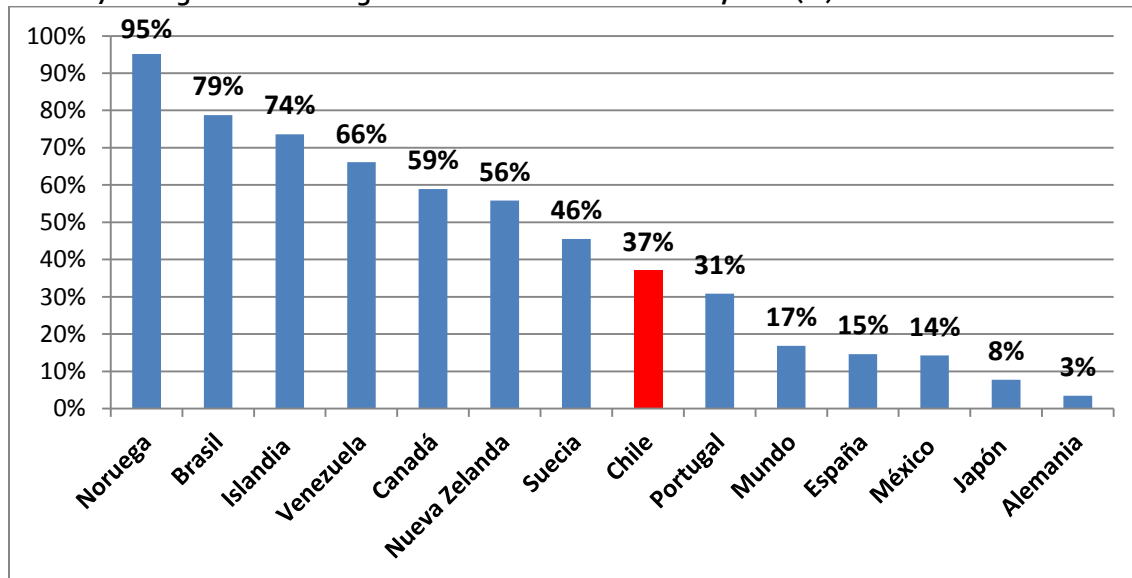
Considerando lo anterior, parece ser que la elección de las fuentes energéticas obedece a una comparación de ventajas comparativas, la que se expresa en un costo tecnológico menor el cual muchas veces proviene de la abundancia relativa de un recurso energético.

Así, y como se señaló en la parte introductoria, una de las posibilidades de aumentar la generación eléctrica *asegurando el abastecimiento eléctrico*, es utilizar el potencial hídrico que posee Chile. Según el estudio "*Hydropower and Dams*" (2009) desarrollado por Aqua-Media International, en el año 2011 Chile

utilizó sólo el 21,4% de su potencial hidroeléctrico económicamente factible⁶. Luego, si se hubiese utilizado el 100% de este potencial hidroeléctrico podríamos haber generado 1,6 veces la energía eléctrica anual total del año 2011.

En términos comparativos, Chile posee un potencial hidroeléctrico económicamente factible similar a países como Suecia o Venezuela y un potencial bruto teórico similar a Nueva Zelanda. Sin embargo, posee una utilización menor del recurso (Ver Gráfico 7).

Gráfico 7: Energía Eléctrica Origen Hídrica. Selección de Países, 2010 (%).



Fuente: Elaboración Propia. Datos Agencia Internacional de Energía.

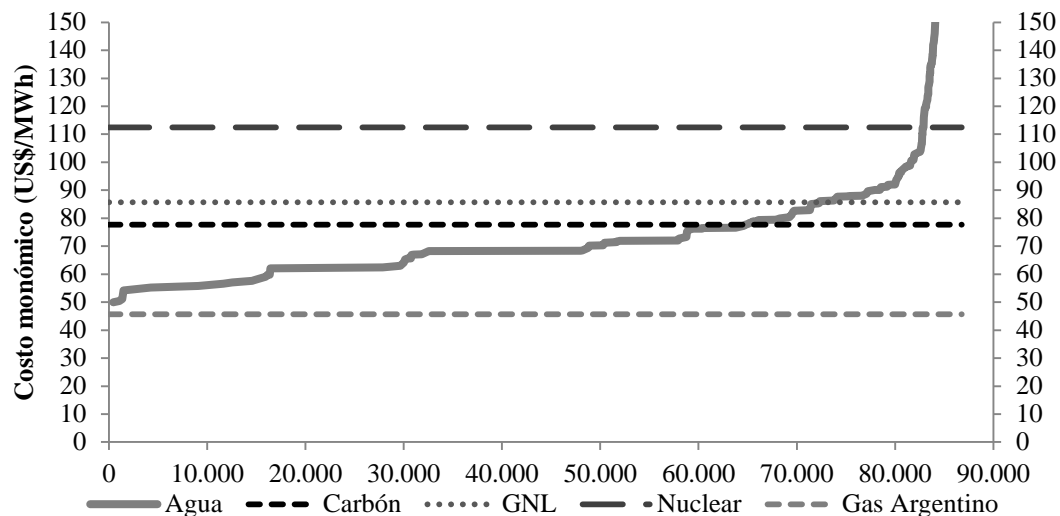
4. El caso de Chile.

En la misma línea anterior, Galetovic y Hernández (2012) realizan un análisis de costo monómico⁷ de cada una de las tecnologías energéticas para el Sistema Interconectado Central (SIC), el cual representa casi el 75% de la energía eléctrica generada en Chile. Como muestra el Gráfico 8, el gas natural argentino es la tecnología más barata. No obstante, mientras su oferta se encuentre restringida la tecnología más barata para producir electricidad es la hidroelectricidad, por lo que en términos de eficiencia económica la potencial ampliación de la matriz energética debiese ir dirigida hacia la hidroelectricidad.

⁶ Si observamos el potencial hidroeléctrico teórico Chile sólo utiliza el 9,5% de su capacidad.

⁷ Monto total que equivale a un precio único por concepto de venta o compra de energía y potencia. Es igual al ingreso o costo total por venta o compra de energía y potencia dividido por la energía total vendida o comprada.

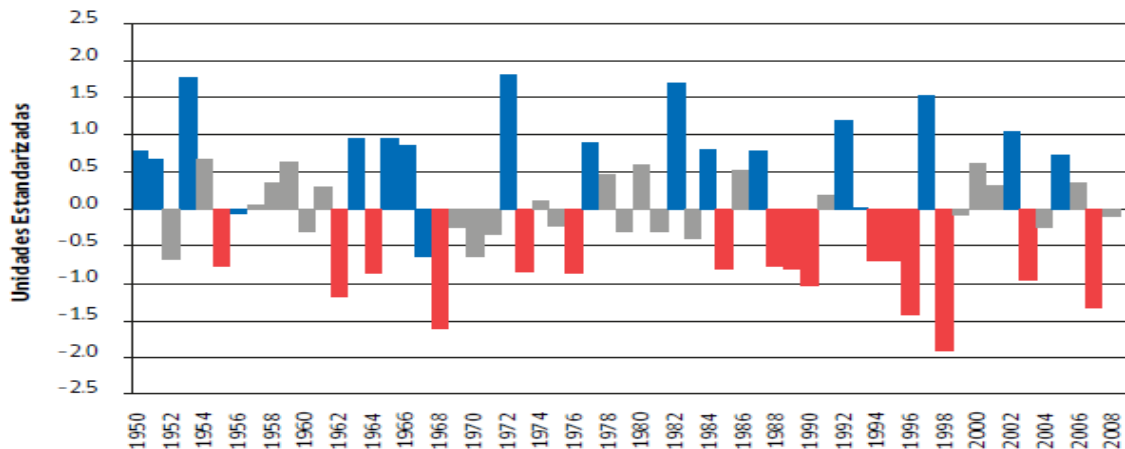
Gráfico 8: Costo Tecnológico Alternativas de Energía (US\$/MWh).



Fuente: Galetovic y Hernández, "El costo diferencial de las alternativas de generación en el SIC" (2012).

En contraposición de lo expuesto, y a pesar de contar con un costo menor que las otras alternativas de generación, la opción hidroeléctrica posee algunos matices. En particular, se encuentra la variabilidad pluviométrica del territorio (Ver Gráfico 9) que introduce incertidumbre en el abastecimiento energético y que se traduce directamente en una varianza en los volúmenes de almacenamiento (Ver Gráfico 10).

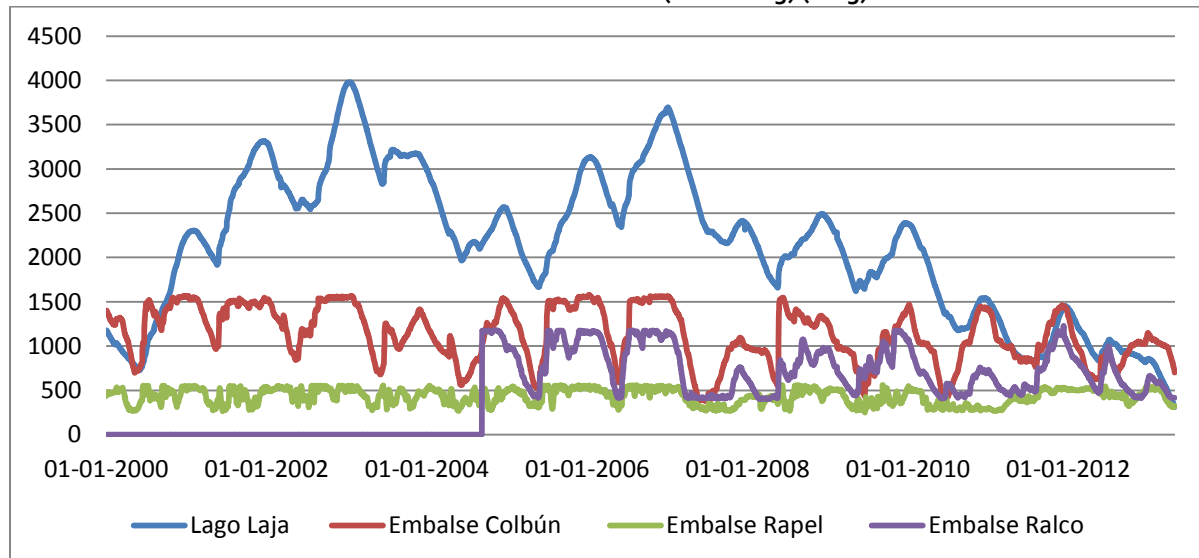
Gráfico 9: Evolución Indicador de Anomalía Pluviométrica región Santiago – Concepción, Período: Enero - Diciembre.⁸



Fuente: Ministerio de Energía. Presentación "Antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos para el futuro". En Rojo periodos de sequía, Gris periodos normales y Azul periodos positivos.

⁸ El indicador expresa la desviación del valor medio anual de precipitación de un año determinado respecto a la precipitación media histórica de un periodo de referencia.

Gráfico 10: Evolución Volúmenes Almacenados Embalses (2000-2013) (hm³).



Fuente: Elaboración Propia. Datos Comisión Nacional de Energía.

Lo anterior pone de manifiesto que si bien la hidroelectricidad es nuestro principal recurso natural su disponibilidad no está exenta de riesgo, motivo por el cual se requiere de mayor diversificación. De esa manera, y desde una vereda puramente económica la diversificación debe estar orientada hacia las energías de menor costo tecnológico. Así, la diversificación debiese ir dirigida a promover la generación vía carbón (US\$85,5/MWh) o GNL (US\$87,4/MWh) (Gráfico 8). Sin embargo es importante señalar que estas tecnologías poseen costos indirectos asociados a cuestiones ambientales producto de los altos factores de emisión (Ver Tabla 1). Ello explica que algunos promuevan como alternativa de diversificación el aprovechamiento de ERNC. Herrera et al. (2012) compilan estimaciones realizadas para el potencial factible de ERNC para el 2030 en Chile (Ver Tabla 2). Así, los autores calculan que para dicho año estarían disponibles cerca 280.000 MW. Hipotéticamente si esta capacidad operara al 1%, se podría haber generado el 40% de la energía eléctrica del año 2011. No obstante este tipo de energías tienen problemas de continuidad en la generación, que eventualmente pudiesen generar problemas de abastecimiento, por lo que requieren de estrategias contractuales de largo plazo y mecanismos de coordinación para enfrentar este problema. Por último, la disponibilidad del recurso debe ir acompañada de precios competitivos y de tecnologías eficientes, cuestión que representa la principal limitante a la hora de analizar la factibilidad económica de las ERNC (Ver Tabla 3).

Por otro lado y como se mencionó anteriormente, las cuestiones relacionadas al impacto ambiental de los proyectos son un factor relevante al establecer una política energética. Uno de los aspectos de mayor preocupación en la ciudadanía es el relacionado a la contaminación. Es importante notar que ambas energías — ERNC e Hidroeléctrica— son energías limpias y renovables, lo que representa una ventaja por sobre los Combustibles Fósiles⁹. (Ver Tabla 1).

⁹ En el caso de la Energía Nuclear a pesar de no significar ningún daño en términos de emisiones de CO₂, existen riesgos indirectos asociados a accidentes nucleares.

Tabla 1: Factores de Emisión Energía.

Combustible	FE tCO ₂ e/TJ
Gas Alto Horno	240,22
Leña	106,21
Gas Corriente	98,42
Carbón Subbituminoso	93,35
Carbón Bituminoso	93,35
Coke	93,35
Alquitrán	80,26
Petróleo N5	76,99
Petróleo N6	76,99
Petróleo Diesel	73,72
Metanol	73
Nafta	73
Kerosene	71,54
Kerosene Aviación	71,18
Gasolina	69
Gasolina Aviación	69
Gas Refinería	66,8
Gas Licuado	63,15
Gas Natural	55,96

Fuente: Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (2006)

Tabla 2: Potencial Factible Bruto ERNC año 2030 (MW).

Fuente Energía	Potencial bruto
Geotermia	16.000
Hidráulica	17.202
Undimotriz	164.910
Solar Térmico	40.000
Solar Fotovoltaica	3.000
Eólica (Terrestre)	40.000
Biomasa	1.116
Biogás	400
Total	282.628

Fuente: Elaboración Propia. Datos extraídos de Herrera, Román y Sims, "El costo nivelado de energía y el futuro de la energía renovable no convencional en Chile: derribando algunos mitos" (2012), Natural Resources Defense Council.

Tabla 3: Inversión y Costo Medio Energías.

Tecnología	Inversión (US\$/KW)	Costo Medio (US\$/MWh)
Hidro-Pasada	2.000	42
Minihidro	2.250	53
Hidro-Embalse	2.500	61
Undimotriz	10.500	64,8
Geotermia	4.438	80
Nuclear	4.000	83,6
Carbón	2.350	91
Biomasa	2.500	93
GNL Quintero	750	117
Eólica	2.000	122
Solar CSP	5.800	212
Diesel	450	245
Solar PV	4.450	297
Mareomotriz	5.200	320

Fuente: Ministerio de Energía. Presentación "La Encrucijada Energética: Los Desafíos del Desarrollo" (2011).

5. Conclusiones

Considerando lo expuesto en esta minuta, esta se puede resumir en tres aspectos:

1. Existe necesidad de avanzar en el tema energético. De todas formas, la demanda energética va ir avanzando por lo que una planificación adecuada de la oferta energética ayudará a evitar posibles sobre costos, sean estos económicos o sociales.
2. Chile posee una ventaja comparativa y competitiva que debe aprovechar: la hidroelectricidad. Se requiere la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas, que ponderen y mitiguen costos sociales/ambientales y económicos. Lo anterior implica tanto el desarrollo de grandes proyectos como al diseño de una buena coordinación pública-privada que permita el desarrollo de la energía hidroeléctrica a pequeña escala (Minihidro), alternativa económicamente factible.
3. Nuestro país debe avanzar hacia una matriz diversificada pero que no sea utilizada como una forma indirecta de subsidiar tecnologías más costosas. De esta forma, la presencia de ERNC debiera darse en la medida que el desarrollo tecnológico y los costos asociados las hagan alternativas competitivas al resto de las tecnologías existentes.
4. Es importante no olvidar, que el costo de generación resultante de la matriz preponderante es traspasado a los consumidores, tanto indirectamente en bienes y servicios producidos con mayor costo energético como directamente al utilizar la energía.